



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Πολυκριτηριακή μέθοδος αξιολόγησης σεναρίων
εγκαταστάσεων φωτισμού στο Νέο Κτίριο Ηλεκτρολόγων
Ε.Μ. Πολυτεχνείου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέφανος Σ. Παπαναστασίου

Επιβλέποντες : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Παναγιώτης Κονταξής
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

Ευάγγελος Μαδιάς
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013



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

**Πολυκριτηριακή μέθοδος αξιολόγησης σεναρίων
εγκαταστάσεων φωτισμού στο Νέο Κτίριο Ηλεκτρολόγων
Ε.Μ. Πολυτεχνείου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέφανος Σ. Παπαναστασίου

Επιβλέποντες : Φραγκίσκος Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Παναγιώτης Κονταξής
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

Ευάγγελος Μαδιάς
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ...^η Δεκεμβρίου 2013.

.....

Φ. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Γ. Κορρές
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Π. Γεωργιάκης
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

.....

Στέφανος Σ. Παπαναστασίου
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Στέφανος Σ. Παπαναστασίου, 2013.
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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η αξιολόγηση με χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών μεθόδων για την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας στο φωτισμό εκπαιδευτικών ιδρυμάτων. Οι περιπτώσεις που μελετώνται αφορούν χώρους διδασκαλίας, γραφεία εκπαιδευτικού προσωπικού και κοινόχρηστες εγκαταστάσεις που στεγάζονται στα νέα κτήρια της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Αρχικά πραγματοποιείται καταγραφή εναλλακτικών εξαρτημάτων φωτισμού όπως λαμπτήρες T5, T8, LED's, ballasts, καθώς και συστημάτων ελέγχου όπως αισθητήρες παρουσίας, καθώς και σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού και παρουσιάζονται τα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, με τα οποία αξιολογείται κάθε εναλλακτική. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η πολυκριτηριακή μέθοδος ELECTRE I και παρουσιάζεται η καλύτερη δυνατή επιλογή για κάθε κατηγορία.

Ακολούθως, πραγματοποιούνται μελέτες φωτισμού με τη βοήθεια εμπορικού λογισμικού προσομοιώσεων σε επιλεγμένες αίθουσες διδασκαλίας και χώρους των νέων κτιρίων της Σ.Η.Μ.Μ.Υ του Ε.Μ.Π.. Σε κάθε χώρο γίνεται μελέτη με τη δημιουργία σεναρίων στα οποία χρησιμοποιούνται διαφορετικές επιλογές εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα της κάθε μελέτης αξιολογούνται πολυκριτηριακά και πάλι με χρήση της ELECTRE I, για την εύρεση της τεχνολογίας που εξυπηρετεί περισσότερο την κάθε περίπτωση.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Εξοικονόμηση ενέργειας, εγκαταστάσεις φωτισμού, φωτισμός χώρων διδασκαλίας, αξιοποίηση φυσικού φωτισμού, αισθητήρες φωτισμού, αισθητήρες παρουσίας, πολυκριτηριακή ανάλυση, ELECTRE I, ανάλυση ευαισθησίας

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the study and evaluation of alternatives for saving electricity in education infrastructures, by the means of multicriteria analysis. The cases studied involve classrooms ,educational staff's offices and facilities of public use which lay on the new buildings of NTUA's Electrical and Computer Engineering School at Zografou Campus.

Initially, different parts of lighting equipment, such as T5 and T8 lamps, LED's, ballasts, and control systems, as occupancy sensors and photocensors, are presented. At the same time all technical and economic data of every device ,that could be used as criteria, are shown. Then an application of the multicriteria method ELECTRE I takes place and the results deduce the best option for each category.

The lighting design simulations, which concern selected classrooms and areas of new buildings of the School, are made with the use of a commercial software. At each location a study has been conducted by creating scenarios that used different equipment options. The results of each study are evaluated again using multicriteria analysis ELECTRE I, for finding the technology that serves more each case .

KEYWORDS

Energy saving, lighting installations, lighting in educational rooms, daylighting, daylight sensors, occupancy sensors, multicriteria analysis, ELECTRE I, sensitivity analysis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Φραγκίσκο Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψηφίους διδάκτορες Παναγιώτη Κονταξή και Ευάγγελο Μαδιά για τις πολύτιμες υποδείξεις που εστιάστηκαν κυρίως σε επίπεδο τεχνικών ζητημάτων και θεωρητικών γνώσεων στην πολυκριτηριακή ανάλυση. Η διεκπεραίωση της συγκεκριμένης εργασίας εξαρτήθηκε σε μεγάλο βαθμό από την συμβολή τους. Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου για την στήριξη που μου παρείχαν έως τώρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5	
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	5	
ABSTRACT	6	
KEYWORDS	6	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7	
Κεφάλαιο 1: Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα		
1.1	Ενεργειακή κατάσταση στην Ευρώπη	11
1.2	Ο τριτογενής τομέας στην Ε.Ε.	14
1.3	Η ενέργεια και ο τριτογενής τομέας στην Ελλάδα	16
1.4	Κατανάλωση κτιρίων διδασκαλίας και προοπτικές βελτίωσης	19
Κεφάλαιο 2: Διατάξεις εξοικονόμησης ενέργειας στην τεχνολογία φωτισμού		
2.1	Γενική αναφορά	21
2.2	Λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας και βοηθητικός εξοπλισμός	22
2.2.1	Λαμπτήρες φθορισμού T8 και T5	22
2.2.2	Ballasts λαμπτήρων φθορισμού	24
2.2.3	Συμπαγείς λαμπτήρες (CFL)	26
2.2.4	Λαμπτήρες LED	28
2.3	Φωτιστικά εξοικονόμησης ενέργειας σε χώρους διδασκαλίας και γραφεία	30
2.4	Βιοκλιματικός σχεδιασμός γενικά και στην τεχνολογία φωτισμού	33
2.4.1	Ράφια ανάκλασης φυσικού φωτισμού (Light Selves)	35
2.4.2	Συστήματα σκίασης	35
2.4.3	Πρισματικά Πάνελ	36
2.4.4	Πάνελ που έχουν υποστεί κοπή με Laser	37
2.4.5	Σκίαστρα ανακατεύθυνσης φωτός	38
2.4.6	Υαλοπίνακες ανακατεύθυνσης φωτός	39
2.4.7	Ολογραφικά στοιχεία και οροφές ολογραφικών στοιχείων	40
2.4.8	Κοιλότητες καθοδήγησης φυσικού φωτός	41
2.5	Συστήματα συνεργασίας και ελέγχου	42
2.5.1	Αισθητήρες παρουσίας	45
2.5.2	Αισθητήρες φωτός	46
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή των χώρων που περιλαμβάνονται στην μελέτη		
3.1	Γενική περιγραφή χώρων	47
3.1.1	Αμφιθέατρο 4	48
3.1.2	Αίθουσα 008	50
3.1.3	Γραφείο επισκεπτών καθηγητών Β.3.8	51
3.1.4	Διάδρομος	52
3.2	Περιγραφή εγκαταστάσεων φωτισμού	52

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση μετρήσεων και αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τους χώρους προς μελέτη

4.1	Εισαγωγή	56
4.1.1	Μετρήσεις στο αμφιθέατρο 4	56
4.1.2	Μετρήσεις στην αίθουσα διδασκαλίας 008	58
4.1.3	Μετρήσεις διαδρόμου	59
4.2	Προσομοιώσεις	59
4.2.1	Αμφιθέατρο 4	60
4.2.2	Αίθουσα 008	64
4.2.3	Γραφείο B.3.8	66
4.2.4	Διάδρομος	68

Κεφάλαιο 5: Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση – Μέθοδος ELECTRE I

5.1	Συστήματα αποφάσεων	71
5.2	Πολυκριτηριακές αποφάσεις και συστήματα υποστήριξης	74
5.3	Ορισμός κριτηρίων και βασικές έννοιες	76
5.4	Γενική προσέγγιση των μεθόδων ELECTRE	81
5.5	Η μέθοδος ELECTRE I	82
5.6	Παρατηρήσεις πάνω στην ELECTRE I	85

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I για την αξιολόγηση επιμέρους στοιχείων

6.1	Εισαγωγή	87
6.2	Εφαρμογή ELECTRE I	87
6.3	Λαμπτήρες T5	88
6.4	Ανάλυση ευαισθησίας για τους λαμπτήρες T5	90
6.5	Λαμπτήρες T8	92
6.6	Ανάλυση ευαισθησίας για τους λαμπτήρες T8	93
6.7	Ballasts	95
6.8	Ballasts για T5 λαμπτήρες	96
6.9	Ballasts για T8 λαμπτήρες	99
6.10	Λαμπτήρες LED με γεωμετρικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων T8	102
6.11	Αισθητήρες παρουσίας PIR	104
6.12	Αισθητήρες σύζευξης τεχνητού και φυσικού φωτισμού	107

Κεφάλαιο 7: Προσομοιώσεις σεναρίων και αξιολόγηση με εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

7.1	Εισαγωγή	111
7.2	T5 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά δυο (T5 X 2)	111
7.2.1	Αμφιθέατρο (T5 X 2)	112
7.2.2	Αίθουσα (T5 X 2)	115
7.2.3	Γραφείο (T5 X 2)	117
7.2.4	Διάδρομος (T5 X 2)	119
7.3	T5 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά τέσσερις (T5 X 4)	121
7.3.1	Αμφιθέατρο (T5 X 4)	121
7.3.2	Αίθουσα (T5 X 4)	124

7.3.3	Λοιποί χώροι	126
7.4	T8 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά δυο (T8 X 2)	127
7.4.1	Αμφιθέατρο (T8 X 2)	127
7.4.2	Αίθουσα (T8 X 2)	130
7.4.3	Γραφείο (T8 X 2)	132
7.4.4	Διάδρομος (T8 X 2)	134
7.5	T8 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά τέσσερις (T8 X 4)	136
7.5.1	Αίθουσα (T8 X 4)	137
7.5.2	Διάδρομος (T8 X 4)	139
7.6	Λαμπτήρες LED με γεωμετρικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων T8 τοποθετημένοι ανά δύο	141
7.6.1	Αμφιθέατρο (T8 LED X 2)	142
7.6.2	Αίθουσα (T8 LED X 2)	145
7.6.3	Γραφείο (T8 LED X 2)	146
7.6.4	Διάδρομος (T8 LED X 2)	148
7.7	LED φωτιστικό τύπου Downlight	150
7.7.1	Αμφιθέατρο (LED Downlight)	151
7.7.2	Αίθουσα (LED Downlight)	154
7.7.3	Γραφείο (LED Downlight)	155
7.8	Συγκεντρωτική παρουσίαση αποτελεσμάτων	157
7.8.1	Εφαρμογή ELECTRE I στα σενάρια της αίθουσας	159
7.8.2	Εφαρμογή ELECTRE I στα σενάρια του γραφείου	164
7.8.3	Εφαρμογή ELECTRE I στα σενάρια του διαδρόμου	166
7.9	Σύγκριση της κατανάλωσης των σεναρίων	168
	Συμπεράσματα	171
	Παράρτημα (data sheets φωτιστικών σωμάτων)	173
	Βιβλιογραφία	183

Κεφάλαιο 1

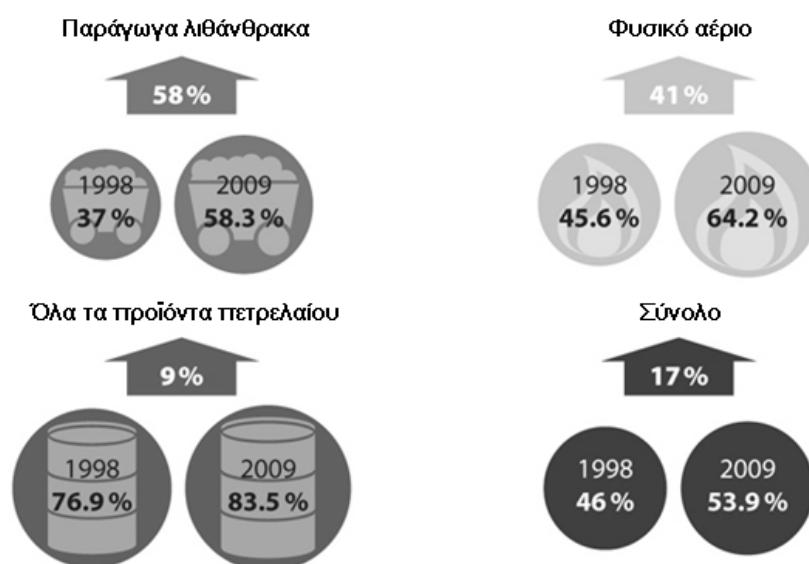
Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα

1.1 Ενεργειακή κατάσταση στην Ευρώπη

Η συνεχής αύξηση της ζήτησης ενέργειας που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια, δημιούργησε έντονο προβληματισμό τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στα κράτη της Ε.Ε. ειδικότερα. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και η ευρεία εφαρμογή της σύγχρονης τεχνολογίας είχαν ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση των δαπανών και κρίθηκε αναγκαίο να περιοριστούν οι άσκοπες καταναλώσεις.

Είναι γνωστό ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγκάζεται να εισάγει ενέργεια σε ποσοστό της τάξης του 53.8% των συνολικών της αναγκών. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αν δεν ληφθούν μέτρα περιορισμού αναμένεται το ποσοστό να έχει φτάσει το 70% μέχρι το 2030. Η εξάρτηση εντοπίζεται κυρίως σε προϊόντα πετρελαίου αλλά και σε φυσικό αέριο καθώς και λιθάνθρακα, ενώ αποτελεί το 6% των συνολικών εισαγωγών. Το ποσοστό δεν φαίνεται μεγάλο όμως πρέπει να συνυπολογιστεί ότι σε κάθε οικονομία χτισμένη στα σύγχρονα πρότυπα, ο τομέας της ενέργειας κυμαίνεται περίπου στο 3% του συνολικού ΑΕΠ. Επομένως γίνεται ξεκάθαρο ότι η εξασφάλιση της στοιχίζει ακριβά στην Ε.Ε. σε οικονομικό επίπεδο.

Ενεργειακή εξάρτηση, ΕΕ-27



Σχήμα 1.1 Ενεργειακή εξάρτηση ανά κατηγορία καυσίμου (1998-2009) ΕΕ-27 [1]

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 1.1, παρατηρείται σταθερή αύξηση της ενεργειακής εξάρτησης κυρίως σε ότι αφορά το φυσικό αέριο. Ο λιθάνθρακας και τα παράγωγα του κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό αλλά δεν έχουν τόσο μεγάλο μερίδιο στην γενική κατανάλωση. Το πετρέλαιο αποτελεί σχεδόν εξ ολοκλήρου προϊόν εισαγωγής και έχει φτάσει σε ποσοστό 83.5%, επομένως είναι σαφές ότι οποιαδήποτε

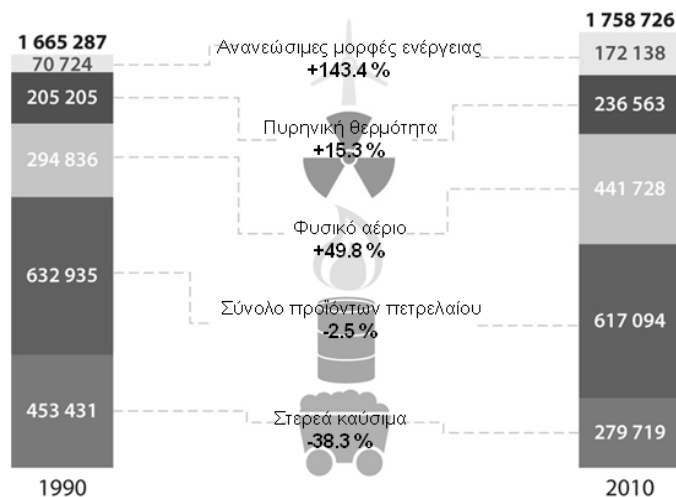
μείωση στην κατανάλωση ευνοεί άμεσα την οικονομία της Ε.Ε.. Αναλυτικότερα το πρόβλημα μπορεί να φανεί στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1.1).

Από τα στοιχεία του πίνακα 1.1 είναι ξεκάθαρο ότι τόσο ισχυρές όσο και ανίσχυρες οικονομίες έχουν μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση που οφείλεται κυρίως στην εξάντληση των κοιτασμάτων φυσικών πόρων στα γεωγραφικά σύνορα της Ε.Ε.. Αναφορικά με την Ελλάδα η κατάσταση είναι σχετικά επιβαρυνμένη αφού το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται στο 65,3% και είναι σχετικά υψηλό σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη.

Πίνακας 1.1 Κατανάλωση ενέργειας ανά κράτος και δείκτης εξάρτησης [1]

Energy consumption and dependence rates						
	Gross inland energy consumption ¹ , in million toe ²					Energy dependence rate ³ , 2011 (%)
	2008	2009	2010	2011	% change 2011/2008	
EU27	1 801.0	1 702.0	1 759.4	1 698.1	-5.7	53.8
Belgium	59.6	58.1	61.5	59.7	0.1	72.9
Bulgaria	20.1	17.6	17.9	19.3	-4.1	36.6
Czech Republic	45.3	42.3	44.8	43.8	-3.3	28.6
Denmark	20.2	19.3	20.3	19.0	-6.0	-8.5
Germany	342.9	326.4	336.1	316.3	-7.7	61.1
Estonia	5.9	5.3	6.1	6.2	4.8	11.7
Ireland	15.8	14.7	15.0	13.9	-12.3	88.9
Greece	31.8	30.7	28.8	27.9	-12.3	65.3
Spain	141.9	130.4	130.0	128.5	-9.4	76.4
France	271.8	259.9	267.5	259.3	-4.6	48.9
Italy	181.7	170.0	175.5	172.9	-4.8	81.3
Cyprus	2.9	2.8	2.7	2.7	-7.0	92.6
Latvia	4.6	4.3	4.5	4.2	-7.6	59.0
Lithuania	9.4	8.5	6.9	7.1	-24.5	81.8
Luxembourg	4.6	4.4	4.7	4.6	-1.4	97.4
Hungary	26.8	25.4	26.0	25.2	-5.9	52.0
Malta	1.0	0.8	1.0	1.1	16.9	100.6
Netherlands	83.9	81.6	87.0	81.3	-3.1	30.4
Austria	34.3	32.7	35.0	34.0	-1.1	69.3
Poland	99.0	95.3	101.8	102.2	3.2	33.6
Portugal	25.2	24.9	24.4	23.9	-5.2	77.4
Romania	40.5	35.5	35.7	36.3	-10.2	21.3
Slovenia	7.8	7.1	7.2	7.3	-6.4	48.4
Slovakia	18.4	16.8	17.9	17.4	-5.4	64.2
Finland	36.3	34.4	37.4	35.7	-1.6	53.8
Sweden	50.0	45.7	51.5	49.5	-0.9	36.8
United Kingdom	219.3	207.0	212.2	198.8	-9.4	36.0

Φυσικά ο πίνακας 1.1 περιέχει ορισμένα αντιφατικά στοιχεία. Αναφέρεται μια ξεκάθαρη μείωση στην συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια σε επίπεδο κρατών τα τελευταία χρόνια ωστόσο η μείωση της κατανάλωσης πρέπει να συσχετιστεί με την αντίστοιχη συρρίκνωση της οικονομίας της εκάστοτε χώρας. Επομένως δεν πρόκειται για επιτυχημένη εφαρμογή κάποιου στρατηγικού σχεδιασμού, αλλά κυρίως για αναγκαστική μείωση της κατανάλωσης λόγω επιβαρυνμένων οικονομικών συνθηκών και όξυνση του προβλήματος. Σε αντίθετη περίπτωση θα αναμενόταν αντίστοιχη μείωση στην ενεργειακή εξάρτηση, γεγονός που δεν παρατηρείται στον δεδομένο πίνακα.



Σχήμα 1.2 Ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο [1]

Όλα τα παραπάνω αποτελούν την μια διάσταση του προβλήματος και συγκεκριμένα την οικονομική, ωστόσο εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι λόγω των συνεχών καύσεων παράγονται αέρια του θερμοκηπίου που επιβαρύνουν το περιβάλλον και υποβαθμίζουν τις συνθήκες διαβίωσης επηρεάζοντας το κλίμα.

Στα πλαίσια μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου η Ε.Ε. έθεσε το 2008 τρεις δύσκολους στόχους ευελπιστώντας να έχουν επιτευχθεί μέχρι το 2020. Α) Την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 Β) Την διείσδυση των ΑΠΕ σε ποσοστό 20% του συνόλου της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Γ) Την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 20%. Φυσικά η εκπλήρωση των δεδομένων στόχων απαιτεί μεγάλη προσπάθεια από όλα τα κράτη μέλη, καθώς και συντονισμένες δράσεις σε διάφορους ανεξάρτητους τομείς.

Το σχήμα 1.2 αποτυπώνει την συγκεκριμένη προσπάθεια μέχρι και το έτος 2010, αν και αποτελεί ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα της γενικότερης προσπάθειας, μπορούν να εξαχθούν ορισμένα ασφαλή συμπεράσματα. Από την εικόνα φαίνεται ότι οι ΑΠΕ έχουν ενισχυθεί αρκετά φτάνοντας στο 143,4% αύξησης της συνολικής παραγωγής τους σε σχέση με το 1990, και ενώ παραμένουν σε μικρό ποσοστό της συνολικής παραγωγής, βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης και δεν έχουν φτάσει ακόμη στη αιχμή τους. Θα πρέπει να αναφερθεί όμως ότι ενώ οι ΑΠΕ 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.

Η εξάρτηση από το πετρέλαιο και τα προϊόντα του είναι αναπόφευκτη, και οφείλεται κυρίως στην δεδομένη τεχνολογία των οχημάτων αλλά και σε εγκαταστάσεις θέρμανσης. Βέβαια η μεγάλη αύξηση του φυσικού αερίου κοντά στο 50% κάνει φανερή μια ισχυρή τάση υποκατάστασης του πετρελαίου και θεωρείται περισσότερο περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση, επειδή για ίδιο αποτέλεσμα παραγόμενης ενέργειας εκλύονται μικρότερες ποσότητες CO_2 .

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 38.3% δείχνει σημαντικά βήματα βελτίωσης αλλά οι τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται επιτρέπουν περαιτέρω βελτίωση.

Δυστυχώς η εξάρτηση από την πυρηνική ενέργεια παραμένει σταθερή και έχει κάποιες αυξητικές τάσεις κοντά στο 15% την τελευταία δεκαετία όμως είναι μια

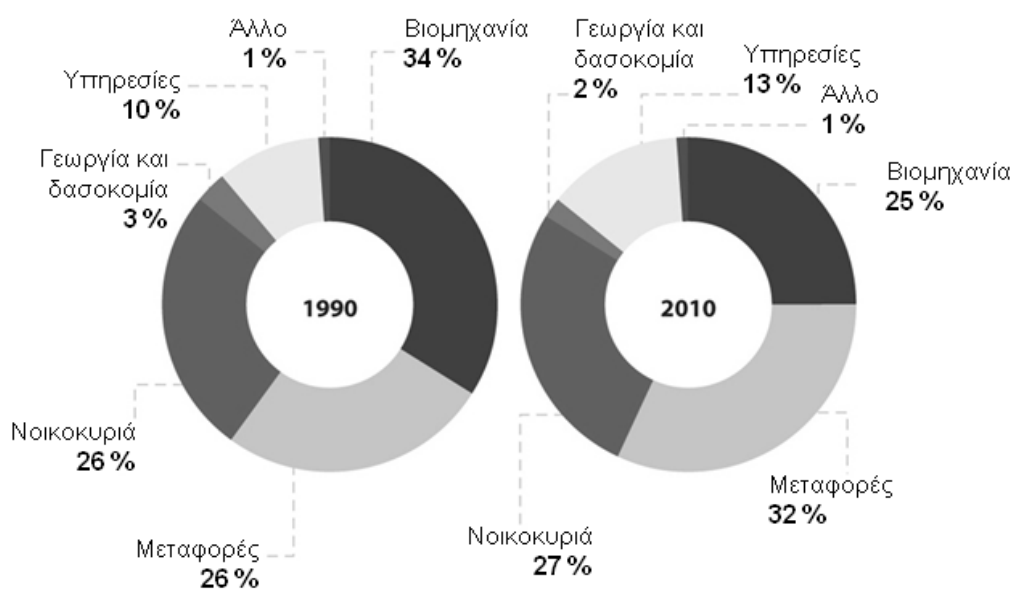
σταθερή και συμφέρουσα λύση για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος που έχει όμως ως τίμημα την παραγωγή πολλών επιβαρυντικών παραπροϊόντων.

1.2 Ο τριτογενής τομέας στην Ε.Ε.

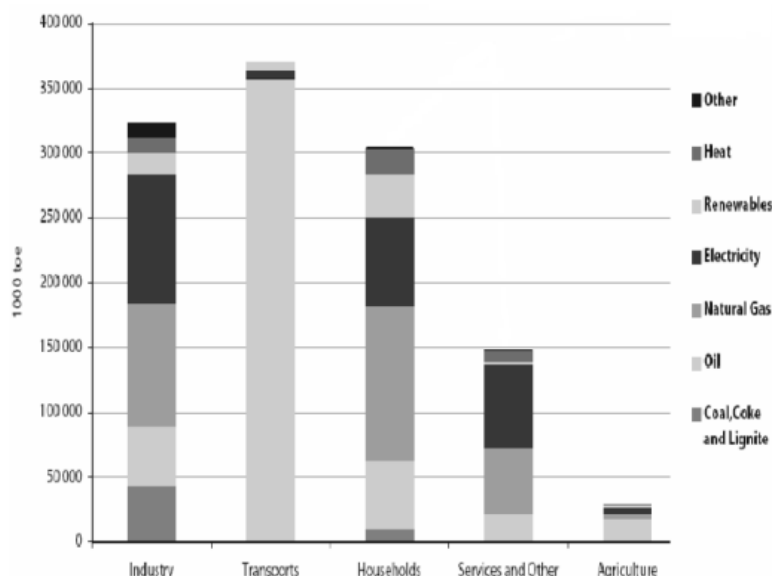
Ιδιαίτερη σημασία σε ένα ενεργειακό ισοζύγιο κατέχει ο τριτογενής τομέας παραγωγής, δηλαδή το σύνολο των υπηρεσιών που παρέχονται από ένα κράτος αλλά και από τους πολίτες του. Πολλές φορές βέβαια αναφέρεται και ως κτιριακός τομέας, όταν συμπεριλαμβάνει εκτός από τις εκάστοτε υπηρεσίες και το σύνολο των κατοικιών.

Στον τριτογενή τομέα σε ότι αφορά την Ε.Ε. το ύψος των αναγκών για ενέργεια κυμαίνεται στο 13% του συνόλου και αποτελεί ένα ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό. Επιπλέον η στατιστική ιστορία δείχνει ότι έχει την τάση συνεχώς να αυξάνει πλησιάζοντας παραδοσιακά ισχυρούς τομείς όπως η βιομηχανία. Είναι επομένως απαραίτητη η σωστή διαχείριση των ενεργειακών καταναλώσεων και απαιτείται σωστός σχεδιασμός και οργάνωση προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ανεπιθύμητες απώλειες.

Δυο στιγμιότυπα αναφορικά με την διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας παρατίθενται στο σχήμα 1.3 για τα έτη 1990 και 2010 και επαληθεύουν την συνεχή επέκταση του τριτογενούς τομέα. Εδώ φαίνεται η τάση αύξησης της κατανάλωσης ενώ παράλληλα εμφανίζεται μεγάλη πτώση στην βιομηχανία. Οι μεταφορές επίσης συνεχίζουν να αποτελούν το μεγαλύτερο ενεργειακό φορτίο με αυξητικές τάσεις ενώ το σύνολο των κατοικιών καταναλώνει σταθερά περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας. Συγκεντρωτικά ο κτιριακός τομέας απαιτεί το 40% της συνολικής κατανάλωσης.



Σχήμα 1.3 Τελική κατανάλωση ενέργειας ΕΕ-27 [1]



Σχήμα 1.4 Τελική κατανάλωση ανά καύσιμο [2]

Η ιδιαιτερότητα του τριτογενούς τομέα όμως δεν σχετίζεται τόσο με το αυξημένο ποσοστό στην συνολική ζήτηση ενέργειας αλλά κυρίως στην 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 τομείς όπως οι μεταφορές και η γεωργία χρησιμοποιούν κυρίως το πετρέλαιο και τα παράγωγα του όπως είναι αναμενόμενο. Στους συγκεκριμένους τομείς τα υπόλοιπα καύσιμα και μορφές ενέργειας δεν έχουν μεγάλη σημασία.

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 τριτογενή τομέα. 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 και στην βιομηχανία.

Ειδικότερα σε ότι αφορά το ηλεκτρικό ρεύμα επομένως, 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%.

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.

Σύμφωνα με υπολογισμούς του συμβουλίου της Ε.Ε. σε ότι αφορά τον κτιριακό τομέα μπορεί να πραγματοποιηθεί εξοικονόμηση της τάξης του 22% μέχρι το 2020 αν εφαρμοστούν ορισμένες απλές τεχνικές. Πιο συγκεκριμένα αν:

- Αντικατασταθούν 10 εκατομμύρια οικιακοί λέβητες ηλικίας μεγαλύτερης των 20 ετών, θα εξοικονομηθεί 5%
- Εγκατασταθούν συστήματα κλιματισμού που εξασφαλίζουν απαιτήσεις ελάχιστης απόδοσης, θα μειωθεί η κατανάλωση κατά 25% με προοπτικές διπλασιασμού ως το 2020
- Χρησιμοποιηθούν οικονομικοί λαμπτήρες, συστήματα ελέγχου, και τεχνικές ενσωμάτωσης φυσικού φωτισμού τότε η δράση μπορεί να αποφέρει 30-50% μικρότερες καταναλώσεις στον φωτισμό και 14% στην συνολική κατανάλωση κτιρίων
- Εφαρμοστεί βιοκλιματικός σχεδιασμός θα έχει επιπτώσεις έως και 60% στην εξοικονόμηση σε κάθε κτίριο.[3]

Σε αυτό το πλαίσιο το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ε.Ε. συνέταξαν την ΟΔΗΓΙΑ 2002/91/ΕΚ σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, η οποία τροποποιήθηκε από την ΟΔΗΓΙΑ 2010/31/EU με κάποιες βελτιώσεις. Η εφαρμογή των παραπάνω οδηγιών εφαρμόζεται στην Ελλάδα με τον κανονισμό ενεργειακής απόδοσης κτιριακού τομέα (ΚΕΝΑΚ) ο οποίος περιλαμβάνει κανονιστικές διατάξεις για την εφαρμογή του Ν. 3661/08 που αφορά:

1. Εκπόνηση Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
2. Ενεργειακή Κατάταξη Κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης)
3. Ενεργειακές Επιθεωρήσεις Κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού [3]

1.3 Η ενέργεια και ο τριτογενής τομέας 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 στο 50% από το 1990 έως και το 2008. Στην συνέχεια όμως παρατηρήθηκε μια θεαματική πτώση της τάξης του 12,3% μέσα σε διάστημα λιγότερο των πέντε ετών (2011) που οφείλεται κυρίως σε δυσμενείς οικονομικές συνθήκες σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Οι μεταφορές αποτελούν το 39,6% της συνολικής ζήτησης και αντιστοιχούν σε 8,5 Μtoe. Ενώ 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 πλείστον με υγρά καύσιμα και το μείγμα καυσίμου είναι ποιοτικά όμοιο με αυτό του σχήματος 1.4.

Η βιομηχανία μέσα στην τελευταία δεκαετία εκσυγχρονίστηκε σε μεγάλο βαθμό και από άποψη κατανάλωσης το 2006 κυμαινόταν στα 4,2 Μtoe δηλαδή στα ίδια

επίπεδα με το 1990, επομένως παρουσίασε σχετική μείωση κοντά στο 7% περιορίζοντας το ποσοστό στο 19,6% επί του συνόλου. Αυτή η ροπή για ποιοτική αναβάθμιση του εξοπλισμού έχει αποτυπωθεί και στο αντίστοιχο διάγραμμα της Ε.Ε. στο σχήμα 1.4, όπου η βιομηχανία έχει επίσης χαμηλότερα ποσοστά σε σχέση με το 1990.

Παράλληλα τα νοικοκυριά αύξησαν την κατανάλωση τους από τα 3 στα 5 Μτοε στο ίδιο διάστημα σημειώνοντας αύξηση κοντά στο 4,6% και καταλαμβάνοντας συνολικά το 25,6%, ενώ ο αγροτικός τομέας συρρικνώθηκε κατά 1,5%.

Σε γενικό πλάνο ο τριτογενής τομέας παρουσίασε το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης στην κατανάλωση ενέργειας φτάνοντας στα 2 Μτοε το 2006 και σε σχέση με το 1990 τριπλασιάστηκαν οι ανάγκες σε ενέργεια. Στο σύνολο έφτασε στο επίπεδο του 9,7%, ποσοστό αρκετά χαμηλότερο από το αντίστοιχο της Ε.Ε. αλλά αρκετά σημαντικό για το ενεργειακό ισοζύγιο. Γενικότερα 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.

Περισσότερες πληροφορίες για την κατανάλωση αντλούνται αν προσδιοριστεί το πλήθος των κτιρίων ανάλογα με την χρήση τους. 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 κτίρια άλλων χρήσεων 17,92%.

Περισσότερο ενεργοβόρα έχουν αποδειχτεί κτίρια ειδικών προδιαγραφών όπως για παράδειγμα τα αεροδρόμια. Σε τέτοιες περιπτώσεις η συνεχής λειτουργία και υψηλές απαιτήσεις σε θέρμανση, κλιματισμό και φωτισμό, αυξάνουν δραματικά το κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων, ενώ παράλληλα δεν επιτρέπεται πρακτικά η εξοικονόμηση εις βάρος των παρερχομένων υπηρεσιών. Ομοίως μεγάλη κατανάλωση παρουσιάζεται σε ορισμένες ειδικές αθλητικές εγκαταστάσεις, με αντιπροσωπευτικότερο παράδειγμα τα κολυμβήτρια με θερμαινόμενες πισίνες και γενικά χώρους που απαιτείται θέρμανση με προδιαγραφές.

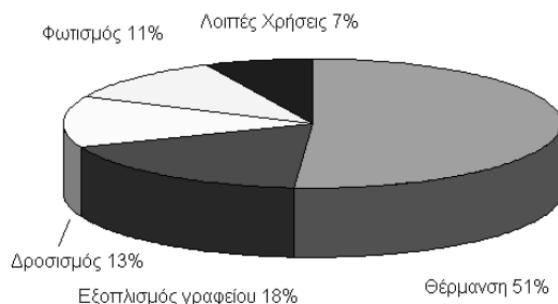
Στοιχειώδεις και αναπόφευκτες καταναλώσεις συναντώνται σε νοσοκομεία κυρίως για την εύρυθμη λειτουργία του εξοπλισμού αλλά και στον απαραίτητο φωτισμό κοινοχρήστων χώρων. Οι υψηλές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα φωτισμού σε ειδικούς χώρους όπως για παράδειγμα χειρουργεία, συμβάλλουν στην κατανάλωση, όμως σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να γίνουν παραδοχές οι συμβιβασμοί σε τόσο ευαίσθητες περιπτώσεις.

Αναφορικά με τα γραφεία και γενικά τα κτίρια υπηρεσιών παρατηρούνται αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας, κυρίως για εξοπλισμό και θέρμανση. Σε πολλές περιπτώσεις τα φορτία οφείλονται σε λανθασμένη χρήση ή σπατάλη της ενέργειας από το προσωπικό ή εσφαλμένο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων λόγω αλλαγής χρήσης. Ταυτόχρονα, δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου παλιά ενεργοβόρα κτίρια έχουν κτιστεί με παρωχημένες προδιαγραφές και επιβαρύνουν σημαντικά αν συγκριθούν με αντίστοιχα νεόδμητα.

Οι κατοικίες, που δεν περιλαμβάνονται στο ακόλουθο διάγραμμα, έχουν επίσης σχετικά χαμηλό συντελεστή απόδοσης. Σε συνδυασμό με το μεγάλο πλήθος τους ωστόσο είναι ο κύριος καταναλωτής του κτιριακού τομέα. Με την σταδιακή εφαρμογή του KENAK επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση όπως και στον τριτογενή τομέα.

Τα σχολεία και οι χώροι διδασκαλίας έχουν μεγάλη κατανάλωση. Οι ανάγκες σχετίζονται κυρίως με την θέρμανση και τον φωτισμό. Συνήθως κλιματισμός δεν υπάρχει με εξαίρεση αίθουσες τριτοβάθμιας εκπαίδευσης όπως αμφιθέατρα ή

εργαστήρια. Με εφαρμογή καταλλήλων μεθόδων και δράσεων είναι δυνατόν να επιτευχθεί ουσιαστική εξοικονόμηση.



Σχήμα 1.5 Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον τριτογενή τομέα, [4]

Μια περισσότερο εποπτική προσέγγιση σχετικά με τις ανάγκες σε ενέργεια, μπορεί να γίνει μέσω διαγραμμάτων κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση. Ένα διάγραμμα αυτής της μορφής παρουσιάζεται στο σχήμα 1.5. Όπως φαίνεται οι μισές καταναλώσεις αφορούν την θέρμανση του εκάστοτε χώρου και καλύπτονται κυρίως με υγρά καύσιμα όπως το πετρέλαιο θέρμανσης ή το φυσικό αέριο, παράλληλα ο κλιματισμός κατά τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και η λειτουργία του εξοπλισμού γραφείου από κοινού ανέρχονται στο 31% και ισοδυναμούν κυρίως σε δαπάνες ηλεκτρικού ρεύματος εξ' αιτίας της φύσης των συγκεκριμένων φορτίων. Τέλος υπάρχει η κατανάλωση ρεύματος σε φωτισμό που αντιστοιχεί στο 11%. Παρά το γεγονός ότι οι δεδομένες δαπάνες θα μπορούσαν να είναι αρκετά χαμηλότερες, λόγω κακού σχεδιασμού και διαχείρισης αποτελούν ένα υπολογίσιμο ποσοστό επί του συνόλου και φυσικά η κάλυψη τους γίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα που στοιχίζει αρκετά σε σχέση με καύσιμα ή άλλες μορφές ενέργειας.

Τα παραπάνω συμπεράσματα μπορούν να φανούν και στο ενεργειακό ισοζύγιο ανά είδος καυσίμου στον τριτογενή τομέα. Σε ένα ενεργειακό ισοζύγιο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο ηλεκτρισμός καταχρηστικά αναφέρεται ως καύσιμο και ουσιαστικά αναφέρονται οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μετρημένες σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Τα υγρά καύσιμα καλύπτουν το 52,3% των γενικών αναγκών, όπως αναμενόταν. Το μεγάλο ποσοστό αντιστοιχεί κυρίως στις ανάγκες θέρμανσης του χώρου και συμπίπτει με το αντίστοιχο ποσοστό κατανάλωσης ανά χρήση που παρουσιάστηκε στο σχήμα 1.6. Ο ηλεκτρισμός αποτελεί την δεύτερη σε μέγεθος πηγή τροφοδοσίας και κυμαίνεται στο 35,8%, επί της ουσίας συνεισφέρει στις υπόλοιπες χρήσεις και σε κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις και στην θέρμανση, ο φωτισμός και ο δροσισμός μέσω κλιματιστικών πάντως είναι αμιγή φορτία ηλεκτρισμού. Τρίτη έρχεται η βιομάζα με 9,6% ενώ ΣΗΘ, αέρια καύσιμα και λοιπές μορφές ακολουθούν σε πολύ μικρότερα ποσοστά.

1.4 Κατανάλωση κτιρίων διδασκαλίας και προοπτικές βελτίωσης.

Όπως προαναφέρθηκε η ειδική κατηγορία των κτιρίων διδασκαλίας μαζί με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις βοηθητικού χαρακτήρα που τα συνοδεύουν, έχουν χαμηλό δείκτη απόδοσης. Επομένως η λειτουργία τους επιβαρύνει δυσανάλογα το ενεργειακό ισοζύγιο, χωρίς παράλληλα να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατάστασης, αποτελούν τα σχολικά συγκροτήματα. Ενδεικτικά υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα υπήρχαν περισσότερες από

65.000 σχολικές αίθουσες το 1995, οι ενεργειακές ανάγκες των οποίων ανέρχονταν σε 16.300 τόνους Diesel για θέρμανση και 78.000MWh για ηλεκτρικά φορτία με κυρίαρχο τον φωτισμό. Στην συνέχεια οι καταναλώσεις αυξηθήκαν αρκετά και έφτασαν μέχρι τα σημερινά επίπεδα. Τώρα εκτιμώνται κοντά στις 225.000MWh μόνο για τον φωτισμό.[5]

Ένας από τους κύριους λόγους των υψηλών καταναλώσεων είναι ο ακατάλληλος προσανατολισμός των κτιρίων, που έχει ως αποτέλεσμα τον ανεπαρκή ηλιασμό κατά την διάρκεια του χειμώνα αλλά και την υπερθέρμανση κατά την διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου. Όταν δεν υπάρχει αρχική σωστή τοποθέτηση του κτιρίου, η θέρμανση και ο κλιματισμός επιβαρύνονται και ο δείκτης απόδοσης πέφτει σημαντικά. Παράλληλα εξασφαλίζονται κακές συνθήκες φυσικού φωτισμού και πολλές φορές αναπόφευκτη θάμβωση. Τα συστήματα θέρμανσης είναι συχνά παλιές τεχνολογίας, χωρίς τις απαραίτητες συντηρήσεις και το κτιριακό κέλυφος, ιδιαίτερα σε παλιές κατασκευές, προσθέτει επιπλέον διαφεύγουσες θερμικές απώλειες. Τέλος για την θέρμανση, ως αρνητική παράμετρος συνυπολογίζεται και ο ανεξέλεγκτος αερισμός και η ύπαρξη χαραμάδων και ανοιγμάτων.

Πίνακας 1.2 Μείωση ρύπων CO_2 σε kt από εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, κάθε ηλεκτρική Kwh αντιστοιχεί σε 1.09 kg CO_2 [6]

Μετρά εξοικονόμησης ενέργειας	Μείωση ρύπων CO_2 σε kt από τα κτίρια				
	Γραφεία/Καταστήματα	Ξενοδοχεία	Σχολικά κτίρια	Νοσοκομεία	Κατοικίες
Θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων	54.1	48.7	54.0	52.8	3573.6
Θερμομόνωση οροφής	10.9	12.0	9.5	10.5	549.6
Διπλά υαλοστάσια	46.9	21.1	21.6	26.6	1539.2
Συντήρηση κεντρικών θερμάνσεων	137.5	59.5	23.4	34.8	951.4
Αντικατάσταση παλαιών κεντρικών θερμάνσεων με νέες πετρελαίου	49.2	23.1	23.5	29.6	438.6
Αντικατάσταση παλαιών κεντρικών θερμάνσεων με νέες φυσικού αερίου	16.4	5.4	-	18.7	144.0
Θερμοστάτες αντιστάθμισης	26.0	5.7	9.0	7.5	156.8
Θερμοστάτες χώρων	18.4	2.6	6.3	5.3	146.9
Εξωτερική σκίαση	49.6	21.1	21.6	26.6	78.2
Ανεμιστήρες οροφής	488.5	292.9	28.3	38.8	93.0
Νυχτερινός αερισμός	53.9	-	-	-	-
Ηλιακοί συλλέκτες ZNX	15.3	133.4	1.5	45.9	2709.7
Λάμπες υψηλής ενεργειακής απόδοσης	713.1	369.0	148.2	106.2	817.3
BMS –Συστήματα διαχείρισης κτιρίων	815.1	423.5	-	59.7	-
Αεροστεγάνωση ανοιγμάτων	-	-	-	-	1712.2
Εγκατάσταση νέων κλιματιστικών	-	-	-	-	240.9

Σε ότι αφορά τον ηλεκτρισμό, όλες οι αστοχίες αφορούν κυρίως το κομμάτι του φωτισμού που αποτελεί το μόνο σημαντικό φορτίο. Αναλύοντας το πρόβλημα από την παθητική πλευρά, ο εσφαλμένος προσανατολισμός που προαναφέρθηκε μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ανομοιομορφίες και να λειτουργήσει εις βάρος της φωτοτεχνικής μελέτης. Το φως του ήλιου πρέπει να μπαίνει πάντα από την αριστερή πλευρά και να μην ανακλάται σε γυαλιστερές επιφάνειες. Επιπλέον τα ανοίγματα που ρυθμίζουν την διέλευση του φυσικού φωτός πρέπει να έχουν σχεδιαστεί σωστά για την σχετική επίτευξη ομοιομορφίας και οι τοίχοι πρέπει να είναι βαμμένοι σε ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις κοντά στο άσπρο, οι παραπάνω κανόνες σε πολλές περιπτώσεις παραβιάζονται.

Αντίστοιχα για τις εγκαταστάσεις το κυρίαρχο σφάλμα είναι η χρήση λαμπτήρων παλαιού τύπου, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως που ενώ ποιοτικά προσφέρουν καλύτερο φάσμα φωτός, έχουν ως τίμημα τεράστιες καταναλώσεις και ήδη έχουν απαγορευτεί από την Ε.Ε., σταδιακά αναμένεται οι αντικατάστασή τους και εκτιμάται ότι η εξοικονόμηση από την συγκεκριμένη δράση θα έχει αποτέλεσμα 60% στην κατανάλωση. Ακόμα και σε περιπτώσεις με αποδοτικότερους λαμπτήρες όμως, υπάρχει πρόβλημα όταν τοποθετούνται φωτιστικά με μεγάλους συντελεστές απορρόφησης που ενσωματώνουν επιπλέον απώλειες.

Ο πίνακας 1.2 δείχνει με μεγαλύτερη σαφήνεια τα παραπάνω συμπεράσματα. Η συγκεκριμένη μελέτη του εθνικού αστεροσκοπείου Αθηνών αναφέρεται στις ποσότητες μείωσης διοξειδίου του άνθρακα μέσω της επιβολής ορισμένων δράσεων σε διάφορα κτίρια. Τα ισοδύναμα ποσά ενέργειας προκύπτουν αν θεωρηθεί ότι για παραγωγή ηλεκτρισμού απαιτούνται 1.09 kg διοξειδίου του άνθρακα για μια κιλοβατώρα και ισοδύναμα 0.277 kg διοξειδίου για μια «θερμική» κιλοβατώρα.

Μόνο από την αντικατάσταση των παλαιών λαμπτήρων επιτυγχάνεται εξοικονόμηση που αντιστοιχεί σε 136 MWh στα σχολικά κτίρια. Αντίστοιχα μεγάλες είναι οι επιπτώσεις και στις υπόλοιπες κατηγορίες κτιρίων.

Τα πράγματα είναι περισσότερο πολύπλοκα για χώρους διδασκαλίας με ιδιαίτερες απαιτήσεις όπως αμφιθέατρα, αίθουσες πανεπιστημίων, εργαστήρια και γραφεία. Εδώ μπορούν να εφαρμοστούν περεταίρω μέτρα εξοικονόμησης και συστήματα που να επιτρέπουν συνεργασία μεταξύ φυσικού και τεχνητού φωτισμού, λαμπτήρες με δυνατότητα dimming καθώς και αξιοποίηση αισθητήρων για τον φωτισμό κοινοχρήστων χώρων μόνο σε περίπτωση που υπάρχει φυσική παρουσία ανθρώπων. Όλες οι παραπάνω μέθοδοι παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

Κεφάλαιο 2

Διατάξεις εξοικονόμησης ενέργειας στην τεχνολογία φωτισμού

2.1 Γενική αναφορά

Οι αυξημένες ανάγκες για ισχύ στα φορτία φωτισμού οδήγησαν στην συνεχή βελτίωση φωτιστικών και λαμπτήρων. Στο συγκεκριμένο κομμάτι της εργασίας αναφέρονται διάφορες μέθοδοι εξοικονόμησης καθώς και ο κατάλληλος εξοπλισμός, μαζί με τα ανάλογα τεχνικά χαρακτηριστικά. Όπως είναι φυσικό τα στοιχεία που ακολουθούν αφορούν χώρους διδασκαλίας όπως αίθουσες, αμφιθέατρα, γραφεία εκπαιδευτικού προσωπικού αλλά και κοινόχρηστες εγκαταστάσεις. Για καλύτερη παρουσίαση υπάρχει μια σχετική ομαδοποίηση ανά κατηγορία.

Σε αρχική φάση, ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία στην κάθε εγκατάσταση φωτισμού, είναι το είδος των λαμπτήρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Μεγέθη όπως η φωτεινή ροή κάθε λαμπτήρα ή η ποιότητα φάσματος φωτός σε συνδυασμό με άλλα χαρακτηριστικά όπως ο χρόνος ζωής και η κατανάλωση ισχύος, επηρεάζουν καθοριστικά το τελικό αποτέλεσμα. 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 μας ενδιαφέρει η κατανομή του φωτός ανάλογα με την χρήση και διάφοροι συντελεστές χρησιμοποίησης που σχετίζονται με την ποιότητα των ανακλαστών σε κάθε περίπτωση. Βέβαια στους συγκεκριμένους χώρους που αφορούν την μελέτη, τα εγκατεστημένα φωτιστικά θεωρούνται δεδομένα και δεν αλλάζουν.

Επιπρόσθετα και σε πιο προχωρημένο στάδιο για τον σωστό σχεδιασμό λαμβάνεται υπόψη και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο αναλύονται μέθοδοι συλλογής, και σωστής «διανομής» του φωτός του ήλιου. Αν συνυπολογιστεί το γεγονός ότι η χρήση των κτιρίων γίνεται πρωινές κυρίως ώρες η δεδομένη πολιτική έχει να προσφέρει ουσιαστική εξοικονόμηση. Ο όρος που χρησιμοποιείται για εγκαταστάσεις και εφαρμογές αυτής της μορφής είναι γνωστός ως βιοκλιματικός σχεδιασμός και περιλαμβάνει εκτός από την τεχνολογία φωτισμού, επιπλέον πεδία που σχετίζονται κυρίως με διαχείριση ενέργειας και ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις.

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. Θεωρητικά υπάρχει σύνδεση μεταξύ των δύο τελευταίων υποκεφαλαίων.

Ανεξάρτητα βέβαια από τις παραπάνω διατάξεις προκειμένου να επιτευχθεί εξοικονόμηση, μεγάλη σημασία έχει η σωστή συντήρηση και αντικατάσταση

αναλωσίμων υλικών όπως και ο συχνός καθαρισμός φωτιστικών σωμάτων. Ακόμη υπάρχει πλήθος φαινομενικά ανεξαρτήτων παραμέτρων που έχουν όμως μεγάλη επίδραση όπως για παράδειγμα η ανακλαστικότητα των τοίχων ή συντελεστές φθοράς του γενικού εξοπλισμού. Κλασσικό παράδειγμα αποτελούν οι λαμπτήρες που ανάλογα με τον χρόνο λειτουργίας τους εξασθενούν και μειώνεται η παραγόμενη φωτεινή ροή τους.

2.2 Λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας και βοηθητικός εξοπλισμός

Με την πάροδο των ετών παρατηρείται μεγάλη βελτίωση σε ότι αφορά την τεχνολογία των λαμπτήρων. Για τις δεδομένες εγκαταστάσεις και κυρίως για γραφεία από την δεκαετία του 1980 και έπειτα κυρίαρχες θεωρούνται οι λάμπες φθορισμού. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους προς το παρόν υπερέχουν, επιτρέποντας μεγάλη απόδοση με μικρή κατανάλωση και σχετικά καλό φάσμα φωτός. Παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των εγκαταστάσεων έχει σχεδιαστεί με βάση τους συγκεκριμένους λαμπτήρες, η τεχνολογική τους εξέλιξη έχει φτάσει στην αιχμή της και δεν υπάρχουν μεγάλες προοπτικές βελτίωσης.

Η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων που αξιοποιεί την συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιεί τις σωληνωτές λάμπες T8 και T5. Παράλληλα όμως χρησιμοποιούνται και τα περισσότερο εξελιγμένα μοντέλα των συμπαγών λαμπτήρων που είναι γνωστοί και ως CFL. Η απόδοση τους είναι μικρότερη αλλά περιέχουν εσωτερικό ενσωματωμένο ballast. Και οι δυο κατηγορίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε χώρους διδασκαλίας και γραφεία όμως γενικότερα έχουν επικρατήσει οι σωληνωτοί λαμπτήρες T5 και T8.

Στην άλλη πλευρά, υπάρχει μια κατηγορία λαμπτήρων που βρίσκεται σε στάδιο εξέλιξης και αναμένεται να υποστεί πολλές βελτιώσεις σε μακροπρόθεσμη κλίμακα. Είναι οι λαμπτήρες LED που συνεχώς κερδίζουν έδαφος και μερίδιο στο σύνολο των φωτοτεχνικών μελετών. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα των λαμπτήρων φθορισμού, όμως το κόστος τους είναι μεγαλύτερο. Η χρήση τους δεν έχει παγιωθεί αλλά αναμένεται να αυξηθεί στο προσεχές μέλλον. Ακριβώς εξαιτίας της ραγδαίας εξέλιξης τους, τα χαρακτηριστικά τους βελτιώνονται συνεχώς και σε μικρό χρονικό διάστημα τα δεδομένα αλλάζουν.

2.2.1 Λαμπτήρες φθορισμού T8 και T5

Η πρώτη και κυρίαρχη κατηγορία λαμπτήρων για εγκαταστάσεις φωτισμού χώρων διδασκαλίας και γραφείων είναι οι σωληνωτοί λαμπτήρες όπως και προαναφέρθηκε. Η κυριαρχία τους οφείλεται σε εγκαταστάσεις παλιότερων δεκαετιών όταν οι σωληνωτοί λαμπτήρες συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους πυρακτώσεως θεωρούνταν ισχυροί ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Παρά την μικρή απόδοση κυρίως λόγω του σχήματος τους, έχουν υποστεί αρκετές βελτιώσεις και δεν θεωρούνται ακόμη ξεπερασμένες. Τα νέα μοντέλα σωληνωτών λαμπτήρων έχουν προσανατολιστεί στην ενεργειακή εξοικονόμηση και έχουν βελτιωθεί αρκετά. Εξαιτίας των διαφορετικών τυποποιήσεων που υπάρχουν, κάθε μοντέλο έχει ανάγκη από ξεχωριστό φωτιστικό σώμα.

Η γενική αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού είναι γνωστή. Ο γυάλινος σωλήνας περιέχει ευγενή αέρια καθώς και μια μικρή ποσότητα υδραργύρου σε χαμηλή πίεση. Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό φορτίο 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 υπεριώδεις 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 εκλυόμενης στο περιβάλλον φωτεινής ροής και ένα μέρος της αρχικής ακτινοβολίας δεν αξιοποιείται.[7]

Οι σωληνωτοί λαμπτήρες ανάλογα με την διάμετρο τους χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες, κάποιες φαίνονται στο σχήμα 2.1:

- T8 26mm
- T5 16mm
- T2 7mm



Σχήμα 2.1 Σωληνωτοί λαμπτήρες με διαφορετική διατομή[8]

Για γραφεία και αίθουσες σε δεδομένα φωτιστικά που έχουν μήκος κοντά στο μισό μέτρο, χρησιμοποιούνται οι λαμπτήρες T5 με ισχύ τα 14W και μήκος τα 549mm και οι T8 με ονομαστική ισχύ τα 18W και μήκος 600mm.

Σε ότι αφορά τους T5 είναι κατά 50mm μικρότεροι σε μήκος από τους αντίστοιχους T8 και έχουν διαχωριστεί σε ορισμένες υποκατηγορίες στην διάρκεια της δεκαετίας του 1990. Η πρώτη κατηγορία είναι οι 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. Η μέγιστη φωτεινή ροή επιτυγχάνεται στους 35⁰ C σε αντίθεση με τους T8 που λειτουργούν καλύτερα στους 25⁰ C. Ως κατασκευαστική ιδιαιτερότητα απαιτούν μόνο ηλεκτρονικό στραγγαλιστικό πηνίο. 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.

Η απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού αυξάνεται όσο αυξάνεται και η ισχύς τους όπως είναι φυσιολογικό. Γενικά για τους T5 κυμαίνεται από 70 έως 104.2 lumen/watt ενώ για τους T8 από τα 80 έως τα 100. Φυσικά για τις χαμηλές σε ισχύ εφαρμογές αναμένονται αποδόσεις που απέχουν από το θεωρητικό μέγιστο που έχει επιτευχθεί με χρήση της δεδομένης τεχνολογίας.

Αναφορικά με τον χρόνο ζωής των λαμπτήρων, υπάρχουν διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν την αντοχή τους. 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. Εκτιμάται ότι οι T5 αντέχουν περίπου 20000 ώρες λειτουργίας όπως και οι αντίστοιχοι T8.

Συχνά είναι απαραίτητη η ρύθμιση των λαμπτήρων σε λειτουργία μικρότερη της ονομαστικής. Τέτοιες περιπτώσεις αφορούν κυρίως εγκαταστάσεις με συνεργασία φυσικού και τεχνητού φωτισμού ή ειδικούς χώρους με απαίτηση ρυθμιζόμενης στάθμης φωτισμού. Αυτή η ιδιότητα γνωστή και ως dimming υποστηρίζεται στις παραπάνω κατηγορίες λαμπτήρων.

Σε σχέση με τον απαραίτητο βοηθητικό εξοπλισμό, οι λαμπτήρες φθορισμού προϋποθέτουν την ύπαρξη ανάλογων κυκλωμάτων οδήγησης όπως οι εκκινήτες (starters) και στραγγαλιστικά πηνία (ballasts) όπως προαναφέρθηκε. Ειδικότερα τα ballasts χωρίζονται σε διάφορες διαβαθμίσεις και για λόγους πληρότητας πρέπει να αναφερθούν αναλυτικά.

2.2.2 Ballasts λαμπτήρων φθορισμού

Το ισοδύναμο κύκλωμα των λαμπτήρων έχει μικρή αντίσταση και επειδή κατά την έναυση απαιτείται μεγάλη τάση για την δημιουργία αίγλης, επιβάλλεται η ύπαρξη ballast που ακαριαία περιορίζει την μεγάλη τιμή του ρεύματος προς αποφυγή καταστροφής των στοιχείων. Από άποψη συνδεσμολογίας το ballast μπαίνει σε σειρά με τον παράλληλο συνδυασμό του λαμπτήρα και του starter. Μόλις ο starter ανοίξει και έχει δοθεί ρεύμα στο κύκλωμα, εισάγει μια μεγάλη αυτεπαγωγή μειώνοντας σημαντικά την τιμή του ρεύματος σε ανεκτά επίπεδα. Η τεχνολογία κατασκευής των ballasts ή ισοδύναμα στραγγαλιστικών πηνίων δημιουργεί δυο επιμέρους υποκατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts και στην δεύτερη τα ηλεκτρονικά υψηλής συχνότητας. Τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts τείνουν να καταργηθούν εξ αιτίας της μεγάλης απαίτησης τους σε ενέργεια. Ενδεικτικά στο σύνολο έχουν χωριστεί στις παρακάτω ενεργειακές κλάσεις:

- D Μαγνητικά με μεγάλες απώλειες
- C Μαγνητικά με μέτριες απώλειες
- B2 Μαγνητικά με χαμηλές απώλειες
- B1 Μαγνητικά με πολύ χαμηλές απώλειες
- A3 Ηλεκτρονικά
- A2 Ηλεκτρονικά με χαμηλές απώλειες
- A1 Ηλεκτρονικά με δυνατότητα dimming

Οι κλάσεις D και C έχουν καταργηθεί από 21/5/2002 και 21/11/2005 αντίστοιχα. Αναλόγως οι B1 και B2 δεν χρησιμοποιούνται ευρέως και τείνουν να εγκαταλειφθούν. Συνήθως συναντιόνται σε παλιές εγκαταστάσεις και καθώς τελειώνει ο χρόνος ζωής τους, σταδιακά θα αντικαθίστανται. Αντίθετα οι κατηγορίες A που περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά ballast, έχουν ευρεία χρήση και κυριαρχούν στις μελέτες που απαιτούν χρήση λαμπτήρων φθορισμού. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν ballasts με προδιαγραφές A1, επιπρόσθετα στην χαμηλή κατανάλωση αξιοποιείται και το χαρακτηριστικό της δυνατότητας dimming. Με αυτό τον τρόπο προστίθεται μεγαλύτερη ικανότητα διαχείρισης του κυκλώματος φωτισμού, καθώς και συνεργασία με αλλά συστήματα ελέγχου. Φυσικά ballast με ένδειξη A1 εντάσσονται

στα οικονομικότερα σε κατανάλωση όπως φαίνεται και στον ενεργειακό διαχωρισμό αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται σημαντικά η τιμή τους στο εμπόριο.

Τα ηλεκτρονικά ballasts εκτός από την μεγάλη εξοικονόμηση που αγγίζει το 30% 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.

Οι συμπαγείς ηλεκτρονικοί λαμπτήρες φθορισμού διαθέτουν ενσωματωμένα στραγγαλιστικά πηνία και δεν χρειάζονται εξωτερική παρέμβαση. Αντίθετα οι σωληνωτοί δέχονται εξωτερικό ballast. Σε αυτή την περίπτωση τα τεχνικά χαρακτηριστικά εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε μοντέλου λαμπτήρα καθώς και του αντίστοιχου φωτιστικού. Ο αριθμός των λαμπτήρων ανά φωτιστικό, η τεχνολογία τους και η ισχύς του κυκλώματος είναι οι βασικότερες παράμετροι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οι λαμπτήρες T5 που απαιτούν High Frequency ballast. Γενικά το πρόβλημα συμβατότητας εμφανίζεται κυρίως στα μαγνητικά ballasts.

Η κατανάλωση όπως και σε κάθε διάταξη είναι ένα από τα βασικότερα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση και βοηθά στο να εξαχθούν σίγουρα συμπεράσματα, δεν είναι ωστόσο το μοναδικό. Είναι γνωστό ότι ο συντελεστής ισχύος, χωρίς την ύπαρξη αρμονικών συνιστωσών, ορίζεται από την σχέση:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\phi_1)}{V_1 \cdot I} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos(\phi_1)$$

Η οποία αναφέρεται σε περιοδικό σήμα σε μια γραμμική διάταξη. Η γωνία ϕ_1 συμβολίζει την διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και της θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύματος. Σε ιδανικές περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν αρμονικές συνιστώσες μεγαλύτερης τάξης ο πρώτος όρος ισούται με μονάδα και το μόνο στοιχείο που επηρεάζει τον προσδιορισμό του συντελεστή είναι το είδος του φορτίου που καθορίζεται από την γωνία. Για διατάξεις όπως τα ηλεκτρονικά ισχύος και ηλεκτρονικές συσκευές όπως τα ballasts, τα επιμέρους διακοπτικά στοιχεία έχουν την τάση να δημιουργούν ανώτερες αρμονικές. Με αυτό τον τρόπο εμφανίζονται φαινόμενα συντονισμού και υπερφόρτωσης των καλωδίων που πρακτικά υλοποιούνται με την κατανάλωση αέργου ισχύος. Παρατηρείται επομένως μια πτώση του συντελεστή ισχύος. Ο όρος I_1 / I μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικότερα με την χρήση του λεγόμενου συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης ή ισοδύναμα THD. Αναλυτικότερα η σχέση του συντελεστή ισχύος ορίζεται ως:

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \cdot \cos(\phi_1)$$

Ο όρος THD μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$THD = \frac{\sqrt{F^2 - F_1^2}}{F_1} = \frac{\sqrt{F_0^2 + \sum_{n=2}^{\infty} F_n^2}}{F_1}$$

Ποιοτικά ο αριθμητής αναφέρεται στην ενεργό τιμή του σήματος χωρίς την επίδραση της θεμελιώδους συνιστώσας ενώ αντίθετα ο παρανομαστής είναι η ενεργός τιμή της θεμελιώδους. Η F_0 προφανώς αποτελεί την dc συνιστώσα. [9]

Σε μια σωστή εγκατάσταση γίνεται προσπάθεια περιορισμού του συντελεστή THD, αυτό γίνεται σε τοπικό επίπεδο με την χρήση κυρίως φίλτρων σε περιπτώσεις ηλεκτρονικών ισχύος. Μια λύση όμως αυτής της μορφής προϋποθέτει μεγάλο κόστος και στις φωτιστικές εγκαταστάσεις αρκεί η τοποθέτηση ballast με καλό συντελεστή. Τυπικές τιμές THD αντιστοιχούν σε 10% για ηλεκτρονικά και 23% για μαγνητικά ballasts ενώ στην πρώτη περίπτωση ο γενικός συντελεστής ισχύος κυμαίνεται από 0.95 έως 0.98. Η γενικότερη κατάταξη τους γίνεται με χρήση το πρότυπο IEC 61000-3-2 αλλά και του αντίστοιχο EU 61000-3-2 και είναι στην τάξη C μαζί με τον χαρακτηρισμό lighting equipment (εξοπλισμός φωτισμού). Τα παραπάνω πρότυπα θέτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις σε ότι αφορά το θέμα των αρμονικών.



Σχήμα 2.2 Εικόνα ενός τυπικού ηλεκτρονικού ballast[10]

Ο χρόνος ζωής των ballasts βρίσκεται μεταξύ 50.000 και 100.000 ωρών. Σε κάθε περίπτωση επηρεάζει ο τρόπος χρήσης του εξοπλισμού η συχνότητα χρήσης των διακοπών και ουδέτερες μεταβλητές που αφορούν γενικότερα τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Η ταχύτητα έναυσης είναι μια ακόμη σημαντική μεταβλητή που επηρεάζει το κόστος. Σε ταχύτερες διατάξεις αγγίζει τα 0.5s αλλά τυπικοί χρόνοι είναι από 1 έως 2 δευτερόλεπτα.

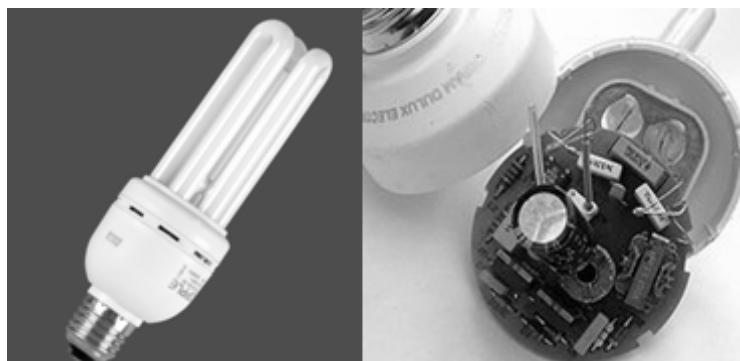
Επιρόσθετα τεχνικά χαρακτηριστικά αφορούν την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και ατρωσία, το ρεύμα διαρροής προς γη, την αντοχή σε μηχανολογικές καταπονήσεις καθώς και την ασφάλεια. Ένα τυπικό ηλεκτρονικό ballast μπορεί να φανεί στο παραπάνω σχήμα 2.2.

2.2.3 Συμπαγείς λαμπτήρες (CFL)

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού ή ισοδύναμα CFL (Compact fluorescent lamps) είναι περισσότερο διαδεδομένοι για γενική χρήση. Στο παρελθόν αντικατέστησαν μαζί τους πολύ υποδεέστερους ενεργειακά λαμπτήρες πυρακτώσεως. Ιστορικά αναπτυχθήκαν αργότερα σε σχέση με τους αντιστοίχους σωληνωτούς και τα πρώτα τους εμπορικά βήματα τοποθετούνται στην δεκαετία του 1990.

Ως προς το εξωτερικό κύκλωμα έχουν άμεση συμβατότητα και δεν χρειάζονται βοηθητικά κυκλώματα, αφού περιέχουν εσωτερικό ballast που φαίνεται στο σχήμα 2.3, αν και υπάρχει μια μικρή υποκατηγορία CFL που χρειάζεται ballast εγκατεστημένο στο φωτιστικό. Η πρώτη κατηγορία είναι γνωστή ως integrated και

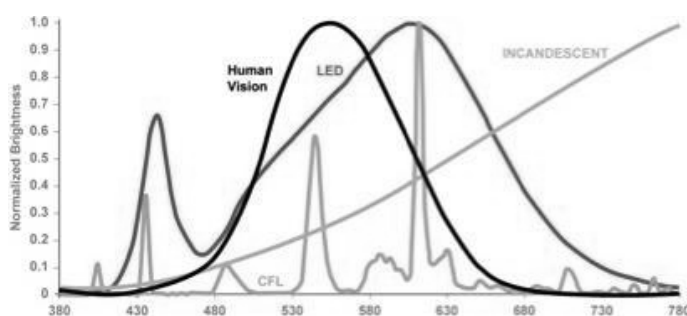
είναι η επικρατέστερη ενώ η δεύτερη ως non-integrated. Η αρχή λειτουργίας των CFL είναι παρόμοια με των αντιστοίχων σωληνωτών και αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2.2.1.



Σχήμα 2.3 Εικόνες λαμπτήρα CFL εξωτερικά και το αντίστοιχο εσωτερικό κύκλωμα με ενσωματωμένο ballast[10]

Αναφορικά με την απόδοση, χαρακτηρίζονται ως ενεργειακά φιλικό λαμπτήρες και προσφέρουν καλό φωτιστικό αποτέλεσμα σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ τροφοδοσίας. Φυσικά η απόδοση τους αυξάνει με την αύξηση της ονομαστικής ισχύος. Έτσι λαμπτήρες μεταξύ 9-15Watt έχουν απόδοση κοντά στα 65 lumen/watt. Σε μεγαλύτερες τάξεις όμως κοντά στα 40 watt υπάρχει βελτίωση και τιμές κοντά στα 80 lumen/watt. Γενικά έχουν καθιερωθεί περισσότερα λαμπτήρες κοντά στα 26 watt με τυπική φωτεινή ροή κοντά στα 1800 lumen σε εγκαταστάσεις σχετικές με χώρους διδασκαλίας όπως αίθουσες και αμφιθέατρα.

Η ποιότητα φάσματος είναι ικανοποιητική. Αν θεωρηθεί ότι οι λάμπες πυρακτώσεως φτάνουν το θεωρητικό μέγιστο του 100 στον δείκτη CRI για τους CFL οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 80 και 90. Βέβαια η ποιότητα του φάσματος εξαρτάται και από την θερμοκρασία χρώματος που έχει επιλεγεί. Το σχήμα 2.4 αποτυπώνει αναλυτικότερα την ποιότητα του παραγόμενου φωτός.



Σχήμα 2.4 Φάσματα λαμπτήρων CFL, LED, πυρακτώσεως και απόκριση ανθρώπινου οφθαλμού[11]

Όπως φαίνεται η τεχνολογία των λαμπτήρων CFL, που απεικονίζεται με την μπλε καμπύλη έχει αρκετά κενά και σχετικά φτωχό φάσμα. Τα διάφορα ακρότατα που εμφανίζονται με την μορφή αιχμών στο διάγραμμα όμως βρίσκονται σε καίριες θέσεις προκειμένου να συντίθεται τα βασικά χρώματα. Έτσι παρατηρείται μια αιχμή κοντά στο κίτρινο και τα 540nm στο σημείο όπου αποκρίνεται καλύτερα ο ανθρώπινος οφθαλμός. Αναλόγως υπάρχει μια μεγάλη αιχμή λίγο πριν το ερυθρό που περιβάλλεται από κορυφές με μικρότερες τιμές που εμπλουτίζουν σημαντικά το φάσμα. Τέλος υπάρχουν κάποια ακρότατα και στο ιώδες, κοντά στα 500nm. Από το διάγραμμα φαίνεται και ένα μεγάλο ποσοστό που βρίσκεται στην θέση του

υπεριώδους και προφανώς αντιστοιχεί σε φωτόνια που δεν έχουν διεγείρει από άτομα της πούδρας φωσφόρου που βρίσκεται στην εσωτερική επιφάνεια του λαμπτήρα. Γενικά οι στάθμες διέγερσης είναι κβαντισμένες με αποτέλεσμα να προκαλούν μια καμπύλη αυτής της μορφής. Φυσικά παρόμοιο είναι και το φάσμα για τους σωληνωτούς λαμπτήρες.

Στην πράξη το καλύτερο φάσμα επιτυγχάνεται από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως που φαίνονται με το χαρακτηρισμό incandescent στο διάγραμμα. Αυτή η συνάρτηση πλησιάζει περισσότερο το φως του ηλίου και θεωρείται ότι δίνει την καλύτερη ποιότητα, όμως το τίμημα είναι η τεράστια κατανάλωση και επομένως δεν υπάρχει νόημα σύγκρισης. Τα LED παρουσιάζουν επίσης εξαιρετικά εμπλουτισμένο φάσμα που πλησιάζει σε μεγάλο ποσοστό την απόκριση του ματιού με μια μικρή μετατόπιση προς την περιοχή του υπέρυθρου.

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.

Η πιο συνηθισμένη χρήση των CFL αφορά την αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων πυράκτωσης, επομένως κυριαρχούν σε απλές εγκαταστάσεις και κυρίως σπίτια, χωρίς αυτό να είναι δεσμευτικό. Σε περιπτώσεις γραφείων και χώρων διδασκαλίας δεν συνηθίζονται με εξαίρεση κάποιες συγκεκριμένες εγκαταστάσεις.

Ένα 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.

2.2.4 Λαμπτήρες LED

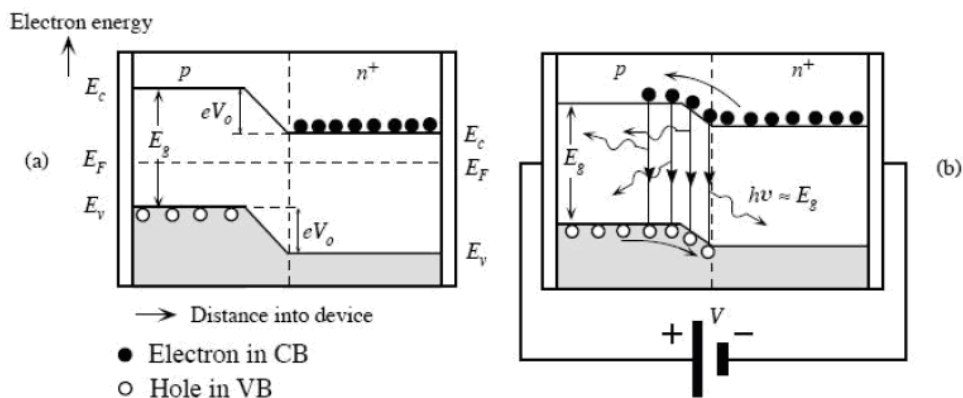
Η τεχνολογία LED χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά την δεκαετία του 1960 και σε αρχικό στάδιο δεν σχετιζόταν με τον φωτισμό. Αντίθετα οι πρώτες και βασικότερες εφαρμογές αφορούσαν κυρίως ηλεκτρονικά κυκλώματα. Όπως δηλώνει και το όνομα τους (light-emitting diodes) πρόκειται για ημιαγωγούς που μπορούν να 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 ενωμένα μεταξύ τους, το ένα είναι τύπου p και το άλλο είναι τύπου n με έντονη νόθευση n^+ . Όπως είναι γνωστό τα υλικά τύπου p έχουν περίσσια οπών ενώ τα τύπου n έχουν περίσσεια ηλεκτρονίων στην μάζα τους. Όταν τα δυο υλικά έρθουν σε μηχανική επαφή

δημιουργείται η κατάσταση που φαίνεται στο σχήμα 2.5 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 σε μια τάση σχετίζεται με την φύση των υλικών που χρησιμοποιούνται καθώς και την νόθευση που εφαρμόζεται. Το φράγμα σε κάθε περίπτωση αποτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς το υλικό p.

Όταν εφαρμοστεί ορθή πόλωση όπως φαίνεται και στο ίδιο σχήμα στην δεύτερη περίπτωση, το ύψος του φράγματος πέφτει. Πιο συγκεκριμένα για εφαρμοζόμενη τάση V θα είναι το ύψος ίσο με $e \cdot (V_0 - V)$. 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 χρησιμοποιηθέντων υλικών.[12]



Σχήμα 2.5 Δίοδος LED μικροσκοπικά, σε ηρεμία και με ορθή πόλωση [12]

Επομένως ανάλογα με το τελικό χρώμα που προσπαθεί να επιτευχθεί, γίνεται χρήση διαφορετικό ζεύγος ημιαγωγών. Στην περίπτωση που πρέπει να φωτιστεί κάποιος χώρος με λευκό φως όπως συμβαίνει συνήθως, επιλέγονται μπλε ή UV LED που έχουν επικάλυψη κίτρινου φωσφόρου. Παράλληλα για φωτισμό με προδιαγραφές στην απόχρωση όπως για παράδειγμα φωτεινούς σηματοδότες, γίνεται εύκολη προσέγγιση της ζητούμενης παραγόμενης ακτινοβολίας, χωρίς καμιά χρήση φίλτρου που θα απαιτούσαν άλλες τεχνολογίες.

Η ποιότητα του φάσματος είναι αρκετά υψηλή όπως φαίνεται άλλωστε και στο σχήμα 2.4. Η συγκεκριμένη μορφή της καμπύλης οφείλεται στην επικάλυψη φωσφόρου που προαναφέρθηκε, αυτός είναι και ο λόγος που βρίσκεται κοντά στην περιοχή του κίτρινου. Γενικά ο δείκτης ποιότητας χρώματος CRI είναι πολύ υψηλός και σχεδόν πάντα μεγαλύτερος του 80 ενώ σε κάποια μοντέλα μπορεί να φτάσει το 95

πράγμα που σημαίνει ότι τα LED πλησιάζουν πολύ κοντά στην απόδοση των λαμπτήρων πυράκτωσης που έχουν δείκτη 100.

Το δυνατότερο σημείο της δεδομένης τεχνολογίας όμως είναι η πολύ χαμηλή κατανάλωση. Η τροφοδοσία κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και η αντίστοιχη απόδοση σε lumen/watt μπορεί να ξεπεράσει τα 100. Σε εργαστηριακό επίπεδο και σε μορφή πρωτοτύπου πρόσφατα κατασκευάστηκε LED με αντίστοιχη απόδοση στα 200 όταν το θεωρητικό μέγιστο που μπορεί να επιτευχθεί έχει υπολογιστεί στα 683 lumen/Watt. Φυσικά τα παραπάνω δεδομένα δεν ισχύουν στην αγορά προς το παρόν. Επιπλέον οι αποδόσεις αλλάζουν σημαντικά από κατασκευαστή σε κατασκευαστή λόγω της ταχύτατης εξέλιξης και του υψηλού ανταγωνισμού.

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, αλλά για εμπορικούς λαμπτήρες στην πράξη παρατηρείται αρκετή μείωση που ελαττώνει τον χρόνο στις 35.000h. 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. Επομένως δεν απαιτείται ιδιαίτερη μεταχείριση και η παρουσία τους δεν επηρεάζει σημαντικά το θερμικό φορτίο κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Φυσικά το αρχικό στάδιο εξέλιξης, καθιστά το κόστος των συγκεκριμένων λαμπτήρων υψηλό και σε πολλές περιπτώσεις απαγορευτικό. Αναμένεται πτώση των τιμών με την σταδιακή βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών όμως προς το παρόν οι συνθήκες δείχνουν ότι για αρχική επένδυση, απαιτούν το μεγαλύτερο κόστος από κάθε άλλη δυνατή επιλογή. Επιπλέον οι διατάξεις LED παρουσιάζεται μεγάλη ευαισθησία στις αυξημένες θερμοκρασίες. Έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες οδηγεί σε δραματική μείωση του χρόνου ζωής ή και καταστροφή του λαμπτήρα οπότε πρέπει να εξασφαλιστούν οι σωστές συνθήκες. Παράλληλα λόγω της κατασκευής τους που έχει βασιστεί κυρίως στην ηλεκτρονική είναι στοιχεία που απαιτούν συγκεκριμένες τιμές τάσεων και ρευμάτων. Όπως φαίνεται και από την αρχή λειτουργίας, οποιαδήποτε σοβαρή αυξομείωση στην επιβαλλόμενη τάση έχει άμεση επιρροή στην διάταξη, αφού μεταβάλλεται σημαντικά η τιμή του ρεύματος που θα διέλθει και δεν υπάρχει κύκλωμα προστασίας που να εξασφαλίζει σωστή λειτουργία, εκτός από κάποιο τροφοδοτικό με περιορισμένη αξιοπιστία.

2.3 Φωτιστικά εξοικονόμησης ενέργειας σε χώρους διδασκαλίας και γραφεία.

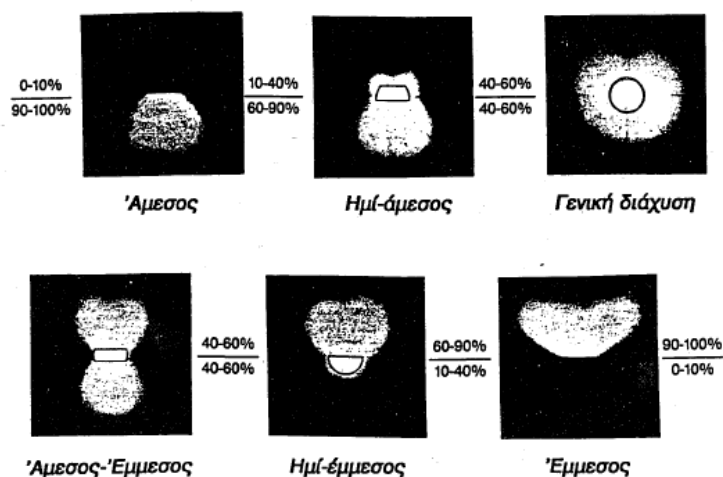
Ο κύριος σκοπός ύπαρξης ενός φωτιστικού σώματος είναι η στήριξη του εκάστοτε λαμπτήρα καθώς και η παροχή σωστής τροφοδοσίας ισχύος προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του κυκλώματος. Παράλληλα τα μηχανολογικά χαρακτηριστικά ενός φωτιστικού μπορούν να διασφαλίσουν προστασία από εξωτερικούς κινδύνους και ανεπιθύμητες παραμέτρους πρόκλησης ατυχημάτων.

Από άποψη ποιότητας φωτισμού, η ύπαρξη φωτιστικών αλλοιώνει σημαντικά τα αρχικά τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε λαμπτήρα είτε με την μείωση της διαχεόμενης φωτεινής ροής ή με την εκτροπή του φωτός προς διαφορετικές διευθύνσεις. Επομένως το τελικό αποτέλεσμα αλλάζει σημαντικά και υπάρχει μεγάλη εξάρτηση

από το είδος φωτιστικού που θα χρησιμοποιηθεί. Η ομαδοποίηση και αξιολόγηση μπορεί να γίνει με βάση διάφορα κριτήρια. Η παρακάτω ανάλυση προφανώς αφορά μόνο φωτιστικά εσωτερικού χώρου που αποτελούν και το αντικείμενο της εργασίας.

Αρχικά γίνεται διάκριση ανάλογα με τον τύπο των λαμπτήρων που μπορούν να υποστηρίξουν τα διάφορα σώματα.. Έτσι είναι προφανές ότι θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικά φωτιστικά για συμπαγείς λαμπτήρες με τα δεδομένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τους σωληνωτούς που απαιτούν τελείως διαφορετικό σχεδιασμό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι T5 και T8 είναι μεταξύ τους συμβατοί σε ορισμένα φωτιστικά, διότι ενώ διαφέρουν ως προς την διάμετρο, βρίσκονται κοντά κατασκευαστικά στο μήκος, γενικότερα όμως κάθε κατηγορία έχει διαφορετικά μοντέλα που την υποστηρίζουν. Αντίθετα οι CFL που έχουν σχεδιαστεί για αντικατάσταση των λαμπτήρων πυράκτωσης, και λειτουργούν με άλλες προδιαγραφές χρειάζονται μικρότερα σε μέγεθος φωτιστικά που παρουσιάζουν συνήθως κυκλική συμμετρία. Οι λαμπτήρες LED κατασκευάζονται σε διαφορές μορφές και σχήματα που μπορεί να θυμίζουν CFL και υποστηρίζουν την ανάλογη συμβατότητα, ή ακολουθούν τις προδιαγραφές των T5 και T8. Φυσικά περιορισμούς θέτει και ο βοηθητικός εξοπλισμός όπως τα ballasts και οι starters ή τα τροφοδοτικά των LED που πρέπει να μπορούν να στηριχτούν με ασφάλεια.

Μια δεύτερη ομαδοποίηση σχετίζεται με είδος του φωτισμού που πρέπει να επιτευχθεί. Στο σχήμα 2.6 φαίνονται οι διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάχυσης της φωτεινής ροής στον χώρο. Για χώρους διδασκαλίας και γενικά περιπτώσεις χώρων μελέτης ή δουλειάς όπως τα γραφεία 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 λοιπόν στην περίπτωση που μελετάμε η ροή πρέπει να έχει κατεύθυνση προς το δάπεδο σε ένα ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 90-100%.



Σχήμα 2.6 Τύπος φωτισμού σύμφωνα με κατανομή της φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος [7]

Επιπλέον κριτήριο διαφοροποίησης στα φωτιστικά σώματα αποτελεί ο τρόπος με τον οποίο έχουν εγκατασταθεί στον χώρο. 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 να επιτευχθεί περισσότερο διακριτική παρουσία της εγκατάστασης και γίνεται

προσπάθεια να αποφευχθεί η παραχώρηση όγκου χρησιμοποιούνται χωνευτά σώματα. Σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και φωτιστικά τοίχου για συμπληρωματική λειτουργία.

Κάθε φωτιστικό έχει έναν δείκτη απόδοσης. Ο συγκεκριμένος δείκτης εκφράζει το ποσοστό της τελικής ροής που διαχέεται σε σχέση με την αρχική ροή των λαμπτήρων που διαθέτει. 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 διάφορων 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 ανακλαστήρες 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.



Σχήμα 2.7 α)Χωνευτό φωτιστικό τεσσάρων σωληνωτών λαμπτήρων β)Χωνευτό φωτιστικό CFL γ)Φωτιστικό με προστατευτικό κάλυμμα αυξημένης μηχανολογικής αντοχής δ)Φωτιστικό με απλό ανακλαστήρα ε) Βάση φωτιστικού LED, [8, 10]

Ορισμένες τυπικές περιπτώσεις φαίνονται στις εικόνες του σχήματος 2.7. Η πρώτη κατηγορία που συναντάται κυρίως σε γραφεία και υπηρεσίες περιλαμβάνει φωτιστικά χωνευτά που μπορούν να δεχτούν πλήθος λαμπτήρων και περιλαμβάνουν ανακλαστήρες και περσίδες, για τις δεδομένες εγκαταστάσεις θεωρούνται καλά με υψηλή γενική απόδοση. Τα δευτέρω φωτιστικά είναι επίσης χωνευτά και έχουν σχεδιαστεί για CFL και ορισμένες καινούργιες LED, σε κάποια μοντέλα έχουν την δυνατότητα περιστροφής με σκοπό τον προσανατολισμό προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Λόγω κατασκευής έχουν αποδόσεις λίγο πάνω από 50%. Οι περιπτώσεις γ, δ και ε δείχνουν αντίστοιχα φωτιστικό με προστατευτικό πλαστικό περίβλημα, φωτιστικό με ανακλαστήρα καλής ποιότητας και την βάση ενός φωτιστικού LED. Οι περιπτώσεις γ, δ, ε αφορούν την ανάρτηση σε κάποιο ύψος η στο ταβάνι. Ορισμένα φωτιστικά μοιάζουν με το αντίστοιχο της δ περίπτωσης αλλά δεν έχουν ανακλαστήρες και επιτρέπουν την διοχέτευση σημαντικού ποσοστού ροής προς τα πάνω. Παρά το γεγονός ότι εντάσσονται στον ημίμεσο φωτισμό εξυπηρετούν τις

ανάγκες των συγκεκριμένων χώρων και βασίζονται στην ανοιχτή απόχρωση της οροφής για μια ικανοποιητική διάχυση της ακτινοβολίας στον χώρο.

Για ακριβέστερη μοντελοποίηση των φωτιστικών αλλά και βαθύτερη γνώση της λειτουργίας τους, εκτός από σχέδιο με το ισοδύναμο κύκλωμα απαιτούνται μια σειρά από φωτοτεχνικές μετρήσεις. Αναλυτικότερη γνώση στον τρόπο και την ένταση κατανομής του φωτός δίνεται με την χρήση των αντιστοίχων πολικών διαγραμμάτων.

Επιπρόσθετα πρέπει να διευκρινιστεί ότι ανεξάρτητα από την συμβατότητα και τα ζητήματα που αναλύθηκαν υπάρχει και περιορισμός ως προς την ισχύ. Επομένως κάθε λαμπτήρας πρέπει να πληροί κάποιες προδιαγραφές ως προς την κατανάλωση και ένα φωτιστικό όπως το δεύτερο της περίπτωσης β ενδέχεται να είναι πολύ διαφορετικό κατασκευαστικά για εφαρμογή λαμπτήρα 18 και 26Watt.

Εν τέλει η απόδοση επηρεάζεται σημαντικά από την συχνότητα συντήρησης και καθαρισμού κάθε εγκατάστασης καθώς και την σχετική ρυπαρότητα του χώρου. Γενικά οι συντελεστές των κατασκευαστών αφορούν την ιδανική λειτουργία χωρίς επιβαρυντικές παραμέτρους αυτού του είδους. Η μείωση της φωτεινής ροής μπορεί να είναι μεγάλη και το τελικό αποτέλεσμα να απέχει πολύ από τους θεωρητικούς υπολογισμούς επομένως η σωστή συντήρηση είναι απαραίτητη.

2.4 Βιοκλιματικός σχεδιασμός γενικά και στην τεχνολογία φωτισμού

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. Προϋπόθεση για την εφαρμογή μια βιοκλιματικής μελέτης είναι η αξιοποίηση καθαρών μορφών ενέργειας όπως η ηλιακή και οι ανανεώσιμες πηγές στο έπακρο προκειμένου το κτίριο ή η εγκατάσταση που θα χρησιμοποιηθεί, να έχει την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση και να είναι όσο το δυνατόν φιλικότερη προς το περιβάλλον.

Οι τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού περιλαμβάνουν ένα ευρύ πεδίο και απαιτούν την συνεργασία πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων. Ορισμένες από της συχνότερες εφαρμογές που αφορούν το γενικό πλαίσιο φαίνονται παρακάτω.

- Σωστή επιλογή του τόπου αλλά και του προσανατολισμού της κατασκευής ενός κτιρίου προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής ηλιασμός για επιπρόσθετη θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες αλλά και σχετική προστασία την περίοδο του καλοκαιριού. Ιδανικότερος θεωρείται ο νότιος προσανατολισμός.
- Επιλογή ενός εξωτερικού κελύφους με ικανή δυνατότητα μόνωσης και αεροστεγάνωσης που θα εξασφαλίζει χαμηλές θερμικές απώλειες όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και απαιτεί χαμηλή κατανάλωση για θέρμανση.
- Προστασία από τον ήλιο το καλοκαίρι με τεχνικές σκίασης και σωστή κατασκευή του κελύφους. Παράλληλα σε προσπάθεια μείωσης του θερμικού φορτίου, εξυπηρετεί ο σχεδιασμός συστημάτων παθητικού δροσισμού και η απομάκρυνση της θερμότητας τις βράδυνες ώρες με φυσικό αερισμό.
- Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού κατά όλη την διάρκεια του χρόνου άμεσα και με την χρήση παθητικών συστημάτων και διατάξεων για την εξασφάλιση φυσικού φωτισμού στα περισσότερα μέρη ενός κτιρίου.

- Έλεγχος ως προς την κατανομή και την επάρκεια του φωτισμού μέσα στους χώρους και συστήματα συνεργασίας φυσικού τεχνητού-φωτισμού. Φωτοτεχνικές μελέτες με εκμετάλλευση της παρουσίας ανθρώπων για την ενεργοποίηση φορτίων φωτισμού.
- 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.

Ιδιαίτερο μέρος στον σχεδιασμό κάθε κτιρίου αποτελούν τα διάφορα παθητικά ηλιακά συστήματα που εγκαθίστανται. Γενικότερα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, όσα αφορούν την θέρμανση, όσα αφορούν τον φυσικό δροσισμό και τέλος τα συστήματα και τεχνικές του φυσικού φωτισμού.

Στα πλαίσια της δεδομένης εργασίας κεντρίζεται το ενδιαφέρον στην τρίτη κατηγορία που αφορά την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Όπως έχει ήδη αναλυθεί στο εισαγωγικό κεφάλαιο, 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 και 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.

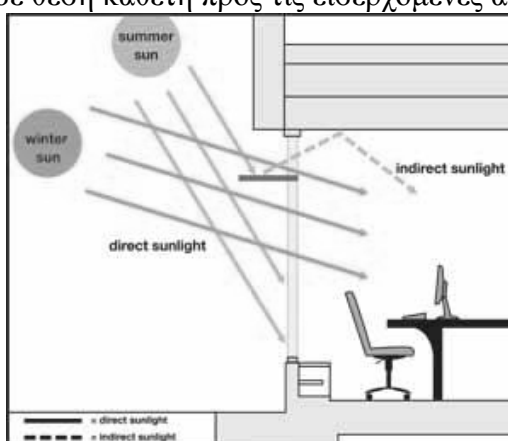
Εκτός από την οικονομική και περιβαλλοντική διάσταση του προβλήματος υπάρχει και μια δεύτερη προσέγγιση πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Έχει αποδειχτεί ότι το φως του ηλίου έχει ιδιαίτερη επίδραση στην ψυχολογία και κατ' επέκταση στην υγεία του ανθρώπου. Όπως φαινόταν και από το σχήμα 2.4 τα φάσματα των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα απέχουν σημαντικά από το αντίστοιχο φάσμα του ήλιου. Αυτό έχει ως συνέπεια την διαμόρφωση δύσκολων και κουραστικών συνθηκών εργασίας με αποτέλεσμα την σταδιακή πτώση της απόδοσης. Έχουν γίνει επανειλημμένες προσπάθειες κατασκευής φασμάτων που μιμούνται το φυσικό φως όμως τα αποτελέσματα απέχουν σε μεγάλο βαθμό ποιοτικά από το φως του ήλιου όπως είναι αναμενόμενο άλλωστε. Το φυσικό φως αντιστοιχεί σε ψηλές θερμοκρασίες χρώματος κοντά στους 6000 K ενώ οι λαμπτήρες που υπάρχουν στην αγορά έχουν ικανοποιητική απόδοση ενεργειακά και σε φάσμα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επομένως οποιαδήποτε αξιοποίηση φυσικού φωτισμού, είναι σε θέση να βοηθήσει τον μελετητή να πετύχει καλύτερο γενικό φωτιστικό αποτέλεσμα.

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. Τα υποκεφάλαια που ακολουθούν περιγράφουν τις επικρατέστερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

2.4.1 Ράφια ανάκλασης φυσικού φωτισμού (Light shelves)

Τα ράφια ανάκλασης φυσικού φωτισμού αποτελούν ένα από τα πιο κλασσικά εργαλεία βιοκλιματικού σχεδιασμού και η αρχή λειτουργίας τους είναι απλή. Βασιζόμενοι στην ανάκλαση οι χειριστές μπορούν να προσαρμόσουν την γωνία ενός γυάλινου παραθύρου με δυνατότητα ανάκλισης προκειμένου να ελεγχθεί η εισερχόμενη φωτεινή ροή.

Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η γωνία πρόσπτωσης του φωτός είναι μικρή όπως δείχνει και το σχήμα 2.8. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται προσπάθεια περιορισμού της εισερχόμενης ροής στο δάπεδο για να αποφευχθεί η θάμβωση. Ταυτόχρονα με την αξιοποίηση των ανακλώμενων δεσμών από το ράφι επιτυγχάνεται έμμεσος φωτισμός στην οροφή και διάχυση στον χώρο του δωματίου. 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. Τα ράφια ανάκλασης επιτρέπουν την αζομείωση της γωνίας κλίσης τους επομένως στην περίπτωση που πρέπει να μεγιστοποιηθεί η ροή είναι δυνατόν να ρυθμιστούν σε θέση κάθετη προς τις εισερχόμενες ακτίνες.



Σχήμα 2.8 Αρχή λειτουργίας των ραφιών φωτισμού [13]

Προφανώς για αποτελεσματική λειτουργία βασική προϋπόθεση είναι ο προσανατολισμός των παραθύρων προς τον νότο για κατασκευές που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, και σε διαφορετικούς προσανατολισμούς δεν μπορούν να αποδώσουν 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.[14]

2.4.2 Συστήματα σκίασης

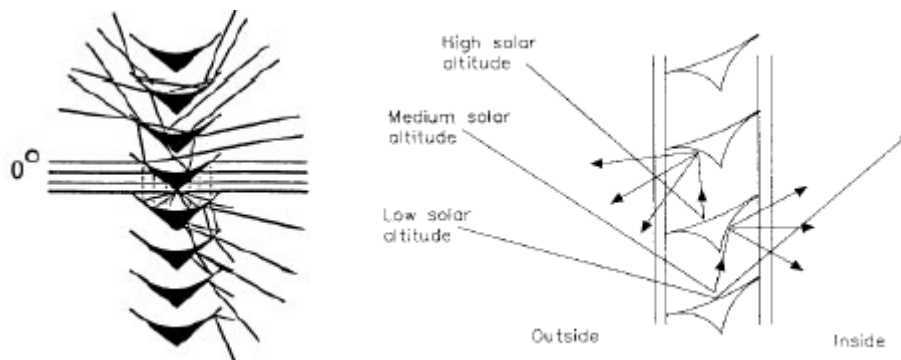
Η χρήση των περσίδων είναι γνώριμη και δεν αποτελεί πρωτοτυπία. Όταν υπάρχουν μεγάλα ανοίγματα παραθύρων που καλύπτονται από ένα απλό υαλοπίνακα, με εφαρμογή της δεδομένης λύσης, επιτυγχάνεται έλεγχος του εισερχόμενου φυσικού φωτισμού αλλά και ελάττωση των απωλειών κατά τις βραδινές ώρες. Όπως είναι γνωστό η δυσμενέστερη περίπτωση για τον τεχνητό φωτισμό είναι η ύπαρξη παραθύρου 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 προσαρμογή της κλίσης και αξιοποίηση της διάχυσης, επιτρέπεται στο φως να εισέλθει τον χειμώνα και περιορίζεται ο ήλιος εκτός δωματίου το καλοκαίρι. Όταν πραγματοποιείται πρόσπτωση φωτός από έξω με γωνία ίση με 0° θεωρητικά δεν υπάρχουν απώλειες και η δέσμη μεταδίδεται κανονικά. Στην πράξη όμως οι απόδοση των ανακλαστήρων αγγίζει το 85%. Οι μεγαλύτερες γωνίες ανακλώνται προς την οροφή σύμφωνα με το σχήμα 2.9. 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.

Γενικά η χρήση περσίδων βοηθά το σύστημα του τεχνητού φωτισμού ενώ παράλληλα τους καλοκαιρινούς μήνες ρίχνει αισθητά το θερμικό φορτίο βοηθώντας και το σύστημα δροσισμού. Ως προς την συντήρηση οι απαιτήσεις είναι σχετικά αυξημένες διότι λόγω κατασκευής παγιδεύεται σκόνη ανάμεσα στις ράγες με αποτέλεσμα να πέφτει αισθητά ο δείκτης ανακλαστικότητας. Ο συχνός καθαρισμός είναι επιβεβλημένος.[14]



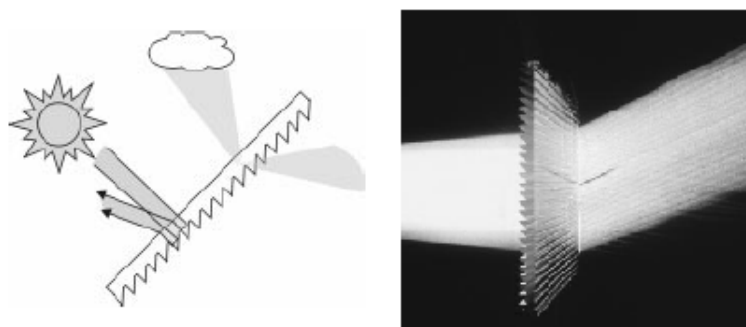
Σχήμα 2.9 Ανάκλαση σε διαφορετικές γωνίες, διάταξη με περσίδες [14]

2.4.3 Πρισματικά πάνελ

Τα πρισματικά πάνελ είναι διατάξεις σκίασης και ανακατεύθυνσης του φυσικού φωτός. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες είτε εκτρέπουν ή ανακλούν τις εισερχόμενες ακτίνες. Σκοπός τους είναι η ανακατεύθυνση του φωτός προς την οροφή κατά την διάρκεια ηλιοφάνειας και η διάχυση του κατά τις περιόδους συννεφιάς τους χειμερινούς μήνες. Αντίστοιχα το καλοκαίρι χρησιμοποιούνται για την μείωση του φυσικού φωτισμού. (σχήμα 2.10)

Κυρίως τοποθετούνται στο κέλυφος ή την οροφή ενός κτιρίου αλλά σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμόζονται εξωτερικά από την θέση των παραθύρων. Η κατασκευή τους γίνεται με την χρήση ακρλικών που έχουν χαραχθεί σε πριονωτό σχήμα σε γωνίες των 5° , 28° , 36° ή 48° . 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 προσαρμολογία.

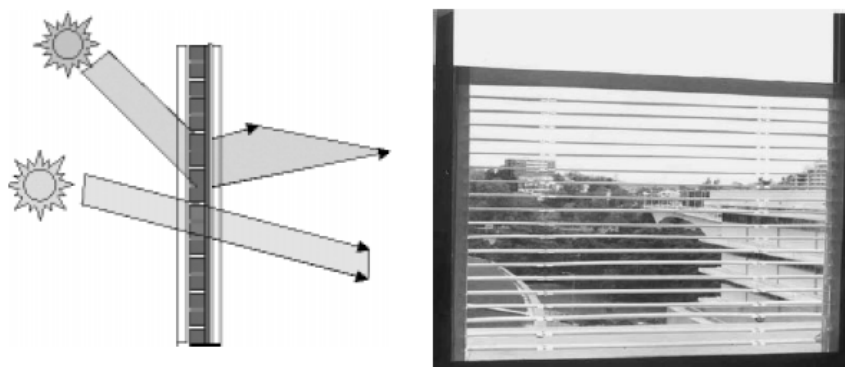


Σχήμα 2.10 Λειτουργία πάνελ [14]

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.[14]

2.4.4 Πάνελ που έχουν υποστεί κοπή με Laser

Σε αυτή την περίπτωση γίνεται η χρήση Laser προκειμένου να γίνουν τομές στα πάνελ (σχήμα 2.11) και η συνολική διάταξη αποτελείται από πολλά ορθογώνια στοιχεία τοποθετημένα παράλληλα. Κάθε επιφάνεια που δημιουργείται μέσα στο κύριο σώμα του υαλοπίνακα δρα ως καθρέφτης, όταν το φως προσπέσει με μια συγκεκριμένη κρίσιμη γωνία. Για γωνίες μεγαλύτερες των 120° παρατηρείται μεγάλο ποσοστό ανάκλασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας προς την οροφή, για μικρότερες γωνίες το τζάμι συμπεριφέρεται όπως τα συμβατικά μοντέλα. Ο μηχανισμός είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να μην εμποδίζεται σημαντικά η θέα. 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.



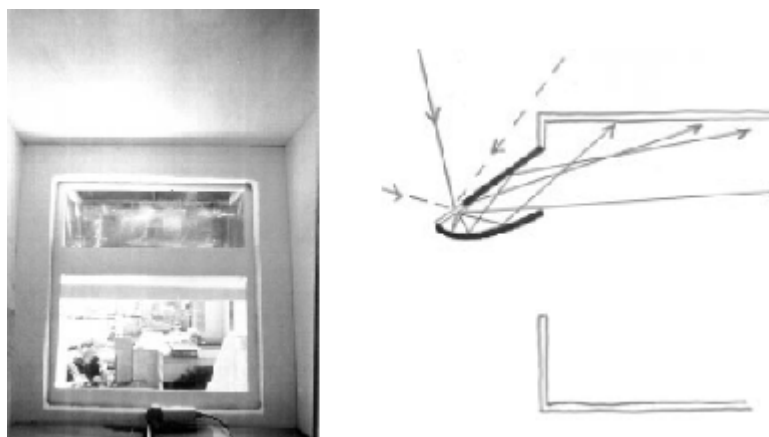
Σχήμα 2.11 Αρχή λειτουργίας και τυπικό Laser-cut Panel[14]

Η τοποθέτηση γίνεται είτε σε παράθυρα ή σε οροφές. 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. Κατά την παραγωγή τους ουσιαστικά χρησιμοποιείται ένα φύλλο από καθαρό ακρλικό (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 € m^2 , λόγω του υλικού αλλά και της υψηλών προδιαγραφών κοπής που πρέπει να υποστούν.

Ο κλασσικός 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. Ένα παράδειγμα αποτελεί η τριγωνική σκεπή που επιτρέπει την διέλευση του φωτός σε ορισμένες μόνο γωνίες πρόσπτωσης. Όταν είναι καλοκαίρι οι ακτίνες του ήλιου ανακλώνται από το πρώτο πάνελ 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.[14]

2.4.5 Σκιάστρα ανακατεύθυνσης φωτός

Το σύστημα χρήσης σκιάστρων πάντα εφαρμόζεται εξωτερικά. Κατασκευαστικά χρησιμοποιείται υαλοπίνακας που προκαλεί διάχυση και δυο ανακλαστήρες σε θέσεις που έχουν υπολογιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να κατευθύνεται το φως στην οροφή για ένα εύρος γωνιών πρόσπτωσης. Το εύρος κυμαίνεται μεταξύ οριζόντιας κλίσης και γωνίας 60° . Η τοποθέτηση των σκιάστρων γίνεται είτε στο πάνω μισό είτε στο υψηλότερο $1/3$ του παραθύρου και η διάταξη δεν λειτουργεί σωστά σε επίπεδα χαμηλότερα από την οριζόντια θέση οπότε αποφεύγεται.



Σχήμα 2.12 Σκιάστρο ανακατεύθυνσης φωτός και αρχή λειτουργίας[14]

Οι προδιαγραφές ορίζουν ανακλαστήρες με υψηλό δείκτη και σε αρκετές περιπτώσεις για καλύτερο αποτέλεσμα, επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται επιπλέον πάνελ στα πλάγια για ενίσχυση του αποτελέσματος στην οροφή του δωματίου.

Φυσικά η διάχυση μπορεί να φτάσει σε αρκετή απόσταση από το παράθυρο και η ομοιομορφία που επιτυγχάνεται είναι ικανοποιητική. Η θέση των σκιάστρων είναι δεδομένη και δεν μπορεί να αλλάξει επομένως ο μόνος έλεγχος πραγματοποιείται με την σωστή εφαρμογή της οπτικής κατά την αρχική εγκατάσταση. Σε σχέση με τα συμβατικά σκιάστρα η απόδοση είναι ασύγκριτη, όμως το κόστος ανεβαίνει σημαντικά. Συνήθως χρήση σκιάστρων αυτής της μορφής γίνεται σε κλίματα στην υποτροπική ζώνη.

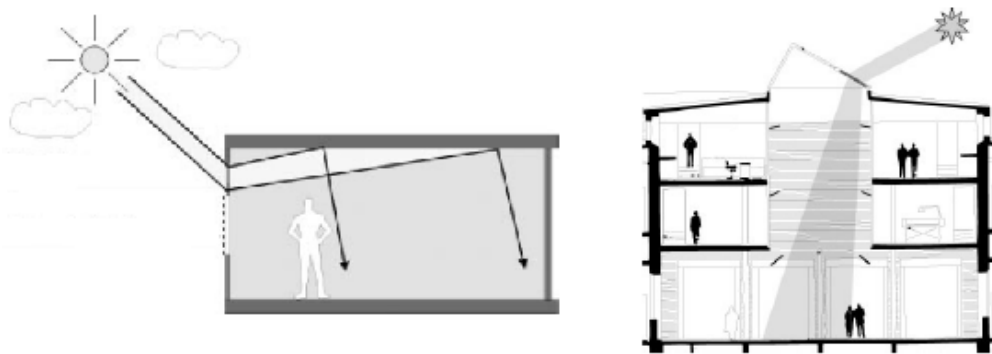
Εκτός από το υψηλό κόστος, απαιτείται συχνός εξωτερικός καθαρισμός των επιφανειών που προκαλούν την ανάκλαση ενώ κάποιες φορές εμφανίζονται προβλήματα συγκέντρωσης βρόχινου νερού στην εξωτερική πλευρά της κατασκευής τους. Για την αντιμετώπιση του δεδομένου προβλήματος συνήθως ανοίγεται μια οπή στο χαμηλότερο σημείο της διάταξης.[14]

2.4.6 Υαλοπίνακες ανακατεύθυνσης φωτός

Σε αυτή την περίπτωση δεν γίνεται χρήση ανακλαστήρων, αλλά οι ακτίνες εκτρέπονται και κατευθύνονται προς την οροφή από το ίδιο το τζάμι. Εν αντιθέσει με τα πρισματικά πάνελ ή τα τζάμια που έχουν υποστεί τομή με laser ο μηχανισμός λειτουργίας βρίσκεται στο μέσο του υαλοπίνακα. Πρόκειται για ακριλικό κατασκευασμένο σε κοίλη μορφή που ανακλά τις προσπίπτουσες ακτίνες προς την οροφή, ενώ παράλληλα περιβάλλεται από διπλά τζάμια για λόγους θωράκισης. Συνήθως οι υαλοπίνακες ανακατεύθυνσης αξιοποιούνται σε συνεργασία με προσεκτικά σχεδιασμένη οροφή που επιτρέπει την ανάκλαση ώστε να διευκολύνεται την περαιτέρω διάχυση του φυσικού φωτισμού στον χώρο.

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°. Το ακριλικό αλλάζει σύσταση και κατασκευή ανάλογα με το ζητούμενο γεωγραφικό πλάτος και γενικά η διάταξη ενδείκνυται για πλάτη μεταξύ 10° και 65°. Ο προσανατολισμός με την μεγαλύτερη απόδοση είναι ο Νότος όμως το σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά και για ανατολικές και δυτικές διευθύνσεις κατά το πρωί ή το απόγευμα αντίστοιχα. Οι διατάξεις εκτρέπουν εξίσου και το διάχυτο φως, αλλά η στάθμη φωτισμού είναι αισθητά χαμηλότερη. Υπό αυτές τις συνθήκες στις 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 αποκλισμένοι από το φως του ήλιου όπως φαίνεται στο δεύτερο σχήμα.

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. Επιπρόσθετα προϋπόθεση για την αποτελεσματική λειτουργία είναι ο συχνός καθαρισμός.[14]

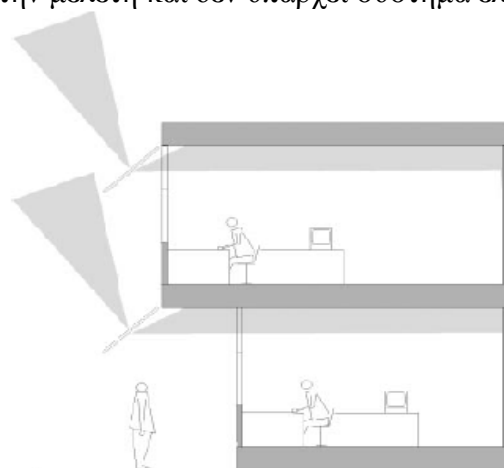


Σχήμα 2.13 Τρόπος λειτουργίας υαλοπίνακα ανακατεύθυνσης και παράδειγμα εφαρμογής στην οροφή[14]

2.4.7 Ολογραφικά στοιχεία και οροφές ολογραφικών στοιχείων

Η χρήση ολογραφικών στοιχείων είναι απαραίτητη για την κατασκευή των δεδομένων διατάξεων. Τα ολογραφικά στοιχεία είναι λεπτά φιλμ φτιαγμένα από πολυμερές υλικό, ικανά να προκαλούν διάθλαση και είναι τοποθετημένα σε διαδοχικές στρώσεις στο εσωτερικό του υαλοπίνακα.

Εφαρμόζονται για αξιοποίηση του διάχυτου φωτός και όχι για την άμεση ακτινοβολία εξαιτίας της υψηλής διαθλαστικότητας τους. Η τοποθέτηση γίνεται σε γωνία 45° 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 2.14). Η θέση ορίζεται κατά την τοποθέτηση ανάλογα με την μελέτη και δεν υπάρχει σύστημα ελέγχου.[14]



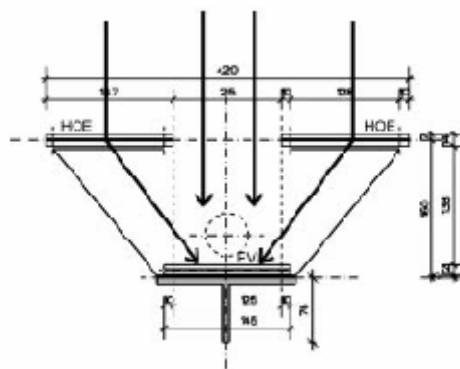
Σχήμα 2.14 HOE Glass System, αποτελεσματικότητα ανεξάρτητα από την απόσταση [14]

Το επίπεδο φωτεινότητας στην κατακόρυφη θέση για μια συννεφιασμένη 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 συννεφιά 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.

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 ήλιου 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 2.15)



Σχήμα 2.15 Σύστημα HOE σε οροφή[14]

2.4.8 Κοιλότητες καθοδήγησης φυσικού φωτός

Τα παραπάνω αφορούσαν δωμάτια και χώρους σε κοντινή απόσταση από την περιοχή που δέχεται τον φυσικό φωτισμό. Όταν οι συνθήκες δεν το επιτρέπουν και είτε λόγω απόστασης ή λόγω φυσικών εμποδίων δεν εξυπηρετεί η χρήση των παραπάνω διατάξεων, εφαρμόζεται η χρήση κοιλοτήτων καθοδήγησης του φυσικού φωτός. Τα συγκεκριμένα στοιχεία, έχουν το ρόλο ενός φωταγωγού με την διαφορά ότι κατασκευάζονται στην ψευδοροφή και υλοποιούνται με την βοήθεια ανακλαστήρων. 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. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μηχανισμός λειτουργεί για έμμεσο φυσικό φωτισμό και τις ηλιόλουστες ημέρες και προκειμένου να αποφευχθεί η θάμβωση φράσσεται η είσοδος του περάσματος με αδιαφανές υλικό. Συνήθως οι κοιλοότητες

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.[14]

2.5 Συστήματα συνεργασίας και ελέγχου

Τα παραπάνω στοιχεία και διατάξεις εξασφαλίζουν χαμηλή κατανάλωση, μέγιστες αποδόσεις, εκμετάλλευση του φωτός κατά την διάρκεια της ημέρας και αξιοποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας στο έπακρο για συμβατικές εφαρμογές. Η ύπαρξη και μόνο των συγκεκριμένων διατάξεων, όμως δεν βοηθά ουσιαστικά αν δεν υπάρχει και ένα σωστό σύστημα συντονισμού και ελέγχου που να επιτρέπει την αποτελεσματική συνεργασία τους.

Η έννοια του ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί για διαφορετικά κριτήρια και να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με την χρήση του εκάστοτε χώρου. Γενικά υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου που φαίνονται παρακάτω.

- a) Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού (Daylighting): Πρόκειται για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και την προσαρμογή του τεχνητού φωτισμού στις υπάρχουσες συνθήκες, κυρίως με την χρήση της δυνατότητας dimming. Η εφαρμογή της δεδομένης στρατηγικής έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των καταναλισκόμενων φορτίων ανάλογα με τα επίπεδα του φυσικού φωτός που εισέρχεται στον χώρο. Φυσικά αύξηση από την απόσταση των ανοιγμάτων οδηγεί σε ισχυρότερη εξάρτηση από τον τεχνητό φωτισμό και απαραίτητη 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.
- b) Προβλεπόμενος Προγραμματισμός: Η δεδομένη στρατηγική εφαρμόζεται αποτελεσματικά στην περίπτωση κτιρίων που γίνονται επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες κατά την διάρκεια της ημέρας. Συνήθως οι συγκεκριμένες περιπτώσεις αφορούν 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.
- c) 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

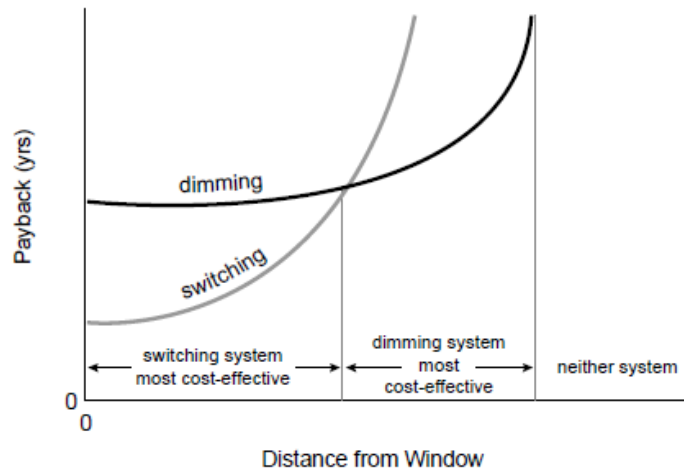
συχνότητας επισκεψιμότητάς τους. Η υλοποίηση βασίζεται στην τεχνολογία των αισθητήρων παρουσίας κίνησης και είναι δυνατόν να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως και 60% σε κάποιες περιπτώσεις. Σημαντικό είναι όμως να λαμβάνεται υπόψη ότι η έναρξη ή διακοπή λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων μπορεί να ενοχλεί τους χρήστες παρακειμένων εγκαταστάσεων.

- d) Εξισορρόπηση λαμπρότητας: Σε αυτή την περίπτωση ελέγχου 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.
- e) 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.
- f) 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.[18]

Ανάλογα με την στρατηγική που θα ακολουθηθεί εφαρμόζεται σύστημα με διακόπτες switching ή σύστημα dimming. Συνήθως με εξαίρεση την β στρατηγική εφαρμόζεται ο έλεγχος με dimmers. Το μεγάλο πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι το γεγονός ότι λαμπτήρες αλλά και ballasts με δυνατότητα λειτουργίας σε χαμηλότερες από την ονομαστική στάθμες, είναι ιδιαίτερα ακριβά και εκτοξεύουν το κόστος σε δυσπρόσιτα επίπεδα. [15]

Η σύγκριση μεταξύ switching και dimming ως προς την απόσβεση φαίνεται στο σχήμα 2.16. Ο άξονας των τετμημένων εκφράζει την απόσταση από ένα σημείο που φωτίζεται από τον ήλιο όπως ένα παράθυρο ενώ ο άξονας των τεταμένων 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. Επομένως το σύστημα switching αναμένεται 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.

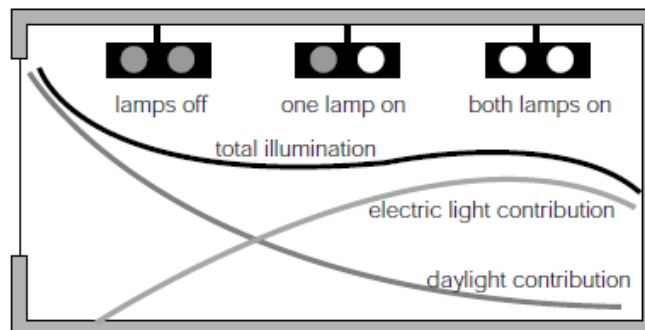
Η μέθοδος με dimmers είναι ικανοποιητική και δεν παρατηρούνται μεγάλες αυξομειώσεις στην στάθμη φωτισμού. Επιπλέον η κατανάλωση περιορίζεται σε μέγιστο βαθμό και το σύστημα είναι περισσότερο ευαίσθητο και ακριβές.



Dimming/Switching payback chart

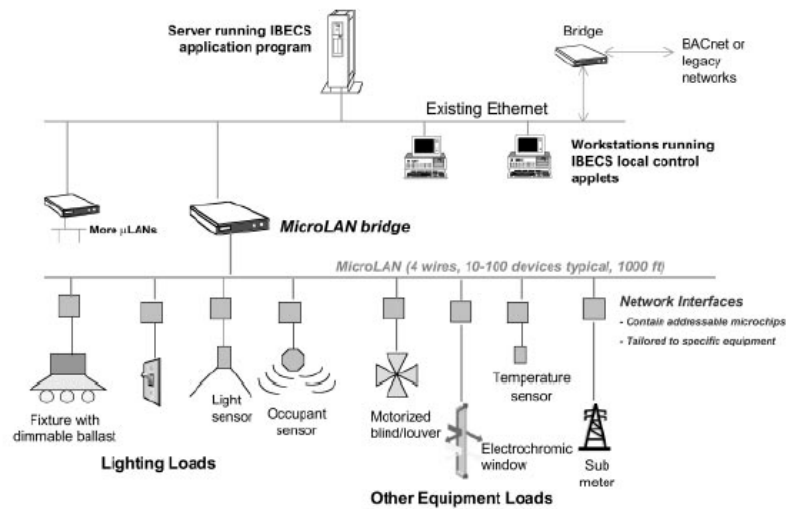
Σχήμα 2.16 Ποιοτικό διάγραμμα απόσβεσης συναρτήσει της απόστασης από σημεία εισόδου φυσικού φωτισμού για dimming και switching[15]

Αποδοτικότερος τρόπος για σωστή ομαδοποίηση, γίνεται αν χωριστούν τα εκάστοτε δωμάτια σε ζώνες. Συνήθως οι ζώνες ομαδοποιούνται σε περιοχές με παρόμοια στάθμη φυσικού φωτισμού μέσα στην εγκατάσταση (σχήμα 2.17). Ακόμη κάθε στοιχείο ελέγχου όπως για παράδειγμα ένα κινούμενο σκιάστρο ή ένα παράθυρο με ανακλαστήρες που αλλάζει 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



Σχήμα 2.17 Έλεγχος με ζώνες[15]

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 υπερύθρων. 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. 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.[16]



Σχήμα 2.18 Έλεγχος αισθητήρων, ανοιγμάτων και διακοπών με χρήση MicroLAN [14]

Οι τρόποι με τον οποίους γίνεται διαχείριση των στοιχείων χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη εντάσσονται τα άμεσα συστήματα που ελέγχουν το κύκλωμα χωρίς την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τυπικό παράδειγμα αποτελούν οι αισθητήρες παρουσίας που ανάλογα με τα σήματα που παίρνουν δίνουν θέση on/off σε έναν διακόπτη. Για περιπλοκότερες εφαρμογές όμως απαιτείται η σύνδεση όλων των επιμέρους αισθητήρων σε ένα ξεχωριστό τοπικό δίκτυο, που καταλήγει σε κάποιον υπολογιστή. Η δεύτερη λοιπόν κατηγορία αφορά τα προγραμματιζόμενα συστήματα. Ανάλογα με τον εξοπλισμό ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται αλλάζει σημαντικά όπως είναι αναμενόμενο. Οι ρυθμίσεις dimming, το άνοιγμα ή κλείσιμο σκιάστρων, η αναπροσαρμογή διατάξεων σε διαφορετικές γωνίες και η ρύθμιση των ballasts ανάλογα με την κατανάλωση, είναι μερικές από τις εξεζητημένες λειτουργίες που επιτυγχάνονται. Συνήθως το δίκτυο ελέγχου στήνεται πάνω σε μια γέφυρα MicroLAN, στον server του κτιρίου όπως φαίνεται στο σχήμα 2.18. Η λειτουργία του γίνεται ενώ τα υπόλοιπα, δίκτυα όπως για παράδειγμα αυτά των υπολογιστών, χρησιμοποιούν διαφορετικές αναχωρήσεις.[14-17]

Μια περαιτέρω ομαδοποίηση των συστημάτων ελέγχου διαχωρίζει το dimming από την βηματική προσαρμογή. Όταν οι αλλαγές γίνονται βηματικά επιτυγχάνεται ένα προσεγγιστικό αποτέλεσμα όμως εξασφαλίζεται η απλοποίηση του αλγορίθμου και του εξοπλισμού.

2.5.1 Αισθητήρες παρουσίας

Οι αισθητήρες παρουσίας έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούν τις αυξομειώσεις υπέρυθρης ακτινοβολίας σε κάποιο χώρο για ανίχνευση κίνησης. Όπως είναι γνωστό κάθε σώμα με μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτή του απόλυτου μηδενός εκπέμπει IR ακτινοβολία. Ο αισθητήρας δέχεται μέρος αυτής της ακτινοβολίας και στην διάρκεια του χρόνου πραγματοποιεί συγκρίσεις με την αμέσως προηγούμενη κατάσταση. Αν παρατηρηθούν αλλαγές προφανώς υπάρχει κίνηση στον

χώρο. Συνήθως τα σήματα συγκρίνονται σε ένα ακολουθιακό κύκλωμα με την χρήση διαφορικού τελεστικού ενισχυτή.

Η κατασκευή γίνεται με χρήση πυροηλεκτρικών υλικών και οι χρόνοι απόκρισης είναι της τάξης των λίγων δευτερολέπτων. Ο χώρος επόπτευσης συνήθως χωρίζεται σε μικρές στενές λωρίδες γνωστές και ως κουρτίνες. Λόγω κατασκευαστικών ιδιαιτεροτήτων οι αισθητήρες δεν μπορούν ανιχνεύσουν αργές κινήσεις στον χώρο ή κινήσεις μεταξύ των κουρτινών. Επίσης ανάλογα με την ποιότητα τους έχουν μια εμβέλεια που βρίσκεται μεταξύ 5-20 μέτρων. Αν είναι στερεωμένοι σε τοίχο καλύπτουν γωνίες κοντά στις 90° ενώ αναρτημένοι στην οροφή παρακολουθούν την περιοχή στις 360°. Η παρουσία τους θεωρείται διακριτική αφού δεν έχουν μεγάλο μέγεθος και τοποθετούνται σε σημεία που δεν ενοχλούν το προσωπικό.

Χρήση αισθητήρων PIR αφορά κυρίως εφαρμογές συστημάτων ασφαλείας και γενικότερα αισθητήρες παρουσίας προσωπικού. Στον τομέα της τεχνολογίας φωτισμού προφανώς χρησιμοποιούνται στην περίπτωση του tuning. Το κόστος των συγκεκριμένων αισθητήρων αλλάζει σημαντικά ανάλογα με την ποιότητα τους. Για απλές εφαρμογές πάντως ξεκινά από χαμηλές τιμές κοντά στα 10 €

2.5.2 Αισθητήρες φωτός

Οι αισθητήρες φωτός (LDR) αποτελούν ένα ευρύτερο σύνολο αισθητήρων με πολλαπλές εφαρμογές. Για την περίπτωση ελέγχου του φωτισμού έχουν επικρατήσει οι photoresistors. Κυκλωματικά πρόκειται για αντιστάσεις που έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν την τιμή τους ανάλογα με την ποσότητα φωτεινής ροής που δέχονται στην επιφάνεια τους.

Η κατασκευή τους γίνεται με την χρήση ημιαγωγών υψηλής αντίστασης. Όταν φως κάποιας συχνότητας κοντά στο ενεργειακό διάκενο του υλικού, πέσει πάνω στον ημιαγωγό, προκαλείται διέγερση και μετάβαση των ηλεκτρονίων στην ζώνη αγωγιμότητας. Η δημιουργία όμως ελευθέρων ηλεκτρονίων και οπών έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή στην πυκνότητα φορέων πλειονότητας στο υλικό του ημιαγωγού που συνεπάγεται αλλαγή αγωγιμότητας.

Κατασκευαστικά οι δεδομένοι αισθητήρες έχουν μέγεθος στοιχείου ηλεκτρονικής και δεν μπορούν να αξιοποιηθούν χωρίς το ανάλογο κύκλωμα τροφοδοσίας και καθοδήγησης. Στο εμπόριο προφανώς πωλούνται μαζί με την πλακέτα ελέγχου ή ως ανεξάρτητα στοιχεία (photocells) και το κόστος τους μεταβάλλεται ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή των χώρων που περιλαμβάνονται στην μελέτη

3.1 Γενική περιγραφή των χώρων

Αντικείμενο του τρίτου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των χώρων που θα μελετηθούν και η περιγραφή της υπάρχουσας κατάστασης των εγκαταστάσεων φωτισμού. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν, ένα αμφιθέατρο, μια αίθουσα μαθημάτων, έναν κοινόχρηστο χώρο που στην προκειμένη περίπτωση είναι ένας διάδρομος και τέλος ένα γραφείο εκπαιδευτικού προσωπικού.

Όλοι οι χώροι στεγάζονται στα νέα κτίρια ηλεκτρολόγων που βρίσκονται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Η θέση των κτιρίων σε σχέση με το υπόλοιπο συγκρότημα του ΕΜΠ είναι προς την βόρεια πλευρά. Από την εικόνα 3.1 του δορυφόρου έχουν σημειωθεί με το άσπρο βέλος. Οι συντεταγμένες του κτιρίου είναι 37.97° σε γεωγραφικό πλάτος και 23.78° σε γεωγραφικό μήκος.



Εικόνα 3.1 Εικόνα της πολυτεχνειούπολης από δορυφόρο [19]

Η κατασκευή των νέων κτιρίων έγινε σε δυο διαφορετικές φάσεις. Η πρώτη παραδόθηκε το 2005 και περιλάμβανε τα αμφιθέατρα 1 έως 3 και ένα συγκρότημα αιθουσών, γραφείων και εργαστηρίων (νότια πλευρά). Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε επέκταση με προσθήκη της β φάσης (βόρεια πλευρά). Στην καινούργια φάση προστεθήκαν δυο επιπλέον αμφιθέατρα ενώ αυξήθηκε ο αριθμός αιθουσών και γραφείων προκειμένου να αρχίσει σταδιακή μετεστεγάση μέρους των εγκαταστάσεων και του προσωπικού της σχολής από τα παλιά κτίρια στα νέα. Η δεύτερη φάση παραδόθηκε το 2008 και οι χώροι που παρουσιάζονται στην δεδομένη εργασία εντάσσονται σε αυτή.

3.1.1 Αμφιθέατρο 4

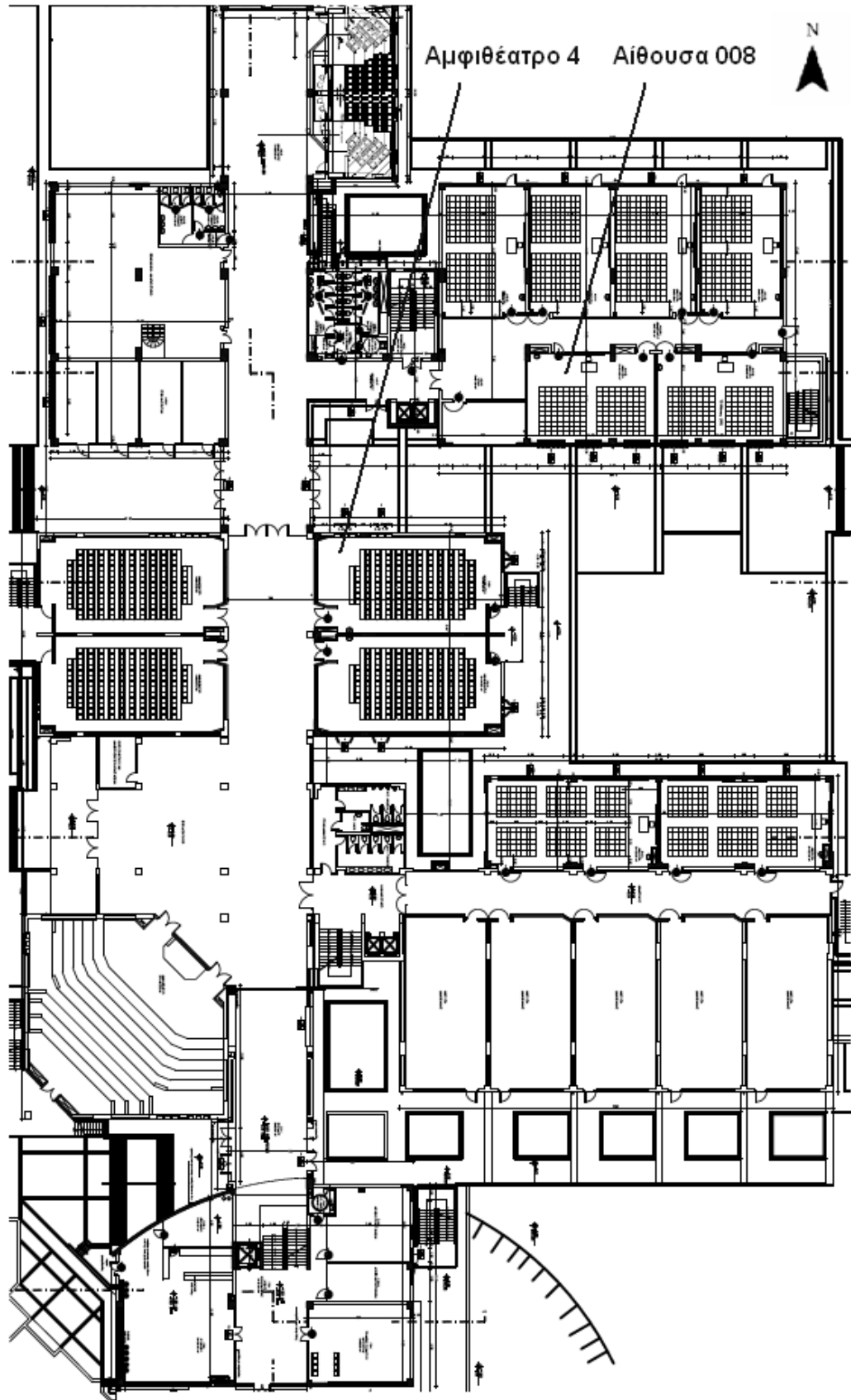
Ο πρώτος χώρος που εντάσσεται στην μελέτη, είναι το αμφιθέατρο 4 της σχολής ηλεκτρολόγων. Η θέση του βρίσκεται κεντρικά και ελαφρώς βόρεια στην κάτοψη των κτιρίων και καλύπτει $140 m^2$. Η κυρία είσοδος του αμφιθεάτρου βρίσκεται προς την δυτική πλευρά όπου υπάρχει ένας μεγάλος κοινόχρηστος διάδρομος και αποτελεί το κεντρικό τμήμα της σχολής. Οι πλευρές προς Βορρά και Ανατολή είναι σύνορο του κτιρίου ενώ η νότια πλευρά έχει τοίχο που χωρίζει μεταξύ τους τα αμφιθέατρα 4 και 5. Η βόρεια διεύθυνση περιλαμβάνει έξι μακρόστενα ψηλά παράθυρα τα οποία είναι ανά τρία τοποθετημένα στον χώρο ενώ άλλα τρία παράθυρα βρίσκονται στο ανατολικό μέρος όπου υπάρχει και η δεύτερη βοηθητική είσοδος.

Η συνολική χωρητικότητα φτάνει τα 147 άτομα σε ότι αφορά τις εγκαταστημένες θέσεις και ο χώρος αποτελείται από 11 σειρές καθισμάτων διαφορετικού ύψους η κάθε μια. Κάθε σειρά είναι κατά 24cm υψηλότερη από ότι η προηγούμενη και έχει πλάτος 1m. Το ύψος παραμένει μεταβλητό εξαιτίας της ιδιομορφίας της ψευδοροφής η οποία σε ένα μεγάλο τμήμα είναι επίπεδη αλλά προς την ανατολική εσωτερική πλευρά, παίρνει το σχήμα που φαίνεται στην εικόνα 3.2(α). Έτσι η μέγιστη τιμή του είναι στα 5,2m στο μπροστινό μέρος και σταδιακά μειώνεται προς το πίσω μέρος.



Εικόνα 3.2 α)ανατολική και β)δυτική εσωτερική όψη αμφιθεάτρου

Όπως φαίνεται και από τις εικόνες 3.2 α και β ,τα καθίσματα είναι χωρισμένα σε σειρές των 12 θέσεων και κάθε σειρά βρίσκεται σε διαφορετικό ύψος από τις υπόλοιπες με εξαίρεση τα αρχικά και τελικά καθίσματα. Τα βόρεια παράθυρα δεν μπορούν να αξιοποιηθούν επαρκώς τόσο λόγω προσανατολισμού όσο και εξαιτίας της σκίασης που προέρχεται από το ίδιο το κτίριο. Η θέση του αμφιθεάτρου στον χώρο μπορεί να φανεί και από το σχήμα 3.1.



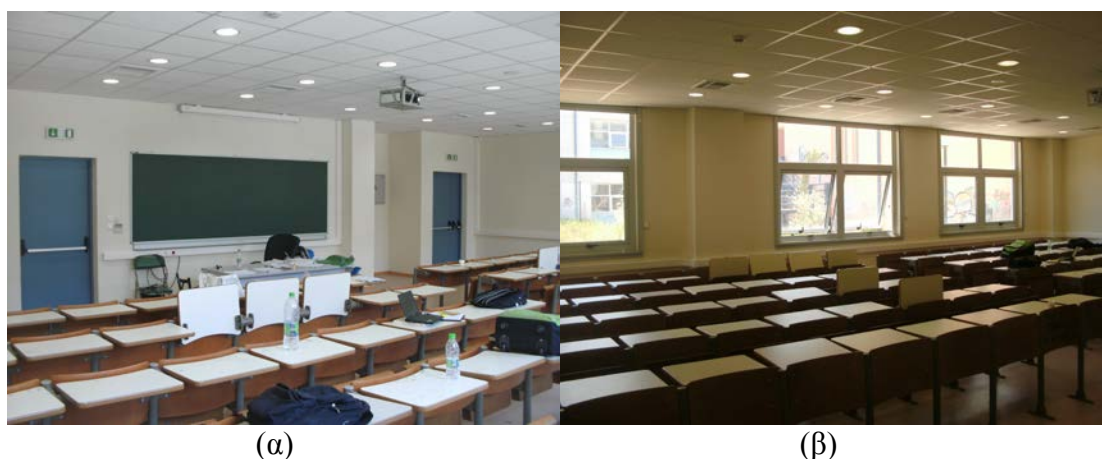
Σχήμα 3.1 Κάτοψη ισογείου νέων κτιρίων Ηλεκτρολόγων, Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου [20]

3.1.2 Αίθουσα 008

Η αίθουσα που θα εξεταστεί βρίσκεται στο βορειοανατολικό μέρος του κτιρίου. Κατασκευαστικά σχεδιάστηκε με τις αντίστοιχες προδιαγραφές που χρησιμοποιήθηκαν στο αμφιθέατρο όμως στην πράξη έχει περισσότερο βοηθητικό σκοπό ύπαρξης αφού δεν γίνονται μαθήματα με την ίδια συχνότητα αλλά άτυπα λειτουργεί ως χώρος μελέτης.

Καταλαμβάνει περίπου $95 m^2$ και η μεγαλύτερη έκταση όπως δείχνει και η κάτοψη καλύπτεται από καθίσματα πακτωμένα σε σειρές όπως και στο αμφιθέατρο. Η χωρητικότητα ατόμων είναι ικανοποιητική (80 θέσεις) και η διάταξη των καθισμάτων τα χωρίζει σε δυο ξεχωριστές στήλες, κάθε μια από τις οποίες περιέχει πέντε σειρές με οκτώ καθίσματα

Όλες οι πλευρές περιέχουν εσωτερικούς τοίχους με εξαίρεση την νότια διεύθυνση στην οποία υπάρχει εξωτερικός τοίχος και τρία διπλά παράθυρα με εμβαδόν κοντά στα $4.5 m^2$ το καθένα. Η αίθουσα λόγω του προσανατολισμού της και λόγω της μεγάλης επιφάνειας των υαλοπινάκων έχει μεγάλο δυναμικό αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού. Ανατολικά δεν υπάρχουν κτίσματα που να εμποδίζουν την διέλευση του φωτός και δεν υφίσταται σκίαση της αίθουσας. Ο τοίχος προς τον βορρά έχει δυο πόρτες σε διαφορετικά σημεία και δυο μικρές εσοχές (εικόνες 3.3 α και β).



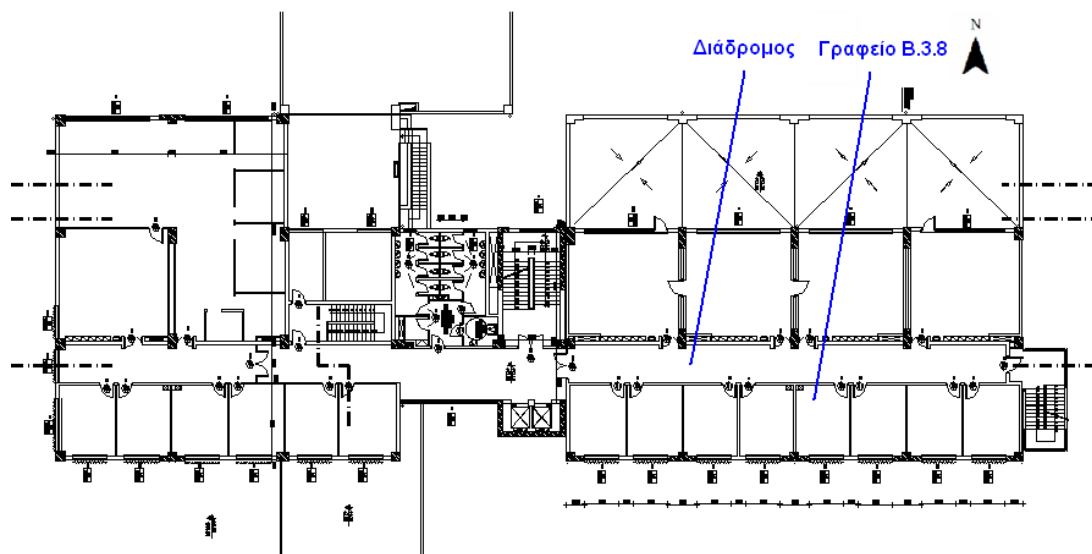
Εικόνα 3.3 α) βόρεια και β) νότια όψη του εσωτερικού της αίθουσας 008

Το ύψος της αίθουσας είναι 2,9m και όπως στις άλλες περιπτώσεις έχει γίνει χρήση ψευδοροφής για την εύκολη εγκατάσταση των χωνευτών φωτιστικών. Η ίδια τακτική έχει εφαρμοστεί σε όλους τους χώρους υπό μελέτη και συνηθίζεται σε περιπτώσεις γραφείων και υπηρεσιών.

3.1.3 Γραφείο επισκεπτών καθηγητών Β.3.8

Το γραφείο Β.3.8 βρίσκεται στον τρίτο όροφο στην βόρεια πλευρά των νέων κτιρίων σε ένα τμήμα της σχολής που περιλαμβάνει κάποια καινούργια γραφεία καθηγητών και εργαστήρια (σχήμα 3.2). Συνολικά το δωμάτιο καταλαμβάνει περίπου 19 m^2 καθαρά και έχει ύψος οροφής 2,9m.

Η πόρτα εισόδου βρίσκεται στην βόρεια πλευρά και χωρίζει το δωμάτιο από έναν διάδρομο. Ανατολικά και δυτικά υπάρχουν πανομοιότυπα γραφεία ενώ ο τοίχος προς τον Νότο περιέχει ένα διπλό παράθυρο με συνολική επιφάνεια $4,5\text{ m}^2$.



Σχήμα 3.2 Κάτοψη του βόρειου τμήματος του τρίτου ορόφου νέων κτιρίων Ηλεκτρολόγων, Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου [20]

Εσωτερικά ο χώρος έχει την μορφή που φαίνεται στις δυο φωτογραφίες (εικόνες 3.4 α και β). Τα έπιπλα είναι ακόμη με τα προστατευτικά καλύμματα τους και δεν έχει καθοριστεί η ακριβής τους θέση αφού ο χώρος δεν είναι διαμορφωμένος.



(α)

(β)

Εικόνα 3.4 α)βορειοανατολική και β)νοτιοδυτική όψη του εσωτερικού του γραφείου Β.3.8

3.1.4 Διάδρομος

Η μελέτη πρέπει να συμπεριλάβει και έναν κοινόχρηστο χώρο για λόγους πληρότητας. Στην παρούσα εργασία εντάχθηκε ο διάδρομος της εικόνας 3.5

Ο συγκεκριμένος διάδρομος που εξυπηρετεί όλη την βορειοανατολική πτέρυγα σταματάει λίγο πριν το κλιμακοστάσιο και τους ανελκυστήρες στα δυτικά όπως δείχνει το σχήμα ενώ στα ανατολικά οδηγεί σε μια μεταλλική εξωτερική σκάλα. Το βόρειο τμήμα συνορεύει με τα εργαστήρια τεχνολογίας πολυμέσων (το μεγάλο εργαστήριο με τους τρεις χώρους και τις δυο εσωτερικές πόρτες) και φωτοβολταϊκών συστημάτων ενώ η νότια πλευρά συνορεύει με τα γραφεία της πτέρυγας.

Οι διαστάσεις του χώρου είναι 30,2m σε μήκος, 2,7m πλάτος(στην στενή λωρίδα) και 2,9m ύψος. Αν συμπεριληφθούν οι διαφορές εσοχές που δημιουργούνται, το συνολικό εμβαδόν κυμαίνεται κοντά στα 82 m². Συνολικά υπάρχουν δυο μεγάλες εισοδοι και δώδεκα πόρτες. Παράθυρα δεν υπάρχουν και επομένως δεν έχει νόημα η μελέτη φυσικού φωτισμού. Ο χώρος εσωτερικά φαίνεται στις εικόνες 3.5 α και β.



(β)

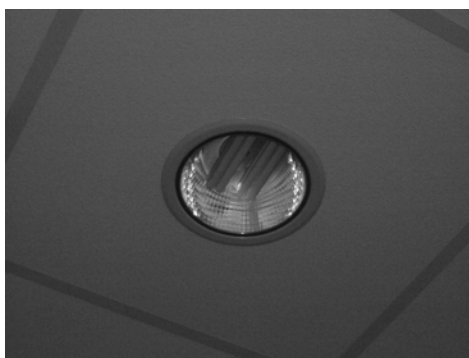
(α)

Εικόνα 3.5 α) ανατολική και β) δυτική εσωτερική όψη διαδρόμου

3.2 Περιγραφή εγκαταστάσεων φωτισμού

Το θέμα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις φωτισμού, αφού στην συνέχεια θα εκτελεστούν κάποια σενάρια με εναλλακτικές επιλογές. Σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο είδος φωτιστικού με κάποια ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά. Όπως προκύπτει και από τα στοιχεία του τεχνικού τομέα της πρυτανείας ΕΜΠ, πρόκειται για φωτιστικά σώματα ψευδοροφής τύπου downlight με δυο συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού 26W, με ανακλαστήρα από γυαλιστερό αλουμίνιο και διάφανο γυαλί προστασίας (εικόνα 3.6).

Λόγω κατασκευής τα δεδομένα φωτιστικά σώματα επιβάλλεται να διαθέτουν ανακλαστήρες υψηλής απόδοσης. Η ημισφαιρική εσοχή που διαθέτουν όμως οδηγεί σε έναν χαμηλότερο συντελεστή, καθώς ένα ποσοστό λίγο πάνω από το 50% της φωτεινής ροής πρέπει να υποστεί ανάκλαση για να κατευθυνθεί στην ζητούμενη επιφάνεια. Βέβαια η χρήση των σωμάτων έχει και κάποια εμφανή πλεονεκτήματα όπως διακριτική παρουσία, προστασία του κυκλώματος από εξωτερικές συνθήκες και εύκολο καθαρισμό.



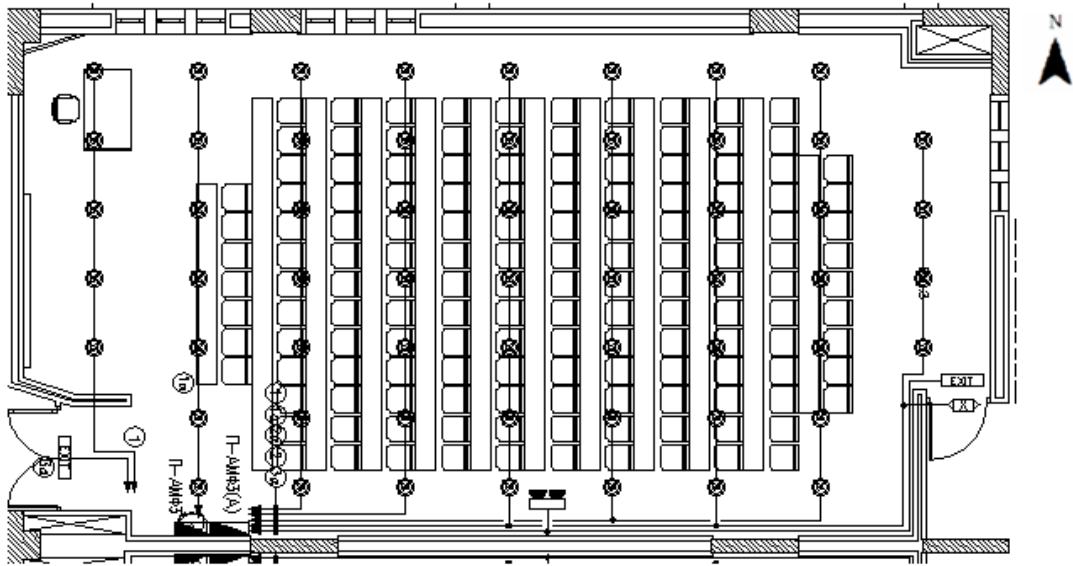
Εικόνα 3.6 Φωτογραφία φωτιστικού τύπου downlight

Αναφορικά με το αμφιθέατρο 4 είναι εγκατεστημένα 58 φωτιστικά τα οποία είναι χωρισμένα σε εννιά διαδοχικές σειρές. Κάθε σειρά περιέχει από επτά σώματα με εξαίρεση την πρώτη που έχει μόνο πέντε και την τελευταία που έχει μόνο τέσσερα. Ιδιαίτερη κατασκευαστική λεπτομέρεια που έχει όμως μεγάλη σημασία είναι το γεγονός ότι οι έξι πίσω σειρές έχουν τοποθετηθεί υπό γωνία στην ψευδοροφή, λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής της, με αποτέλεσμα να αλλάζει η διάχυση της ροής στον χώρο. Ακόμη η επιπλέον παράμετρος των διαβαθμίσεων έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της απόστασης μεταξύ των σειρών όσο κατευθύνεται κάποιος παρατηρητής προς το πίσω μέρος. Συνολικά για φυσιολογική λειτουργία το εγκατεστημένο φορτίο φωτισμού αντιστοιχεί σε 3.016W.

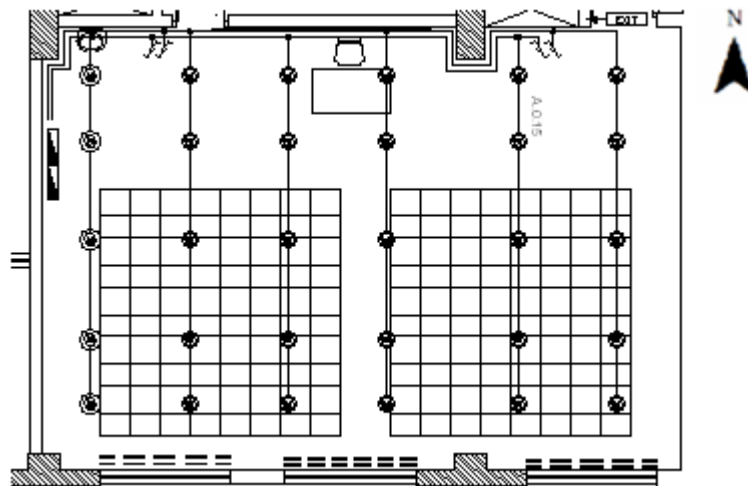
Η αίθουσα 008 έχει 30 φωτιστικά τα οποία χωρίζονται σε πέντε σειρές των έξι φωτιστικών. Οι πρώτες τρεις είναι σε ίσες αποστάσεις στην βόρεια πλευρά ενώ οι άλλες δυο βρίσκονται λίγο πιο πίσω κατά 60cm από την θέση που θα βρίσκονταν αν ήταν ομοιόμορφα κατανομημένες. Ο έλεγχος γίνεται γραμμή παρά γραμμή. Σε αυτή την περίπτωση το φορτίο αντιστοιχεί σε 1.560W.

Το γραφείο B.3.8 έχει απλούστερη εγκατάσταση, όπως είναι λογικό, με μόλις εννέα φωτιστικά που σχηματίζουν τρεις σειρές και τρεις στήλες. Οι αποστάσεις είναι σταθερές από σειρά σε σειρά και από στήλη σε στήλη ενώ η δαπάνη σε ισχύ είναι 468 W. Ο έλεγχος γίνεται σε ομάδες, τα τέσσερα ακραία στοιχεία μαζί και τα υπόλοιπα σε διαφορετική ομάδα. Αναλόγως και ο διάδρομος έχει οκτώ φωτιστικά σε ευθεία γραμμή που ανά διαστήματα τοποθετούνται στον χώρο και αποτελούν φορτίο 416W.

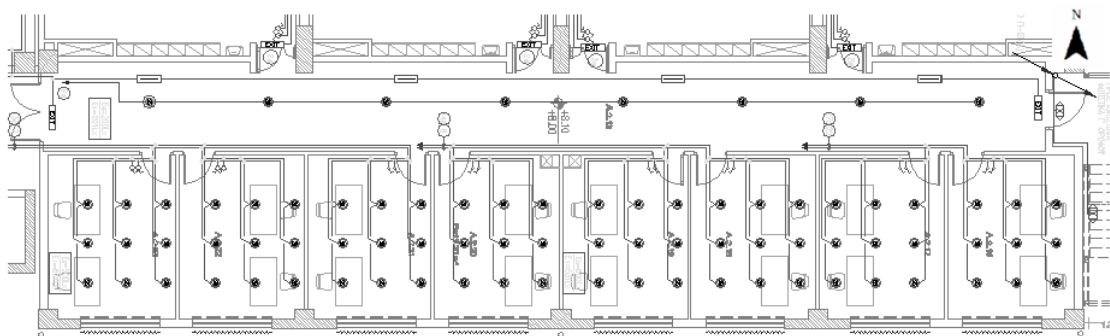
Τα παραπάνω μπορούν να φανούν αναλυτικότερα στα αποσπάσματα σχεδίων που παρατίθενται. Σχετικά με τον φωτισμό έκτακτης ανάγκης πρέπει να επισημανθεί ότι αφού δεν αφορά μόνιμη κατάσταση, δεν έχει νόημα να συμπεριληφθεί στην δεδομένη μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας. Επίσης έχει ξεχωριστή τροφοδοσία από συσσωρευτές νικελίου καδμίου (Ni-Cd) και απλά παρατίθεται για λόγους πληρότητας. Κάθε φωτιστικό ασφαλείας όδευσης/εξόδου έχει ισχύ 11W ενώ το φωτιστικό ασφαλείας με διδύμους προβολείς που φαίνεται στο αμφιθέατρο έχει ισχύ 44W. Τα φορτία ομαδοποιημένα φαίνονται στον πίνακα 3.1. Όλα τα σχέδια που παρατίθενται σε αυτό το κεφάλαιο είναι σε διαφορετική μεταξύ τους κλίμακα και έχουν αποδοθεί ποιοτικά για να κατατοπίσουν τον αναγνώστη σχετικά με την θέση των χώρων και το κύκλωμα φωτισμού που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 3.3 Κάτοψη ηλεκτρολογικής εγκατάστασης αμφιθεάτρου 4[20]



Σχήμα 3.4 Κάτοψη ηλεκτρολογικής εγκατάστασης αίθουσας 008 [20]



Σχήμα 3.5 Κάτοψη ηλεκτρολογικής εγκατάστασης διαδρόμου και γραφείων[20]

Πίνακας 3.1 Φορτία φωτισμού

Χώρος	Φορτία φωτισμού (W)	Φορτία φωτισμού ασφαλείας (W)
Αμφιθέατρο 4	3016	66
Αίθουσα 008	1560	11
Γραφείο Β3.8	468	11
Β.Α Διάδρομος	416	66

Περισσότερα στοιχεία σχετικά με την κατανάλωση στους χώρους αλλά και με την απόδοση των φωτιστικών θα δοθούν στο κεφάλαιο 4 που αφορά τις μετρήσεις και προσομοιώσεις. Εδώ ο στόχος ήταν η περιγραφή της εκάστοτε εγκατάστασης.

Κεφάλαιο 4

Παρουσίαση μετρήσεων και αποτελεσμάτων προσομοίωσης

4.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο του τετάρτου κεφαλαίου είναι η αναλυτική μελέτη των εγκαταστάσεων φωτισμού στους χώρους που προαναφέρθηκαν. Η προσέγγιση του προβλήματος έγινε με δυο διαφορετικές πρακτικές για την σωστή εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε πρώτη φάση με επίσκεψη στους φυσικούς χώρους των εγκαταστάσεων και με χρήση ειδικού αποστασιομέτρου αποτυπώθηκαν σε σκαριφήματα οι διαστάσεις δωματίων και επίπλων ενώ μετρήθηκαν και οι αποστάσεις των φωτιστικών από διάφορα σταθερά σημεία. Παράλληλα, μετρήθηκε η ένταση του τεχνητού φωτισμού σε κάποιες συγκεκριμένες θέσεις κάθε χώρου με την βοήθεια μετρητικού οργάνου. Το πρώτο μέρος του κεφαλαίου αναφέρεται και παρουσιάζει τις φωτομετρικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Σε δεύτερη φάση αποτυπώθηκαν οι χώροι σε πρόγραμμα μελετών φωτισμού για επαλήθευση των μετρήσεων και υπολογισμό βασικών μεγεθών. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ReluxPro-2013.1.2.2. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με τα απαραίτητα φωτομετρικά μεγέθη, παρατίθενται στο δεύτερο σκέλος του κεφαλαίου.

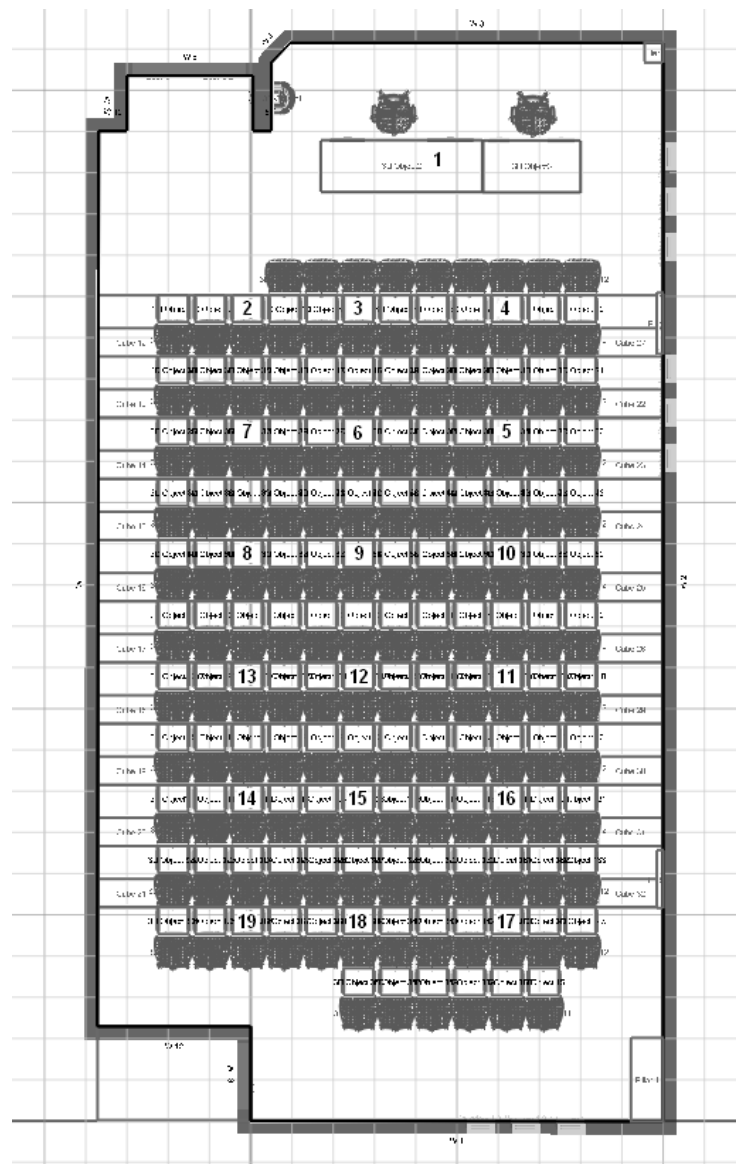
4.1.1 Μετρήσεις στο αμφιθέατρο 4

Αρχικά πρέπει να διευκρινιστεί ότι τόσο στο αμφιθέατρο όσο και στους υπολοίπους χώρους χρησιμοποιήθηκε ως όργανο μέτρησης το λουξόμετρο ModelHD 400 της EXTECH. Πρόκειται για έναν μετρητή που καλύπτει μεγάλο εύρος εντάσεων φτάνοντας ως τα 400klx. Παράλληλα έχει ευαισθησία έως 0.1lx και ακρίβεια $\pm 5\%$ rgd. Τα συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι επαρκή προκειμένου οι μετρήσεις να θεωρούνται ικανοποιητικά ακριβείς.

Στο αμφιθέατρο έγιναν 19 διαφορετικές μετρήσεις. Η πρώτη έγινε στην έδρα και οι υπόλοιπες πραγματοποιήθηκαν σειρά παρά σειρά. Σε κάθε μετρούμενη σειρά έγιναν τρεις μετρήσεις μια στο κέντρο και δυο στα άκρα. Οι ακριβείς θέσεις φαίνονται πάνω στο σχήμα 4.1 της κάτοψης όπως σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα ReluxSuite 2013.1.3. ,κάθε αριθμός αντιστοιχεί στην ανάλογη μέτρηση που φαίνεται στο πίνακα 4.1. Σε κάθε περίπτωση το ύψος αναφερόταν στην εκάστοτε επιφάνεια εργασίας ,δηλαδή 0.8 m από το δάπεδο.

Πίνακας 4.1 Μετρήσεις έντασης τεχνητού φωτισμού στο αμφιθέατρο 4

Αριθμός Θέσης	Ένταση Φωτισμού (lx)	Αριθμός Θέσης	Ένταση Φ. (lx)
1	444,0	11	438,3
2	456,6	12	446,3
3	454,3	13	456,6
4	456,6	14	412,0
5	453,1	15	393,6
6	442,8	16	361,6
7	450,9	17	358,2
8	448,6	18	384,5
9	442,8	19	365,0
10	453,1	-	-



Σχήμα 4.1 Κάτοψη αμφιθέατρου 4 στο πρόγραμμα ReluxPro-2013.1.2.2. και αρίθμηση θέσεων μετρήσεων.

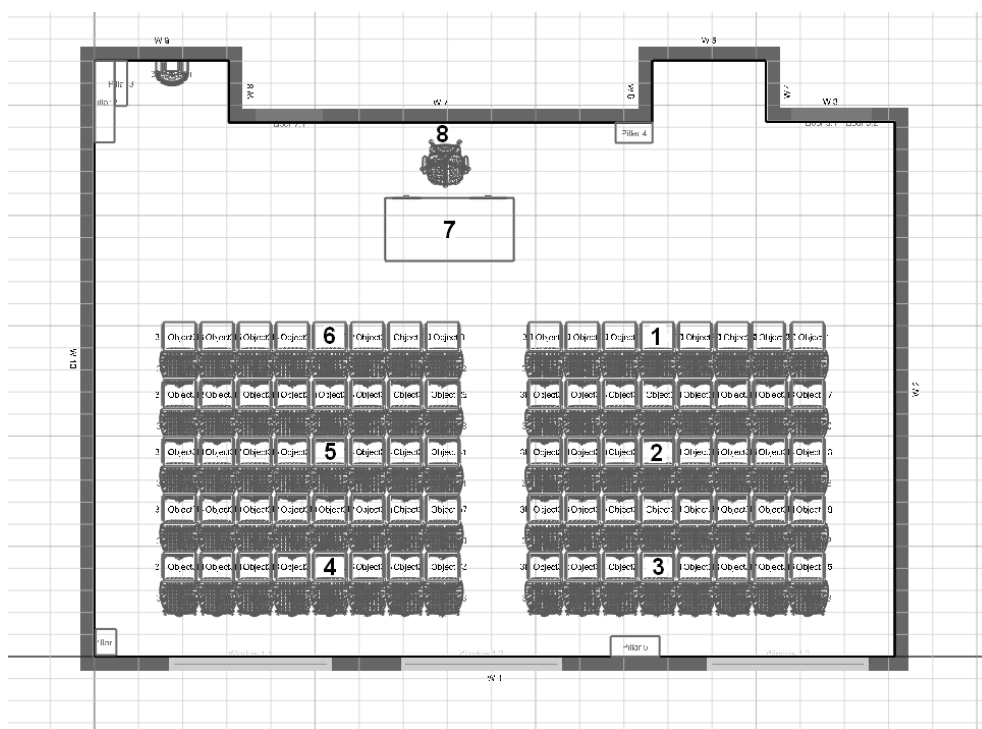
Οι απαιτήσεις σε ένταση φωτισμού για χώρους διδασκαλίας βρίσκεται μεταξύ 250-500 lx. Επομένως οι μετρήσεις δείχνουν μια σωστή μελέτη. Όπως φαίνεται πηγαίνοντας προς τα πίσω και κυρίως στις θέσεις 15 έως 19, παρατηρείται σταδιακή πτώση των τιμών. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της τοποθέτησης φωτιστικών σε μεγαλύτερη απόσταση μετά το μέσον του αμφιθεάτρου αλλά και της διαφορετικής γωνίας τοποθέτησης τους, που οφείλεται στην ψευδοροφή. Βέβαια η αραιότερη τοποθέτηση των φωτιστικών ήταν αναμενομένη, αφού σταδιακά μειώνεται και το ύψος μεταξύ οροφής και πατώματος, εξαιτίας της διαβάθμισης ύψους των καθισμάτων.

4.1.2 Μετρήσεις στην αίθουσα διδασκαλίας 008

Η αίθουσα 008 ως απλούστερη κατασκευή με λιγότερο εμβαδόν, απαιτούσε μικρότερο πλήθος μετρήσεων, και σε αυτή την περίπτωση οι θέσεις φαίνονται στη κάτοψη (σχήμα 4.2) και έγιναν σε ύψος 0,8m το σύνηθες για κάθε επιφάνεια εργασίας. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η μέτρηση 8 που γίνεται κάθετα και σε ύψος 1,5m για τον υπολογισμό της έντασης φωτισμού πάνω στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Μετρήσεις έντασης τεχνητού φωτισμού στην αίθουσα 008

Αριθμός Θέσης	Ένταση (lx)	Αριθμός Θέσης	Ένταση (lx)
1	366,2	5	360,5
2	335,3	6	360,5
3	265,5	7	350,0
4	280,4	8	188,8



Σχήμα 4.2 Κάτοψη αίθουσας και αρίθμηση των θέσεων μετρήσεων.

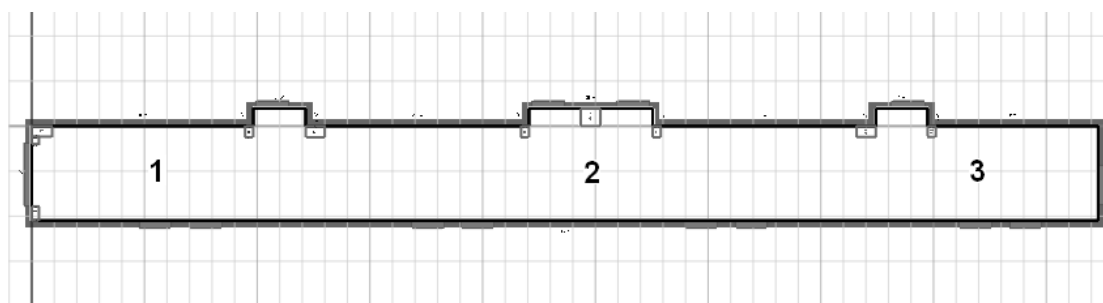
Για την αίθουσα 008 ισχύουν τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν και στο αμφιθέατρο. Γενικά η ένταση του τεχνητού φωτισμού παρουσιάζει αρκετά μικρότερες τιμές σε σχέση με τις μετρήσεις του αμφιθέατρου, τα ορισμένα όρια των 250-500lx όμως εξακολουθούν να τηρούνται. Είναι λογικό να εμφανίζεται χαμηλότερη στάθμη, διότι υπάρχουν τρία μεγάλα παράθυρα με κατεύθυνση προς τον Νότο. Επομένως το σύστημα απαιτεί λιγότερα φωτιστικά κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά τις βραδινές ώρες, που είναι σπάνια η λειτουργία της αίθουσα, υπάρχουν εγκατεστημένα ρολά για να περιορίζονται οι απώλειες που θα δημιουργούνταν από ακάλυπτα παράθυρα.

4.1.3 Μετρήσεις διαδρόμου

Τέλος ο χώρος που καλύπτεται από τον διάδρομο μετρήθηκε σε τρία διαφορετικά σημεία. Για κοινόχρηστους χώρους και διαδρόμους, η επιδιοκώμενη τιμή έντασης βρίσκεται στα 150lx. Οι μετρήσεις έδωσαν τα νούμερα που φαίνονται στον πίνακα 4.3. Στο πρώτο σημείο καταγράφεται ικανοποιητική τιμή ενώ στα άλλα δυο παρατηρείται χαμηλότερος φωτισμός από τις προδιαγραφές του χώρου.

Πίνακας 4.3 Μετρήσεις έντασης τεχνητού φωτισμού στον διάδρομο

Αριθμός Θέσης	Ένταση (lx)
1	173,9
2	106,4
3	80,1



Σχήμα 4.3 Κάτοψη διαδρόμου και αρίθμηση των θέσεων μετρήσεων.

4.2 Προσομοιώσεις

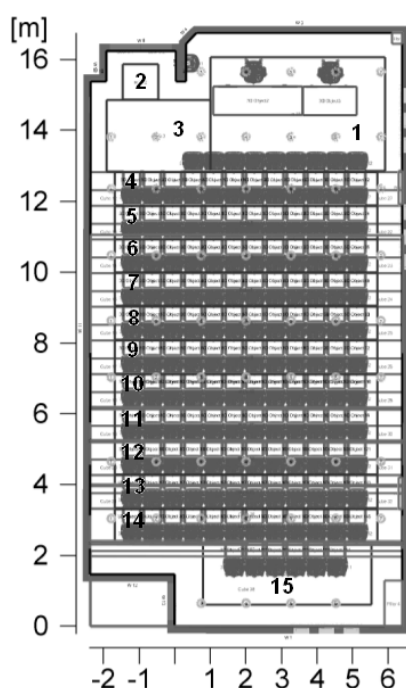
Σε επόμενο στάδιο, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες προσομοιώσεις για επαλήθευση των αποτελεσμάτων αλλά και προσεκτικότερη προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών φωτισμού. Οι επόμενες σελίδες περιέχουν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που προέκυψαν από το πρόγραμμα ReluxPro-2013.1.2.2.

Τα δεδομένα που παρατίθενται αφορούν την ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια απεικονισμένη σε ψευδοχρώματα καθώς και την αποτύπωση όλου του χώρου σε ψευδοχρώματα. Ακόμη γίνεται αναφορά σε μεγέθη ομοιομορφίας μέγιστης και ελάχιστης τιμής έντασης φωτισμού αλλά και κατανάλωσης ενώ τέλος δίνεται η εικόνα του χώρου με βάση την προσομοίωση. Στην πρώτη σελίδα του παραρτήματος

δίνεται το φύλλο τεχνικών προδιαγραφών του φωτιστικού που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση. Πρόκειται για το μοντέλο 46608.000 recessed luminaire της ERCO, με χαρακτηριστικά όπως αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3. Η απόδοση του από τα φύλλα προδιαγραφών φτάνει το 49,5% (34,27lm/W) και για δυο τυπικούς λαμπτήρες CFL 26W των 1800 lm προσφέρει φωτεινή ροή 1782 lm στον χώρο

4.2.1 Αμφιθέατρο 4

Η μελέτη του αμφιθέατρου αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση. Η παρουσία συνέχων ανυψώσεων για την σωστή τοποθέτηση των καθισμάτων δημιουργεί το πρόβλημα της αναγκαστικής διαμόρφωσης πολλαπλών επιφανειών αναφοράς (σχήμα 4.4). Έτσι δημιουργείται πρόβλημα στην παράθεση των αποτελεσμάτων διότι παρουσιάζεται μεγάλος όγκος πληροφοριών. Στην παρούσα μελέτη θα δοθούν μόνο τρεις αντιπροσωπευτικές επιφάνειες. Η πρώτη σειρά των εδράνων η μεσαία σειρά και η προτελευταία. Οι επιφάνειες με αριθμό 2 και 3 έχουν μικρή σημασία γιατί όπως φαίνεται και από το σχήμα αφορούν χώρους βοηθητικής χρήσης. Η επιφάνεια 15 μπορεί να φωτίζεται χαμηλότερα στο πίσω μέρος κοντά στα παράθυρα που είναι επίσης βοηθητικός χώρος.

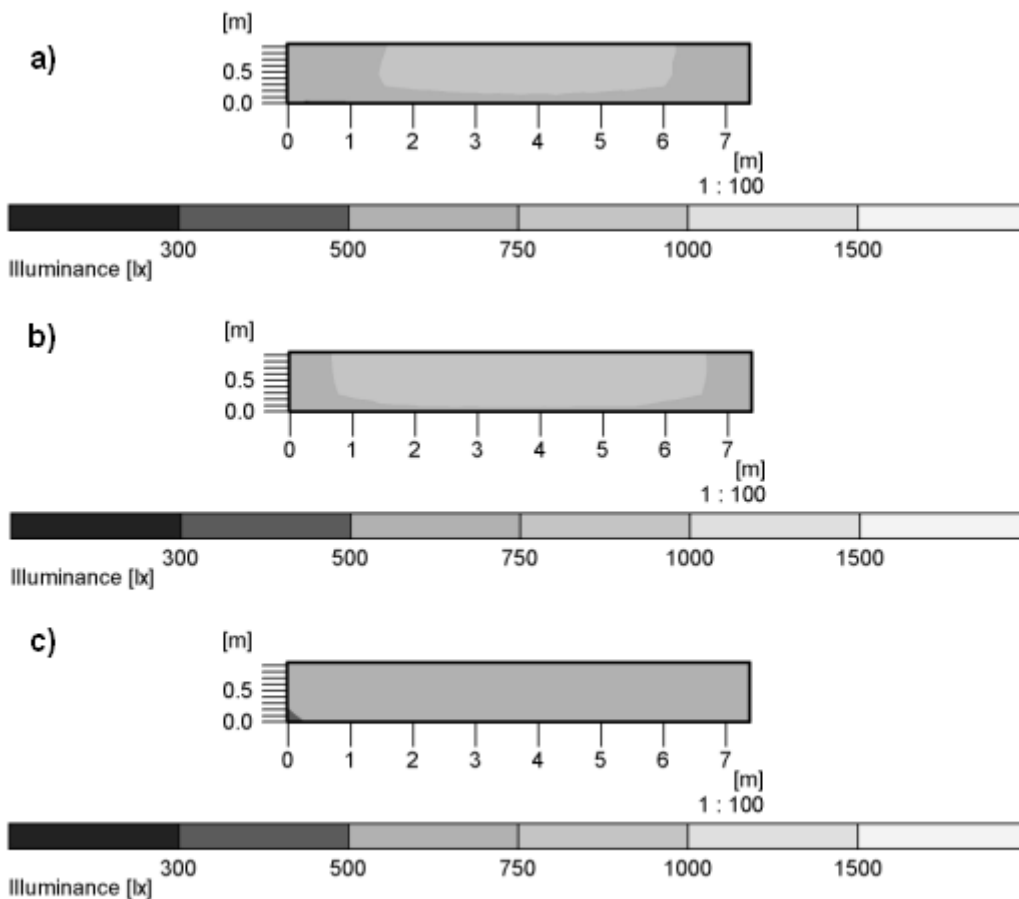


Σχήμα 4.4 Οι επιφάνειες αναφοράς ανάλογα με τον αριθμό τους στο αμφιθέατρο.

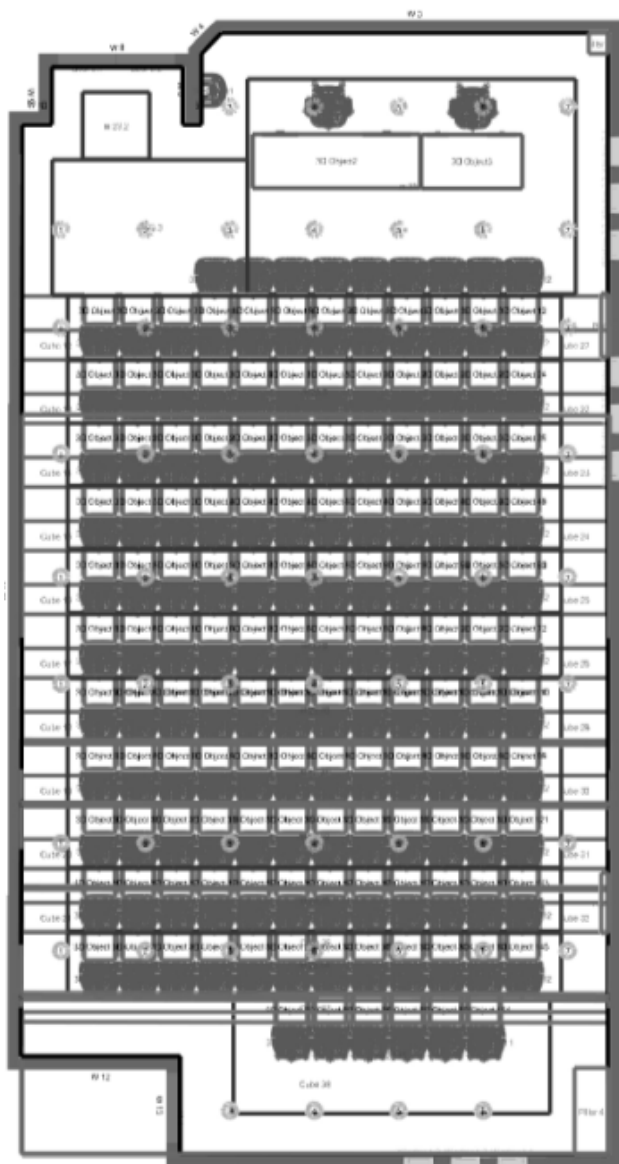
Τα αποτελέσματα ανά επιφάνεια φαίνονται στον πίνακα 4.4 και τα ψευδοχρώματα αφορούν τις επιφάνειες 4,8,14

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα έντασης φωτισμού ανά επιφάνεια στο αμφιθέατρο

Αριθμός επιφανείας	Μέση ένταση (lx)	Ελάχιστη ένταση (lx)	Μέγιστη ένταση (lx)
1	675	506	775
2	384	296	493
3	635	434	777
4	742	575	830
5	751	551	851
6	768	616	855
7	767	566	856
8	788	652	859
9	762	587	847
10	680	438	802
11	638	557	686
12	641	491	703
13	633	562	671
14	664	485	739
15	576	375	786



Σχήμα 4.5 Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα επιφανειών αναφοράς α)Επιφάνεια 4 β)Επιφάνεια 8 γ)Επιφάνεια 14



Σχήμα 4.6 Οι θέσεις των φωτιστικών στον χώρο.

Όπως φαίνεται υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ των μετρούμενων μεγεθών και των αποτελεσμάτων που υπολογίσαμε. Αυτό συμβαίνει για δυο κυρίως λόγους. Ο πρώτος αφορά την φθορά του εξοπλισμού της εγκατάστασης. Επειδή οι λαμπτήρες έχουν έναν χρόνο ζωής και παράλληλα πέφτει σταδιακά η απόδοση τους εισάγεται ένας παράγοντας ελάττωσης παραγόμενης φωτεινής ροής. Στο αμφιθέατρο όπως και στην αίθουσα που υπάρχουν πολλά φωτιστικά σώματα (σχήμα 4.6) ,ένα πολύ μικρό ποσοστό των λαμπτήρων έχει καταστραφεί, ενώ οι υπόλοιποι λαμπτήρες που έχουν υποστεί φυσική φθορά από τον χρόνο όπως είναι αναμενόμενο δεν παρουσιάζουν την αρχική τους απόδοση. Στα παραπάνω συμπεράσματα προστίθεται και το γεγονός ότι επιβάλλεται συχνός καθαρισμός των φωτιστικών που ενδέχεται να έχει παραμεληθεί.

Παρατηρείται ότι οι διαφορές είναι ισοβαρώς κατανεμημένες και η συμπεριφορά του μοντέλου ακολουθεί την συμπεριφορά των μετρούμενων μεγεθών. Έτσι στο μπροστινό μέρος υπολογίζονται υψηλότερες τιμές και όσο η μελέτη προχωρά προς τα πίσω αυτές μειώνονται. Η μέση ένταση φωτισμού μπροστά κυμαίνεται κοντά στα 750lx στο κέντρο μένει σταθερή και μετά ελαττώνεται σταδιακά μέχρι το πίσω μέρος

που πλησιάζει τα 580lx. Η κατανομή χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία και δεν υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις μεταξύ των τιμών.

Εν γένει η προσομοίωση δείχνει ότι οι τιμές της έντασης είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες προδιαγραφές του χώρου (250-500 lx) πράγμα που κάνει τις συνθήκες ελαφρώς δυσχερέστερες και αυξάνει σημαντικά την κατανάλωση. Επομένως παρατηρείται σχετική σπατάλη ενέργειας.

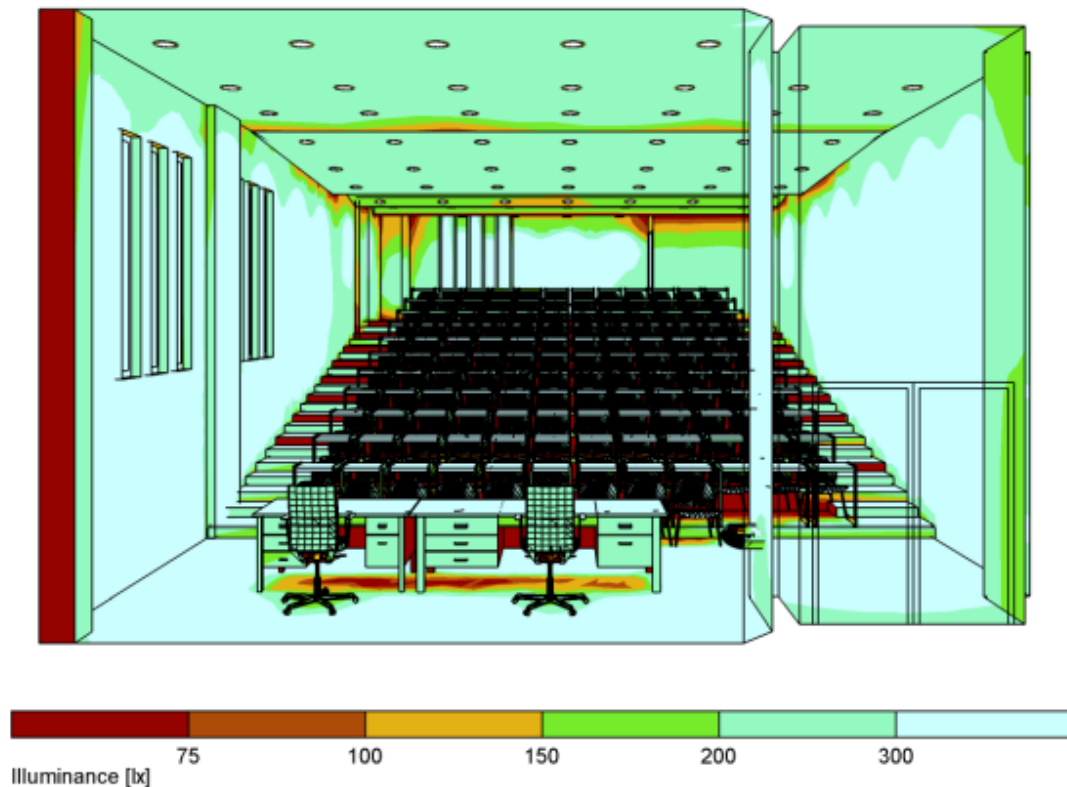
Συνολικά στον χώρο δαπανώνται για φόρτια φωτισμού 3.016W και η αποδιδόμενη φωτεινή ροή ισούται με 1.033.500 lm περίπου που διαχέεται μέσω 58 φωτιστικών σωμάτων, η αντίστοιχη συνολική ροή των λαμπτήρων αντιστοιχεί σε 208800 lm. Η επιφάνεια έχει υπολογιστεί στα $141,32 m^2$ και η τελική κατανάλωση ισοδυναμεί με $21,34 W/m^2$. Το όριο κατανάλωσης έχει οριστεί στα $11 W/m^2$ και η εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ενεργοβόρα. Όπως φαίνεται και στις επόμενες εικόνες 4.1, 4.2 και 4.3, οι τελευταίες σειρές φωτίζονται από φωτιστικά τοποθετημένα σε διαφορετικές γωνίες λόγω της τριγωνικής ψευδοροφής.



Εικόνα 4.1 Προσομοίωση αμφιθεάτρου, ανατολική εσωτερική όψη



Εικόνα 4.2 Προσομοίωση αμφιθεάτρου, βόρεια εσωτερική όψη



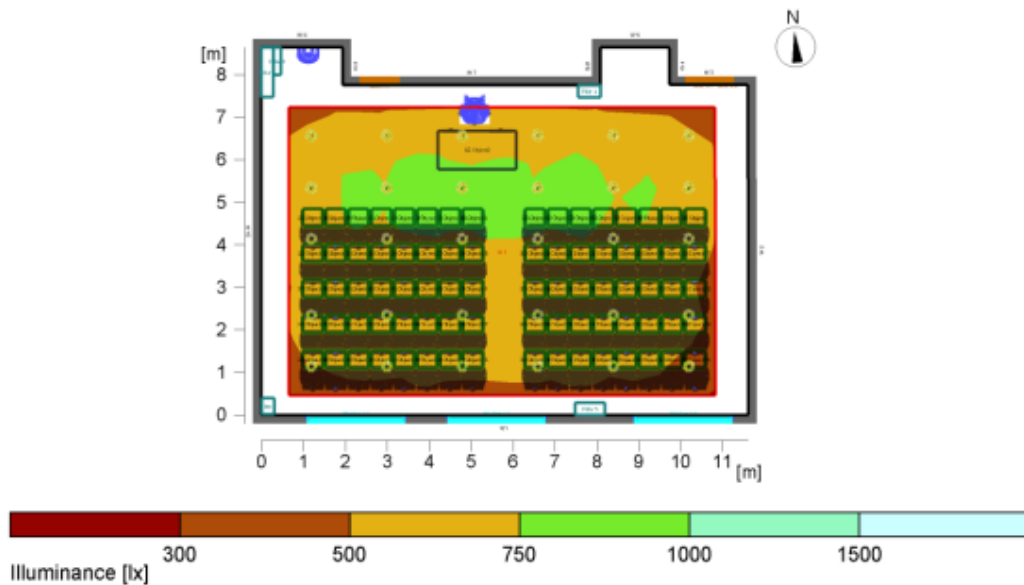
Εικόνα 4.3 Προσομοίωση αμφιθεάτρου, με χρήση ψευδοχρωμάτων

4.2.2 Αίθουσα 008

Η αίθουσα περιλαμβάνει 30 φωτιστικά και δαπανά ισχύ $1.560W$, δηλαδή λίγο περισσότερο από το μισό φορτίο του αμφιθεάτρου. Η θέση των φωτιστικών φαίνεται στο σχήμα 4.7. Συνολικά παράγονται $108.000lm$ εκ των οποίων μόνο τα $53.500lm$ διαχέονται στην αίθουσα καθώς τα υπόλοιπα είναι απώλειες στο φωτιστικό. Το συνολικό εμβαδόν της αίθουσας είναι $93,24m^2$ και επομένως υπάρχει κατανάλωση $16,73W/m^2$. Τιμή αρκετά χαμηλότερη από την αντίστοιχη του αμφιθεάτρου αλλά σε κάθε περίπτωση ιδιαίτερα ενεργοβόρα.

Η μέση ένταση φωτισμού για επιφάνεια αναφοράς όπως έχει οριστεί στην κάτοψη και σε ύψος $0,8m$ είναι $646lx$ ενώ οι αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες παρατηρούμενες τιμές είναι 798 και $405lx$. Η ομοιομορφία έχει υπολογιστεί στο $0,65$ και θεωρείται αποδεκτή. Γενικά η ύπαρξη προεκτάσεων και τα υποστυλώματα δημιουργούν σκίαση στον χώρο σε κάποια σημεία που είναι ωστόσο αναπόφευκτη.

Οι τιμές έντασης φωτισμού εμφανίζονται αρκετά ενισχυμένες συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες μετρήσεις για τους ίδιους λογούς που προαναφέρθηκαν. Και στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, οι διαφορές παρουσιάζονται με ομοιομορφία. Προφανώς οι προδιαγραφές υπερκαλύπτονται και ο φωτισμός είναι ισχυρότερος από τις ανάγκες του χώρου. Όπως ήταν αναμενόμενο η ένταση προς την πλευρά των παραθύρων μειώνεται επειδή ο κατασκευαστής στηρίχτηκε στον φυσικό φωτισμό λόγω του νοτίου προσανατολισμού. Τα αποτελέσματα της μελέτης φαίνονται στο σχήμα 4.7 και τις εικόνες 4.4 και 4.5.



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.80 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80

Total luminous flux of all lamps	108000 lm
Total power	1560 W
Total power per area (93.24 m ²)	16.73 W/m ²

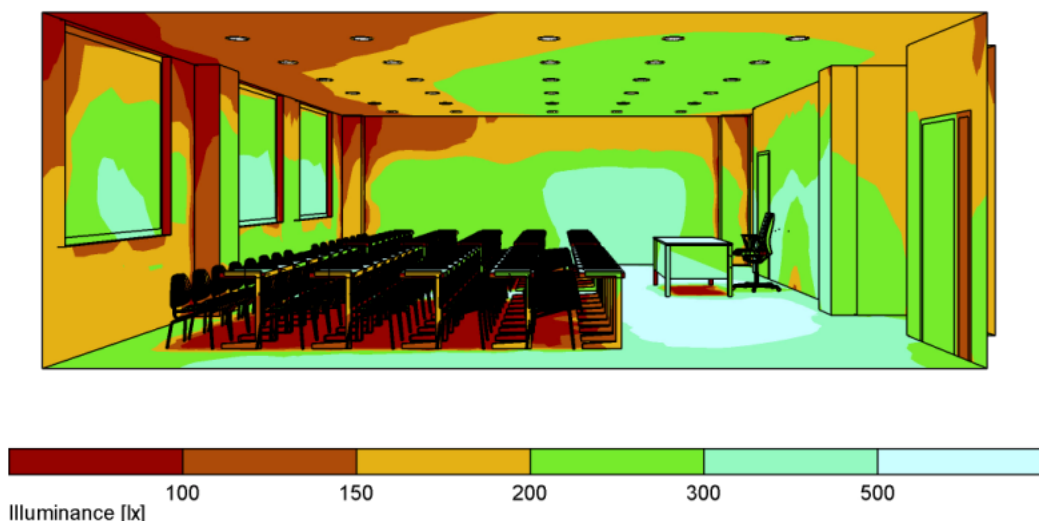
Illuminance

Average illuminance	Eav	646 lx
Minimum illuminance	Emin	405 lx
Maximum illuminance	Emax	798 lx
Uniformity U ₀	Emin/Em	1:1.6 (0.63)
Diversity U _d	Emin/Emax	1:1.97 (0.51)

Σχήμα 4.7 Ανάλυση ψευδοχρωμάτων στην επιφάνια αναφοράς της αίθουσας.



Εικόνα 4.4 Προσομείωση αίθουσας



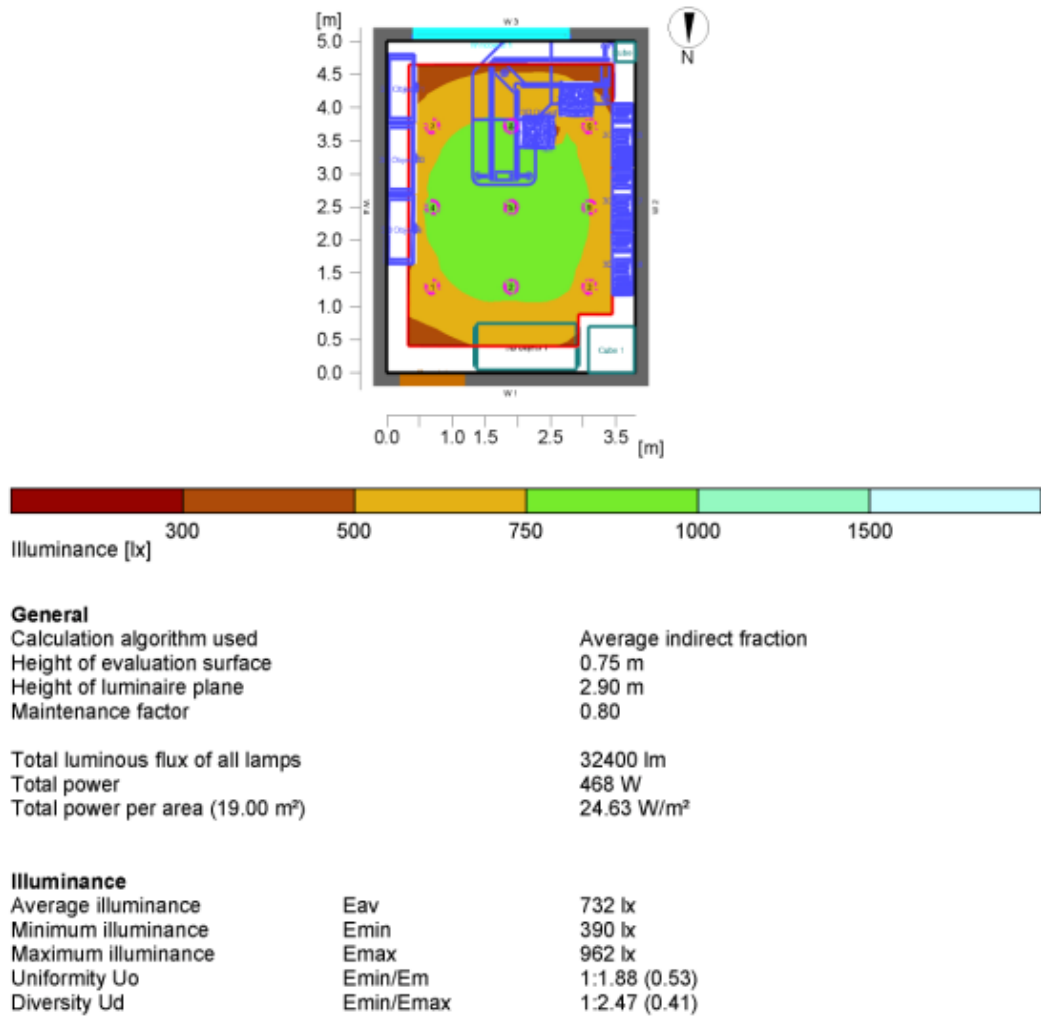
Εικόνα 4.5 Προσομοίωση αίθουσας με ψευδοχρώματα

4.2.3 Γραφείο

Το γραφείο επισκεπτών καθηγητών έχει εμβαδόν μόλις 19 m^2 , στον χώρο έχουν εγκατασταθεί 9 φωτιστικά με συνολική ισχύ 468W. Επομένως απαιτούνται $24,62\text{ W/m}^2$ για την κάλυψη των φορτίων φωτισμού. Συνολικά παράγονται 32400 lm, αλλά μόνο τα 16000 κατά προσέγγιση διαχέονται στο δωμάτιο. Η τιμή της κατανάλωσης είναι πολύ αυξημένη και υπερδιπλάσια από την ανάλογη μέγιστη τιμή που ορίζει ο κανονισμός εξοικονόμησης.

Η δαπάνη σε ενέργεια ανά μονάδα επιφανείας είναι μεγαλύτερη και από την αντίστοιχη του αμφιθέατρου. Η ένταση φωτισμού έχει μέση τιμή 732lx στην επιφάνεια αναφοράς (0,75m) ενώ παρουσιάζει μέγιστο 962lx και ελάχιστο 390lx. Η ομοιομορφία είναι ίση με 0,55.

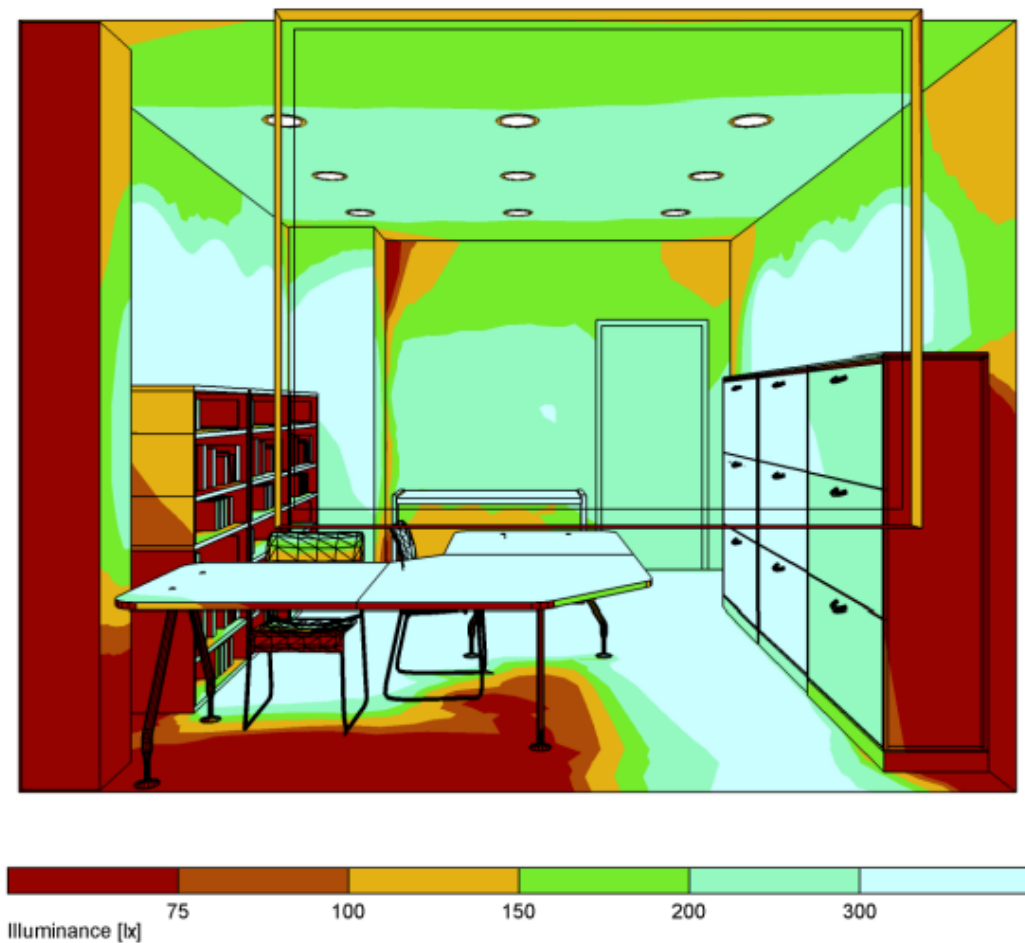
Όπως και στους προηγούμενους χώρους και εδώ παρουσιάζεται μεγάλη κατανάλωση και σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προδιαγραφές απαιτούν ένταση φωτισμού μεταξύ 250-500lx όμως οι υπολογισμένες τιμές είναι κατά πολύ υψηλότερες. Μια επιπλέον παράμετρος ίσως είναι το παράθυρο με νότιο προσανατολισμό. Κατά την διάρκεια της ημέρας ενισχύει σημαντικά την εγκατάσταση όμως αν μειωθεί το φυσικό φως και δεν κλείσουν τα ρολά το σύστημα έχει σημαντικές απώλειες από διαφεύγουσα φωτεινή ροή προς το εξωτερικό. Εν αντιθέσει με την αίθουσα που λειτουργεί μόνο πρωινές ώρες κυρίως, ένα γραφείο συνήθως έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί όλη την διάρκεια της ημέρας και αυτός ίσως είναι ο λόγος που έγινε χρήση του συγκεκριμένου πλήθους φωτιστικών. Το σχήμα 4.8 και οι εικόνες 4.6 και 4.7 δίνουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Σχήμα 4.8 Ανάλυση ψευδοχρωμάτων στην επιφάνεια αναφοράς του γραφείου



Εικόνα 4.6 Προσομοίωση γραφείου

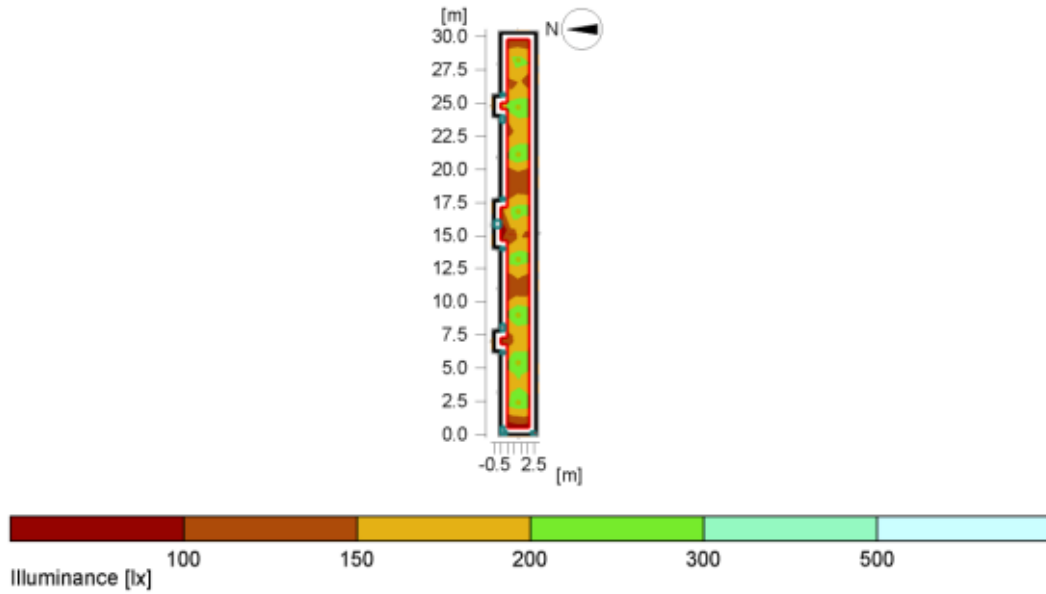


Εικόνα 4.7 Προσομοίωση γραφείου με ψευδοχρώματα

4.2.4 Διάδρομος

Ο διάδρομος αποτελεί εξαίρεση σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους υπό μελέτη. Επειδή είναι μέρος των κοινοχρήστων εγκαταστάσεων η ανάγκη για ένταση φωτισμού είναι μόλις 150lx. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς η μέση ένταση είναι 177 lx ενώ η μεγαλύτερη και η μικρότερη είναι 231 και 113 lx αντίστοιχα.

Για συνολική επιφάνεια $84,52 m^2$ είναι εγκατεστημένα 8 φωτιστικά και η κατανάλωση ισοδυναμεί με $4,92 W/m^2$ αφού η απαιτούμενη ισχύς τροφοδοσίας είναι 416W. Συνολικά παράγονται 28.800lm, αλλά διαχέονται περίπου 14.200lm. Παρατηρείται σαφώς μικρότερη κατανάλωση λόγω κυρίως διαφορετικών προδιαγραφών αλλά παράλληλα επιτυγχάνεται καλή ομοιομορφία. Παρόλο που η κατασκευή του διαδρόμου έχει πολλές γωνίες που αποκόπτουν την φωτεινή ροή, ο φωτισμός του θεωρείται επαρκής. Στο επόμενο σχήμα 4.9 και τις εικόνες 4.8 και 4.9 φαίνονται όλα τα αποτελέσματα που αφορούν την μελέτη.



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	28800 lm
Total power	416 W
Total power per area (84.52 m ²)	4.92 W/m ² (2.78 W/m ² /100lx)

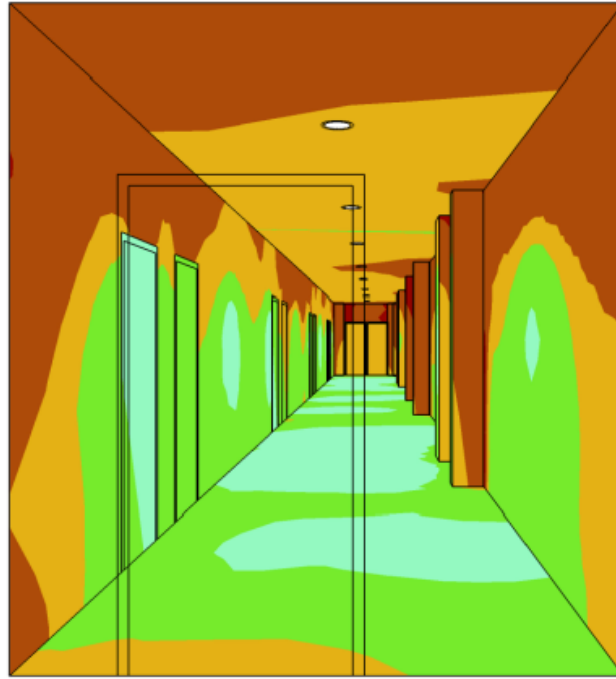
Illuminance

Average illuminance	Eav	177 lx
Minimum illuminance	Emin	113 lx
Maximum illuminance	E _{max}	231 lx
Uniformity U ₀	E _{min} /E _{max}	1:1.56 (0.64)
Diversity U _d	E _{min} /E _{max}	1:2.04 (0.49)

Σχήμα 4.9 Ανάλυση ψευδοχρωμάτων στην επιφάνια αναφοράς του διαδρόμου



Εικόνα 4.8 Προσομοίωση διαδρόμου



Εικόνα 4.9 Προσομοίωση διαδρόμου με ψευδοχρώματα

Κεφάλαιο 5

Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση – Μέθοδος ELECTRE I

5.1 Συστήματα Αποφάσεων

Η λήψη αποφάσεων αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο άνθρωπος. Σε κάθε πρόβλημα απόφασης η λύση αναζητείται μέσα από μια σειρά εναλλακτικών τρόπων δράσης, προς αποτελεσματικότερη επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί. Η αντιμετώπιση προβλημάτων απόφασης μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα στηριζόταν κυρίως στην εμπειρία και την διαίσθηση και δεν είχε επιστημονικό έρεισμα.

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. Η γέννηση και η ανάπτυξη του κλάδου πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου στην Αγγλία και τις ΗΠΑ, όταν επιστήμονες από επιμέρους ειδικότητες εφαρμόζαν ορισμένες μεθόδους σε στρατιωτικά προβλήματα για βελτιστοποίηση συγκεκριμένων αποτελεσμάτων. Μετά την λήξη του πολέμου από διάφορα συνέδρια που συντελέστηκαν ο νέος κλάδος καθιερώθηκε με την ονομασία Operation Research ή Έρευνα των Λειτουργιών. Γίνεται επομένως φανερό το γεγονός ότι είναι διεπιστημονικός ο χαρακτήρας των συστημάτων αποφάσεων, αφού από την πρώτη στιγμή στα αρχικά προβλήματα συμμετείχαν επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, προκειμένου να ληφθούν υπόψη όλες οι απαραίτητες παράμετροι. 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 αλληλεπιδρά. Παράλληλα σε πολλές περιπτώσεις το σύστημα υποδιαιρείται σε υποσυστήματα τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί κάθε πρόβλημα στα συστήματα αποφάσεων εξυπηρετεί αρκετά η κατασκευή και χρήση μοντέλων. Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός επιτρέπεται ο πειραματισμός, πράγμα που είναι αδύνατο με το πραγματικό σύστημα, αφετέρου είναι 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. Τα μοντέλα μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

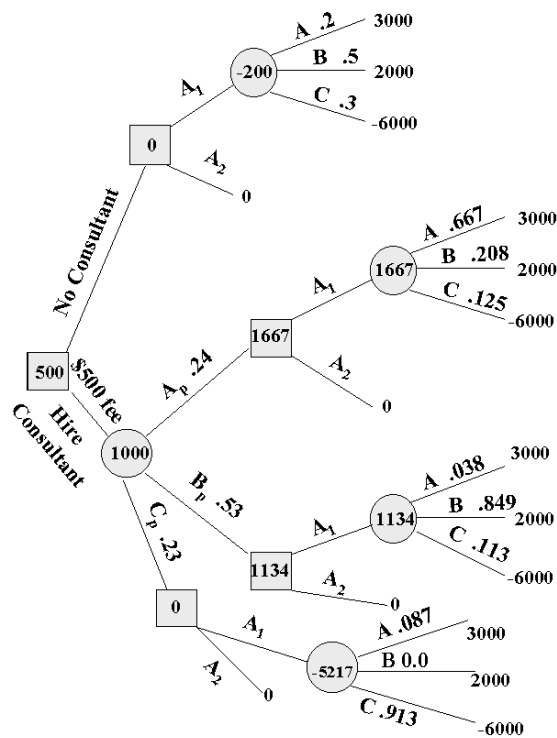
- Φυσικά μοντέλα. Είναι πιστές αναπαραστάσεις των αντικειμένων που εξετάζονται και διαφέρουν μόνο στο μέγεθος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αποτελούν οι χάρτες και διάφορα σχέδια ή φωτογραφίες.

- Αναλογικά μοντέλα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει αντιστοιχία ιδιοτήτων μεταξύ πραγματικού συστήματος και ιδιοτήτων του μοντέλου. Για παράδειγμα ορίζεται η αντιστοιχία μεταξύ της τάσης ενός ηλεκτρικού πεδίου και των αντιστοίχων ισοδυναμικών γραμμών που το αποτυπώνουν στο χαρτί.
- Συμβολικά μοντέλα. Στα συμβολικά μοντέλα κάθε αναπαράσταση γίνεται με την χρήση μαθηματικών συμβόλων. Ομοίως με μαθηματικό τρόπο ορίζονται και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων και οι διάφοροι περιορισμοί. Επειδή αποτελούν την πιο αφημένη μορφή είναι τα πιο εύχρηστα και έχουν την μεγαλύτερη εφαρμογή στα συστήματα αποφάσεων.

Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση μπορεί να χωρίσει τα μοντέλα σε δυο ακόμη ομάδες. Στην πρώτη βρίσκονται 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. Στην δεύτερη, όταν υπάρχει μεγάλη πολυπλοκότητα ή η ειδική φύση της δομής ενός συστήματος δεν επιτρέπει την αναλυτική προσέγγιση μέσα από μαθηματικές σχέσεις, κατασκευάζεται κάποιο μοντέλο προσομοίωσης που αναπαριστά τα στοιχεία του συστήματος, τις δραστηριότητες κάθε στοιχείου, τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων και τις εισροές και εκροές του συστήματος.

Αξιοποιώντας τα παραπάνω είδη, η κλασσική 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.

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 προσδοκική τιμή κέρδους και τα κριτήρια MAXMIN και HURWICZ. Μια κλασσική περίπτωση δένδρου αποφάσεων φαίνεται στο σχήμα 5.1



Σχήμα 5.1 Τυπικό δένδρο αποφάσεων[22]

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 δυϊκό ισοδύναμο πρόβλημα αντιστρέφοντας συνθήκες βελτιστοποίησης και περιορισμούς.

Τέλος 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 φωτορεαλισμού RELUX προκειμένου δημιουργηθούν κάποια συμπεράσματα για το φωτιστικό αποτέλεσμα σε διάφορους χώρους.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η κλασσική ανάλυση των συστημάτων αποφάσεων αφορά την εφαρμογή ενός η περισσότερων κριτηρίων τα οποία όμως εφαρμόζονται μεμονωμένα προκειμένου να βρεθεί λύση σε κάποιο βέλτιστο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα υπολογίζεται εύκολα η βέλτιστη απόφαση με κριτήριο την προσδοκίτη τιμή κέρδους σε μια επένδυση. Παράλληλα εκτελώντας καινούργια μελέτη και με διαφορετικό κριτήριο όπως η ανάληψη ρίσκου ένας μελετητής μπορεί να οδηγηθεί σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα. Η ανάλυση με τη χρήση αποκλειστικά ενός κριτηρίου καταλήγει επομένως σε αποφάσεις μονοδιάστατες και σε πολλές περιπτώσεις ελλιπείς.

Γεννιέται λοιπόν η απορία πως θα ήταν δυνατόν σε μια μελέτη να συμπεριληφθούν περισσότερα από ένα κριτήρια και να υπάρξει κάποιο αποτέλεσμα που προκύπτει με σφαιρικότερη και πιο αντικειμενική κρίση. Ο κλάδος που ασχολείται με αυτή την εφαρμογή πολλαπλών κριτηρίων και εφαρμόζεται στο οικονομικό σκέλος αυτής της εργασίας ονομάζεται πολυκριτηριακή ανάλυση και αναπτύσσεται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.[21]

5.2 Πολυκριτηριακές αποφάσεις και συστήματα υποστήριξης

Τα περισσότερα προβλήματα χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη πολυπλοκότητα που προέρχεται από δυο ξεχωριστούς παράγοντες. Τον πολυδιάστατο χαρακτήρα των επιπτώσεων κάθε δράσης, καθώς και την αβεβαιότητα με την οποία λαμβάνονται τα δεδομένα σε κάθε πρόβλημα. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο πρώτος παράγοντας πρέπει κάθε πρόβλημα να αντιμετωπιστεί μέσα από μια σειρά κριτηρίων και να αναχθεί σε πρόβλημα περισσότερων διαστάσεων. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνονται αποφάσεις που μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολυκριτηριακές.

Η αξιοπιστία των δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική. Όμως σε μια τεχνική μελέτη όπου τα δεδομένα αντλούνται από επίσημα datasheets εταιρειών με μεγάλη αξιοπιστία, το δεύτερο σκέλος δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα και θεωρείται ότι τα δεδομένα είναι σωστά.

Ο παραπάνω τρόπος λήψης αποφάσεων έρχεται σε σύγκρουση με την κλασσική και καθιερωμένη έννοια της βέλτιστης λύσης που αναλύθηκε παραπάνω και σχετίζεται με τα συστήματα αποφάσεων. Αυτό συμβαίνει γιατί για να χαρακτηριστεί μια απόφαση ως βέλτιστη αρκεί να παίρνει την καλύτερη δυνατή τιμή σε ένα και μοναδικό κριτήριο. Πρόκειται επομένως για μια μονοκριτηρια απόφαση και το αποτέλεσμα που μας δίνει αφορά μονό την μια διάσταση της κατάστασης.

Ισοδύναμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα η αξιολόγηση μιας επένδυσης με μοναδικό κριτήριο την καθαρή παρούσα αξία, χωρίς να υπολογιστεί το ρίσκο, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, καθώς και αστάθμητες παράμετροι όπως η απαξίωση της με την πάροδο του χρόνου.

Ως προς τον ανθρώπινο παράγοντα στην διαδικασία λήψης αποφάσεων έχει καθιερωθεί κάθε άτομο ή συλλογικό όργανο που εμπλέκεται επηρεάζοντας θετικά ή

αρνητικά την διαδικασία μιας απόφασης να ονομάζεται εμπλεκόμενος φορέας ή εταίρος. Φυσικά ο σημαντικότερος εταίρος που ουσιαστικά λαμβάνει την απόφαση είναι ο αποφασίζων. Προκειμένου να υπάρχει επιστημονική προσέγγιση απαιτείται η αξιοποίηση κάποιου μελετητή που δρα ως επιστημονικός ερευνητής και βοηθά στην λήψη της απόφασης, τυπικά είναι γνωστός ως ο αναλυτής. Κάθε αναλυτής αξιοποιεί διάφορα μοντέλα και εφαρμόζει την επιχειρησιακή έρευνα προκειμένου να κατευθύνει προς την σωστή απόφαση. Πολλές φορές μεταξύ των δυο προσώπων υπάρχει ένας μεσολαβητής που αντιμετωπίζεται ως εξουσιοδοτημένος σύμβουλος του προσώπου που τελικά αποφασίζει, ενισχύοντας την μεταξύ τους επικοινωνία.

Ο ρόλος του αναλυτή έχει καθιερωθεί ως αυτός του υποστηρικτή της απόφασης. Με την χρήση διαφόρων μοντέλων και την απάντηση ερωτημάτων σχετικών με την χρησιμότητα κάθε δράσης, σταθμίζει θετικές και αρνητικές επιπτώσεις και ουσιαστικά μοντελοποιεί την διαδικασία λήψης απόφασης. Θεωρητικά εκφράζει την αντικειμενικότερη γνώμη, όμως την ευθύνη για τη λήψη της απόφασης και την γενική ανάληψη ευθυνών έχει το πρόσωπο που τελικά αποφασίζει.

Η εξέλιξη των συστημάτων αποφάσεων με την χρήση εργαλείων που επιτρέπουν την πολυκριτηριακή προσέγγιση των προβλημάτων οδήγησε στην ανάπτυξη Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων γνωστά και ως ΣΥΑ. Καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των ΣΥΑ είχε η παράλληλη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και της επιστήμης της πληροφορικής.

Ιστορικά η πρώτη εμφάνιση των ΣΥΑ έγινε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και παρουσιάστηκε μια καινούργια προσέγγιση στην αντιμετώπιση δύσκολων προβλημάτων. Εν αντιθέσει με τα Παραδοσιακά Συστήματα Διοίκησης (ΠΣΔ) που εμφανίστηκαν το 1960, τα ΣΥΑ δεν είχαν ως σκοπό την αντικατάσταση τους αλλά την συμπλήρωσή τους. Σήμερα ΠΣΔ και ΣΥΑ συνεργάζονται σε ένα δυναμικό πλαίσιο προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα στην οργάνωση και διοίκηση.

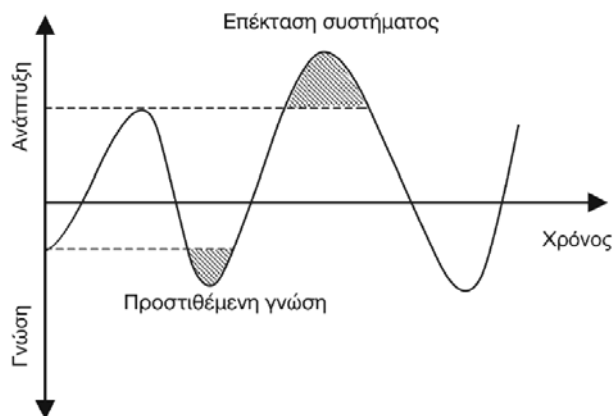
Έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί που περιγράφουν Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, όμως αντιπροσωπευτικότερος θεωρείται ο ορισμός των Keen και Scott-Morton. Αναφέρουν λοιπόν ότι ένα ΣΥΑ αποσκοπεί στην χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για να προάγει την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών λήψης αποφάσεων σε προβλήματα ή δραστηριότητες που χαρακτηρίζονται από χαμηλόβαθμο δόμησης, υποστηρίζοντας και όχι αντικαθιστώντας την κρίση των αποφασίζοντων.

Ομοίως για να γίνει πιο κατανοητός ο παραπάνω ορισμός οι Keen και Scott-Morton χώρισαν τις αποφάσεις σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- Δομημένες αποφάσεις, που λαμβάνονται αυτόματα από μηχανογραφημένες διαδικασίες χωρίς την άμεση συμμετοχή του αποφασίζοντος.
- Ημιδομημένες αποφάσεις. Σε αυτή την περίπτωση οι αποφάσεις λαμβάνονται στα πλαίσια ενός συστήματος ανθρώπου-μηχανής όπου ο αποφασίζων κατέχει πρωτεύοντα ρόλο, έχοντας υπό τον πλήρη έλεγχο του τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- Αδόμητες αποφάσεις. Χαρακτηρίζονται έτσι οι αποφάσεις που είτε δεν είναι δυνατόν να δομηθούν είτε δεν έχει διερευνηθεί σε βάθος και διευκρινιστεί η δυνατότητα δόμησης τους. Σημαντικό ρόλο στην λήψη τέτοιων αποφάσεων έχει η ανθρώπινη διαίσθηση.

Επομένως από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι τα ΣΥΑ διευρύνουν το πεδίο αντίληψης για την κατανόηση του εκάστοτε προβλήματος και εξαιτίας των συνεχών

απαιτήσεων αποτελούν εξελισσόμενα συστήματα με μεγάλη δυνατότητα επέκτασης και προσαρμοστικότητας. Η διαμόρφωση και ανάπτυξη ενός ΣΥΑ αποτελεί μια εξελικτική διαδικασία που εφαρμόζει επαναληπτικά τα παρακάτω τρία στάδια. Α) Σχεδιασμό Β) Εφαρμογή/Χρήση Γ) Αξιολόγηση. Προφανώς και η αξιολόγηση έχει τον ρόλο της ανατροφοδότησης και επομένως τον επανασχεδιασμό προς τις κατευθύνσεις που αποκλίνουν. Η εξέλιξη ενός ΣΥΑ μπορεί να φανεί στο σχήμα 5.2



Σχήμα 5.2 Εξέλιξη ενός ΣΥΑ [23]

Όπως φαίνεται και στο σχήμα το σύστημα επεκτείνεται μεταξύ γνώσης και ανάπτυξης ξεκινώντας από ένα χαμηλό επίπεδο γνώσης. Με την πάροδο του χρόνου πραγματοποιείται μια συνεχώς αυξανόμενη ταλάντωση που παρέχει προστιθέμενη γνώση και επέκταση στο σύστημα. Φυσικά το διάγραμμα είναι ποιοτικό.

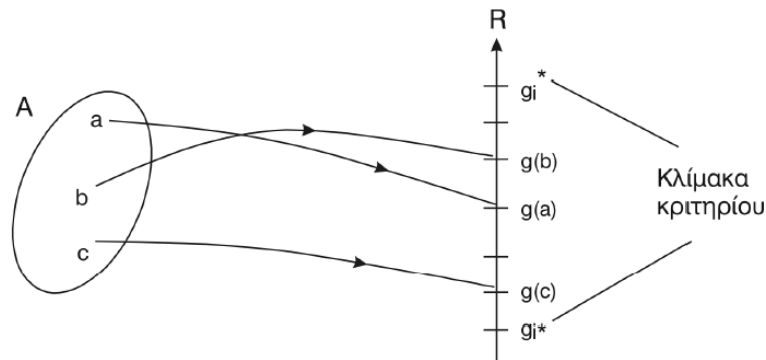
5.3 Ορισμός κριτηρίων και βασικές έννοιες

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.

Μαθηματικά λοιπόν ένα κριτήριο μοντελοποιείται από μια πραγματική συνάρτηση: $g: A \rightarrow R / a \rightarrow g(a)$ με $g(a)$ να ορίζεται ως η τιμή ή αξιολόγηση της δράσης $a \in A$ πάνω στο κριτήριο g . Για την συγκεκριμένη συνάρτηση ισχύει το κριτήριο της συνέπειας ή της μονοτονίας. Δηλαδή αν a, b δυο διαφορετικές δράσεις του συνόλου A τότε αν ισχύει $g(a) > g(b) \Leftrightarrow aSb$. Η έννοια S που αναλύεται παρακάτω σημαίνει ότι η δράση a προτιμάται έναντι της b .

Ο παραπάνω ορισμός δείχνει ότι οι προτιμήσεις ενός αποφασίζοντος αυξάνουν, όσο αυξάνει η τιμή του κριτηρίου. Επομένως για το σχήμα 5.3 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 .

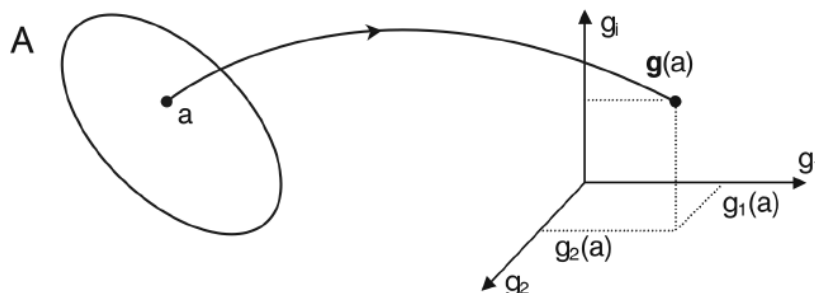
Σε απλά προβλήματα που επαρκεί η χρήση ενός και μόνο κριτηρίου δεν υπάρχει η ανάγκη για κατασκευή συνθετότερων εννοιών. Όταν όμως υπάρχει ένα σύστημα αξιολόγησης δράσεων που απαιτεί την σωστή μοντελοποίηση ενός πολυδιάστατου προβλήματος, τότε μπορεί να οριστεί μια συνεπής οικογένεια κριτηρίων $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ η οποία θα περιλαμβάνει n κριτήρια. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ισχύουν τρεις θεμελιώδεις συνθήκες.



Σχήμα 5.3 Προτιμήσεις αυξανόμενες με τις τιμές του κριτηρίου g , [23]

- Συνέπεια ή μονοτονία. Εάν ισχύει $g_i(a) = g_i(b), \forall i \neq j$ και $g_j(a) > g_j(b)$ τότε η a υπερέχει της 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. Όταν ισχύει $g_i(a) = g_i(b), \forall i = 1, 2, \dots, n$ τότε η μια απόφαση είναι αδιάφορη της άλλης 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. Διαγραφή ενός κριτηρίου από το σύνολο μπορεί να αναιρέσει μια από τις δυο προηγούμενες συνθήκες για κάποια ζεύγη δράσεων. 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 $g(a) = \{g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)\}$ και συνιστά μια πολυκριτήρια αξιολόγηση της. Η αναπαράσταση της στον χώρο φαίνεται στο σχήμα 5.4



Σχήμα 5.4 Πολυκριτήρια απεικόνιση του συνόλου A στον χώρο R^n [23]

Τα κριτήρια χωρίζονται σε τέσσερις επιμέρους κατηγορίες, στην πρώτη βρίσκονται τα ποσοτικά ή μετρικά στα οποία η κλίμακα προτίμησης είναι μια κλίμακα μέτρου. Προφανώς κάθε σύγκριση διαστημάτων στο εσωτερικό της κλίμακας μπορεί να δώσει σαφή συμπεράσματα σχετικά με την προτίμηση του αποφασίζοντος. Από άποψη εφαρμογής, είναι τα πιο εύκολα σε χρήση λόγω της σαφήνειας που ορίζει τα μετρήσιμα μεγέθη. Στην δεύτερη κατηγορία εντάσσονται τα

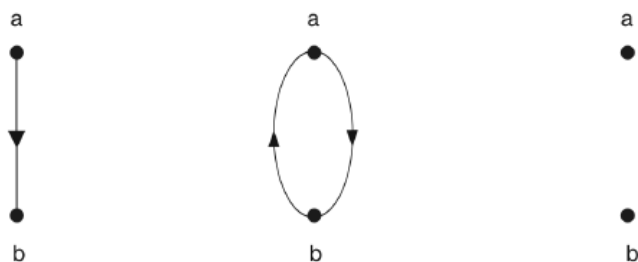
ποιοτικά ή κριτήρια διάταξης. Σε αυτή την περίπτωση η κλίμακα που χρησιμοποιείται έχει την μορφή διάταξης ενώ το σύνολο των δράσεων κατατάσσεται με βάση ισοδυναμίες. Ακολουθούν τα πιθανοτικά κριτήρια στα οποία η αξιολόγηση κάθε δράσης είναι κατά πιθανότητα γνωστή στην κλίμακα του κριτηρίου. Για την εφαρμογή της δεδομένης κατηγορίας αξιοποιούνται τα εργαλεία της θεωρίας πιθανοτήτων και κυρίως τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας. Τέλος υπάρχουν και τα ασαφή κριτήρια 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. Φυσικά υπάρχουν και υποκατηγορίες που εμφανίζουν ιδιαίτερη σημασία και αναλύονται σε επόμενο στάδιο.

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 ακόλουθο διάγραμμα (σχήμα 5.5).

- 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.
- $a\$b$ και $b\$a$ 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 συμβόλισε με το γράμμα Q.



Σχήμα 5.5 Τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις, απόρροια της σχέσης υπεροχής.[23]

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

- $a \sim b$: Μη προτίμηση: aIb ή aRb
- $a > b$: Προτίμηση: aPb ή aQb
- aJb : 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 5.3, 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 κατώφλιων και επομένως εκφράζεται ασθενούς 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 κατώφλιου αδιαφορίας και επομένως ο αναλυτής δεν μπορεί να εκφράσει προτίμηση για κάποια από τις δυο.

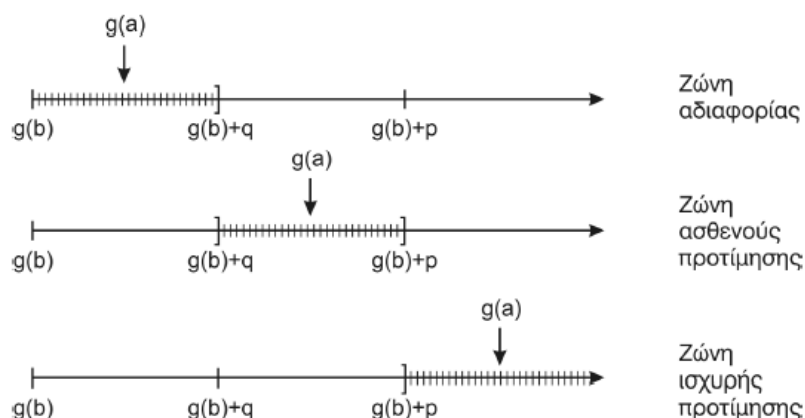
Το συγκεκριμένο σχήμα αποτυπώνει τις ζώνες αδιαφορίας ασθενούς και ισχυρής προτίμησης. Όσο οι τιμές βρίσκονται στην ζώνη αδιαφορίας ο αποφασίζων δεν είναι σε θέση να ξεχωρίσει αν υπάρχει έννοια υπεροχής και βλέπει τις δυο δράσεις σαν

ισοδύναμες. Όταν αυξηθεί η τιμή για το ένα κριτήριο πέρα 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

Οι παραπάνω σχέσεις αναλύονται γραφικά στο σχήμα 5.6., παράλληλα φαίνονται και οι διάφορες ζώνες που θέτουν τα κατώφλια. 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. Τέλος 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.



Σχήμα 5.6 Ζώνες προτίμησης και αδιαφορίας.[23]

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.

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 ονομάζεται ως μοναδιαία παραχώρηση s_{ir}^g η προσαύξηση μονάδων του κριτηρίου g_r που πρέπει να επιτευχθεί στο σημείο $-$ διάνυση g για να αποζημιωθεί ακριβώς η απώλεια μιας μονάδας στο κριτήριο g_i . Η παραπάνω διατύπωση φαίνεται και από τις δυο σχέσεις 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 του 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 συνάρτησης χρησιμότητας $u(g)$. Ο δεύτερος ορισμός παραπέμπει στην διαδεδομένη έννοια της ευαισθησίας που χρησιμοποιείται ευρύτατα στα κλασσικά οικονομικά. Πρόκειται επομένως για μια ευαισθησία μεταξύ δυο κριτηρίων όπως ακριβώς αναμενόταν.

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

5.4 Γενική προσέγγιση 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 αναπτυχθήκαν από τον Γάλλο καθηγητή Bernard Roy στα τέλη της δεκαετίας του 1960.

Για την εφαρμογή οποιουδήποτε αλγορίθμου της συγκεκριμένης μεθόδου, 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 συγκρισιμότητας που έχει οριστεί ως R. Το 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 5.5. 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 $a \Delta b \Leftrightarrow g_i(a) \geq g_i(b) \quad \forall i=1,2,\dots,n$. 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 ανατρέπετε 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 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 κατώφλιων 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 5.1.

Πίνακας 5.1 Τυπολογία μεθόδων ELECTRE [23]

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

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.

Εκτός από τις μεθόδους που φαίνονται στον πίνακα χρήση των σχέσεων υπεροχής γίνεται και στις PROMETHEE I και II που δεν έχουν συνθήκες βέτο αλλά κινούνται σε παρόμοια λογική αλλά με καθαρά αντισταθμιστικό προσανατολισμό.

5.5 Η μέθοδος ELECTRE I

Η ύπαρξη πραγματικών μετρικών κριτηρίων καθώς και πραγματικών κριτηρίων διάταξης σε συνδυασμό με την επιλογή βαρών από τον εκάστοτε αναλυτή οδηγεί στην επιλογή της μεθόδου ELECTRE I όπως προαναφέρθηκε. Για την αποτελεσματική εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου υπάρχουν ορισμένες βασικές προϋποθέσεις οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- A. Ύπαρξη κριτηρίων τα οποία έχουν συντελεστές σημαντικότητας. Οι δεδομένοι συντελεστές που είναι γνωστοί και ως βάρη των κριτηρίων συμβολίζονται ως p_1, p_2, \dots, p_n είναι ίσοι με τον αριθμό των κριτηρίων δηλαδή n και έχουν θετικές τιμές. Το άθροισμα τους είναι υποχρεωτικά

ίσο με την μονάδα επομένως ισχύει: $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Τα βάρη που δεν έχουν

κάποια φυσική έννοια, εκφράζουν την σημασία που έχει κάθε κριτήριο και μπορούν είτε να υπολογιστούν ή ορίζονται από το πρόσωπο που καλείται να πάρει την απόφαση.

- B. Κατώφλι συμφωνίας. Ο αναλυτής ορίζει έναν αριθμό που συμβολίζεται με s και ανήκει στο διάστημα $(0.5...1]$. Η σημασία του συγκεκριμένου αριθμού είναι καθοριστική αφού ουσιαστικά ορίζει τότε μια δράση θεωρείται ότι υπερτερεί έναντι κάποιας άλλης.
- C. Κατώφλια βέτο. 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. Πρακτικά εκφράζουν τότε δυο δράσεις γίνονται ασύγκριτες.

Για πρακτικούς λόγους ισχύει στην βιβλιογραφία ο συμβολισμός $aSb \Leftrightarrow (a, b)$ όταν ικανοποιεί της συνθήκες συμφωνίας και διαφωνίας. Επομένως για να υπάρχει υπεροχή πρέπει να γίνεται έλεγχος των δυο παραπάνω συνθηκών.

Στην αρχή υλοποίησης του αλγορίθμου, αφού έχει αναγνωριστεί ότι η περίπτωση του προβλήματος ανήκει στην προβληματική a , τίθενται τα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν για την λήψη της απόφασης. Έπειτα συγκεντρώνονται όλες οι δυνατές δράσεις που θεωρείται ότι ανήκουν σε ένα διακριτό σύνολο A .

Σε πρώτο στάδιο γίνεται ο έλεγχος συμφωνίας. Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου ελέγχου, αρχικά ορίζονται τα βάρη των εκάστοτε κριτηρίων που υπακούνε στις συνθήκες που προαναφέρθηκαν. Με ορισμένα βάρη κριτηρίων είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο δείκτης συμφωνίας για κάθε ζεύγος δράσεων και να καταγραφεί σε έναν πίνακα.

Ως δείκτης συμφωνίας ορίζεται για ένα ζεύγος δράσεων (a,b) ορίζεται η ακόλουθη συνάρτηση:

$$(1) \quad C(a, b) : A \times A \rightarrow [0,1]$$

Και

$$(2) \quad C(a, b) = \sum_{i^*} p_i, \text{ με } i^* \in \{i / g_i(a) \geq g_i(b)\}$$

Επομένως ο δείκτης συμφωνίας είναι το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου στο οποίο η a προτιμάται ή είναι αδιάφορη της b . Προφανώς το αποτέλεσμα είναι μια μήτρα με τιμές στοιχείων από 0 έως 1 και διαστάσεις $A \times A$, δηλαδή το πλήθος των εναλλακτικών δράσεων όπως δηλώνει άλλωστε και η σχέση (1). Μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή του πίνακα ο αναλυτής θέτει μια τιμή στο κατώφλι συμφωνίας s η οποία ανήκει στο διάστημα $(0.5...1]$. στην συνέχεια γίνεται ο έλεγχος συμφωνίας σύμφωνα με την σχέση: $C(a, b) \geq s$ και κάθε ζευγάρι που την επαληθεύει περνά τον έλεγχο συμφωνίας.

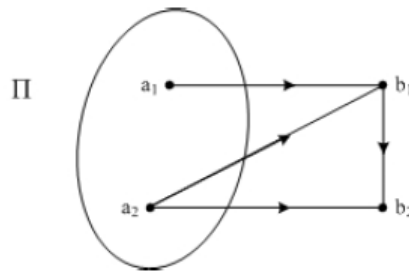
Ολοκληρώνοντας το παραπάνω στάδιο του αλγορίθμου ο αναλυτής προχωρά στον έλεγχο διαφωνίας. Ο σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι να ανιχνευτεί τυχούσα ανατροπή της υπεροχής από μεγάλες διαφορές μεταξύ των κριτηρίων. Όπως είναι φυσικό ο έλεγχος διαφωνίας πραγματοποιείται μόνο στα ζεύγη που έχουν θετικό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

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

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 Π του συνόλου των δράσεων A για το οποίο ισχύει:

- a) $\forall b \in A - \Pi, \exists a \in \Pi$ για το οποίο ισχύει $a \succ b$
- b) $\forall a_1 \in \Pi$ και $a_2 \in \Pi$, $a_1 \nprec a_2$ και $a_2 \nprec a_1$



Σχήμα 5.7 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής.[23]

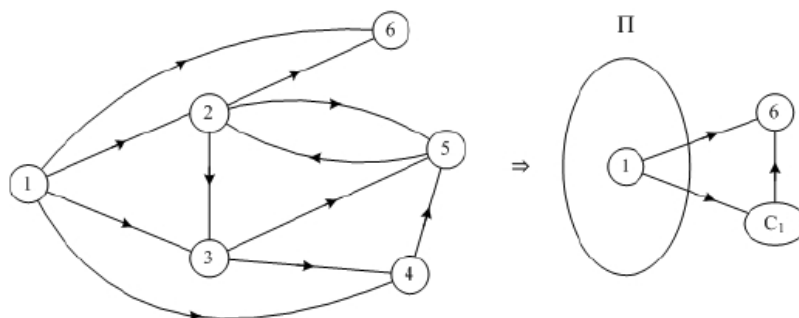
Η πρώτη από τις δυο συνθήκες εξασφαλίζει ότι κάθε δράση εκτός πυρήνα συνδέεται με τουλάχιστον μια δράση εντός του πυρήνα (σχήμα 5.7). Η δράση που βρίσκεται μέσα υπερέχει. Πρόκειται για την εξωτερική συνθήκη. Ο δεύτερος εσωτερικός τύπος δείχνει ότι οι δράσεις μέσα στον πυρήνα συνδέονται με σχέση αδιαφορίας. 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.

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 αντικατάστασή 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 5.8). 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 5.8 Απαλοιφή μέγιστου κυκλώματος σε γράφημα υπεροχής.[23]

Παράλληλα ορίζονται μερικά εργαλεία που βοηθούν τον αναλυτή να αξιολογήσει καλύτερα την κατάσταση από την γραφική προσέγγιση. Το πρώτο, ο δείκτης συνάφειας 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.

Το δεύτερο εργαλείο γνωστό και ως δείκτης σύνδεσης του κυκλώματος αναφέρεται στον αριθμό των τόξων που συνδέουν το κύκλωμα με μια εξωτερική δράση, προς τον αριθμό των εσωτερικών δράσεων 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 . Συνοπτικά ο αλγόριθμος της ELECTRE I βρίσκεται στο τέλος του κεφαλαίου σε μορφή διαγράμματος ροής.

5.6 Παρατηρήσεις πάνω στην 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.

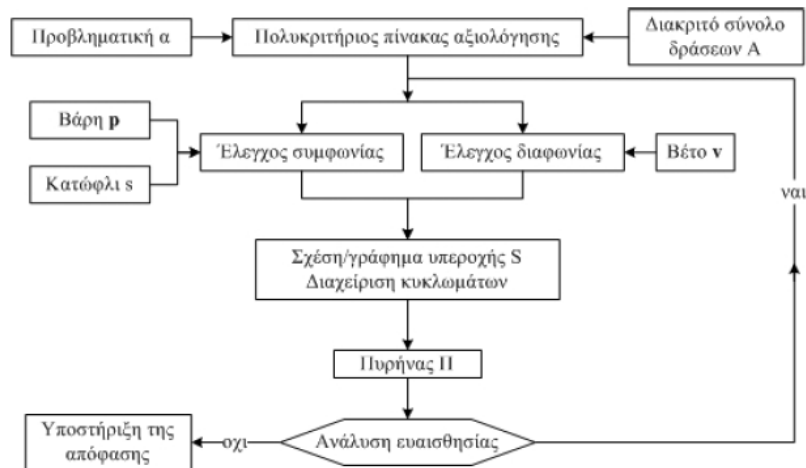
Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κάθε αναλυτής είναι ο καθορισμός των βαρών κάθε κριτηρίου. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της υλοποίησης θεωρούμε ότι είναι κάτι δεδομένο όμως στην πράξη κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Για να αντιμετωπιστεί η δεδομένη δυσκολία πρέπει να διατυπωθεί σωστά πρόβλημα ώστε τα βάρη να ανταποκρίνονται στην πραγματική πρόθεση του αποφασίζοντος και σε μια ρεαλιστική κατάσταση. Επιπλέον η επιλογή συντελεστών βαρών 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.

Σε δεύτερη προσέγγιση ο αναλυτής έχει να αντιμετωπίσει προβλήματα σχετικά με την σωστή επιλογή κατώφλιων βέτο. Γενικά είναι δύσκολο να οριστεί πότε 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.

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.

Η ανάλυση ευαισθησίας που αποτελεί και το τελευταίο βήμα του αλγορίθμου είναι ουσιαστικά η συνεχής επανάληψη του της μεθόδου με μεταβολή των μεγεθών που προαναφερθήκαν. 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 τέλει να διευκρινισθεί ότι ενώ η μέθοδος ELECTRE I είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο που βοηθά πολύ στην πολυκριτηριακή ανάλυση της προβληματικής a με πραγματικά κριτήρια, δεν έχει την απαραίτητη θεωρητική βάση ώστε να αποκτήσει το βάρος απόδειξης με την αυστηρή μαθηματική έννοια. Ο αλγοριθμος του λογικού διαγράμματος φαίνεται εν τέλει στο σχήμα 5.9[23]



Σχήμα 5.9 Λογικό διάγραμμα μεθόδου.[23]

Κεφάλαιο 6

Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I για την αξιολόγηση επιμέρους στοιχείων

6.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή της μεθόδου Electre I, για την αξιολόγηση επιμέρους τμημάτων που αφορούν τις δεδομένες εγκαταστάσεις φωτισμού.

Για την αποτελεσματική εφαρμογή της μεθόδου με μεγάλη ταχύτητα και ευκολία, έγινε σκόπιμο να αναπτυχθεί αλγόριθμος που υλοποιείται στο πρόγραμμα Excel 2010 με την χρήση μακροεντολών σε Visual Basic. Ενώ το πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά για ικανοποιητικό αριθμό δράσεων και κριτηρίων (15 δράσεις και 15 διαφορετικά κριτήρια), δεν ενσωματώθηκε στην παρούσα διπλωματική κυρίως εξαιτίας της έλλειψης σημασιολογικού ελέγχου, αλλά και γιατί θεωρήθηκε ότι δεν ήταν στο άμεσο μέρος της εργασίας παρά μόνο ένα εργαλείο διευκόλυνσης.

Επιπλέον για την σχεδίαση των γραφημάτων που παρουσιάζονται παρακάτω, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Gephi.0.8.2 beta.

6.2 Εφαρμογή ELECTRE I

Ακολουθεί η εφαρμογή της μεθόδου για κάθε στοιχείο της εγκατάστασης ξεχωριστά. Τα κυριότερα στοιχεία που αφορούσαν την ερευνά είναι οι λαμπτήρες φθορισμού T5 και T8, λαμπτήρες LED με γεωμετρικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων T8, ballasts για σωστή τροφοδοσία των λαμπτήρων φθορισμού, αισθητήρες παρουσίας PIR και αισθητήρες ανίχνευσης φωτός.

Όπως αναφέρθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο οι δράσεις του πυρήνα είναι αυτές που ο αποφασίζων θεωρεί ότι υπερέχουν και είναι κατάλληλες για επιλογή. Κάθε δράση που ανήκει στον πυρήνα θα εμφανίζεται στα διαγράμματα υπεροχής με ένα κύκλο με άσπρο χρώμα στο εσωτερικό του, ενώ οι υπόλοιπες περιπτώσεις αφορούν τις επιλογές που δεν προτείνονται ως βέλτιστη λύση.

Για λόγους απλοποίησης η αναφορά σε κάθε δράση δεν γίνεται με το όνομα της αλλά με ένα γράμμα του αγγλικού αλφάβητου όπως ορίζεται από το εκάστοτε υπόμνημα.

Σε αρκετά από τα παραδείγματα γίνεται και η ανάλογη μελέτη ευαισθησίας που βοηθά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την ευστάθεια του συστήματος.

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. Γενικότερα τα κριτήρια επιλέχθηκαν σε μια προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης βάζοντας το κόστος σε δεύτερο πλάνο. Σε πολλές περιπτώσεις υπήρχαν και ορισμένα ασθενέστερα κριτήρια.

6.3 Λαμπτήρες T5

Μετά από την ανάλογη έρευνα βρέθηκαν οι λαμπτήρες που φαίνονται στον πίνακα 6.1. Όλοι είναι λαμπτήρες τεχνολογίας T5 με ισχύ 14W.

Πίνακας 6.1 Λαμπτήρες T5 14W

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	GE	T5 LongLast 835 – CCT 3500K – White
B	GE	F14W/T5/835/ECO
C	Philips	14W/830 Min Bipin T5
D	Philips	MASTER TL5 HE 14W/865 UNP
E	Philips	TL5 14W/865/GP HE
F	Osram	HE 14 W/827
G	Osram	T5 HE FH 14W-865 FDH
H	Narva	LT - T5 14 W EQ COLOURLUX plus 827
I	Sylvania	T5 FHE LUXLINE PLUS HOMELIGHT DE LUXE

Συγκρίνοντας τα εκάστοτε χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα δεδομένα των εκάστοτε data sheet και αξιοποιώντας μόνο όσα έχουν σημασία για την μελέτη, κατασκευάζεται ο πίνακας με τις τιμές που ακολουθούν. Προφανώς αυτές οι τιμές αποτελούν και τα κριτήρια για την μέθοδο (Πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.2 Χαρακτηριστικά λαμπτήρων T5 14W

Δράσεις	Φ. Ροή (lm)	CRI	Χρ. Ζωής (Ωρες)	Κόστος (€)
A	1230	85	30000	3,8
B	1350	85	36000	5,9
C	1350	83	24000	2,95
D	1250	85	24000	2,88
E	1260	85	24000	2,87
F	1200	80	24000	2,75
G	1100	80	20000	5,62
H	1200	80	20000	3,4
I	1230	80	24000	2,67

Η φωτεινή ροή προφανώς ισούται με την φωτεινή ενέργεια με μορφή ορατής ακτινοβολίας που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή, τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου, σε χρόνο dt προς τον χρόνο αυτό. Εδώ αντί για σημειακή πηγή υπάρχει ο εκάστοτε λαμπτήρας. Τιμές βέτο λόγω μικρών αυξομειώσεων δεν σημειώνονται στην πρώτη κατηγορία. Τα βάρη διαμορφώθηκαν όπως φαίνεται στον πίνακα 6.3:

Πίνακας 6.3 Βάρη Κριτηρίων για λαμπτήρες T5

Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Φωτεινή Ροή	0,35	-
2	CRI	0,2	-
3	Χρ. Ζωής	0,2	-
4	Κόστος	0,25	-

Η λογική επιλογής των συγκεκριμένων βαρών προκύπτει εύκολα αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η πιο σημαντική παράμετρος στην εξοικονόμηση με δεδομένη κατανάλωση αποτελεί η υψηλή απόδοση που εκφράζεται με την υψηλή φωτεινή ροή. Η ποιότητα χρώματος αλλά και ο χρόνος ζωής έχουν προφανώς δευτερεύουσα σημασία ενώ το κόστος έμεινε σε ένα ουδέτερο βάρος του 0,25. Η ποιότητα χρώματος είναι μέγεθος που έχει μεγαλύτερη βαρύτητα σε ειδικούς χώρους που απαιτείται μεγάλη ευκρίνεια, για χώρους διδασκαλίας οποιαδήποτε τιμή CRI από το 80 και πάνω θεωρείται επαρκής.

Μετά την εκτέλεση πράξεων για τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει η ακόλουθη μήτρα δεικτών συμφωνίας C. Ο πίνακας παράγεται ως εξής, κάθε δράση συγκρίνεται με τις υπόλοιπες για κάθε κριτήριο. Όταν η τιμή του εκάστοτε χαρακτηριστικού είναι μεγαλύτερη ή ίση με αυτή της άλλης δράσης τότε προστίθεται στο αποτέλεσμα ο αριθμός του βάρους του κριτηρίου. Εξαιρέση αποτελούν τα μεγέθη ελαχιστοποίησης όπως το κόστος που συμβαίνει η ακριβώς ανάποδη διαδικασία. Για παράδειγμα η δράση B υπερέχει έναντι της A σε ότι αφορά την φωτεινή ροή, το CRI που παρατηρείται ισοβαθμία και τον χρόνο ζωής. Επομένως ο συντελεστής θα υπολογιστεί ως $0,35+0,2+0,2=0,75$ όπως σημειώνεται και στον πίνακα 6.4.

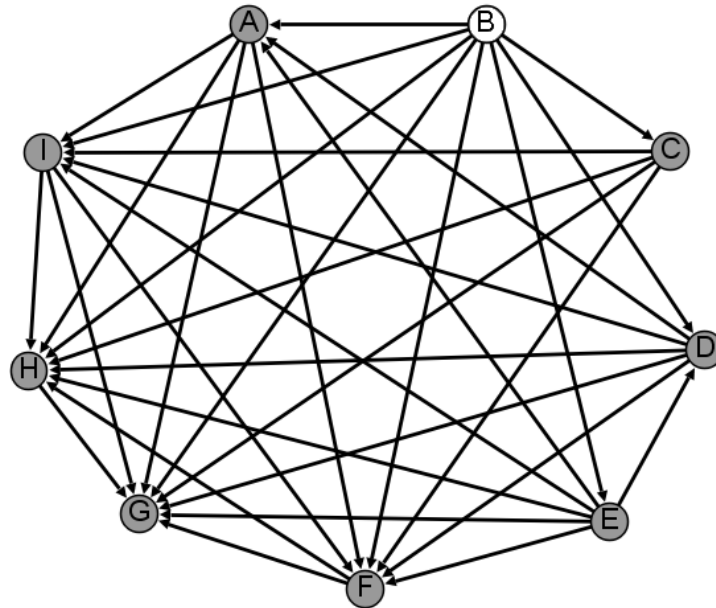
Πίνακας 6.4 Μήτρα συμφωνίας C για λαμπτήρες T5

Δράσεις	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1	0,45	0,4	0,4	0,4	0,75	1	0,75	0,75
B	0,75	1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,6	0,6	1	0,55	0,55	0,75	1	1	0,75
D	0,8	0,45	0,65	1	0,4	0,75	1	1	0,75
E	0,8	0,45	0,65	1	1	0,75	1	1	0,75
F	0,25	0,25	0,45	0,45	0,45	1	1	1	0,4
G	0	0,25	0	0	0	0,2	1	0,4	0,2
H	0,25	0,25	0	0	0	0,55	1	1	0,2
I	0,6	0,25	0,45	0,45	0,45	1	1	1	1

Από τον συγκεκριμένο πίνακα είναι προφανές ότι ένα ικανοποιητικό κατώφλι συμφωνίας αποτελεί η τιμή $s=0,75$. Κάθε δράση που έχει αριθμό μεγαλύτερο η ίσο του s σε σχέση με κάποια άλλη, υπερέχει από αυτήν. Για παράδειγμα η δράση B υπερέχει της A ή η δράση D υπερέχει της F. Εκτελώντας ακολούθως έλεγχο διαφωνίας, εξετάζεται η περίπτωση που ασκείται βέτο και ανατρέπεται η υπεροχή. Εδώ επειδή δεν έχουν οριστεί κατώφλια βέτο δεν υπάρχει τέτοια περίπτωση και το διάγραμμα υπεροχής είναι όπως στο ακόλουθο σχήμα. Τα στοιχεία της διαγωνίου προφανώς δεν αναφέρονται στο διάγραμμα ούτε έχουν κάποια υπόσταση, αντίθετα έχουν πάντα την τιμή 1 αφού κάθε δράση συγκρινόμενη με τον εαυτό της πάντα ισοβαθμεί σε κάθε κριτήριο.

Το διάγραμμα του σχήματος 6.1 με μια πρώτη ματιά φαίνεται ιδιαίτερα περίπλοκο και δυσνόητο, όμως στην πραγματικότητα είναι πολύ απλό. Αν μελετηθεί προσεκτικότερα φαίνεται ότι η μόνη δράση που δεν εμφανίζεται υποδεέστερη κάποιας άλλης είναι η δράση B. Αυτό την εντάσσει άμεσα στον πυρήνα. Στον πυρήνα εντάσσονται επίσης οι καλύτερες μεταξύ των ασύγκριτων δράσεων, δηλαδή οι καλύτερες από τις δράσεις που δεν είναι υποδεέστερες από δράσεις που εντάσσονται άμεσα στον πυρήνα. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν δράσεις που να μην εμφανίζονται κατώτερης προτίμησης από την B επομένως δεν υπάρχουν ασύγκριτες δράσεις και ο πυρήνας αποτελείται μόνο από αυτή.

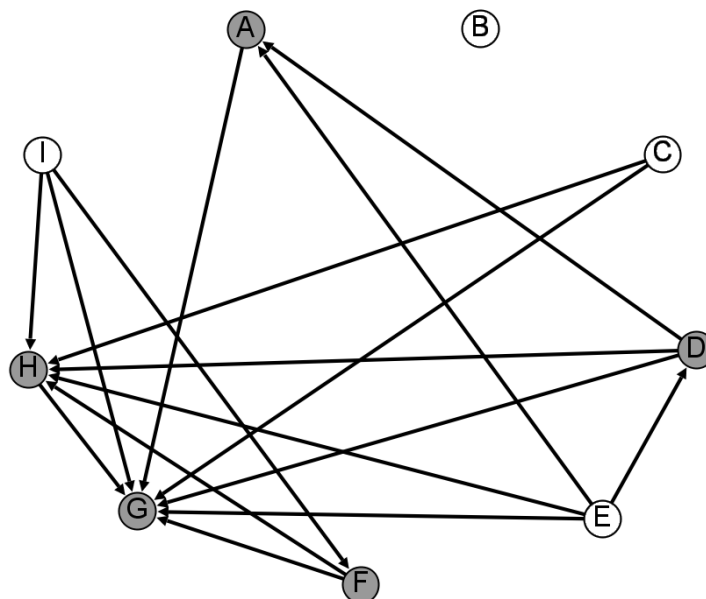
Για τα παραπάνω δεδομένα η καλύτερη επιλογή είναι ο λαμπτήρας T5 LongLast 835 – CCT 3500K – White της General Electric.



Σχήμα 6.1 Γράφημα υπεροχής για τους λαμπτήρες T5 με δείκτη συμφωνίας 0,75

6.4 Ανάλυση ευαισθησίας για τους λαμπτήρες T5

Σε μεγαλύτερη ανάλυση θα ήταν δυνατόν να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις που θα πραγματοποιούνταν στην λήψη απόφασης με την αλλαγή μερικών από τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί. Σε καμία περίπτωση αυτή η αλλαγή δεν αφορά τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά μεταβλητά στοιχεία όπως ο δείκτης συμφωνίας ή τα εκάστοτε βάρη κριτηρίων.



Σχήμα 6.2 Γράφημα υπεροχής για τους λαμπτήρες T5 με δείκτη συμφωνίας 0,8

Αν για παράδειγμα ο δείκτης συμφωνίας έπεφτε, το διάγραμμα υπεροχής θα γινόταν αρκετά πολυπλοκότερο με εμφάνιση περισσότερων σχέσεων υπεροχής.

Επειδή μάλιστα οριστήκαν δυο κριτήρια όπως ο χρόνος ζωής και η ποιότητα χρώματος, που σε αρκετές δράσεις ισοβαθμούν, θα παρατηρηθεί διπλό βελάκι από και προς μια δράση. Έτσι για παράδειγμα αν ο δείκτης συμφωνίας είχε οριστεί στο 0,6 η δράση C θα υπερτερούσε έναντι της B αλλά παράλληλα θα ίσχυε και το αντίστροφο. Επομένως βάση ορισμού θα υπήρχε μεταξύ τους συνθήκη αδιαφορίας. Μια τέτοια λύση δεν μπορεί να βοηθήσει την μελέτη και προφανώς απορρίπτεται.

Στην αντίθετη περίπτωση αν τεθεί ως δείκτης συμφωνίας η τιμή 0,8 πολλές από τις σχέσεις υπεροχής καταρρέουν και το διάγραμμα έχει την μορφή του σχήματος 6.2.

Σε αυτό το διάγραμμα ο πυρήνας αποτελείται από τις δράσεις B,C,E και I, η μέθοδος δεν δίνει καθαρή απάντηση για την υπεροχή μεταξύ των διαφόρων προτάσεων. Η δράση B που πριν υπερτερούσε έναντι όλων τώρα λόγω κόστους δεν υπερτερεί από καμιά αλλά είναι στον πυρήνα χωρίς να συνδέεται με τις υπόλοιπες. Όταν συμβαίνει αυτό για χαμηλότερες τιμές δείκτη συμφωνίας, καθώς το 0,8 είναι αρκετά ψηλό, αυτό δείχνει ότι η δεδομένη δράση έχει φτιαχτεί με άλλες προδιαγραφές και στοχεύει στην κάλυψη διαφορετικών απαιτήσεων επομένως δεν μπορεί να συγκριθεί με τα υπόλοιπα στοιχεία αποτελεσματικά.

Στην προκείμενη περίπτωση μένουν μόνο οι περιπτώσεις που έχουν 1 δηλαδή υπάρχει υπεροχή σε κάθε κριτήριο, άρα για κάθε κατώφλι συμφωνίας μεγαλύτερο του 0,75 οδηγεί στο παραπάνω διάγραμμα. Η μέθοδος δεν λειτουργεί αποτελεσματικά και πρόκειται για μια ασταθή κατάσταση που απλώς αναφέρεται για λόγους πληρότητας.

Έστω τώρα ότι πρέπει να αλλάξουν τα βάρη των κριτηρίων. Αν τεθούν διαφορετικά βάρη όπως στον πίνακα 6.5 ισχύει:

Πίνακας 6.5 Πίνακας αναπροσαρμογής βαρών των κριτηρίων για λαμπτήρες

Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Φωτεινή Ροή	0,35	-
2	CRI	0,15	-
3	Χρ. Ζωής	0,2	-
4	Κόστος	0,3	-

Η μήτρα συμφωνίας (Πίνακας 6.6) παρουσιάζεται ακολούθως:

Πίνακας 6.6 Μήτρα συμφωνίας C για λαμπτήρες T5 με τα καινούργια βάρη

Δράσεις	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1	0,45	0,35	0,35	0,35	0,7	1	0,7	0,7
B	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
C	0,65	0,65	1	0,55	0,55	0,7	1	1	0,7
D	0,8	0,45	0,65	1	0,35	0,7	1	1	0,7
E	0,8	0,45	0,65	1	1	0,7	1	1	0,7
F	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,35
G	0	0,3	0	0	0	0,15	1	0,35	0,15
H	0,3	0,3	0	0	0	0,5	1	1	0,15
I	0,65	0,3	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1

Η παραπάνω μήτρα δίνει για κάθε $s > 0,7$ το ίδιο διάγραμμα υπεροχής με αυτό του σχήματος 6.2. Η πρώτη λύση που δόθηκε και θα ακολουθηθεί είναι η αντικειμενικότερη αν και δεν είναι ευσταθής, όπως φαίνεται και από την ανάλυση που τείνει να αλλάξει στην κατάσταση του σχήματος 6.2. Για μικρές μεταβολές η B

μπορεί να γίνει ασύγκριτη προς τις άλλες δράσεις ενώ οι C,E και I να μπουν στον πυρήνα. Οι δράσεις G και H είναι ιδιαίτερα αδύναμες και χάνουν από πολλές άλλες δράσεις σε όλα τα κριτήρια.

Το γράφημα υπεροχής θα παραμείνει το ίδιο (Σχήμα 6.2) και για την περίπτωση που τεθούν βάρη με τιμές 0,35 0,15 0,25 και 0,25 για τα ανάλογα κριτήρια χωρίς να αλλάξει ο συντελεστής συμφωνίας. Μια πολιτική προσανατολισμένη τόσο στην φωτεινή ροή όσο και στο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, δείχνει ότι δεν υπάρχει αλλαγή στο τελικό αποτέλεσμα, επομένως παρατηρείται ευστάθεια στην λύση από την πλευρά ευαισθησίας των κριτηρίων για αυτές τις περιπτώσεις.

6.5 Λαμπτήρες T8

Αν ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία, επαναλαμβάνεται η ανάλυση για την περίπτωση των λαμπτήρων T8 με ισχύ κοντά στα 18W. Η έρευνα έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7 Λαμπτήρες T8 με ισχύ κοντά στα 18W

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Philips	MASTER TL-D Super 80 18W/827 1SL
B	Philips	F17T8/TL850 ALTO
C	Sylvania	T8 LuxLine Plus Homelight De Luxe (827)
D	Osram	L 18 W/827
E	Osram	L BIOLUX 18W/965
F	Osram	LUMILUX XXXT T8
G	Narva	LT - T8 18 W COLOURLUX plus
H	GE	T8 Polylux

Στον παραπάνω πίνακα υπάρχουν κάποιες μικρές ιδιαιτερότητες που θεωρούνται όμως ανεκτές και σε επαρκή όρια. Ο λαμπτήρας της περίπτωσης B δηλαδή ο F17T8/TL850 ALTO της Philips, έχει ισχύ 17W, αντίθετα με την υπόλοιπη κατηγορία που έχει 18. Η διαφορά είναι τόσο μικρή που επιτρέπεται να ενταχθεί στην κατηγορία χωρίς αλλοίωση του αποτελέσματος. Επιπλέον οι λαμπτήρες E και F είναι ειδικά μοντέλα της Osram με ιδιαίτερες επίδοσης σε CRI και χρόνο ζωής αντίστοιχα. Κατά τα άλλα οι υπόλοιπες περιπτώσεις είναι συμβατικά μοντέλα κάθε εταιρίας. Τα χαρακτηριστικά τους συγκεντρωτικά φαίνονται στον πίνακα 6.8

Πίνακας 6.8 Χαρακτηριστικά λαμπτήρων T8

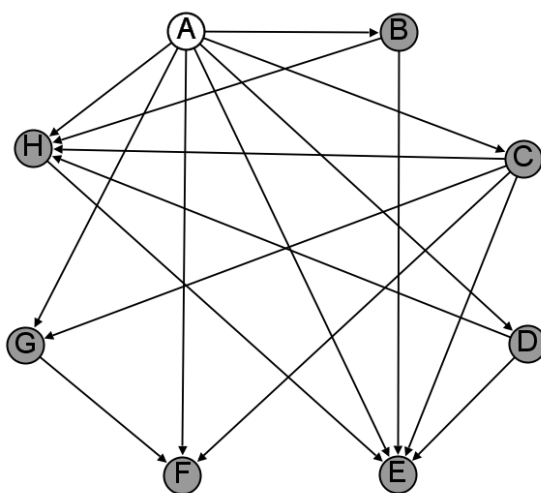
Δράσεις	Φωτεινή Ροή (lm)	CRI	Χρ. Ζωής (Ωρες)	Κόστος (€)
A	1350	85	20000	2,1
B	1300	82	24000	3,56
C	1350	80	20000	4,5
D	1300	80	20000	2,1
E	1000	95	20000	10,62
F	1350	80	80000	19,44
G	1350	80	16000	7,99
H	1300	80	23000	4,54

Για κριτήρια και βάρη όπως στον πίνακα 6.5 η μέθοδος δίνει την ακόλουθη μήτρα συμφωνίας (Πίνακας 6.9):

Πίνακας 6.9 Μήτρα συμφωνίας C για λαμπτήρες T8

Δράσεις	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1	0,8	1	1	0,8	0,8	1	0,8
B	0,2	1	0,65	0,75	0,8	0,45	0,65	1
C	0,55	0,35	1	0,75	0,8	0,8	1	0,8
D	0,45	0,6	0,65	1	0,8	0,45	0,65	0,8
E	0,4	0,2	0,4	0,4	1	0,45	0,4	0,2
F	0,55	0,55	0,75	0,75	0,55	1	0,75	0,75
G	0,35	0,35	0,55	0,55	0,6	0,8	1	0,55
H	0,2	0,35	0,4	0,75	0,8	0,45	0,65	1

Ο δείκτης συμφωνίας σε αυτή την περίπτωση τίθεται ίσος με 0,8, σε αντίθετη περίπτωση (χαμηλότερης τιμής) παρουσιάζονται βέλη με διπλή κατεύθυνση. Το γράφημα υπεροχής φαίνεται στο σχήμα 6.3 σε αυτή την περίπτωση.



Σχήμα 6.3 Γράφημα υπεροχής για τους λαμπτήρες T8 με δείκτη συμφωνίας 0,8

Φαίνεται από το γράφημα ότι η μοναδική δράση που βρίσκεται στον πυρήνα είναι η A που υπερέχει έναντι όλων των υπολοίπων. Πρόκειται για το μοντέλο MASTER TL-D Super 80 18W/827 1SL της Philips. Το διάγραμμα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που αναλύθηκε στους λαμπτήρες T5 για την εξαγωγή του πυρήνα

6.6 Ανάλυση ευαισθησίας για τους λαμπτήρες T8

Η ανάλυση ευαισθησίας για τους λαμπτήρες T8 παρουσιάζει επίσης πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Αν επιβληθεί κατώφλι διαφωνίας στην τιμή πχ. 5 €(για τις περιπτώσεις E,F και G) τότε παρατηρείται ότι το διάγραμμα δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ακριβότερες επιλογές δεν παρουσιάζουν κάποια σχέση υπεροχής που να ανατρέπεται. Για παράδειγμα η περίπτωση E, περιλαμβάνει λαμπτήρα με μεγάλη ποιότητα χρώματος, η οποία σαν κριτήριο δεν έχει μεγάλη αξία στην δεδομένη μελέτη άρα, δεν αλλάζει το αποτέλεσμα. Το ίδιο ισχύει για τις περιπτώσεις F και G όπου στην μια παρατηρείται μεγάλος χρόνος ζωής και στην άλλη η δράση έχει υψηλή τιμή αλλά μέτρια τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά.

Επίσης το διάγραμμα παραμένει το ίδιο αν αλλάξει το βάρος των κριτηρίων σύμφωνα με τον πίνακα 6.5. για ίδιο συντελεστή συμφωνίας και χωρίς βέτο. Άρα η

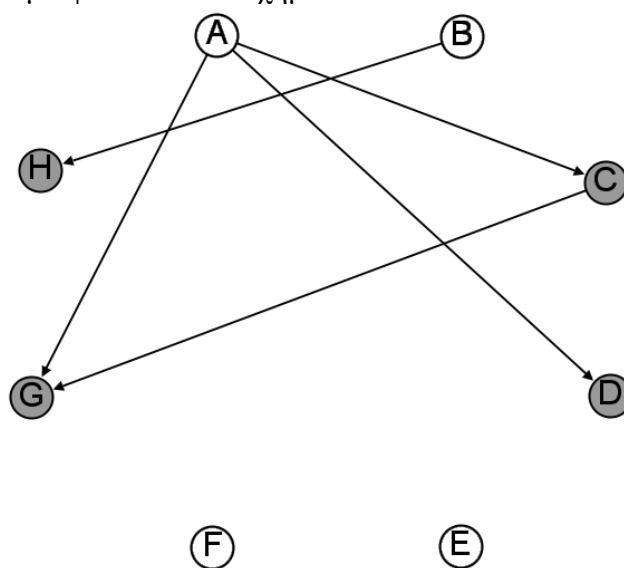
ανάλυση ευαισθησίας δείχνει ότι υπάρχει μια σχετικά ισχυρή λύση που είναι ευσταθής. Η μήτρα C για το δεδομένο παράδειγμα βρίσκεται στον πίνακα 6.10. Ουσιαστικά προκύπτει το ίδιο γράφημα υπεροχής.

Πίνακας 6.10 Μήτρα συμφωνίας C για λαμπτήρες T8 με διαφορετικά βάρη

Δράσεις	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1	0,8	1	1	0,85	0,8	1	0,8
B	0,2	1	0,65	0,7	0,85	0,45	0,65	1
C	0,55	0,35	1	0,7	0,85	0,8	1	0,8
D	0,5	0,65	0,65	1	0,85	0,45	0,65	0,8
E	0,35	0,15	0,35	0,35	1	0,45	0,35	0,15
F	0,55	0,55	0,7	0,7	0,55	1	0,7	0,7
G	0,35	0,35	0,5	0,5	0,65	0,8	1	0,5
H	0,2	0,35	0,35	0,7	0,85	0,45	0,65	1

Αν τώρα οριστούν τα κανονικά κριτήρια (Πίνακας 6.3) και αλλάξει ο δείκτης συμφωνίας, παρατηρείται ότι για τιμή στα 0,75 δημιουργούνται βέλη διπλής κατεύθυνσης και επομένως σχέσεις αδιαφορίας που δείχνουν ότι η τιμή συμφωνίας πρέπει να αυξηθεί, αυτό φαίνεται στον πίνακα 6.9 για δράσεις όπως οι C και F.

Σε αντίθετη περίπτωση αν αυξηθεί ο δείκτης συμφωνίας το διάγραμμα απλουστεύεται, αφού αρκετές σχέσεις υπεροχής καταργούνται. Για μια ενδεικτική τιμή 0,85 το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 6.4.

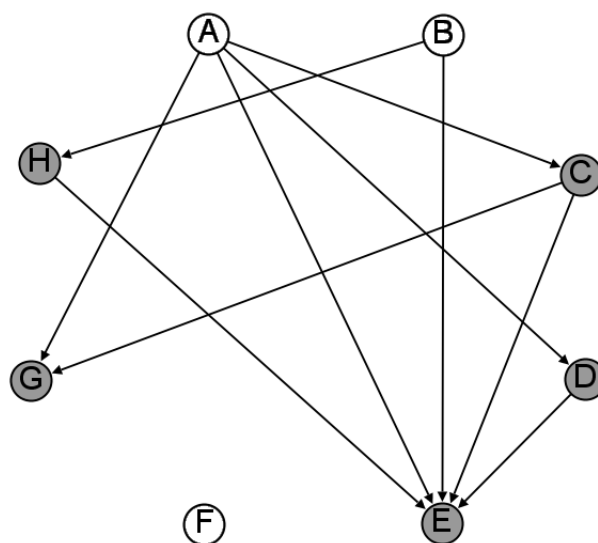


Σχήμα 6.4 Γράφημα υπεροχής για τους λαμπτήρες T8 με δείκτη συμφωνίας 0,85

Γίνεται φανερό ότι για μεγαλύτερο δείκτη συμφωνίας μπαίνουν οι B, E, F στον πυρήνα και η μέθοδος δεν δίνει ξεκάθαρο αποτέλεσμα. Οι C, D, G και H είναι οι πιο αδύναμες προτάσεις. Η υπεροχή της A βασίζεται σε ένα σχετικά ευσταθές σύστημα και αυτό είναι λογικό διότι υπερέρχει σχεδόν σε κάθε κριτήριο συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες δράσεις.

Αν τα βάρη των κριτηρίων αλλάξουν σε 0,35, 0,15, 0,2, 0,3 (αποδυνάμωση κριτηρίου CRI και αύξηση κριτηρίου κόστους) και παραμείνει ο ίδιος συντελεστής συμφωνίας (0,8), τότε το διάγραμμα θα μείνει ανεπηρέαστο. Σε περίπτωση όμως που

γίνουν 0,35, 0,15, 0,25, 0,25 (αποδυνάμωση CRI και αύξηση κριτηρίου χρόνου ζωής) τότε προκύπτει το παρακάτω γράφημα (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.5 Γράφημα υπεροχής, περίπτωση όπου έχουν αλλάξει τα βάρη των κριτηρίων (Φωτεινή ροή 0,35 , CRI 0,15, χρόνος ζωής 0,25, κόστος 0,25)

Αλλαγή κριτηρίων και προσανατολισμός προς το κόστος συντήρησης καθιστά την περίπτωση E υποδεέστερη και εκτός πυρήνα όπως ήταν αναμενόμενο.

6.7 Ballasts

Ανάλογη έρευνα έγινε και στον βοηθητικό εξοπλισμό που απαιτείται για την εγκατάσταση λαμπτήρων φθορισμού στον χώρο. Προφανώς στην συγκεκριμένη περίπτωση με βάση τα φωτιστικά που χρησιμοποιούνται ανά σενάριο διακρίνονται τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις.

- Ballasts για T5 που τροφοδοτούν 2 λαμπτήρες ανά φωτιστικό
- Ballasts για T5 που τροφοδοτούν 4 λαμπτήρες ανά φωτιστικό
- Ballasts για T8 που τροφοδοτούν 2 λαμπτήρες ανά φωτιστικό
- Ballasts για T8 που τροφοδοτούν 4 λαμπτήρες ανά φωτιστικό

Τα κριτήρια της μεθόδου αλλάζουν ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Για τα ballasts τα κυριότερα στοιχεία που μας δίνουν διαβαθμίσεις ποιότητας ήταν οι απώλειες κατά την λειτουργία σε W, η αξιολόγηση με βάση τα πρότυπα της EEI, ο χρόνος έναυσης σε δευτερόλεπτα, ο χρόνος ζωής σε ώρες, η δυνατότητα dimming και το κόστος σε €.

Οι απώλειες όπως είναι φυσικό εντάσσονται στα βασικότερα κριτήρια διότι όταν η εξοικονόμηση αποτελεί τον πρώτο στόχο, πρέπει να επιλέγονται μη ενεργοβόρες συσκευές. Ο βαθμός EEI είναι ένας ξεχωριστός δείκτης αξιολόγησης που έχει οριστεί από την E.E. για κατάταξη των ηλεκτρικών συσκευών ως προς την ενεργειακή απόδοση. Προφανώς έχει μεγαλύτερη βαρύτητα γιατί ακολουθεί κάποια πρότυπα. Πρακτικά θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι επικαλύπτεται από το πρώτο κριτήριο ,κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει. Ο λόγος που δεν ισχύει είναι το γεγονός ότι η αξιολόγηση

αυτή περιλαμβάνει πρότυπα συμπεριφοράς αρμονικών συνιστωσών και γενικές αξιολογήσεις σχετικά με συντελεστές ισχύος παράλληλα με την γενική κατανάλωση. Η ποιότητα ισχύος κατανάλωσης μιας συσκευής είναι ιδιαίτερα σημαντική για την σωστή λειτουργία μιας εγκατάστασης και την εύρυθμη λειτουργία του υπόλοιπου εξοπλισμού όπως για παράδειγμα καλώδια διακόπτες και ευαίσθητες συσκευές. Ο χρόνος έναυσης δηλαδή το διάστημα που απαιτείται από την στιγμή που το ballast δέχεται τάση μέχρι να ανάψουν οι λαμπτήρες είναι ένα κριτήριο με χαμηλή όμως σημασία. Μόνο σε περιπτώσεις με αισθητήρες παρουσίας η βαρύτητα του κριτηρίου θα μπορούσε να αυξηθεί. Η δυνατότητα dimming είναι βασική όταν ο στόχος είναι ο περιορισμός της κατανάλωσης είτε με την χρήση αισθητήρων φωτός ή με χειροκίνητο τρόπο. Τέλος το κόστος είναι ένα μέτριο σε βάρος κριτήριο που πρέπει να συνυπολογίζεται σε κάθε περίπτωση.

Ο βαθμός EEI τυποποιήθηκε με βάση τον πίνακα 6.11 προκειμένου να δημιουργηθεί ένας τεχνητός τρόπος διαβάθμισης.

Πίνακας 6.11 Αντιστοίχιση βαθμού EEI σε τιμή κριτηρίου

Βαθμός EEI	Αντιστοίχιση
A1 BAT	4
A1	3
A2 BAT	2
A2	1

6.8 Ballasts για T5 λαμπτήρες

Για τα ballasts για T5 με 2 λαμπτήρες ανά φωτιστικό βρέθηκαν τα παρακάτω στοιχεία (Πίνακας 6.12):

Πίνακας 6.12 Ballasts 2XT5

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Philips	HF-R Es 214-35 TL5
B	Osram	QTP5 2X14
C	Helvar	EL2x14-35s
D	Helvar	EL2x14sc
E	Tridonic	PC 2/14-21/24/39 T5 PRO-M Ip

Με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του πίνακα 6.13:

Πίνακας 6.13 Χαρακτηριστικά των ballasts 2XT5

Δράσεις	Απώλειες (W)	EEI	Χρόνος Έναυσης (s)	Χρόνος Ζωής (Ωρες)	Dimming	Κόστος (€)
A	4,4	3	1,5	50000	Ναι	55,95
B	3	2	1	100000	Όχι	14,9
C	3,6	1	1	50000	Όχι	25,51
D	3,6	3	1,3	50000	Ναι	54,3
E	4	1	0,5	50000	Όχι	26,52

Τα κριτήρια που προήλθαν με την διαδικασία που ειπώθηκε παραπάνω και το ανάλογο βάρος τους βρίσκονται στον πίνακα 6.14. Επιλέχθηκε η τιμή των 20 € ως βέτο με την έννοια ότι ανατρέπεται η υπεροχή μεταξύ δυο ballasts όταν έχουν τόσο μεγάλη διαφορά στην τιμή τους και επομένως έχουν φτιαχτεί για άλλες προδιαγραφές. Το HF δηλώνει ballast υψηλής συχνότητας και το R ικανότητα ρύθμισης, τα χαρακτηριστικά EL δείχνουν ότι είναι ηλεκτρονικό, ενώ το PC ότι μπορεί να δεχθεί σήμα και από μικροεπεξεργαστή. Τέλος το Q της Osram εντάσσει τα μοντέλα στην κατηγορία quicktronic. Τα νούμερα απεικονίζουν το πλήθος και το είδος των λαμπτήρων.

Πίνακας 6.14 Βάρη των κριτηρίων για την αξιολόγηση των ballasts και τα αντίστοιχα βέτο

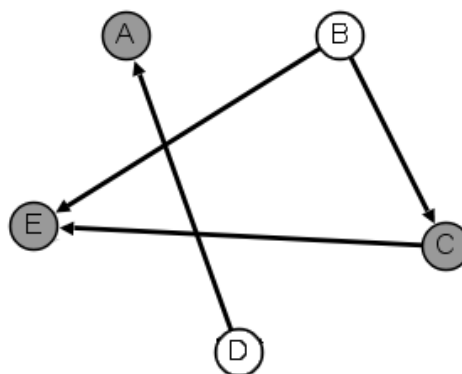
Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Απώλειες	0,2	-
2	EEl	0,25	-
3	Χρόνος Έναυσης	0,05	-
4	Χρόνος Ζωής	0,1	-
5	Δυνατότητα Dimming	0,25	-
6	Κόστος	0,15	20

Εκτελώντας πράξεις προκύπτει η επόμενη μήτρα (Πίνακας 6.15):

Πίνακας 6.15 Μήτρα συμφωνίας για τα ballasts λαμπτήρων T5

Δράσεις	A	B	C	D	E
A	1	0,5	0,6	0,6	0,6
B	0,5	1	1	0,5	0,95
C	0,5	0,3	1	0,5	0,95
D	1	0,5	0,8	1	0,8
E	0,5	0,3	0,65	0,3	1

Για κατώφλι συμφωνίας 0,7 παρατηρείται το ακόλουθο γράφημα υπεροχής του σχήματος 6.5.



Σχήμα 6.6 Γράφημα υπεροχής για ballasts 2XT5 με δείκτη συμφωνίας από 0,7 έως 0,95

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δράσεις C και D είναι ασύγκριτες λόγω βέτο όπως επίσης είναι και οι E και D. Αν δεν γινόταν ο έλεγχος διαφωνίας θα έπρεπε να υπάρχει βέλος στο διάγραμμα από την D προς την C και από την D προς την E. Το s δεν μπορεί να πέσει στο 0,65 διότι εμφανίζονται διπλές σχέσεις υπεροχής με αμφίδρομα βέλη. Επίσης δεν επηρεάζεται σημαντικά το γράφημα με την αύξηση του s. Από την τιμή 0,7 έως και την 0,95 μένει ανεπηρέαστο.

Προφανώς οι δράσεις B και D που είναι στον πυρήνα προτείνονται ως οι καλύτερες. Ποιοτικά η B είναι η καλύτερη λύση μεταξύ ballasts που δεν έχουν δυνατότητα dimming ενώ η D είναι η αντίθετη περίπτωση. Αυτή η παρατήρηση δείχνει ότι η μέθοδος δουλεύει σωστά. Αν μελετηθεί προσεκτικά το γράφημα φαίνεται ότι μπορεί να σπάσει σε δυο μέρη, το ένα αφορά τις δράσεις A και D και το υπόλοιπο όσες απομένουν. Η λύση χαρακτηρίζεται από ευστάθεια.

Στην δεύτερη περίπτωση για τα ballasts για T5 με 4 λαμπτήρες ανά φωτιστικό είχαμε τα ακόλουθα στοιχεία (Πίνακας 6.16):

Πίνακας 6.16 Ballasts 4XT5

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Philips	HF-Performer 3/414 TL5 EII 220-240V
B	Osram	QTP5 3X14,4X14
C	Helvar	EL3/4x14s
D	Helvar	EL4x14sc
E	Tridonic	PCA 4x14/24 T5 EXCITE Ip Y

Με χαρακτηριστικά όπως ορίζονται στον πίνακα 6.17:

Πίνακας 6.17 Χαρακτηριστικά των ballasts 4XT5

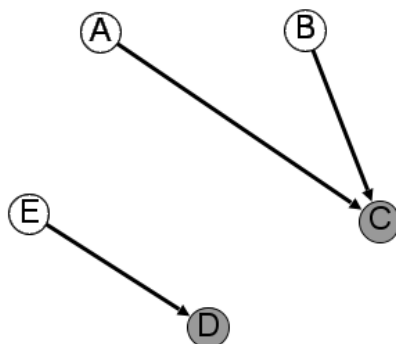
Δράσεις	Απώλειες (W)	EEI	Χρόνος Έναυσης (s)	Χρόνος Ζωής (Ωρες)	Dimming	Κόστος (€)
A	6	1	0,4	50000	Όχι	25,1
B	7	2	1,2	100000	Όχι	41,67
C	7,2	1	1	50000	Όχι	25,01
D	7,2	3	1,3	50000	Ναι	149,48
E	4,5	4	0,5	50000	Ναι	68,06

Μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς με την γνωστή διαδικασία προκύπτει η παρακάτω μήτρα που αντιστοιχεί στον πίνακα 6.18.

Πίνακας 6.18 Μήτρα συμφωνίας C για ballasts 4XT5

Δράσεις	A	B	C	D	E
A	1	0,65	0,85	0,5	0,3
B	0,6	1	0,8	0,5	0,25
C	0,75	0,45	1	0,5	0,25
D	0,6	0,5	0,8	1	0,35
E	0,8	0,75	0,85	1	1

Για τιμές βέτο στα 20€ όπως και πριν ο έλεγχος διαφωνίας δίνει ότι η δράσεις C και D, A και E αλλά και οι C και E είναι ασύγκριτες μεταξύ τους. Επομένως το διάγραμμα θα έχει την μορφή του σχήματος 6.8 για δείκτη συμφωνίας ίσο με 0,8.



Σχήμα 6.8 Γράφημα υπεροχής για ballasts 4XT5 με δείκτη συμφωνίας 0,8

Εδώ παρατηρούνται τρεις προτεινόμενες δράσεις ως λύσεις. Η A και B είναι περιπτώσεις απλών ballasts ενώ η E είναι στην περίπτωση που υπάρχει dimming. Το γράφημα μπορεί να σπάσει σε δυο κομμάτια στο ένα οι δράσεις A, B, C συγκρίνονται μεταξύ τους και στο άλλο οι E και D που ουσιαστικά αποτελούν διαφορετικές περιπτώσεις λόγω dimming.

Ο δείκτης συμφωνίας δεν μπορεί να πέσει από κάτω από το 0,75 για να μην υπάρχουν αμφίδρομα βέλη, οπότε έχει επιλεγθεί σωστά στην συγκεκριμένη τιμή.

6.9 Ballasts για T8 λαμπτήρες

Αντίστοιχα για τα ballasts για T8 με 2 λαμπτήρες ανά φωτιστικό η έρευνα έδωσε τα παρακάτω μοντέλα:

Πίνακας 6.19 Ballasts 2XT8

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Philips	HF-P 218 TL-D III
B	Philips	HF-R 218 TLD
C	Osram	QTP8 2X18
D	Osram	QT-FIT8 2X18
E	Helvar	EL2x18s
F	Tridonic	PC 2/14-21/24/39 T5 PRO-M Ip

που έχουν ως χαρακτηριστικά:

Πίνακας 6.20 Χαρακτηριστικά ballasts 2XT8

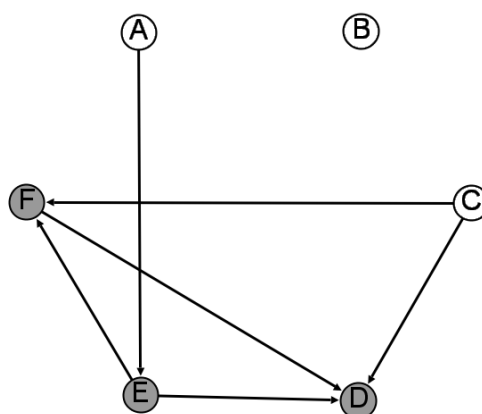
Δράσεις	Απώλειες (W)	EEI	Χρόνος Έναυσης (s)	Χρόνος Ζωής (Ωρες)	Dimming	Κόστος (€)
A	4,8	2	0,9	50000	Όχι	14,5
B	3	3	0,2	50000	Ναι	50,4
C	3	1	2	100000	Όχι	14,5
D	4	1	2	50000	Όχι	14,23
E	2,5	1	1	50000	Όχι	16,22
F	3	1	0,5	50000	Όχι	26,52

Τα κριτήρια με τα βάρη που έχουν δοθεί μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς έχουν ως αποτέλεσμα την μήτρα:

Πίνακας 6.21 Μήτρα συμφωνίας C για ballasts 2XT8

Δράσεις	A	B	C	D	E	F
A	1	0,25	0,7	0,65	0,8	0,75
B	0,85	1	0,75	0,85	0,65	0,85
C	0,7	0,45	1	0,85	0,75	0,95
D	0,7	0,25	0,7	1	0,75	0,75
E	0,55	0,45	0,75	0,85	1	0,95
F	0,6	0,45	0,75	0,85	0,65	1

Όπως φαίνεται δεν είναι δυνατόν να οριστεί ο συντελεστής συμφωνίας από 0,75 και κάτω, άρα θα επιλεγεί ως συντελεστής το 0,8. Για βέτο ίσο με 20€ στο κριτήριο κόστος προκύπτει ότι η A R B, D R B και F R B με το σύμβολο R να σημαίνει η «X δράση ασύγκριτη της Y» όπως αναλύθηκε στο 5^ο κεφάλαιο. Επομένως παρατηρείται το γράφημα υπεροχής του σχήματος 6.10:



Σχήμα 6.10 Γράφημα υπεροχής για ballasts 2XT8 για δείκτη συμφωνίας 0,8

Το γράφημα δίνει ως λύσεις τα πρώτα τρία ballasts. Το B που δεν έχει κάποια συσχέτιση με τα υπόλοιπα είναι το μοναδικό με δυνατότητα dimming και ορθά απομονώθηκε από την μέθοδο. Οι περιπτώσεις A και C είναι πολύ κοντά σε επιδόσεις και είναι φυσιολογική η επικράτηση τους λόγω καλού συνδυασμού τιμών στα κριτήρια.

Τέταρτη και τελευταία περίπτωση που αφορά τα ballasts είναι για εγκατάσταση που απαιτεί λαμπτήρες T8 και τα φωτιστικά περιλαμβάνουν 4 λαμπτήρες. Εδώ τα μοντέλα που βρέθηκαν ήταν τα παρακάτω με τα χαρακτηριστικά του πίνακα 6.22:

Πίνακας 6.22 Ballasts 4XT8

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Philips	HF-P 3/418 TL-D III
B	Philips	HF-R 418 TL-D
C	Philips	HF-S 3/418 TL-D II 220-240V
D	Osram	QTP8 3X/4X18/230...240
E	Osram	QT-FIT8 4X18
F	Helvar	EL3/4x18s
G	Tridonic	PCA 4x18 T8 EXCITE lp Y

Με ανάλογα χαρακτηριστικά τα παρακάτω στοιχεία που παρατίθενται στον πίνακα 6.23:

Πίνακας 6.23 Χαρακτηριστικά Ballasts 4XT8

Δράσεις	Απώλειες (W)	EEI	Χρόνος Έναυσης (s)	Χρόνος Ζωής (Ωρες)	Dimming	Κόστος (€)
A	4,55	2	0,9	50000	Όχι	28,57
B	13,4	3	0,2	50000	Ναι	64,09
C	14	1	1,2	50000	Όχι	22,08
D	9	1	2	100000	Όχι	18,79
E	10	1	2	50000	Όχι	10,95
F	5	1	1	50000	Όχι	23,2
G	4	4	0,5	50000	Ναι	68,08

Εκτελώντας πράξεις βάση της θεωρίας προκύπτει η μήτρα του πίνακα 6.24. Τα κριτήρια δεν αλλάζουν σε σχέση με πριν όπως επίσης και τα βάρη τους.

Πίνακας 6.24 Μήτρα συμφωνίας C για τα ballasts 4XT8

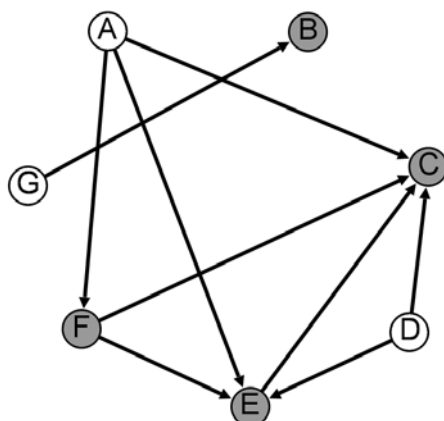
Δράσεις	A	B	C	D	E	F	G
A	1	0,45	0,85	0,75	0,85	0,85	0,25
B	0,65	1	0,85	0,55	0,65	0,65	0,55
C	0,5	0,25	1	0,55	0,65	0,75	0,25
D	0,5	0,45	0,95	1	0,85	0,75	0,25
E	0,5	0,45	0,95	0,7	1	0,75	0,25
F	0,5	0,45	0,85	0,75	0,85	1	0,25
G	0,85	0,8	0,85	0,75	0,85	0,85	1

Ο δείκτης συμφωνίας και σε αυτή την περίπτωση μπορεί να έχει ελάχιστη τιμή το 0,8 για να μην εμφανίζονται βέλη διπλής κατεύθυνσης. Αν η τιμή βέτο οριστεί στα 20 € προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας ελέγχου διαφωνίας (Πίνακας 6.25).

Πίνακας 6.25 Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου διαφωνίας

Έλεγχος διαφωνίας:				
C	Ασύγκριτες	B	Κριτήριο	Κόστος
A	Ασύγκριτες	G	Κριτήριο	Κόστος
C	Ασύγκριτες	G	Κριτήριο	Κόστος
E	Ασύγκριτες	G	Κριτήριο	Κόστος
F	Ασύγκριτες	G	Κριτήριο	Κόστος

Οπότε λόγω μεγάλης διαφοράς στην τιμή της G κυρίως αλλά και της B θεωρείται ότι ανατρέπεται η υπεροχή. Φυσικά B και G είναι περιπτώσεις ballasts με ρύθμιση και αυτό αυξάνει το κόστος σημαντικά, το διάγραμμα θα έχει ως εξής:



Σχήμα 6.12 Γράφημα υπεροχής για ballasts 4XT8 για δείκτη συμφωνίας 0,8.

Και σε αυτή την περίπτωση το διάγραμμα του σχήματος 6.12, τρέχει σε δυο διαφορετικά παράλληλα διαγράμματα, ένα για τα απλά ballasts (A, C, D, E, F) και ένα για όσα έχουν δυνατότητα dimming (B, G). Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός υπάρχει μεγάλη διαφορά στην τιμή, αφετέρου η συγκεκριμένη ιδιότητα έχει οριστεί να έχει βάρος στο 0,25. Οποιαδήποτε από τις A, D, G θεωρείται ισχυρή λύση και ο αποφασίζων μπορεί να επιλέξει, ανάλογα με τις ζητούμενες προδιαγραφές.

Για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις ο πίνακας 6.26 με τις δυνατές επιλογές δράσεων φαίνεται παρακάτω για μεγαλύτερη ευκρίνεια.

Πίνακας 6.26 Μοντέλα που προτείνονται ανά κατηγορία

Περίπτωση	Εταιρία	Μοντέλο
Ballast 2XT5	Osram	QTP5 2X14
	Helvar	EL2x14sc
Ballast 4XT5	Philips	HF-Performer 3/414 TL5 EII 220-240V
	Osram	QTP5 3X14,4X14
	Tridonic	PCA 4x14/24 T5 EXCITE lp Y
Ballast 2XT8	Philips	HF-P 218 TL-D III
	Philips	HF-R 218 TLD
	Osram	QTP8 2X18
	Tridonic	PCA 4x18 T8 EXCITE lp Y
Ballast 4XT8	Philips	HF-P 3/418 TL-D III
	Osram	QTP8 3X/4X18/230...240
	Tridonic	PCA 4x18 T8 EXCITE lp Y

6.10 Λαμπτήρες LED με γεωμετρικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων T8

Για την ολοκλήρωση της έρευνας πάνω στους λαμπτήρες εντάχθηκε και μια κατηγορία LED που έχουν χαρακτηριστικά σωληνωτών λαμπτήρων T8 ως προς την γεωμετρία τους ενώ η ισχύς τους είναι στα 11W (Πίνακας 6.27).

Επειδή η τεχνολογία των LED δεν έχει φτάσει σε κορεσμό και υπάρχει μεγάλη προοπτική εξέλιξης, οι δράσεις που ανιχνεύτηκαν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ίδια με τα αντίστοιχα των λαμπτήρων T5 και T8 όπως επίσης και τα αντίστοιχα βάρη που παρατίθενται στον πίνακα 6.28.

Πίνακας 6.27 Λαμπτήρες LED με γεωμετρία T8 11W

Υπόμνημα		
Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Philips	MASTER LEDtube GA300 600mm 11W/840
B	Osram	ST8-HA2 11 W/830 600 mm
C	Sylvania	LED11T8L24/835/120/120-277V
D	Ledison	LED-T8-6011
E	Radium	RaLED T8-RetroFit RL-T8 18 11W/840/G13

Πίνακας 6.28 Κριτήρια και βάρη

Κριτήρια	Όνομα	Βάρος
1	Φωτεινή Ροή	0,35
2	CRI	0,2
3	Χρόνος Ζωής	0,2
4	Κόστος	0,25

Ενώ τα χαρακτηριστικά ανάλογα με την κάθε δράση φαίνονται στον πίνακα 6.29

Πίνακας 6.29 Χαρακτηριστικά λαμπτήρων LED

Δράσεις	Φωτεινή Ροή (lm)	CRI	Χρόνος Ζωής (Ωρες)	Κόστος (€)
A	1050	85	50000	43,72
B	670	80	40000	42,5
C	800	85	40000	45,1
D	1000	80	50000	27,8
E	670	80	40000	30,35

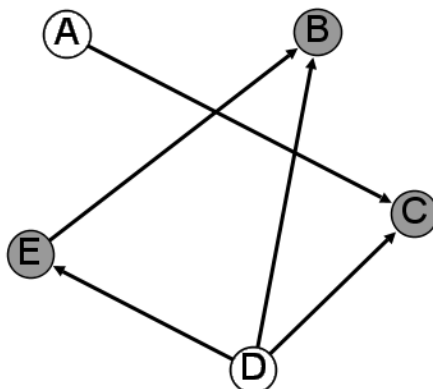
Οι υπολογισμοί δίνουν την μήτρα C (Πίνακας 6.30):

Πίνακας 6.30 Μήτρα συμφωνίας C

Δράσεις	A	B	C	D	E
A	1	0,75	1	0,75	0,75
B	0,25	1	0,45	0,2	0,75
C	0,2	0,75	1	0,2	0,75
D	0,45	1	0,8	1	1
E	0,25	1	0,45	0,2	1

Η επιβολή βέτο ως προς την τιμή δεν έχει μεγάλο νόημα διότι αφενός όλες οι δράσεις βρίσκονται κοντά με εξαίρεση τις D και E, αφετέρου δεν υπάρχουν διαθέσιμες σχέσεις υπεροχής για να ανατραπούν. Οπότε αν επιλεγεί δείκτης συμφωνίας 0,8 χωρίς βέτο θα προκύψει το γράφημα του σχήματος 6.14. Ο δείκτης δεν μπορεί να

καθοριστεί σε τιμή μικρότερη από 0,8. Βέτο στην τιμή δεν υπάρχει παρά το γεγονός ότι είναι αδιάφορο για κάθε τιμή.



Σχήμα 6.14 Γράφημα υπεροχής $s=0,8$.

Το γεγονός ότι δεν επηρεάζει το βέτο την λύση δείχνει μια ευσταθή συμπεριφορά. Ο συντελεστής συμφωνίας δεν έχει περιθώρια μείωσης γιατί για την τιμή 0,75 εμφανίζεται αμφίδρομη σχέση υπεροχής μεταξύ των B και E.

Επίσης αν ελαττωθεί ο συντελεστής του κριτηρίου CRI στο 0,15 και αυξηθεί το κόστος στο 0,3 ενώ παραμείνουν τα άλλα κριτήρια αμετάβλητα το διάγραμμα εξακολουθεί και παραμένει το ίδιο για ίδιες τιμές των άλλων συντελεστών. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται αν τεθεί το βάρος του CRI στο 0,15 και ο χρόνος ζωής στο 0,25 ενώ το κόστος μείνει στο 0,25. Οι παραπάνω μεταβολές θεωρούνται ανεκτές, δεν είναι λογικό ωστόσο να μειωθεί η τιμή του κριτηρίου της φωτεινής ροής που είναι και το σημαντικότερο.

Επομένως για κάθε περίπτωση η λύση είναι ευσταθής και τα μοντέλα της Philips και της Ledison είναι τα επικρατέστερα.

6.11 Αισθητήρες παρουσίας PIR

Η ανάγκη για εξοικονόμηση κάνει επιτακτική την χρήση αισθητήρων για την ελαχιστοποίηση του φορτίου που αφορά τον φωτισμό. Οι αισθητήρες παρουσίας αποτελούν μια αποτελεσματική λύση για τον περιορισμό καταναλώσεων σε χώρους όπου δεν παρατηρείται συχνή παρουσία ανθρώπων.

Για τους χώρους που αφορούν την μελέτη προφανώς η εφαρμογή δεν θα είναι σωστή στο αμφιθέατρο, την αίθουσα διδασκαλίας ή το γραφείο διότι σε περίπτωση που το προσωπικό κάνει ελαφριές κινήσεις, είναι δυνατόν το κύκλωμα να τεθεί εκτός λειτουργίας. Κάτι τέτοιο θα ήταν καταστροφικό για την μελέτη, αφού θα δυσχέραινε τις συνθήκες εργασίας. Αντίθετα στον διάδρομο η εφαρμογή PIR αποτελεί ιδανική περίπτωση. Επομένως η επιλογή που θα γίνει αφορά σενάρια για τον φωτισμό του διαδρόμου.

Τα κριτήρια που οριστούν αλλάζουν σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις. Σε πρώτη φάση πρέπει να αναφερθεί ότι όλοι οι αισθητήρες που βρέθηκαν μέσω της έρευνας αγοράς, χρησιμοποιούν τροφοδοσία από μπαταρίες. Επομένως η κατανάλωση τους παίρνει παραπάνω αξία δεδομένου ότι το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών είναι μεγάλο. Επιπρόσθετα επειδή οι αισθητήρες έχουν δυο θέσεις λειτουργίας μια που δίνουν σήμα ON και την αντίστοιχη STAND BY που δεν δίνουν σήμα, παρουσιάζονται δυο διαφορετικές καταναλώσεις. Για να είναι

αντικειμενικότερη η μελέτη θα πρέπει να ενταχθούν και τα δυο ως κριτήρια. Ανάλογα με την χρήση του χώρου, οι τιμές των βαρών μπορούν να αλλάξουν, εδώ επιλέχθηκαν ισοσταθμισμένες ενώ αναφέρονται στους πίνακες σε Watt.

Η μέγιστη απόσταση εποπτείας φυσικά είναι το σημαντικότερο από τα υπόλοιπα κριτήρια και η τιμή της λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη με σκοπό να καλυφθεί επαρκώς η επιφάνεια του διαδρόμου. Κάθε αναφορά γίνεται σε μέτρα. Η γωνία κάλυψης θα μπορούσε να αποτελέσει ένα δευτερεύον κριτήριο με πιο μικρή όμως αξία αφού η γεωμετρία του δωματίου επιτρέπει στον αισθητήρα αποτελεσματική λειτουργία και για στενές γωνίες, εδώ κάθε νούμερο που αντιστοιχεί σε γωνία προφανώς αναφέρεται σε °. Τέλος το κόστος είναι και πολύ σημαντική παράμετρος που όπως σε κάθε μελέτη, λαμβάνεται και εδώ υπόψη. Τα βάρη μαζί με τα κριτήρια φαίνονται στον πίνακα 6.31.

Πίνακας 6.31 Κριτήρια και βάρη για PIR

Κριτήρια	Όνομα	Βάρος
1	Κατανάλωση (Ελάχιστη)	0,1
2	Κατανάλωση (Μέγιστη)	0,1
3	Μέγιστη Απόσταση Κάλυψης	0,4
4	Γωνία Κάλυψης	0,1
5	Κόστος	0,3

Τα μοντέλα που βρέθηκαν παρατίθενται παρακάτω στον πίνακα 6.32 ενώ στον πίνακα 6.33 βρίσκονται τα ανάλογα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 6.32 Αισθητήρες PIR

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	Siemens	IR310C
B	Siemens	IR80B
C	Siemens	IR270C
D	GE	6351-W
E	GE	6155XT-N
F	Bosch	Blue Line Gen2 Quad PIR Motion Detector
G	Bosch	ISC_PPR1_W16 Professional Series PIR
H	Bosch	ISN-API

Πίνακας 6.33 Χαρακτηριστικά των PIR

Τιμές Δράσεις	Κριτήρια				
	Ελάχιστη Ισχύς (W)	Μέγιστη Ισχύς (W)	Απόσταση Κάλυψης (m)	Γωνία (°)	Κόστος (€)
A	0,144	0,348	18	90	149
B	0,144	0,192	12	90	9,23
C	0,0336	0,12	17	90	34
D	0,096	0,12	10,7	90	20,84
E	0,096	0,12	13,7	90	36,82
F	0,12	0,12	12	99	46,21
G	0,12	0,18	16	87	33,82
H	0,18	0,375	7,5	80	20

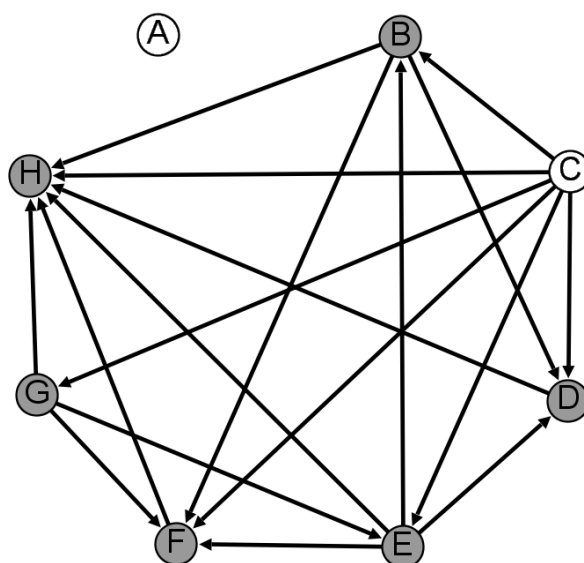
Οι υπολογισμοί μας δίνουν την μήτρα C που έχει ως εξής (Πίνακας 6.34):

Πίνακας 6.34 Μήτρα συμφωνίας C για τους PIR

Δράσεις	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7
B	0,6	1	0,4	0,8	0,4	0,7	0,4	1
C	0,6	0,7	1	0,7	1	0,9	0,7	0,7
D	0,6	0,3	0,5	1	0,6	0,5	0,6	0,7
E	0,6	0,7	0,2	0,7	1	0,9	0,3	0,7
F	0,6	0,7	0,2	0,6	0,2	1	0,3	0,7
G	0,5	0,6	0,3	0,4	0,7	0,8	1	0,7
H	0,3	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1

Ο συντελεστής s επιλέγεται ίσος με 0,7 επειδή στο 0,65 παρουσιάζεται αμφίδρομη υπεροχή ενώ στο 0,75 οι δράσεις του πυρήνα αυξάνονται σημαντικά λόγω μη συσχέτισης τους με άλλες δράσεις.

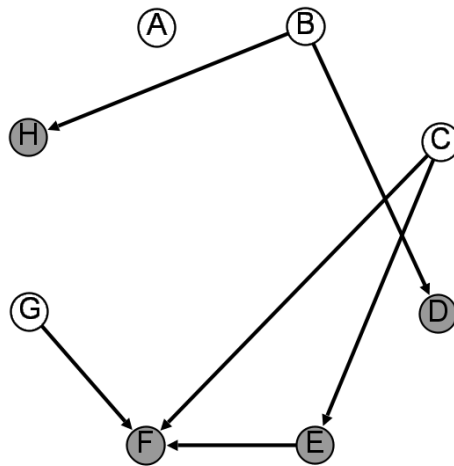
Ορίζεται ως κατώφλι ασυμφωνίας η τιμή των 30 € με την λογική ότι μια διαφορά κόστους αυτής της τάξης μεγέθους αλλάζει σημαντικά την ποιότητα μεταξύ δυο αισθητήρων. Επομένως η H καθίσταται ασύγκριτη της A. Τα παραπάνω οδηγούν στο διάγραμμα του σχήματος 6.15



Σχήμα 6.15 Γράφημα υπεροχής για τους αισθητήρες PIR

Οι δράσεις που εντάσσονται στον πυρήνα είναι η A και η C. Η A προφανώς έχει άλλες προδιαγραφές και λόγω της μεγάλης τιμής της δεν σχετίζεται με τις υπόλοιπες ενώ η C εμφανίζεται να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων με εξαίρεση την A. Αν μελετηθούν τα νούμερα της μήτρας παρατηρείται ότι ενώ η B υπερέχει της F παράλληλα η F υπερέχει της B. Το διπλό βελάκι όμως δεν υφίσταται διότι η υπεροχή της F απέναντι στην B καταργείται από την συνθήκη βέτο. Αυτή η διπλή υπεροχή συμβαίνει εξαιτίας κοντινών τιμών στις επιδόσεις των δράσεων, όμως η υψηλή τιμή της F αλλάζει τα δεδομένα.

Αν αλλάξει η τιμή του συντελεστή συμφωνίας και αυξηθεί στο 0,75 προκύπτει το ακόλουθο γράφημα (Σχήμα 6.16).



Σχήμα 6.16 Γράφημα υπεροχής για $s=0,75$

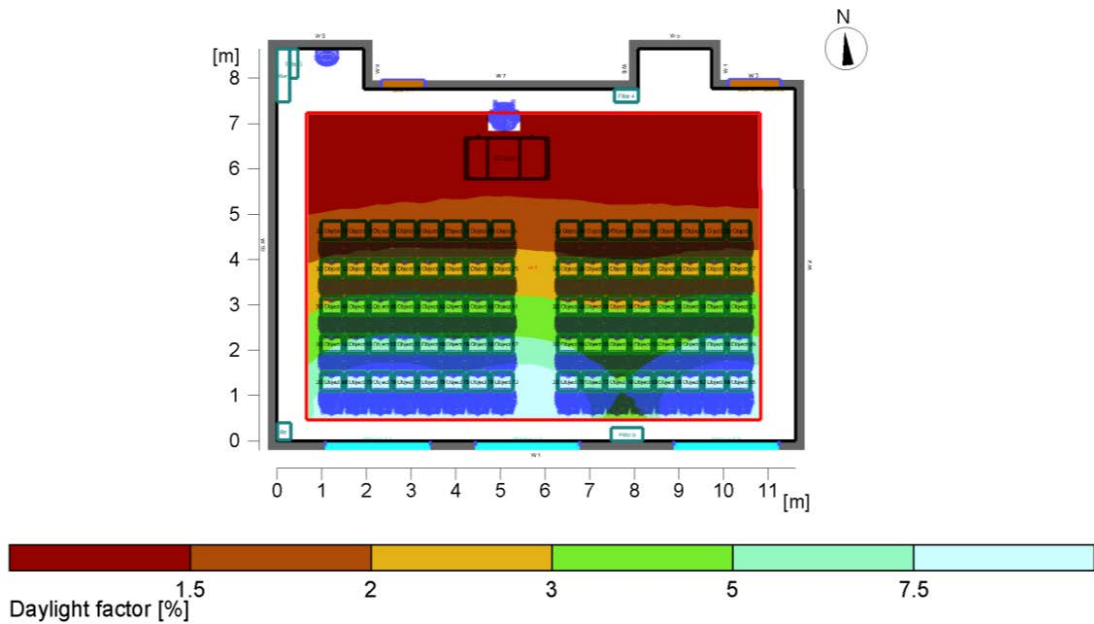
Στο παραπάνω γράφημα προφανώς δεν δίνονται σαφείς απαντήσεις για την σωστή επιλογή δράσεων και επομένως ο συντελεστής συμφωνίας πρέπει να ελαττωθεί. Προφανώς η πρώτη λύση είναι η δεκτή όμως δεν παρουσιάζει μεγάλη ευστάθεια.

Από το σύνολο των δράσεων επιλέγεται η C δηλαδή ο αισθητήρας IR270C της Siemens που αποτελεί την ιδανικότερη φτηνή λύση για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης του διαδρόμου. Για ακτίνα 17m επαρκεί η χρήση δυο αισθητήρων προκειμένου να καλυφθεί όλη η επιφάνεια και να εξασφαλιστεί σωστή λειτουργία. Ο αισθητήρας A, δηλαδή το IR310C είναι πολύ ακριβός και δεν επιλέγεται για τον δεδομένο χώρο.

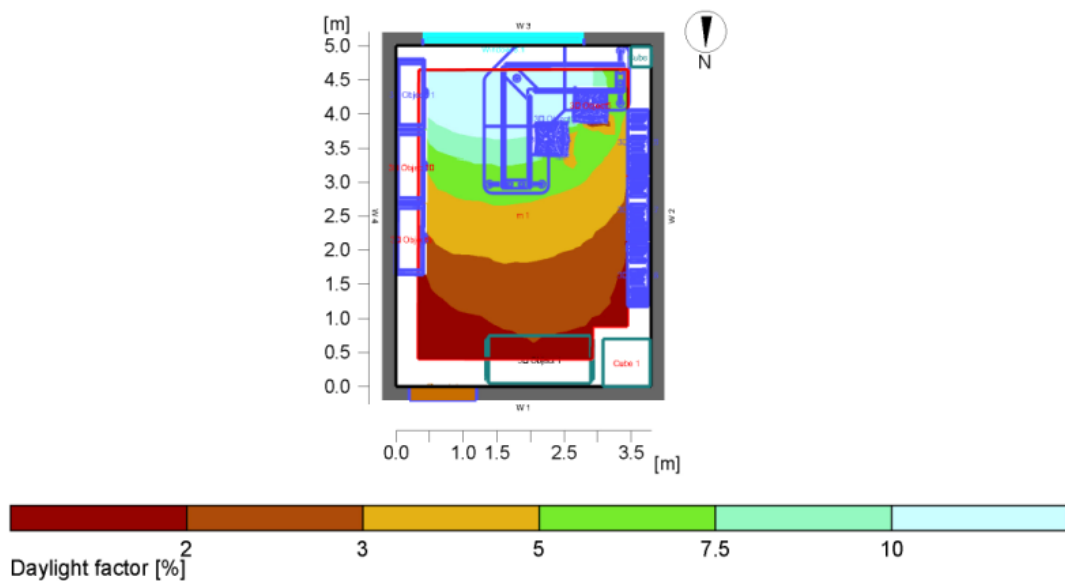
6.12 Αισθητήρες σύζευξης τεχνητού και φυσικού φωτισμού

Οι αισθητήρες σύζευξης τεχνητού και φυσικού φωτισμού δεν ενδείκνυνται για όλους τους χώρους αλλά μονό για την αίθουσα και το γραφείο. Τόσο ο νότιος προσανατολισμός των παραθύρων όσο και τα μεγάλα ανοίγματα επιτρέπουν σημαντική εξοικονόμηση. Η αντίστοιχη βοηθητική μελέτη επισυνάπτεται (Σχήματα 6.16 και 6.17) και αφορά τον προσδιορισμό του συντελεστή daylight, που αποτυπώνει την συνεισφορά του φυσικού φωτός στον συνολικό φωτισμό. Οι υπολογισμοί αφορούν την μέση περίπτωση της εαρινής ισημερίας.

Οι θέσεις που θα τοποθετηθούν οι αισθητήρες προφανώς είναι σε απόσταση 1,5m από το παράθυρο και για την περίπτωση του γραφείου θα χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας ενώ για την αίθουσα δυο.



Σχήμα 6.16 Μελέτη συντελεστή daylight στην αίθουσα για την περίπτωση της εαρινής ισημερίας.



Σχήμα 6.17 Μελέτη συντελεστή daylight στο γραφείο για την περίπτωση της εαρινής ισημερίας.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα τόσο στην αίθουσα όσο και στο γραφείο μπορεί να αξιοποιηθεί ιδιαίτερα η παρουσία του φυσικού φωτισμού. Η μέγιστες τιμές που καταγράφονται είναι 17,5% στην πρώτη περίπτωση και 20,3% στην δεύτερη. Η κατανομή ακολουθεί την λογική των σχημάτων. Επομένως η παρουσία αισθητήρων φωτός μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά κοντά στα παράθυρα.

Τα κριτήρια που σχετίζονται με τους αισθητήρες φωτός δεν είναι τόσο αυτονόητα όσο στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Στην δεδομένη μελέτη βρέθηκαν πέντε διαφορετικά κριτήρια.

Η ευαισθησία που προκύπτει είτε από διαγράμματα, ή απευθείας από τα datasheet χωρίστηκε σε δυο κατηγορίες την μέγιστη και σημαντικότερη ευαισθησία που ουσιαστικά αποτελεί το σημείο καμπής στο διάγραμμα απόκρισης ενός αισθητήρα και την ελάχιστη ευαισθησία που έχει σημασία αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό και δείχνει από πιο σημείο και μετά ο αισθητήρας αντιλαμβάνεται την ύπαρξη φωτός. Επιπλέον στα κριτήρια εντάχθηκε και η γωνία εποπτείας του αισθητήρα, η οποία ισοδυναμεί με εμβαδόν κάλυψης του χώρου αλλά και η μέγιστη βύθιση του ρεύματος εισόδου που μπορεί να ανεχτεί ο αισθητήρας που μεταφράζεται σε αποτελεσματικότερο έλεγχο και προφανώς είναι μέγεθος ελαχιστοποίησης. Τέλος ως κριτήριο τέθηκε και το κόστος αγοράς της κάθε συσκευής. Οι αισθητήρες φωτός αφορούν μόνο τα σενάρια με λαμπτήρες γεωμετρικών χαρακτηριστικών T5 ή T8.

Η έρευνα έδωσε τα ακόλουθα στοιχεία που φαίνονται στον πίνακα 6.35 Συνολικά βρέθηκαν πέντε περιπτώσεις. Γενικά η επιλογή των κριτηρίων αλλά και η καταγραφή των επιδόσεων ήταν αρκετά δύσκολη διαδικασία διότι οι κατασκευαστές δεν όριζαν με ακρίβεια διάφορα μεγέθη ή ο υπολογισμός κάποιων παραμέτρων έγινε μέσα από διαγράμματα με ένα μικρό σφάλμα ανάγνωσης.

Πίνακας 6.35 Αισθητήρες φωτός

Όνομα Δράσης	Εταιρία	Μοντέλο
A	GE	PCD-IN-SA
B	Philips	LRL1220NC
C	Sylvania	ELSC-DLH
D	Leviton	ODCOP-W
E	Leviton	PCIND

Τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά παρατίθενται στον πίνακα 6.36. Το κόστος αναφέρεται σε €, το ρεύμα σε mA και η ευαισθησία σε fc. Η γωνίες προφανώς είναι σε °.

Πίνακας 6.36 Χαρακτηριστικά αισθητήρων φωτός

Δράσεις	Ρεύμα εισόδου (ελάχιστο) mA	Γωνία (°)	Απόκριση μέγιστη (fc)	Απόκριση ελάχιστη (fc)	Κόστος (€)
A	25	60	140	10	100
B	0,1	45	88	8	35,77
C	6	50	100	0	26,3
D	10	60	70	0	80,58
E	10	60	750	50	165,75

Για την εφαρμογή της ELECTRE ορίστηκαν τα ανάλογα βάρη (Πίνακας 6.37) σύμφωνα με την συλλογιστική πορεία που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

Πίνακας 6.38 Κριτήρια και βάρη

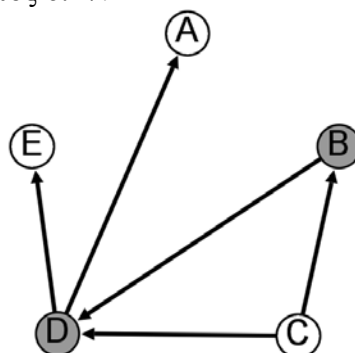
Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Ρεύμα εισόδου (ελάχιστο) mA	0,15	-
2	Γωνία Κάλυψης (°)	0,2	-
3	Απόκριση μέγιστη (fc)	0,3	-
4	Απόκριση ελάχιστη (fc)	0,05	-
5	Κόστος	0,3	30

Ο δεδομένος προσανατολισμός επιλογής κριτηρίων, δείχνει ιδιαίτερο ενδιαφέρον προς την ποιότητα του αισθητήρα (μέγιστη απόκριση) αλλά και το κόστος. Η γωνία και το ρεύμα εισόδου αποτελούν κριτήρια αλλά σε χαμηλότερο βαθμό για αυτό και προσδιορίζονται σε τιμές λίγο μικρότερες (0,2 και 0,15), η ελάχιστη απόκριση δεν έχει κάποιο ιδιαίτερο βάρος αλλά μπορεί να ενταχθεί στα ποιοτικά στοιχεία. Η εκτέλεση των πράξεων δίνει την μήτρα που ακολουθεί (Πίνακας 6.38).

Πίνακας 6.39 Μήτρα συμφωνίας C

Μήτρα C					
Δράσεις	A	B	C	D	E
A	1	0,5	0,5	0,5	0,55
B	0,5	1	0,15	0,75	0,5
C	0,5	0,85	1	0,8	0,5
D	0,7	0,25	0,25	1	0,7
E	0,65	0,5	0,5	0,65	1

Για δείκτη συμφωνίας 0,7 και για επιβολή βέτο στα 30€(που δεν αλλάζει όμως το αποτέλεσμα εφόσον δεν ανατρέπεται κάποια υπεροχή) προκύπτει το ακόλουθο γράφημα υπεροχής του σχήματος 6.17.



Σχήμα 6.17 Γράφημα υπεροχής για αισθητήρες φωτός

Εδώ φαίνεται μια πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση. Ο πυρήνας αποτελείται από την C που δεν εμφανίζεται υποδεέστερη από άλλες δράσεις και επομένως εντάσσεται άμεσα στις επιλογές. Παράλληλα όμως αποτελείται και από τις A και E οι οποίες χάνουν από την D αλλά εντάσσονται στις ασύγκριτες. Ο ορισμός αναφέρει ότι οι καλύτερες μεταξύ των ασύγκριτων ανήκουν στον πυρήνα. Άρα εντάσσονται και οι δυο δεδομένες δράσεις επειδή δεν συσχετίζονται μεταξύ τους. Φυσικά στο φάσμα επιλογών επικρατούν τα μοντέλα PCD-IN-SA της General Electric, ELSC-DLH της Sylvania και PCIND της Leviton. Επιλέγεται ως πρόταση που θα εφαρμοστεί εν τέλει το μοντέλο της Sylvania.

Κεφάλαιο 7

Προσομοιώσεις σεναρίων και αξιολόγηση με εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

7.1 Εισαγωγή

Στο έβδομο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν διεξοδικά όλα τα πιθανά σενάρια που μπορούν να εφαρμοστούν συνδυάζοντας τα στοιχεία που αναλύθηκαν μέχρι τώρα. Για κάθε σενάριο θα γίνει αναφορά στον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί, αντλώντας τα περισσότερα στοιχεία από την ενότητα 6 και θα παρουσιαστούν διαφορά τεχνικά χαρακτηριστικά.

Μετά από την παράθεση των στοιχείων και την ομαδοποίηση τους σε πίνακες θα γίνει σύγκριση και ξεχωριστή εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I επί των σεναρίων για την ανάδειξη της ιδανικότερης περίπτωσης σε κάθε χώρο.

Ανιχνευτές PIR θα εφαρμοστούν μόνο στον διάδρομο και αισθητήρες φωτός μόνο στην αίθουσα και το γραφείο. Προφανώς για την κάλυψη του διαδρόμου απαιτούνται 2 αισθητήρες όπως και για την αίθουσα. Αντίθετα το γραφείο καλύπτεται με την ύπαρξη ενός αισθητήρα.

Σε ότι αφορά το αμφιθέατρο δεν ήταν δυνατόν λόγω πολλαπλών επιφανειών αναφοράς να παρατεθεί ο πλήρης όγκος δεδομένων και έγινε συνοπτική αναφορά στα βασικότερα μεγέθη. Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων είναι εκτενής, όμως δεν είναι δυνατόν να εκτελεστούν σενάρια του αμφιθεάτρου σε ELECTRE I λόγω έλλειψης βασικών φωτομετρικών μεγεθών όπως για παράδειγμα η ομοιομορφία και η μέση ένταση.

Για λόγους καλύτερης ανάλυσης έχουν υπολογιστεί δυο περιπτώσεις κόστους, η μια αφορά το συνολικό κόστος που συμπεριλαμβάνει τις τιμές των φωτιστικών και η άλλη μόνο το κόστος λαμπτήρων, ballasts, αισθητήρων, τροφοδοτικών και αναλώσιμου εξοπλισμού. Φυσικά στην μέθοδο χρησιμοποιείται το συνολικό κόστος.

Τα φύλλα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών όπως προσδιορίζονται από τους εκάστοτε κατασκευαστές, δίνονται στο παράρτημα.

7.2 T5 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά δυο (T5 X 2)

Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει φωτιστικά με δυο λαμπτήρες T5. Ο πίνακας 7.1 δείχνει τα ονόματα όλων των μοντέλων που έχουν επιλεγεί, μέσα από την διαδικασία του κεφαλαίου 6.

Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στο παράρτημα. Πρόκειται για το μοντέλο C20-R300 της εταιρίας Glamox Luxo Lighting. Διαθέτει περσίδες και είναι ιδανικό για χώρους διδασκαλίας και γραφεία. Η συνολική ισχύς ανά σώμα κυμαίνεται στα 32Watt ενώ η απόδοση εκτιμάται στα 73,57lm/W και το 87,2% σε ότι αφορά την ροή που διαχέεται προς τον χώρο. Το κόστος είναι αυξημένο και κυμαίνεται στα 123,22€ανά φωτιστικό.

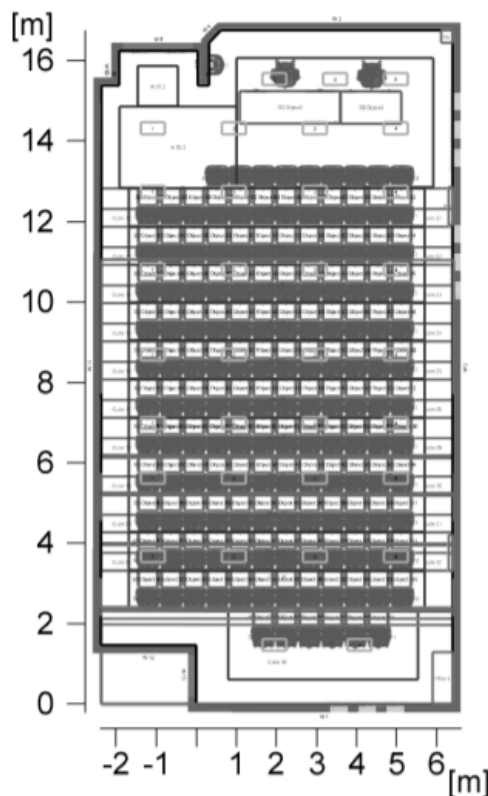
Πίνακας 7.1 Στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σενάριο T5X2

Κατηγορία	Επεξήγηση	Εταιρία	Όνομα	Κόστος (€)
Λαμπτήρας	T5	GE	F14W/T5/835/ECO	5,9
Φωτιστικό		Glamox Luxo Lighting	C20-R300	123,22
Ballast	Με dimming	Helvar	EL2x14sc	54,3
	Χωρίς dimming	Osram	QTP5 2X14	14,9
RIR sensor		Siemens	IR270C	34
Photo sensor		Sylvania	ELSC-DLH	26,3

7.2.1 Αμφιθέατρο (T5 X 2)

Η εφαρμογή των παραπάνω φωτιστικών στον χώρο έδωσε τα χαρακτηριστικά του πίνακα 7.2 ανά επιφάνεια σε ότι αφορά την ένταση φωτισμού. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 33 φωτιστικά με συνολική ισχύ 1056W που ισοδυναμεί σε $7,47W/m^2$ (Σχήμα 7.1). Γενικά οι επιτευχθείσες τιμές είναι κοντά στα πρότυπα και ελαφρώς μεγαλύτερες για να αντισταθμιστούν τυχούσες απώλειες. Ο πίνακας 7.2 ,το σχήμα 7.2 και οι εικόνες 7.1 και 7.2 παραθέτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Το κόστος λαμπτήρων ανέρχεται σε 389,4 € και για ballasts με dimming 1.791,9€ ενώ στα συμβατικά ballasts 491,7 €. Τα φωτιστικά στοιχίζουν 4.066,26 €. Ο πίνακας 7.3 περιλαμβάνει όλα τα δυνατά σενάρια σε αυτή την περίπτωση.

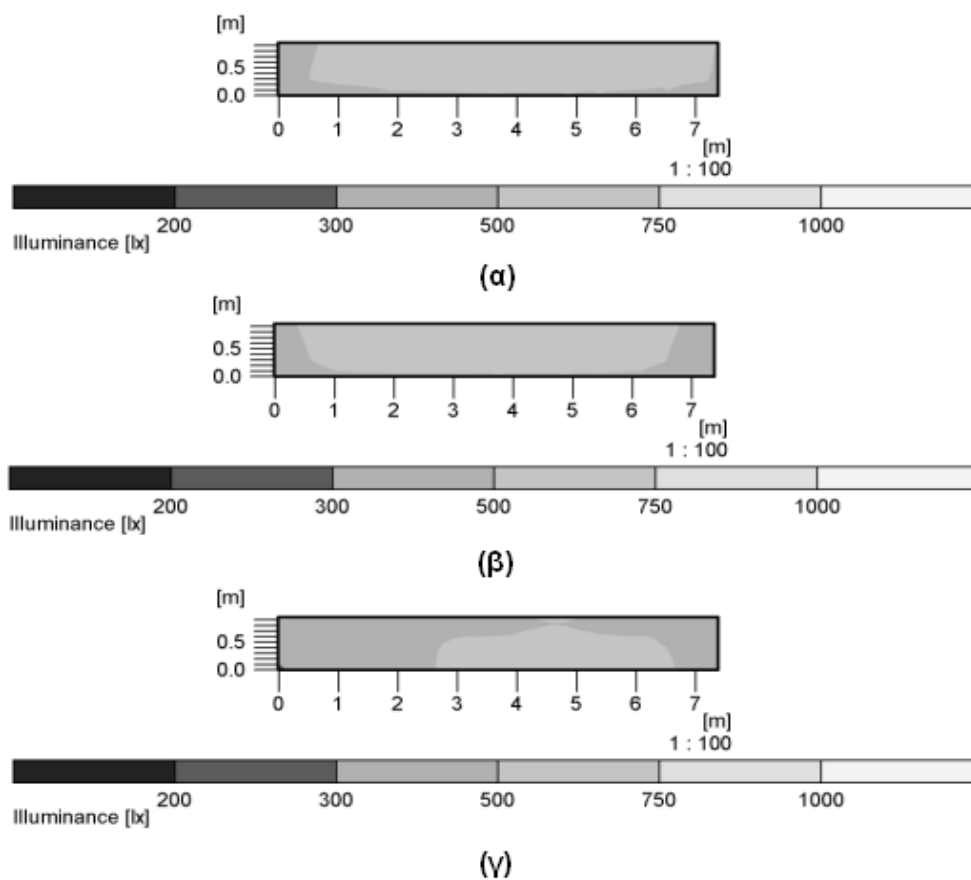


Σχήμα 7.1 Κάτοψη αμφιθεάτρου και οι θέσεις των φωτιστικών

Πίνακας 7.2 Ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια

Αριθμός επιφανείας	Μέση ένταση (lx)	Ελάχιστη ένταση (lx)	Μέγιστη ένταση (lx)
1	546	411	638
2	344	276	421
3	488	353	605
4	576	408	666
5	569	380	671
6	582	440	664
7	566	373	668
8	553	432	622
9	542	394	611
10	603	454	671
11	583	401	700
12	542	394	634
13	582	385	698
14	484	310	625
15	467	210	666

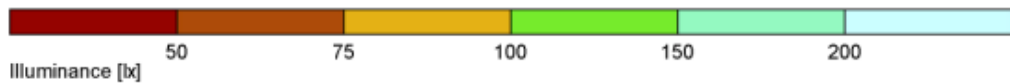
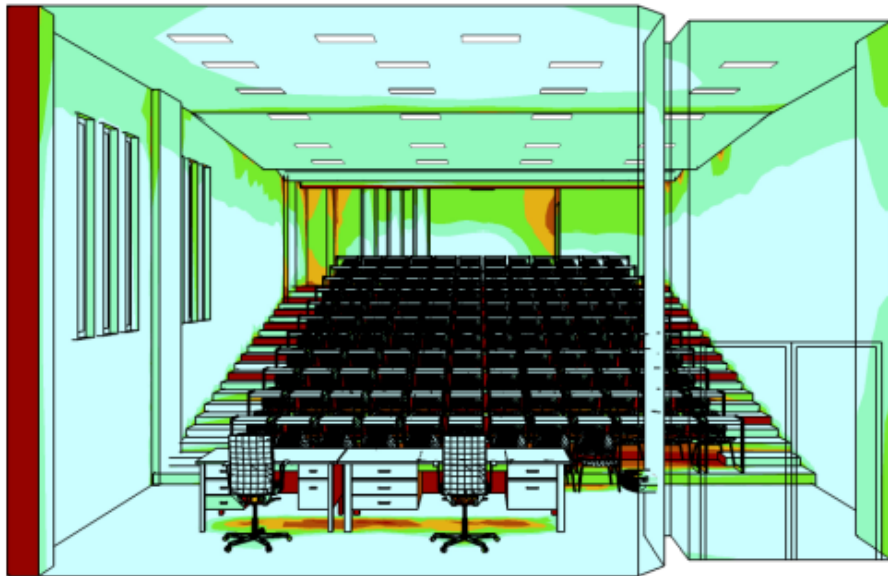
Αντιπροσωπευτικές επιφάνειες με την ανάλυση ψευδοχρωμάτων φαίνονται στο σχήμα 7.2



Σχήμα 7.2 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα α)επιφάνεια 4, β)επιφάνεια 8 ,γ)επιφάνεια 14. Οι επιφάνειες όπως οριστήκαν στο σχήμα 4.4



Εικόνα 7.1 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.2 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T5 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

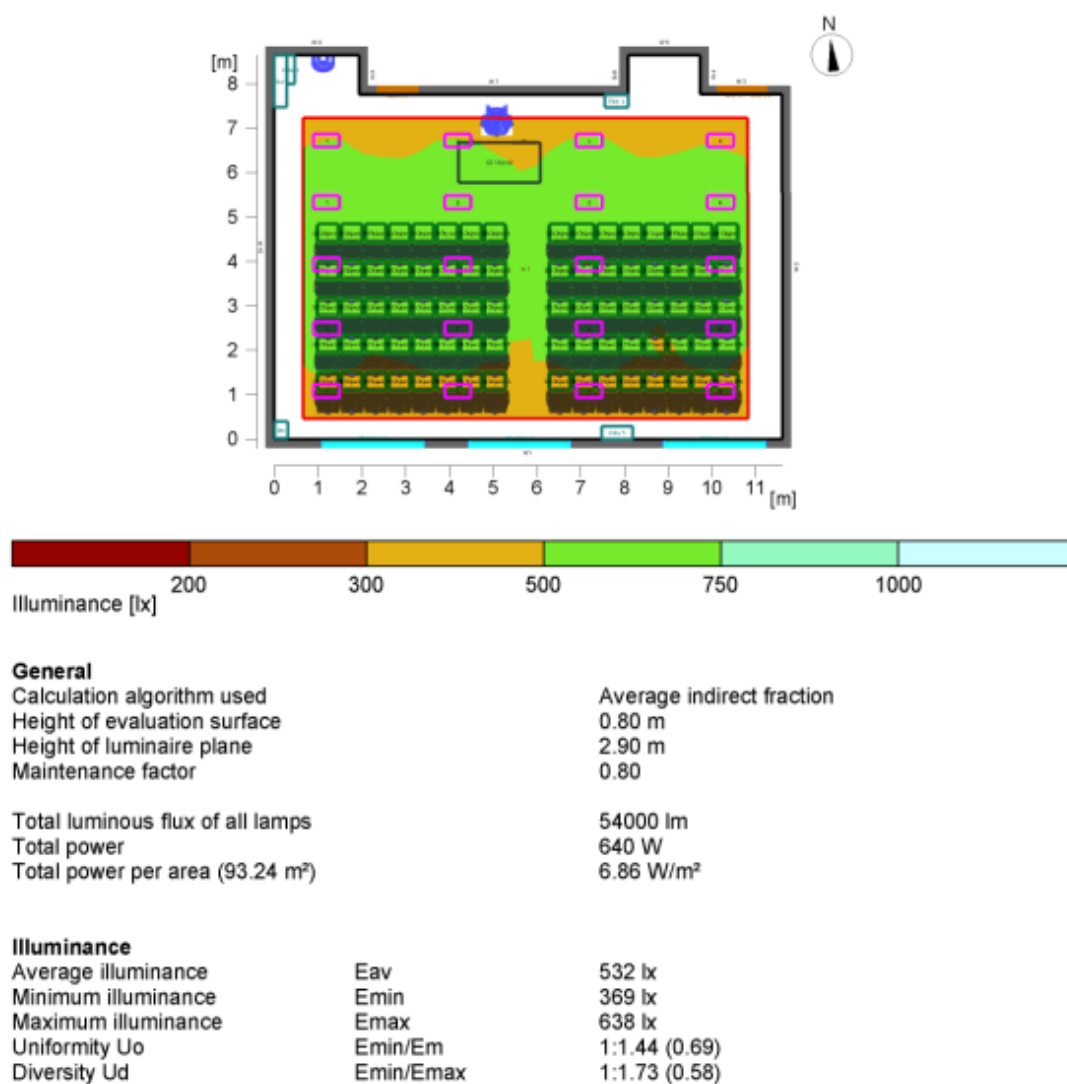
Πίνακας 7.3 Επιδόσεις αμφιθεάτρου για την περίπτωση T5 X 2

Κωδικός Σεναρίου	Δυνατότητα Dimming	Ισχύς ανά m^2 (W/m^2)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Αμ1	Όχι	7,47	881,1	4947,36
Αμ2	Ναι	7,47	2181,3	6247,56

7.2.2 Αίθουσα (T5 X 2)

Για την αίθουσα χρειάστηκαν 20 φωτιστικά με συνολική ισχύ 640 W ή ισοδύναμα $6,86 \text{ W/m}^2$. Τα φωτιστικά τοποθετούνται σε πέντε σειρές τοποθετημένα σε τετράδες. Η ένταση φωτισμού είχε μέση τιμή 532 lx, ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ήταν 638 και 369 αντίστοιχα. Προφανώς η ομοιομορφία είναι μεγάλη (0,69) και το αποτέλεσμα ικανοποιητικό.

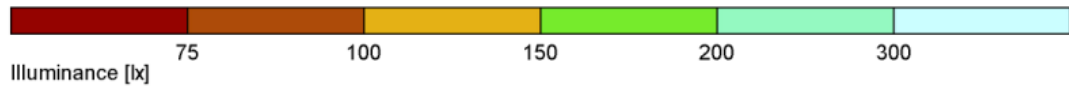
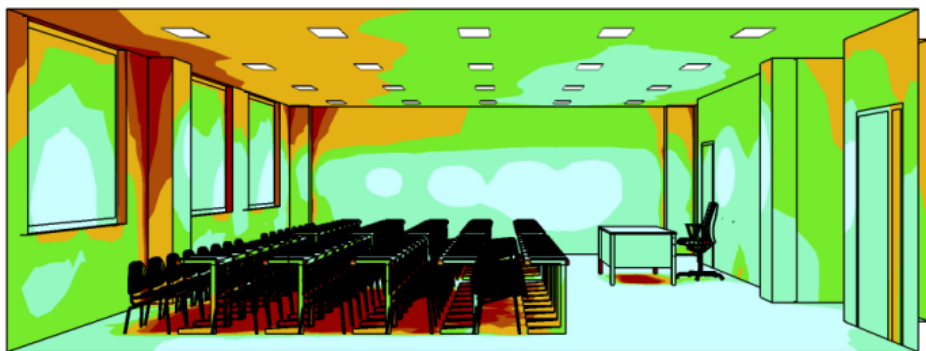
Το κόστους των λαμπτήρων είναι 236€, των ρυθμιζόμενων ballasts 1.086€ και των μη ρυθμιζόμενων 298€ και των φωτιστικών 2464,4€, τέλος οι αισθητήρες φωτισμού στοιχίζουν 52,6€. Συνολικά οι επιδόσεις φαίνονται στον πίνακα 7.4 Το σχήμα 7.3 και οι εικόνες 7.3 και 7.4 προκύπτουν από την εφαρμογή των προσομοιώσεων.



Σχήμα 7.3 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα, και αποτελέσματα για την αίθουσα περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.3 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.4 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T5 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.4 Επιδόσεις αίθουσας για την περίπτωση T5 X 2

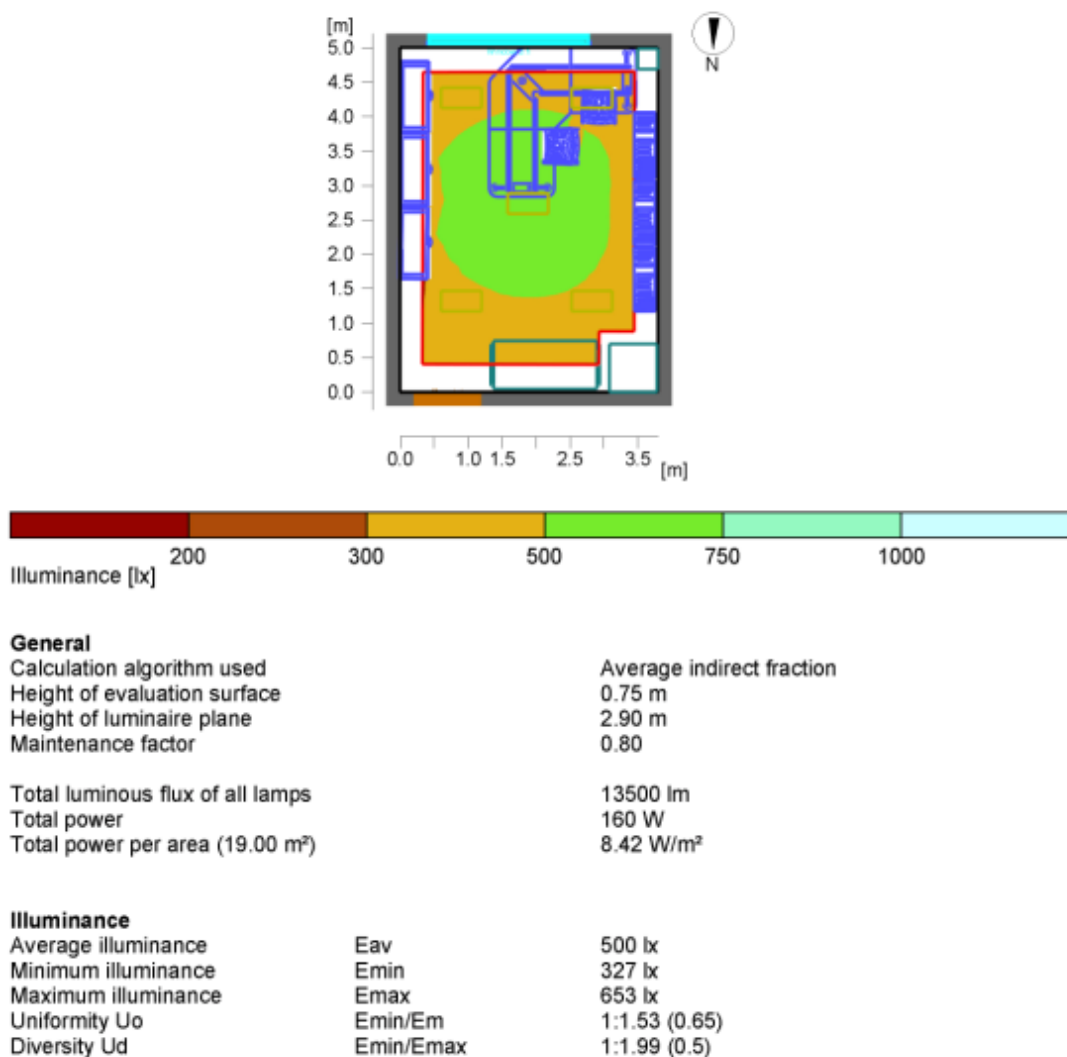
Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
A1	Όχι	Όχι	532	0,69	6,86	534	2998,4
A2	Ναι	Όχι	532	0,69	6,86	1322	3786,4
A3	Ναι	Ναι	532	0,69	6,86	1374,6	3839

7.2.3 Γραφείο (T5 X 2)

Το γραφείο καλύπτει μικρή επιφάνεια και χαμηλές καταναλώσεις επηρεάζουν σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα. Σε αυτή την περίπτωση με πέντε φωτιστικά επιτυγχάνεται μια σωστή λύση. Η ισχύς στην παρούσα περίπτωση φτάνει τα 160W ($8,42 \text{ W/m}^2$) και η μέση ένταση τα 500lx (μέγιστη 653 και ελάχιστη 327lx). Ως προς την ομοιομορφία παρατηρείται τιμή στο 0,65 που είναι αρκετά υψηλή τιμή.

Το κόστος ανά περίπτωση είναι 59€για τους λαμπτήρες, 271,5€για ρυθμιζόμενη τροφοδοσία και 74,5€για μη ρυθμιζόμενη. Ο αισθητήρας ανέρχεται στα 26,3€ Για τα φωτιστικά δαπανώνται 616,6€ Στο σχήμα 7.4 και τις εικόνες 7.5 και 7.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ενώ τα σενάρια παρατίθενται στο στον πίνακα 7.5 .

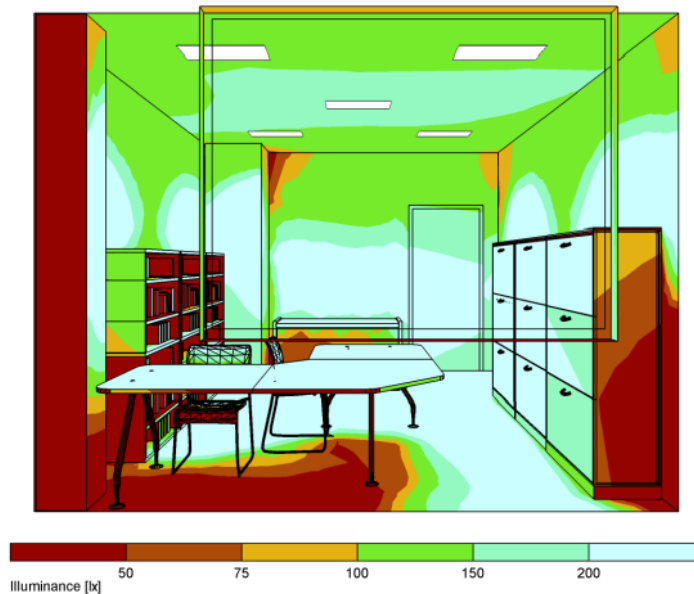
Γενικά η λύση της συγκεκριμένης περίπτωσης είναι ικανοποιητική και το αποτέλεσμα ιδανικό. Η τοποθέτηση των πέντε φωτιστικών στην δεδομένη διάταξη είναι αρκετά αποτελεσματική.



Σχήμα 7.4 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για το γραφείο, περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.5 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.6 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T5 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

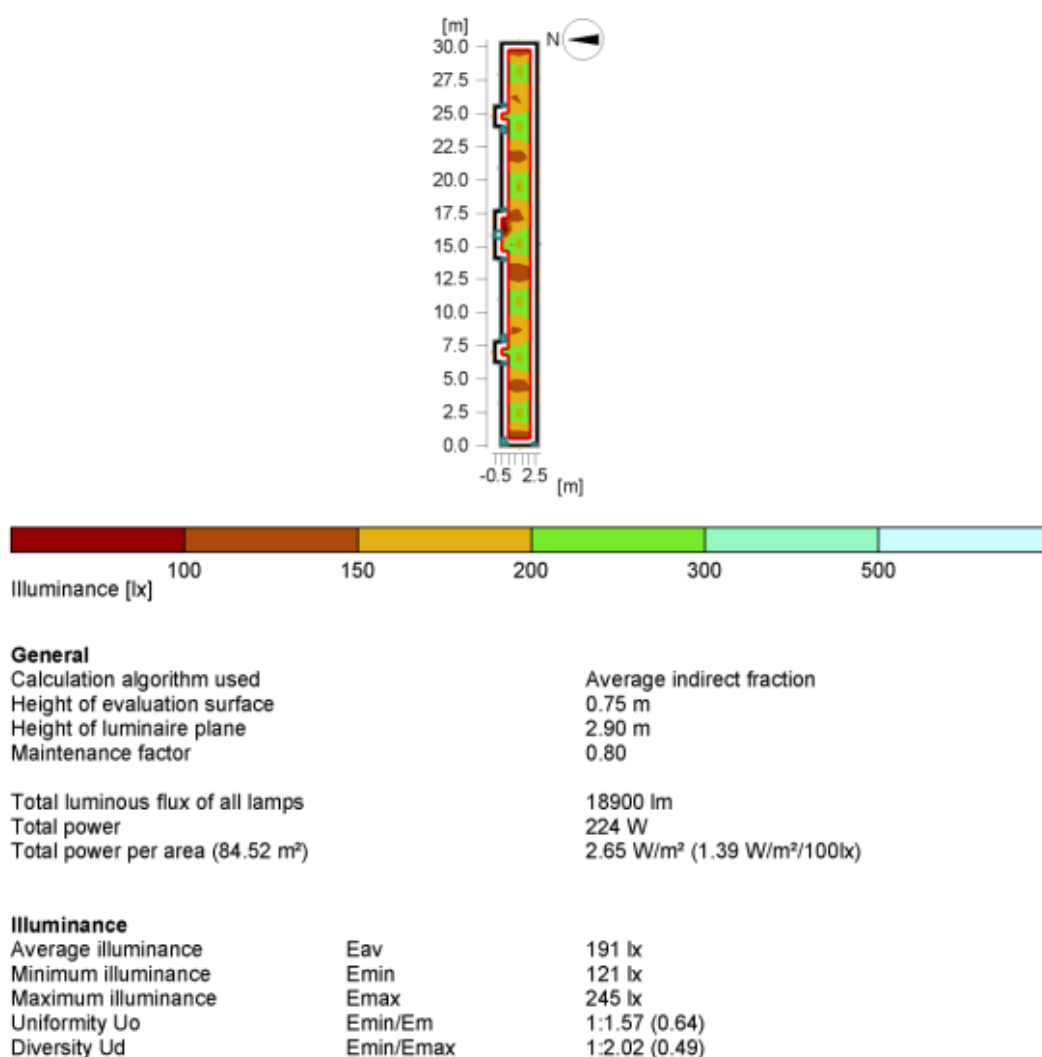
Πίνακας 7.5 Επιδόσεις Γραφείου για την περίπτωση T5 X 2

Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρας φωτός	Μείση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Γ1	Όχι	Όχι	500	0,65	8,42	133,5	750,1
Γ2	Ναι	Όχι	500	0,65	8,42	330,5	947,1
Γ3	Ναι	Ναι	500	0,65	8,42	356,8	973,4

7.2.4 Διάδρομος (T5 X 2)

Ο διάδρομος αποτελεί ιδιάζουσα περίπτωση γιατί περιέχει πολλές γωνίες και εσοχές με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η ομοιομορφία του χώρου ως προς το φωτιστικό αποτέλεσμα. Στο συγκεκριμένο σενάριο δεν υπάρχει κάποιο σημαντικό πρόβλημα αφού επιτυγχάνεται ομοιομορφία στο 0,64. Οι τιμές της έντασης είναι υπολογισμένες στα 191 lx κατά μέσο όρο με μέγιστες αποκλινομένες τιμές τα 121 και 245lx (Σχήμα 7.5). Απαιτούνται 7 φωτιστικά με ισχύ 224W ($2,65 \text{ W/m}^2$) και ο χώρος φωτίζεται σωστά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο σχήμα 7.5 και τις εικόνες 7.7 και 7.8. Ο πίνακας 7.6 περιλαμβάνει τα σενάρια που υλοποιούνται φαίνεται

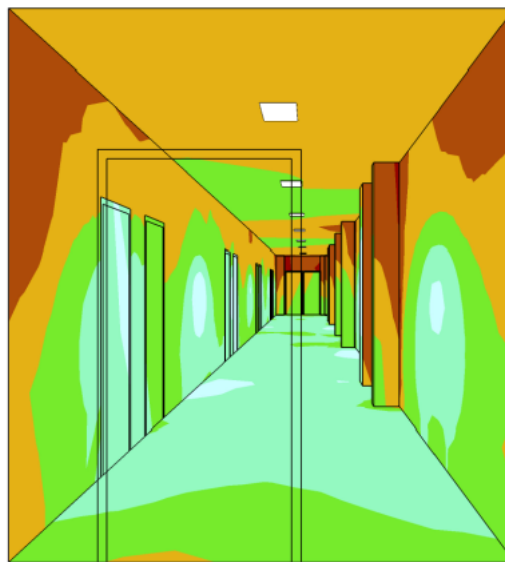
Συνολικά οι λαμπτήρες στοιχίζουν 82,6€ τα φωτιστικά 862,54€ τα ballasts 104,3 και οι αισθητήρες παρουσίας 68 €



Σχήμα 7.5 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για τον διάδρομο, περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.7 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T5 X 2



Εικόνα 7.8 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T5 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.6 Επιδόσεις Διαδρόμου για την περίπτωση T5 X 2

Κωδικός Σεναρίου	Αισθητήρας παρουσίας	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Δ1	Όχι	191	0,64	2,65	186,9	1049,44
Δ2	Ναι	191	0,64	2,65	254,9	1117,44

7.3 T5 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά τέσσερις (T5 X 4)

Σε αυτό το σενάριο οι λαμπτήρες τοποθετούνται σε φωτιστικά ανά τέσσερις. Ο βοηθητικός εξοπλισμός αλλά και οι λαμπτήρες έχουν τα χαρακτηριστικά του πίνακα 7.7. Το φύλλο προδιαγραφών του φωτιστικού παρατίθεται στο παράρτημα. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι ενώ το φωτιστικό παραλαμβάνεται με τοποθετημένα ballasts και λαμπτήρες, έτοιμο για εγκατάσταση, εδώ εφαρμόζεται ο εξοπλισμός όπως προκύπτει από τα συμπεράσματα της ELECTRE. Επομένως τόσο για το ballast όσο και για τους λαμπτήρες, δεν ισχύει η προσφορά της Osram αλλά θεωρείται ότι γίνεται αντικατάσταση με βάση τις επιλογές του έκτου κεφαλαίου. Σε αυτή την περίπτωση επιλέχθηκε ένα φωτιστικό με μεγάλη απόδοση (88,84%) στην διάχυση της φωτεινής ροής με την χρήση περσίδων και ανακλαστήρων. Κάθε σώμα στοιχίζει σε ισχύ 64,6W και αποδίδει 74,26 lm/W ενώ έχει κόστος 78,54 €. Ο πίνακας 7.7 περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται.

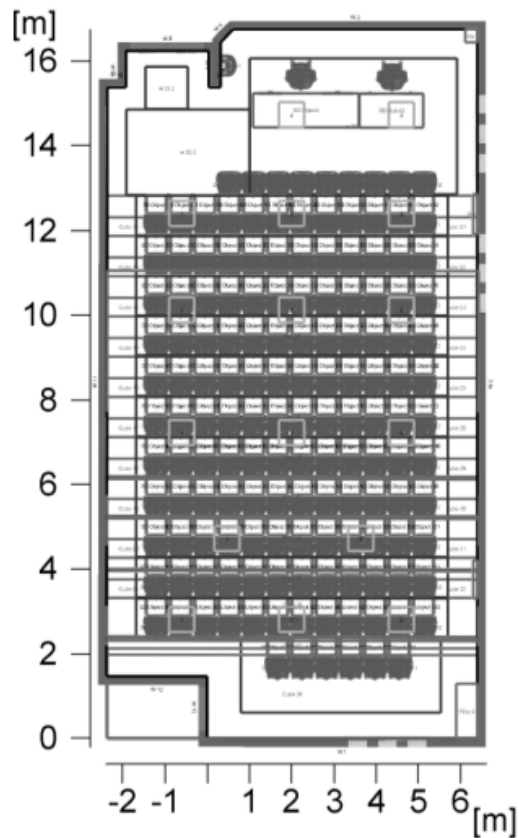
Πίνακας 7.7 Στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σενάριο T5X4

Κατηγορία	Επεξήγηση	Εταιρία	Όνομα	Κόστος (€)
Λαμπτήρας	T5	GE	F14W/T5/835/ECO	5,9
Φωτιστικό		Osram	DEDRA T5 VABS KIT	78,54
Ballast	Με dimming	Tridonic	PCA 4x14/24 T5 EXCITE lp Y	68,06
	Χωρίς dimming	Helvar	EL3/4x14s	25,01
Photo sensor		Sylvania	ELSC-DLH	26,3

7.3.1 Αμφιθέατρο (T5 X 4)

Στην περίπτωση του αμφιθεάτρου, απαιτούνται φωτιστικά με την διάταξη του σχήματος 7.6. Αν εξαιρεθεί η δεύτερη επιφάνεια που βρίσκεται ακριβώς πίσω από την πόρτα και δεν έχει υψηλές ανάγκες για στάθμη έντασης, αλλά και η προτελευταία σειρά που φωτίζεται ελαφρώς ισχυρότερα από όσο πρέπει όμως η οροφή δεν επιτρέπει καλύτερο αποτέλεσμα, τότε η υπόλοιπη μελέτη είναι στα σωστά όρια. Για την τελευταία σειρά η χαμηλή τιμή της έντασης παρατηρείται στην γωνία και οι θέσεις εργασίας φωτίζονται σωστά.

Συνολικά σε αυτή την περίπτωση απαιτηθήκαν 16 φωτιστικά και η δαπάνη σε ισχύ φτάνει τα 1033,6W δηλαδή ισοδύναμα 7,31 W/m². Η ανάλογη δαπάνη υπολογίζεται σε 377,6 € για λαμπτήρες και για απλά ballasts 400,16 € ενώ για τα ρυθμιζόμενα 1088,96. Επομένως φαίνεται ότι κόστος διπλασιάζεται με την προσθήκη ιδιότητας dimming. Τα φωτιστικά απαιτούν 1256,64€

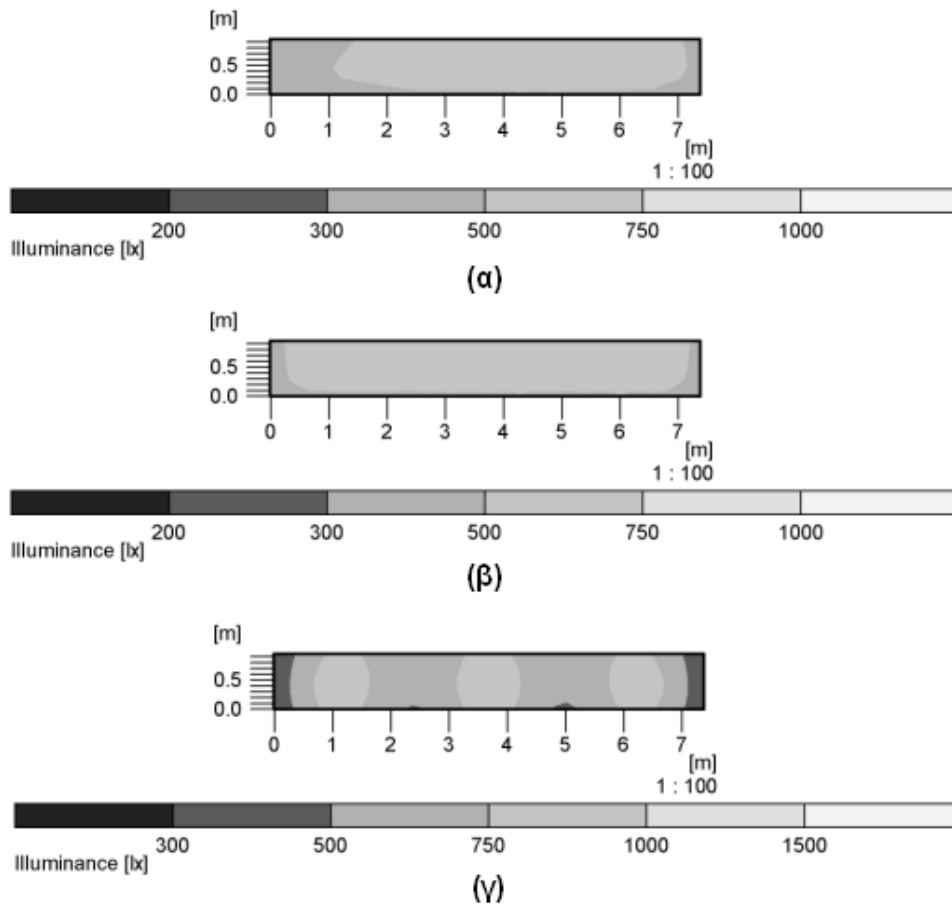


Σχήμα 7.6 Κάτοψη αμφιθεάτρου και οι θέσεις των φωτιστικών

Οι αντίστοιχες τιμές έντασης φωτισμού ανά επιφάνεια βρίσκονται στον πίνακα 7.8. Για τους αριθμούς ανά επιφάνεια, ισχύουν όσα αναλύθηκαν μέχρι τώρα.

Πίνακας 7.8 Ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια

Αριθμός επιφανείας	Μέση ένταση (lx)	Ελάχιστη ένταση (lx)	Μέγιστη ένταση (lx)
1	484	357	576
2	261	194	324
3	413	277	537
4	539	406	610
5	567	425	640
6	581	417	662
7	591	459	669
8	582	448	657
9	594	412	691
10	582	344	716
11	570	324	668
12	561	251	751
13	597	327	747
14	679	395	929
15	339	184	771

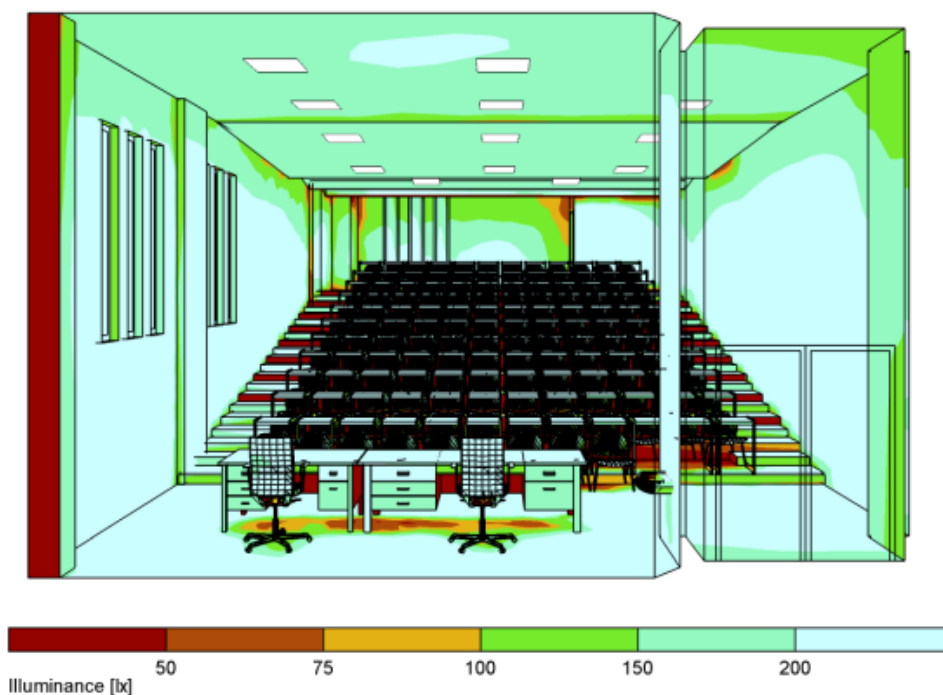


Σχήμα 7.7 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα α) επιφάνεια 4, β) επιφάνεια 8, γ) επιφάνεια 14. Οι επιφάνειες όπως οριστήκαν στο σχήμα 4.4

Αντιπροσωπευτικά δείγματα της ανάλυσης με ψευδοχρώματα παρατίθενται στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 7.7) για συγκεκριμένες επιφάνειες. Παράλληλα δίνονται οι επιμέρους εικόνες του τρισδιάστατου χώρου (Εικόνες 7.9 και 7.10).



Εικόνα 7.9 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T5 X 4



Εικόνα 7.10 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T5 X 4, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Συνολικά ο πίνακας με τις δυνατές επιλογές για τον δεδομένο χώρο με την υπάρχουσα λύση φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 7.9).

Πίνακας 7.9 Επιδόσεις αμφιθεάτρου για την περίπτωση T5 X 4

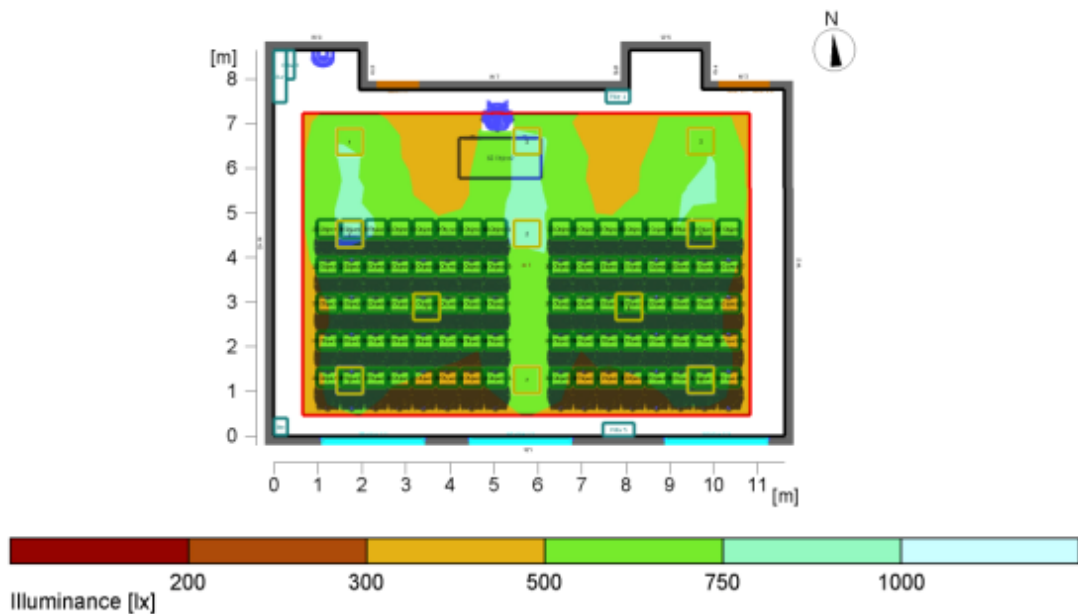
Κωδικός Σεναρίου	Δυνατότητα Dimming	Ισχύς ανά m^2 (W/m^2)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Αμ3	Όχι	7,31	777,76	2034,4
Αμ4	Ναι	7,31	1466,56	2723,2

7.3.2 Αίθουσα (T5 X 4)

Κατά τον ίδιο τρόπο προκύπτουν τα αποτελέσματα της αίθουσας. Η εγκατάσταση απαιτήσε 11 φωτιστικά χωρισμένα σε τρεις σειρές των τριών ενώ ενισχυτικά προστέθηκαν και δυο φωτιστικά στο κέντρο πάνω από τα έδρανα όπως φαίνεται στο σχήμα. Η διάταξη κατά αυτό τον τρόπο αυξάνει την ομοιομορφία και ενισχύει την ένταση προς το μέρος των παραθύρων που τις βράδυνες ώρες έχουν επιπλέον απώλειες προς τα έξω. Οι τιμές που έδωσε ο υπολογισμός αναφέρουν μέση ένταση στα 592lx και ακραίες τιμές 387 και 766 lx. Η ισχύς ισούται με 710,6W (7,62 W/m^2) και η ομοιομορφία είναι ίση με 0,65.

Αναλόγως το κόστος είναι 259,6 € για λαμπτήρες, 863,94 για τα φωτιστικά και 275,11 για απλά ballasts, τα ρυθμιζόμενα στοιχίζουν 748,66€

Η ανάλυση με ψευδοχρώματα φαίνεται στο σχήμα 7.8. Οι εικόνες 7.11 και 7.12 περιλαμβάνουν τις τρισδιάστατες απεικονίσεις βάση της προσομοίωσης, ενώ τα σενάρια παρουσιάζονται στον πίνακα 7.10



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.80 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	59400 lm
Total power	710.6 W
Total power per area (93.24 m ²)	7.62 W/m ²

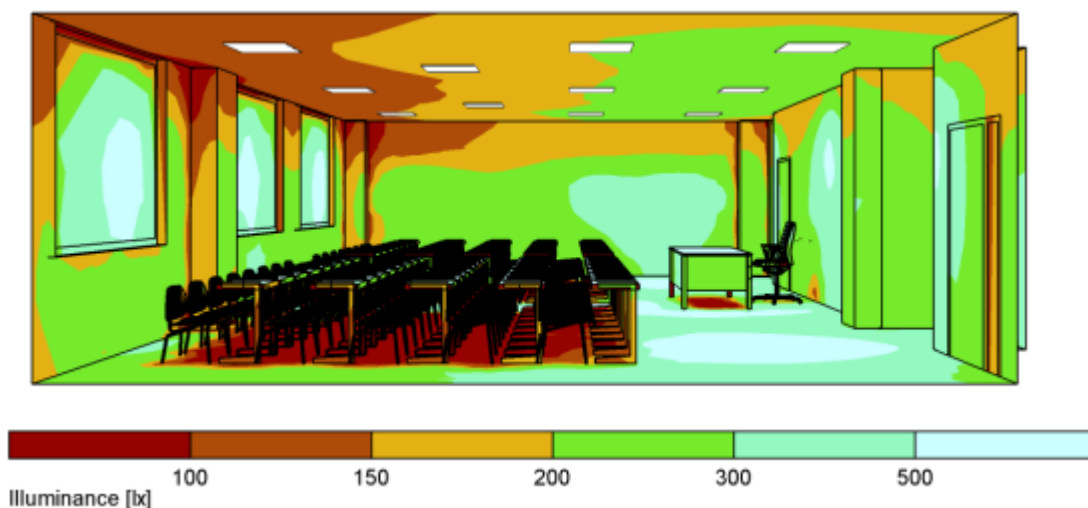
Illuminance

Average illuminance	E _{av}	592 lx
Minimum illuminance	E _{min}	387 lx
Maximum illuminance	E _{max}	766 lx
Uniformity U ₀	E _{min} /E _{max}	1:1.53 (0.65)
Diversity U _d	E _{min} /E _{max}	1:1.98 (0.51)

Σχήμα 7.8 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για την αίθουσα περίπτωση T5 X 4



Εικόνα 7.11 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T5 X 4



Εικόνα 7.12 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T5 X 4, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.10 Επιδόσεις αίθουσας για την περίπτωση T5 X 4

Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m^2 (W/m^2)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
A4	Όχι	Όχι	592	0,65	7,62	534,71	1398,65
A5	Ναι	Όχι	592	0,65	7,62	1008,26	1872,2
A6	Ναι	Ναι	592	0,65	7,62	1060,86	1924,8

7.3.3 Λοιποί χώροι

Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι τα δεδομένα φωτιστικά δεν ταιριάζουν στον χώρο του γραφείου. Αν χρησιμοποιηθούν δυο σώματα παρατηρούνται χαμηλές τιμές έντασης και μεγάλη ανομοιομορφία, αν χρησιμοποιηθούν τέσσερα τότε ενώ η ομοιομορφία είναι καλή η ένταση ξεφεύγει από τα όρια των αποδεκτών τιμών και η ισχύς φτάνει στα $13,6W/m^2$. Το ιδανικό θα ήταν να χρησιμοποιηθούν τρία φωτιστικά όμως τίθεται θέμα σωστής κατανομής της φωτεινής ροής. Υπό αυτές τις συνθήκες δεν υπάρχει αποδεκτή λύση για τον χώρο. Αυτό το συμπέρασμα είναι λογικό επειδή τα δεδομένα φωτιστικά είναι αρκετά αποδοτικά για μεγάλους χώρους, για μικρά δωμάτια όμως δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις γεωμετρικές απαιτήσεις κάθε περίπτωσης.

Ο διάδρομος αποτελεί ένα ακόμη δυσμενές σενάριο για τα συγκεκριμένα φωτιστικά. Η ροή δεν διαχέεται αποτελεσματικά και το τελικό αποτέλεσμα έχει μεγάλη ανομοιομορφία. Το πρόβλημα επιδεινώνεται από το γεγονός ότι ο χώρος από την κατασκευή του έχει πολλές γωνίες και εσοχές.

Αυτό φαίνεται από τις υψηλές τιμές έντασης, δηλαδή η μέση τιμή 306lx, μέγιστη 556lx και ελάχιστη 115lx με την χρήση 5 φωτιστικών. Γενικά οπου τοποθετηθεί φωτιστικό η επιφάνεια ακριβώς από κάτω έχει τιμές κοντά στα 500lx. Επομένως δεν μπορεί να υπάρξει λύση και σε αυτή την περίπτωση.

7.4 T8 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά δυο (T8 X 2)

Η εκτέλεση των βημάτων του έκτου κεφαλαίου δίνει για την περίπτωση που χρησιμοποιούνται T8 λαμπτήρες ανά δυο τοποθετημένοι σε φωτιστικά τα στοιχεία του επόμενου πίνακα.

Η έρευνα σε φωτιστικά σώματα οδήγησε στην επιλογή των σελίδων του παραρτήματος. Η υψηλή απόδοση σε ότι αφορά την διάχυση φωτεινής ροής (89,2%) είναι ικανοποιητική αν και το κόστος ισχύος των λαμπτήρων T8 είναι μεγαλύτερο από τους αντιστοιχούς T5 (18W έναντι 14W) όταν μάλιστα η ποσότητα σε παραγόμενα lumen των περιπτώσεων που υπερισχύουν και επιλέξαμε, είναι ίδια (1350lm). Το φωτιστικό της Pracht καταναλώνει 41W και έχει απόδοση 58,74lm/W παράλληλα η δεδομένη λύση έχει αρκετά υψηλό κόστος επειδή η συγκεκριμένη διάταξη κοστολογείται στα 169€. Ο πίνακας 7.11 περιλαμβάνει τις επιλογές του δεδομένου σεναρίου.

Πίνακας 7.11 Στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σενάριο T8X2

Κατηγορία	Επεξήγηση	Εταιρία	Όνομα	Κόστος (€)
Λαμπτήρας	T8	Philips	MASTER TL-D Super 80 18W	2,1
Φωτιστικό		Pracht	Herkules 2X18W	169
Ballast	Με dimming	Philips	HF-R 218 TLD	50,4
	Χωρίς dimming	Philips	HF-P 218 TL-D III	14,5
PIR sensor		Siemens	IR 270C	34
Photo sensor		Sylvania	ELSC-DLH	26,3

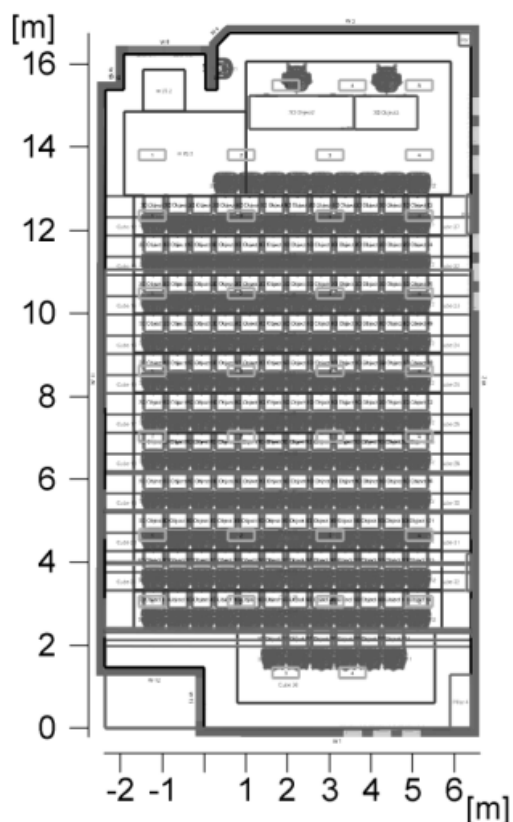
7.4.1 Αμφιθέατρο (T8 X 2)

Η εφαρμογή λαμπτήρων T8 στην εγκατάσταση του αμφιθέατρου με το συγκεκριμένο φωτιστικό φαίνεται να αποτελεί ιδανική περίπτωση. Γενικά όπως και στα υπόλοιπα σενάρια επιτυγχάνεται μεγάλη ομοιομορφία ανά επιφάνεια και μοναδικές περιοχές με χαμηλότερη ένταση είναι το σημείο κάτω από την πόρτα εισόδου αλλά και ο αντίστοιχος χώρος κοντά στην πίσω πόρτα, και οι δυο περιοχές έχουν βοηθητική λειτουργία και δεν είναι απαραίτητο να φωτίζονται έντονα.

Με την εγκατάσταση 33 φωτιστικών επιτυγχάνεται συνολική ισχύς 1353W και ισοδύναμα $9.57W/m^2$. Παρατηρείται ξεκάθαρη αύξηση της κατανάλωσης που βρίσκεται όμως στα αποδεκτά πλαίσια..

Στο σχήμα 7.9 παρουσιάζεται η διάταξη των φωτιστικών στον χώρο. Ο πίνακας 7.12 και το σχήμα 7.10 δείχνουν τα αποτελέσματα ως προς την ένταση, ενώ οι εικόνες 7.13 και 7.14 αναπαριστούν τον χώρο σε τρισδιάστατη μορφή. Τέλος ο πίνακας 7.13 περιλαμβάνει τις δυνατές περιπτώσεις σεναρίων.

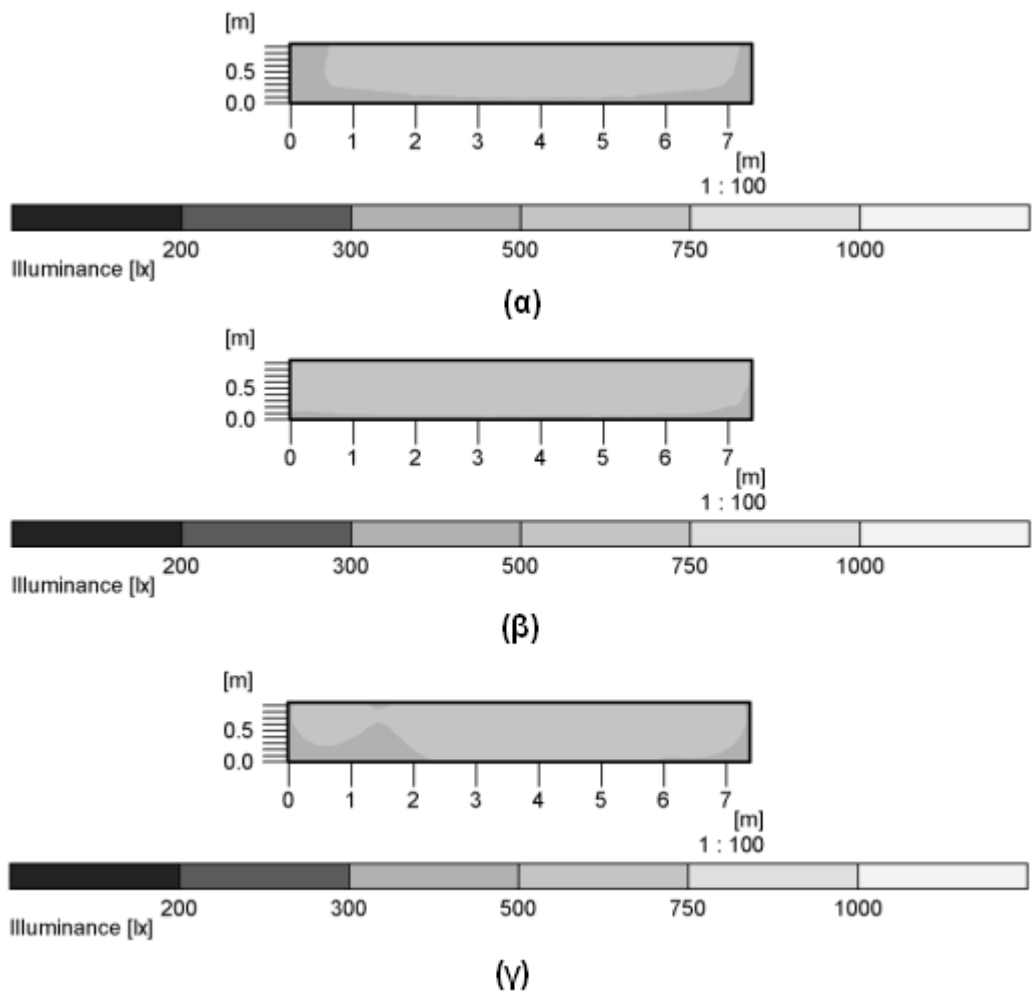
Οι λαμπτήρες T8 στοιχίζουν 138,6 € και τα ballasts ανά περίπτωση 478,5 ή 1.663,2€ ανάλογα με την δυνατότητα dimming. Τα φωτιστικά απαιτούν δαπάνες 5.577€ και αυξάνουν σημαντικά το τελικό ποσό επένδυσης.



Σχήμα 7.9 Κάτοψη αμφιθεάτρου και οι θέσεις των φωτιστικών

Πίνακας 7.12 Ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια

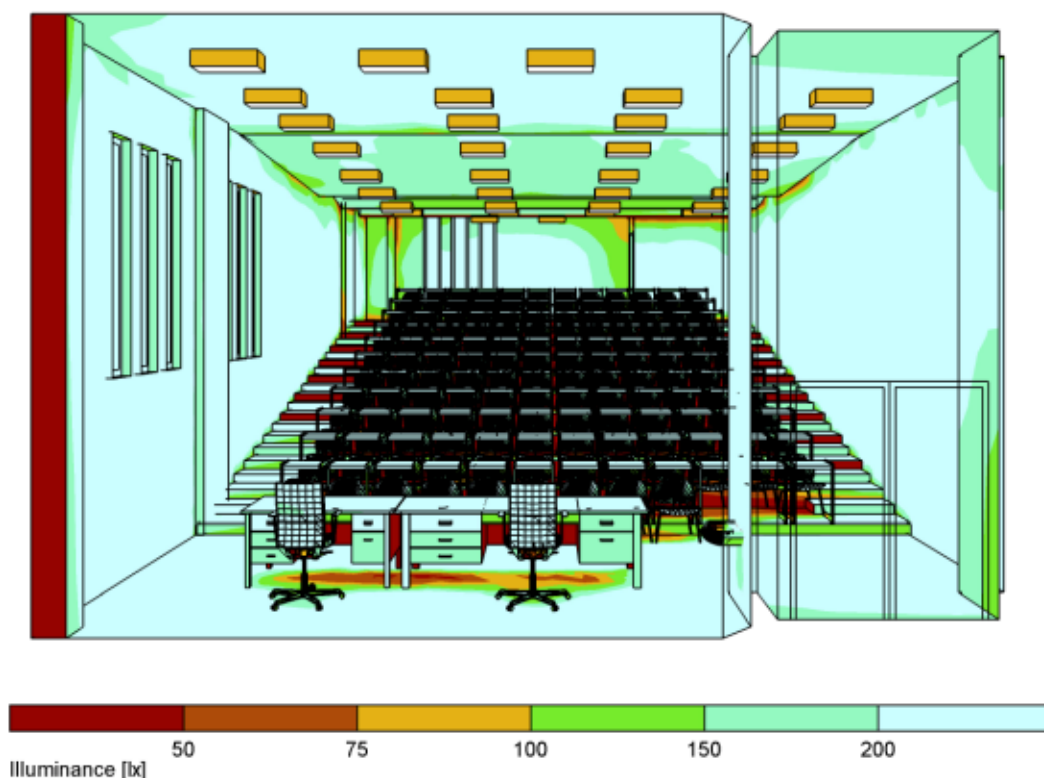
Αριθμός επιφανείας	Μέση ένταση (lx)	Ελάχιστη ένταση (lx)	Μέγιστη ένταση (lx)
1	506	395	580
2	303	228	387
3	469	348	561
4	535	431	592
5	541	404	604
6	552	456	606
7	551	427	603
8	570	481	622
9	561	448	613
10	515	343	593
11	492	411	551
12	490	384	539
13	496	441	543
14	544	411	640
15	501	194	653



Σχήμα 7.10 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα α) επιφάνεια 4, β) επιφάνεια 8
 γ) επιφάνεια 14



Εικόνα 7.13 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.14 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T8 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

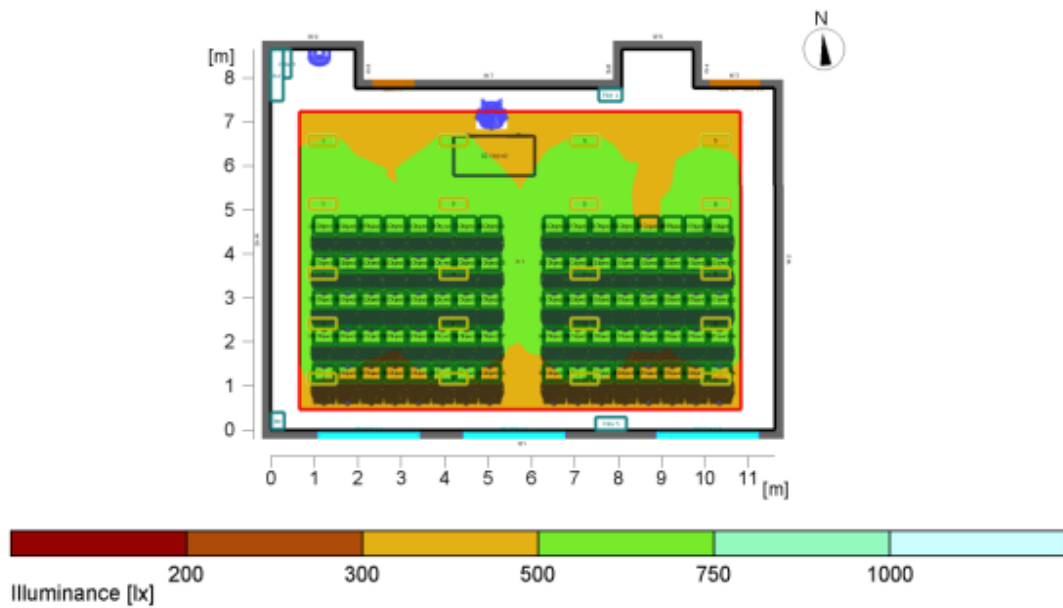
Πίνακας 7.13 Επιδόσεις αμφιθεάτρου για την περίπτωση T8 X 2

Κωδικός Σεναρίου	Δυνατότητα Dimming	Ισχύς ανά m^2 (W/m^2)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Αμ5	Όχι	9,57	617,1	6194,1
Αμ6	Ναι	9,57	1801,8	7378,8

7.4.2 Αίθουσα (T8 X 2)

Ομοίως το συγκεκριμένο σενάριο φαίνεται να ανταποκρίνεται ιδανικά και στην αίθουσα. Η κάλυψη των αναγκών σε ένταση μέσης τιμής 523lx και ομοιομορφίας 0,75, υλοποιείται με την χρήση 20 φωτιστικών που απαιτούν 820W (8,79 W/m²). Οι αντίστοιχες τιμές για μέγιστη και ελάχιστη ένταση είναι 647 και 393 lx. Αντίστοιχα το κόστος των λαμπτήρων είναι μόλις 84€ και για ballasts 1.008€ ή 290€ ενώ για τα φωτιστικά απαιτούνται 3.380€. Τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την προσομοίωση παρατίθενται στην συνέχεια.

Η ανάλυση με ψευδοχρώματα φαίνεται στο σχήμα 7.11, οι εικόνες 7.15 και 7.16 περιλαμβάνουν την εκτίμηση σε τρισδιάστατη απεικόνιση ενώ ο πίνακας 7.14 περιέχει τα δυνατά σενάρια.



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.80 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80

Total luminous flux of all lamps	54000 lm
Total power	820 W
Total power per area (93.24 m ²)	8.79 W/m ²

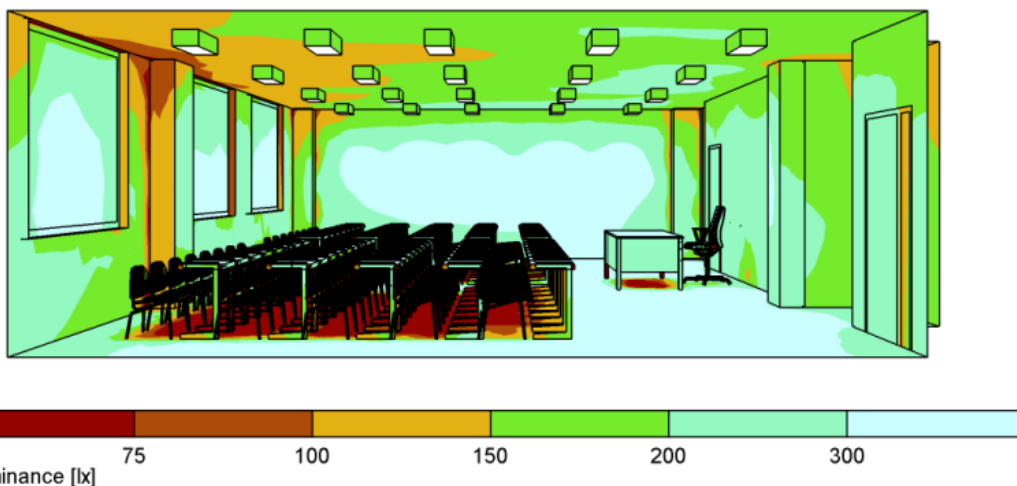
Illuminance

Average illuminance	E _{av}	523 lx
Minimum illuminance	E _{min}	393 lx
Maximum illuminance	E _{max}	647 lx
Uniformity U ₀	E _{min} /E _m	1:1.33 (0.75)
Diversity U _d	E _{min} /E _{max}	1:1.65 (0.61)

Σχήμα 7.11 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για την αίθουσα περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.15 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.16 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T8 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.14 Επιδόσεις αίθουσας για την περίπτωση T8 X 2

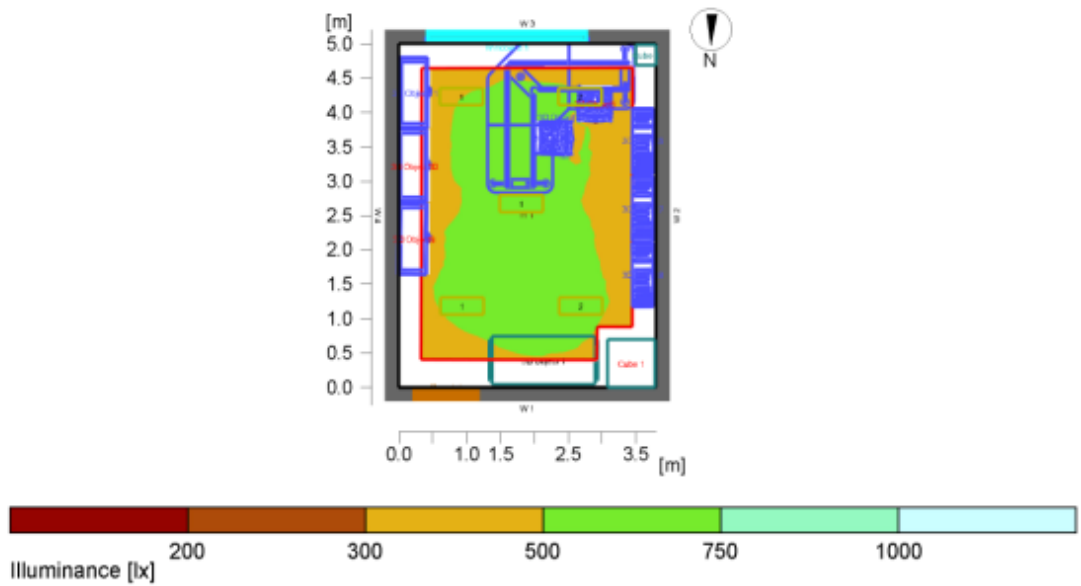
Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/m ²)	Κόστος Αναλόσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
A7	Όχι	Όχι	523	0,75	8,79	374	3754
A8	Ναι	Όχι	523	0,75	8,79	1092	4472
A9	Ναι	Ναι	523	0,75	8,79	1144,6	4524,6

7.4.3 Γραφείο (T8 X 2)

Για το γραφείο οι προδιαγραφές ικανοποιούνται με την εγκατάσταση πέντε φωτιστικών και απαιτείται ισχύς ίση με 205W (10,79W/m²) επομένως από άποψη κατανάλωσης οι επιτευχθείσες τιμές είναι οριακά εντός των αποδεκτών ορίων. Η μέση ένταση σύμφωνα με το πρόγραμμα υπολογίζεται στα 521lx η μέγιστη στα 622lx και η ελάχιστη στα 345lx. Η ομοιομορφία είναι υπολογισμένη στο 0,66 και η εγκατάσταση είναι ικανοποιητική. Η αύξηση της ισχύος στους λαμπτήρες έχει ιδιαίτερο αντίκτυπο στην γενική κατανάλωση σε μικρότερους χώρους όπως ήταν αναμενόμενο.

Σε ότι αφορά το κόστος, για τους λαμπτήρες δαπανώνται 21€για τα ballasts ανά περίπτωση είτε 252 ή 72,5. Τα φωτιστικά στοιχίζουν 845€

Ακολουθεί η ανάλυση με ψευδοχρώματα στο σχήμα 7.12, οι τρισδιάστατες απεικονίσεις στις εικόνες 7.17 και 7.18 και ο συγκεντρωτικός πίνακας 7.15 των σεναρίων



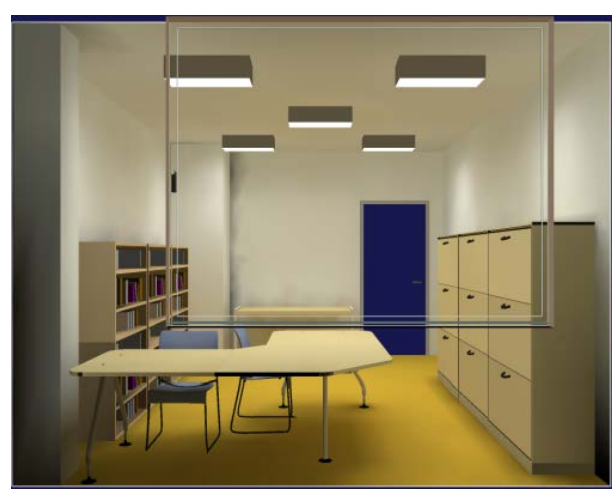
General

Calculation algorithm used	High indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	13500 lm
Total power	205 W
Total power per area (19.00 m ²)	10.79 W/m ²

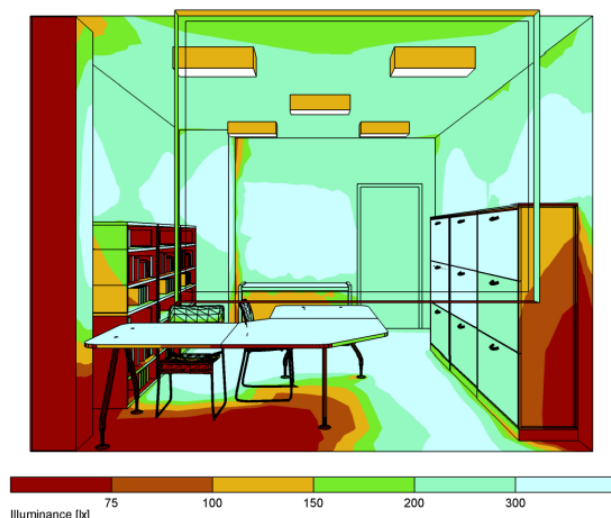
Illuminance

Average illuminance	E _{av}	521 lx
Minimum illuminance	E _{min}	345 lx
Maximum illuminance	E _{max}	622 lx
Uniformity U _o	E _{min} /E _{max}	1:1.51 (0.66)
Diversity U _d	E _{min} /E _{max}	1:1.8 (0.55)

Σχήμα 7.12 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για το γραφείο, περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.17 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.18 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T8 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.15 Επιδόσεις Γραφείου για την περίπτωση T8 X 2

Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρας φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Γ4	Όχι	Όχι	521	0,66	10,79	93,5	938,5
Γ5	Ναι	Όχι	521	0,66	10,79	273	1118
Γ6	Ναι	Ναι	521	0,66	10,79	299,3	1144,3

7.4.4 Διάδρομος (T8 X 2)

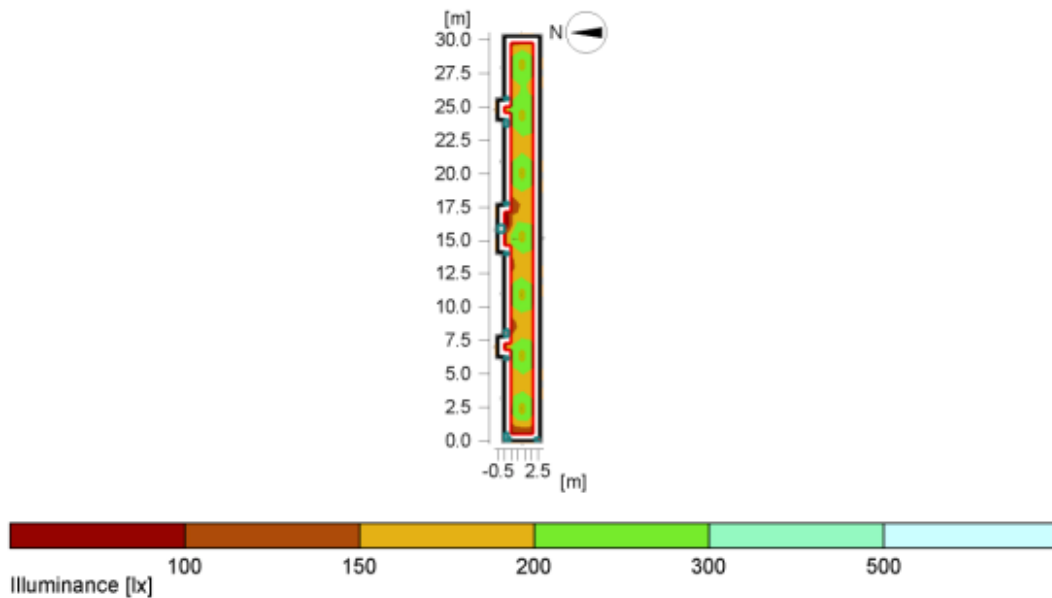
Στον διάδρομο απαιτείται η εγκατάσταση επτά φωτιστικών σωμάτων. Ο φωτισμός έχει μέση τιμή 210lx (130lx η ελάχιστη και 276lx η μέγιστη) και ομοιομορφία 0,62. Η ισχύς είναι 287W (3,4W/ m²). Το κόστος έχει υπολογιστεί κατά τα γνωστά και φαίνεται στον πίνακα 7.18.

Η χρήση των συγκεκριμένων σωμάτων ταιριάζει με τις ανάγκες του χώρου και τα ελάχιστα σκοτεινά σημεία που αναπόφευκτα δημιουργούνται βρίσκονται στις γωνιές.

Το σχήμα 7.13 περιέχει την ανάλυση με ψευδοχρώματα. Οι εικόνες 7.19 και 7.20 δείχνουν την τρισδιάστατη μορφή του διαδρόμου ενώ ο πίνακας 7.16 περιλαμβάνει το σύνολο των σεναρίων σε αυτή την περίπτωση.

Πίνακας 7.16 Επιδόσεις διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 2

Κωδικός Σεναρίου	Αισθητήρας παρουσίας	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Δ3	Όχι	210	0,62	3,4	130,9	1313,9
Δ4	Ναι	210	0,62	3,4	198,9	1381,9

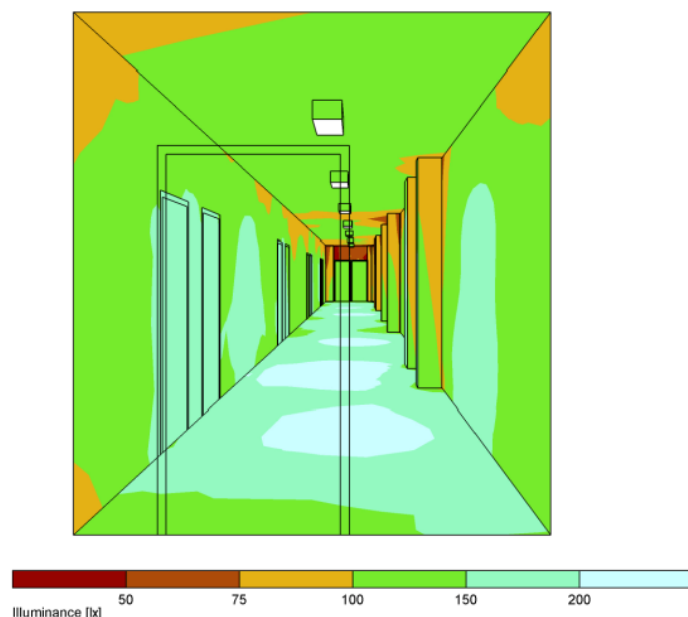


General		
Calculation algorithm used		Average indirect fraction
Height of evaluation surface		0.75 m
Height of luminaire plane		2.90 m
Maintenance factor		0.80
Total luminous flux of all lamps		18900 lm
Total power		287 W
Total power per area (84.52 m ²)		3.40 W/m ² (1.62 W/m ² /100lx)
Illuminance		
Average illuminance	Eav	210 lx
Minimum illuminance	Emin	130 lx
Maximum illuminance	Emax	276 lx
Uniformity U ₀	Emin/Em	1:1.62 (0.62)
Diversity U _d	Emin/Emax	1:2.12 (0.47)

Σχήμα 7.13 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για τον διάδρομο, περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.19 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.20 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

7.5 T8 λαμπτήρες φθορισμού σε φωτιστικά τοποθετημένοι ανά τέσσερις (T8 X 4)

Η τοποθέτηση λαμπτήρων T8 σε φωτιστικά ανά τέσσερις είναι συχνή σε περιπτώσεις χώρων διδασκαλίας. Επομένως για να είναι πληρέστερη η μελέτη εντάχθηκε και το επόμενο σενάριο. Δυστυχώς οι λαμπτήρες T8 απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ από τους αντιστοίχους T5 και είναι δύσκολο να βρεθεί φωτιστικό με καλές αποδόσεις. Η βέλτιστη λύση που βρέθηκε αποτελεί το φωτιστικό της Osram Siteco Louvre plus 4X18W με ισχύ 72W ανά τεμάχιο, και αποδόσεις 62,7% και 47,03lm/W. Η κατανομή της ροής στον χώρο με βάση το πολικό διάγραμμα είναι ιδανική για να μην υπάρχουν μεγάλες ανομοιομορφίες. Ο πίνακας 7.17 δείχνει τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 7.17 Στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σενάριο T8X4

Κατηγορία	Επεξήγηση	Εταιρία	Όνομα	Κόστος (€)
Λαμπτήρας	T8	Philips	MASTER TL-D Super 80 18W	2,1
Φωτιστικό		Osram	Siteco Louvre plus 4X18W	84,32
Ballast	Με dimming	Tridonic	PCA 4x18 T8 EXCITE Ip Y	68,08
	Χωρίς dimming	Philips	HF-P 3/418 TL-D III	28,57
RIR sensor		Siemens	IR270C	34
Photo sensor		Sylvania	ELSC-DLH	26,3

Αναφορικά με το αμφιθέατρο, ο κανονισμός γενικά προβλέπει ότι η ισχύς ανά τετραγωνικό μέτρο πρέπει να είναι μικρότερη από $11\text{W}/\text{m}^2$. Η αντίστοιχη προσομοίωση έδειξε ότι για επαρκή φωτισμό απαιτούνται 24 φωτιστικά σώματα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι απαιτούνται 1.728W ή ισοδύναμα $12,23\text{W}/\text{m}^2$. Αμέσως η μελέτη βρίσκεται εκτός προδιαγραφών και η λύση απορρίπτεται. Βέβαια θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι μια ελαφρώς αυξημένη κατανάλωση είναι στα όρια του επιτρεπτού όταν ο χώρος έχει κάποιες αυξημένες προδιαγραφές όπως ένα αμφιθέατρο όμως από την στιγμή που υπάρχουν αποτελεσματικότερα σενάρια που βρίσκονται σε αποδεκτές τιμές κατανάλωσης, δεν θα συμπεριληφθεί η δεδομένη λύση.

Αναλόγως δεν υπάρχει δυνατή λύση για την περίπτωση του γραφείου. Αν τοποθετηθούν δυο φωτιστικά παρατηρείται χαμηλή τιμή έντασης φωτισμού ενώ αν τοποθετηθούν τέσσερα η κατανάλωση αυξάνεται σημαντικά και η ένταση είναι ισχυρότερη από τις προβλεπόμενες τιμές των προδιαγραφών. Επομένως οι μελέτες που παρατίθενται θα αφορούν μόνο την αίθουσα και τον διάδρομο για την δεδομένη περίπτωση.

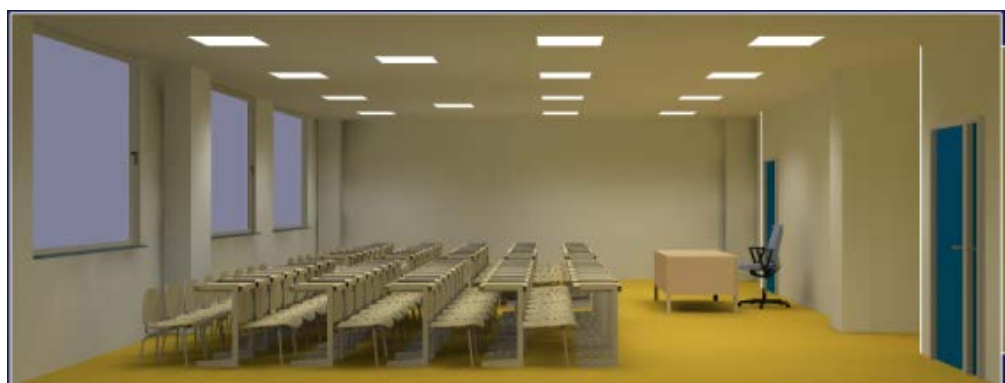
7.5.1 Αίθουσα (T8 X 4)

Η περίπτωση της αίθουσας μοιάζει με την αντίστοιχη που χρησιμοποιήθηκαν λαμπτήρες T5. Το σχήμα 7.14 δείχνει τον τρόπο με τον οποίο έχουν τοποθετηθεί τα φωτιστικά, έτσι ώστε να φωτίζονται σωστά τα έδρανα και να υπάρχει ομοιομορφία.

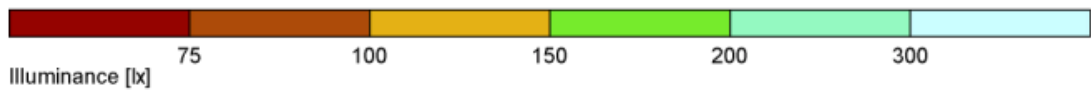
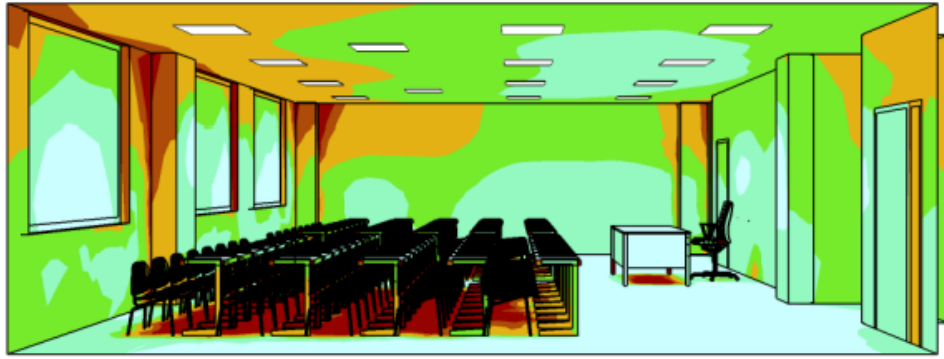
Η μέση τιμή της έντασης είναι 567lx η ελάχιστη 420lx και η μέγιστη 703lx επομένως η τιμή της ομοιομορφίας είναι μεγάλη και υπολογίζεται στο 0,74. Οι ανάγκες σε ισχύ για τα 14 φωτιστικά είναι 1008W και το εμβαδόν δίνει ισχύ ανά επιφάνεια ίση με $10,81\text{ W}/\text{m}^2$ που θεωρείται αρκετά υψηλή. Προφανώς δεν μπορεί να υπάρξει ενεργειακά οικονομικότερη λύση, διότι έχουν χρησιμοποιηθεί ακριβώς όσα φωτιστικά επιβάλλονται για σωστό φωτισμό.

Το κόστος για τα υλικά σε κάθε περίπτωση είναι $117,6\text{€}$ για τους λαμπτήρες και $953,12\text{€}$ για τα ballasts με ρύθμιση, ενώ τα απλά στοιχίζουν $399,98\text{€}$ και για τα φωτιστικά $1.180,48\text{€}$

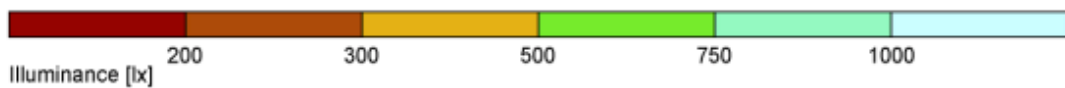
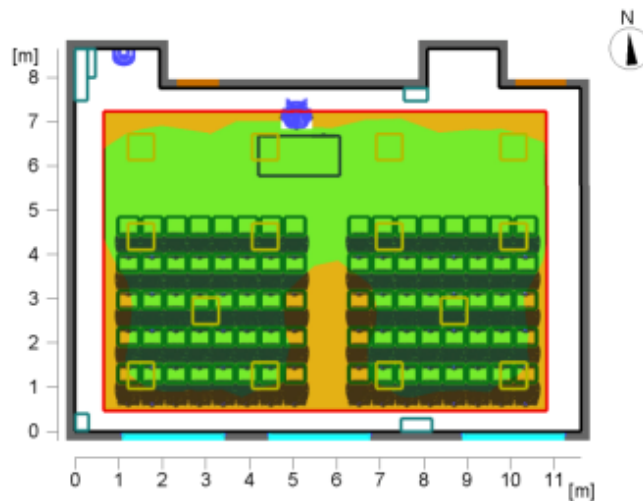
Ακολουθούν οι εικόνες 7.21 και 7.22 με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και το σχήμα 7.14. Συνολικά οι επιδόσεις φαίνονται στον πίνακα 7.18.



Εικόνα 7.21 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T8 X 4



Εικόνα 7.22 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T8 X 4, με χρήση ψευδοχρωμάτων



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.80 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	75600 lm
Total power	1008 W
Total power per area (93.24 m ²)	10.81 W/m ²

Illuminance

Average illuminance	Eav	567 lx
Minimum illuminance	Emin	420 lx
Maximum illuminance	Emax	703 lx
Uniformity Uo	Emin/Em	1:1.35 (0.74)
Diversity Ud	Emin/Emax	1:1.67 (0.6)

Σχήμα 7.14 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για την αίθουσα περίπτωση T8 X 4

Πίνακας 7.18 Επιδόσεις αίθουσας για την περίπτωση T8 X 4

Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² W/m ²	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
A10	Όχι	Όχι	567	0,74	10,81	517,58	1698,06
A11	Ναι	Όχι	567	0,74	10,81	1070,72	2251,2
A12	Ναι	Ναι	567	0,74	10,81	1123,32	2303,8

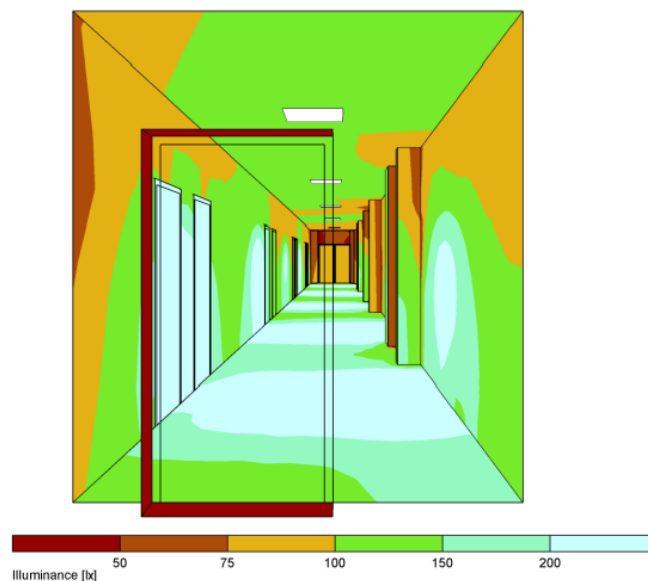
7.5.2 Διάδρομος (T8 X 4)

Όπως φαίνεται και από την ανάλυση με ψευδοχρώματα (σχήμα 7.15), για τον χώρο του διαδρόμου, η χρήση πέντε φωτιστικών επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών. Αν χρησιμοποιηθεί ένα επιπλέον φωτιστικό αυξάνεται η ομοιομορφία αλλά και η κατανάλωση, όμως ο φωτισμός γίνεται αρκετά ισχυρότερος από τις προδιαγραφές. Επομένως ο συγκεκριμένος τύπος φωτιστικού ταιριάζει αλλά αποτελεί μια ιδιαίζουσα περίπτωση.

Η μέση ένταση ορίζεται στα 217lx η ελάχιστη στα 94 lx και η μέγιστη στα 387 lx. Η μέγιστη τιμή είναι αναπόφευκτη κάτω από τα φωτιστικά ακριβώς για τον λόγο ότι είναι αρκετά ισχυρά. Η τιμή της ομοιομορφίας είναι χαμηλή (0,43) αλλά για τις ανάγκες του χώρου θεωρείται επαρκής. Η απαιτούμενη τιμή ισχύος προσδιορίζεται στα 360W (4,26W/m²) και είναι μια από τις υψηλότερες τιμές που καταγράφονται για την περίπτωση του διαδρόμου.

Το κόστος ανέρχεται στα 42€ για λαμπτήρες, 142,85€ για την τροφοδοσία και 421,6€ για τα φωτιστικά.

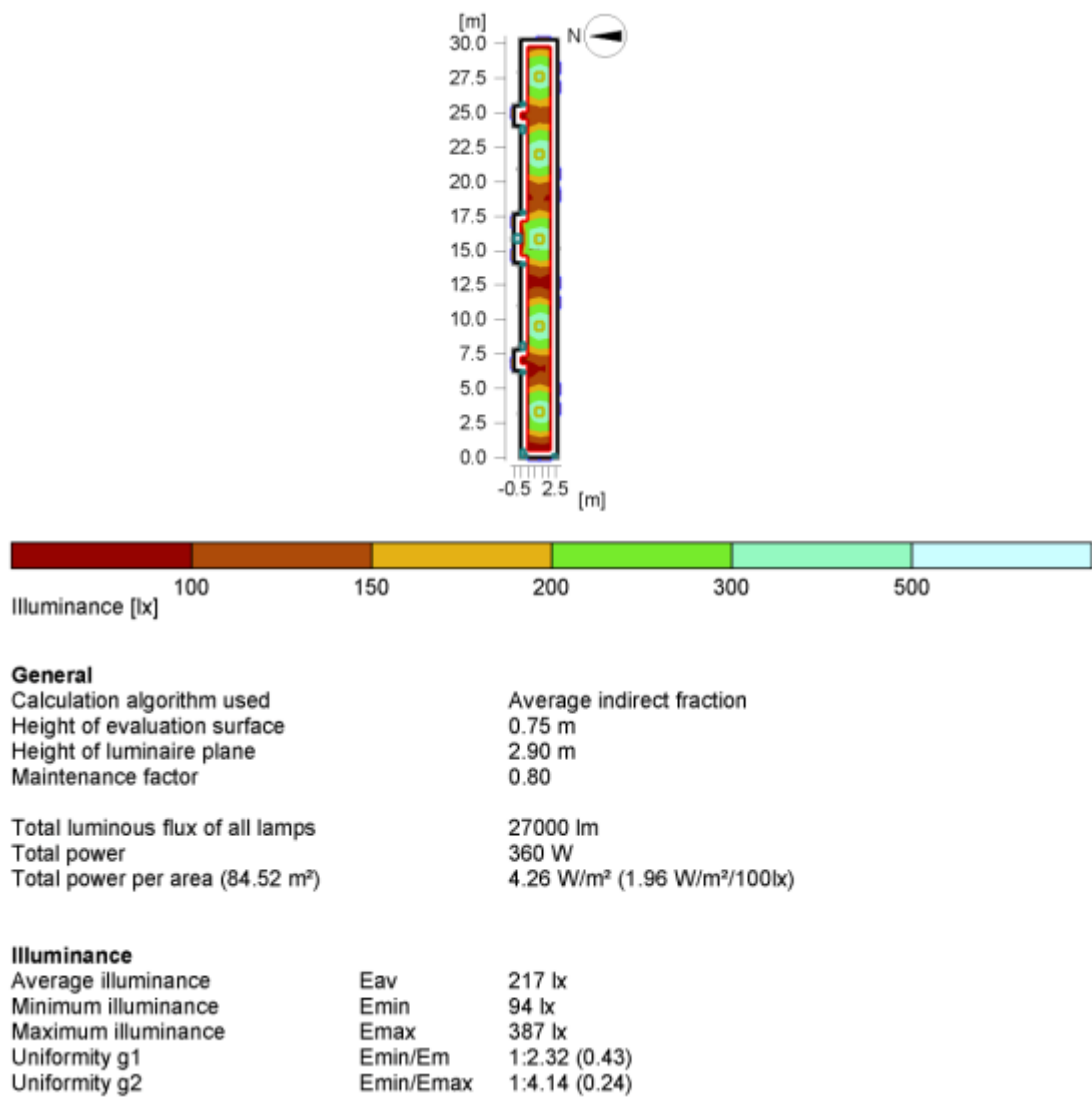
Τα αποτελέσματα φαίνονται σε αυτή την περίπτωση στις εικόνες 7.23 και 7.24, τον πίνακα 7.19 και το σχήμα 7.15



Εικόνα 7.23 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 4, με χρήση ψευδοχρωμάτων



Εικόνα 7.24 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 4



Σχήμα 7.15 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για τον διάδρομο, περίπτωση T8 X 4

Πίνακας 7.19 Επιδόσεις διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 4

Κωδικός Σεναρίου	Αισθητήρας παρουσίας	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Δ5	Όχι	217	0,43	4,26	184,85	606,45
Δ6	Ναι	217	0,43	4,26	252,85	674,45

7.6 Λαμπτήρες LED με γεωμετρικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων T8 τοποθετημένοι ανά δύο

Μετά από την κάλυψη των δυνατών περιπτώσεων με την εφαρμογή λαμπτήρων φθορισμού, εντάσσεται ένα σενάριο με την χρήση LED με γεωμετρικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων φθορισμού T8. Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο και επαληθεύεται σε αυτή την περίπτωση, η τεχνολογία LED είναι αρκετά αποδοτική στο θέμα της κατανάλωσης όμως στοιχίζει πολύ περισσότερο από απλές εγκαταστάσεις σαν τις προηγούμενες.

Τα στοιχεία από το έκτο κεφάλαιο μας δίνουν τον παρακάτω πίνακα. Σχετικά με το τροφοδοτικό, επιλέχθηκε το μοντέλο OPTRONIC OT 35/220-240/700 LTCS της Osram με τάση εισόδου προσαρμοσμένη στο ευρωπαϊκό σύστημα και έξοδο έως 35W. Το ρεύμα εξόδου κυμαίνεται ανάλογα με την περίπτωση μεταξύ 100 και 700mA, ενώ η τάση εξόδου ρυθμίζεται από 24 έως 87V. Η δυνατότητα dimming για τα τροφοδοτικά δεν αλλάζει σημαντικά το κόστος και επομένως επιλέχθηκε τροφοδοτικό που μπορεί να την προσφέρει.

Το φωτιστικό που επιλέχθηκε βρίσκεται στο παράρτημα και ονομάζεται Galiled LED 2X12/350mA, κατασκευαστής είναι η εταιρία Pracht. Η ισχύς είναι χαμηλή (26,4W) και η απόδοση ιδιαίτερα υψηλή, αφού προσδιορίζεται στα 79,55lm/W, φυσικά το ανάλογο κόστος είναι αυξημένο και κάθε σώμα στοιχίζει 331€ Το σύνολο των στοιχείων που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στον πίνακα 7.20

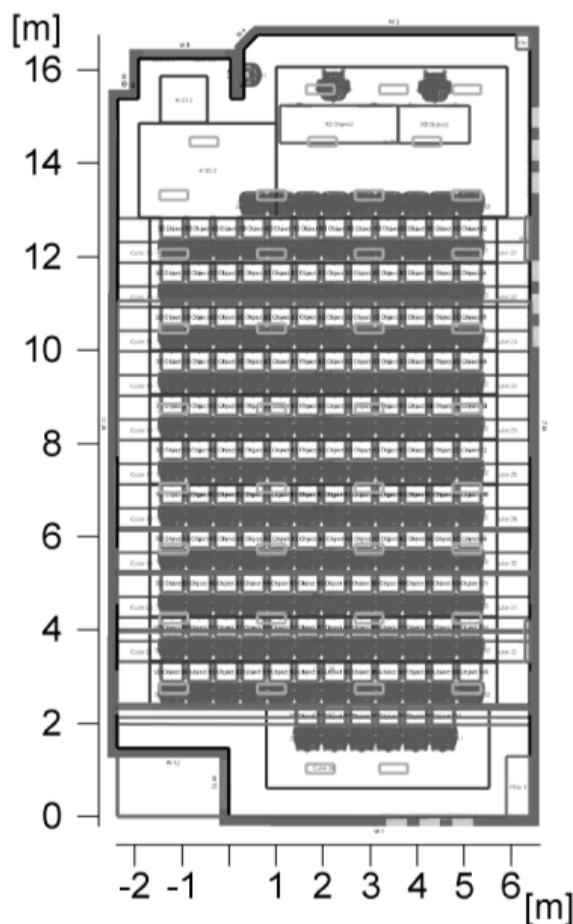
Πίνακας 7.20 Στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σενάριο T8 LED X 2

Κατηγορία	Επεξήγηση	Εταιρία	Όνομα	Κόστος (€)
Λαμπτήρας	T8 LED	Philips	MASTER LEDtube GA300 600mm 11W/840	43,72
Φωτιστικό		Pracht	Galiled LED 2X12/350mA	331
Τροφοδοτικό	Με dimming	Osram	OPTRONIC OT 35/220-240/700 LTCS	36,74
RIR sensor		Siemens	IR270C	34
Photo sensor		Sylvania	ELSC-DLH	26,3

7.6.1 Αμφιθέατρο (T8 LED X 2)

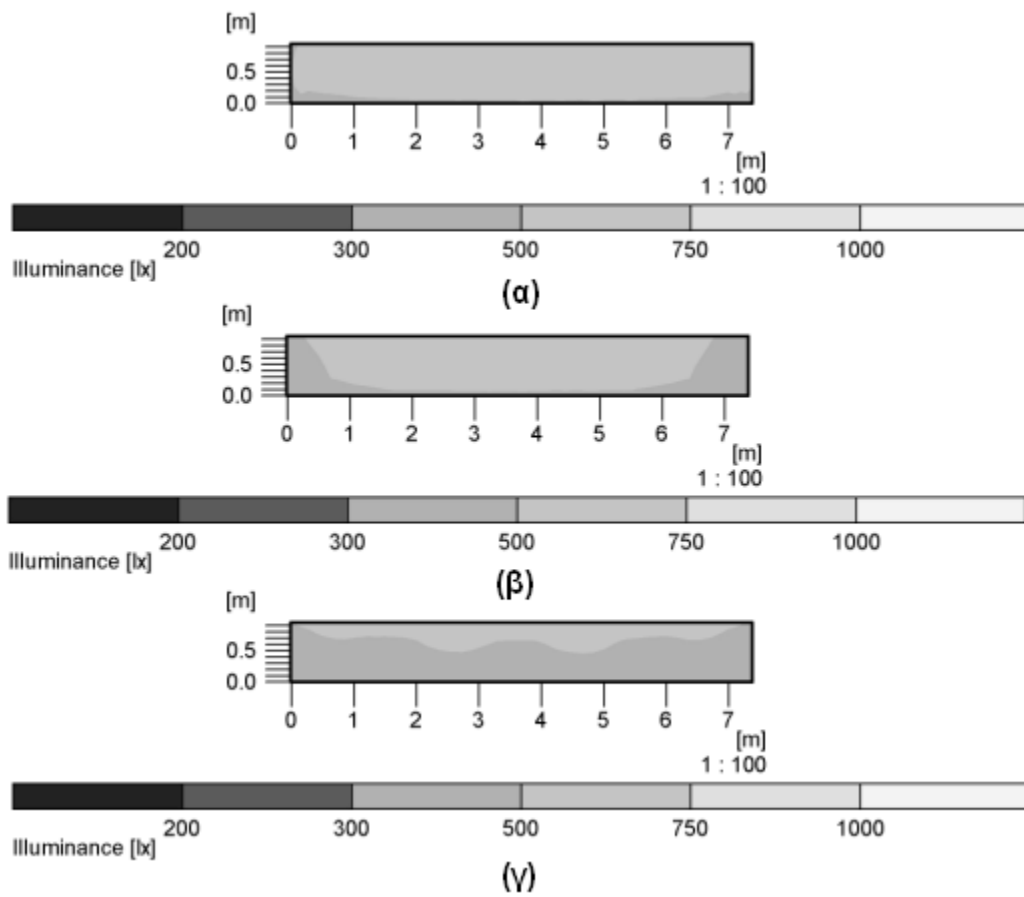
Για το αμφιθέατρο χρειάστηκαν 40 φωτιστικά προκειμένου να φωτιστεί σωστά ο χώρος. Τα φωτιστικά τοποθετηθήκαν κατά τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 7.16. και η συνολική ισχύς υπολογίστηκε στα 1.056W που αντιστοιχεί σε $7,47W/m^2$. Ορισμένες επιφάνειες προς το πίσω μέρος ίσως να δέχονται περισσότερη φωτεινή ροή από τις υπόλοιπες όμως βρίσκονται σε ανεκτά πλαίσια και δεν μπορεί να υπάρξει αποδοτικότερος τρόπος τοποθέτησης των σωμάτων λόγω της ιδιομορφίας της ψευδοροφής

Οι τιμές για τους λαμπτήρες μονό είναι 3497,6€, τα τροφοδοτικά στοιχίζουν 1.469,6€ και τα φωτιστικά 13.240€. Όπως γίνεται αντιληπτό, αλλάζει η τάξη μεγέθους για τις δαπάνες της εγκατάστασης αφού το κόστος αυξάνεται σημαντικά.



Σχήμα 7.16 Κάτοψη αμφιθεάτρου και οι θέσεις των φωτιστικών

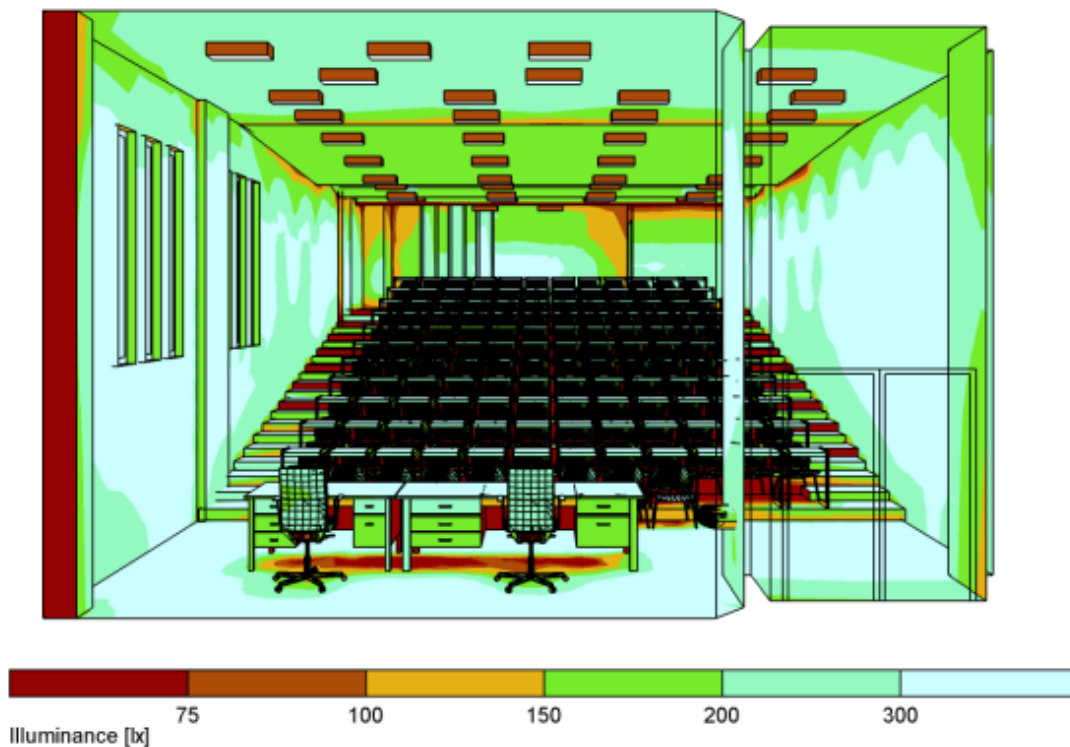
Το σχήμα 7.17 περιέχει την κατανομή με χρήση ψευδοχρωμάτων σε επιλεγμένες επιφάνειες. Οι εικόνες 7.25 και 7.26 δείχνουν την τρισδιάστατη απεικόνιση της προσομοίωσης ενώ ο πίνακας 7.22 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του δεδομένου σεναρίου



Σχήμα 7.17 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα α) επιφάνεια 4, β) επιφάνεια 8
γ) επιφάνεια 14



Εικόνα 7.25 Προσομοίωση αμφιθέατρου για την περίπτωση T8 LED X 2



Εικόνα 7.26 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση T8 LED X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.21 Ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια

Αριθμός επιφανείας	Μέση ένταση (lx)	Ελάχιστη ένταση (lx)	Μέγιστη ένταση (lx)
1	541	400	630
2	340	253	429
3	514	386	616
4	585	472	652
5	567	417	644
6	569	458	629
7	539	394	614
8	531	445	589
9	517	422	573
10	588	471	688
11	668	511	767
12	585	502	627
13	661	519	731
14	475	369	568
15	527	206	752

Πίνακας 7.22 Επιδόσεις αμφιθεάτρου για την περίπτωση T8 LED X 2

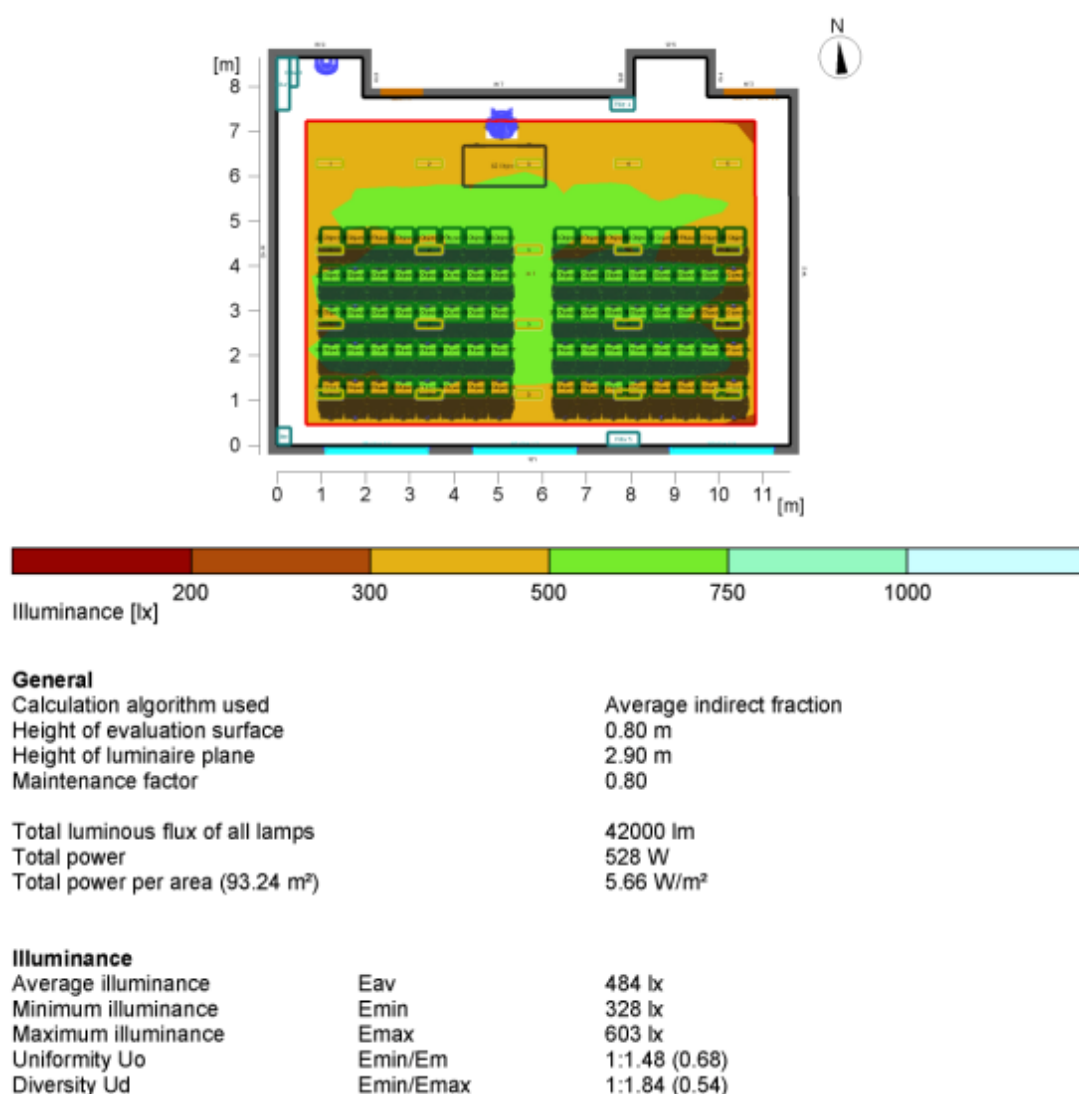
Κωδικός Σεναρίου	Δυνατότητα Dimming	Κατανάλωση (W/m^2)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Αμ7	Ναι	7,47	4967,2	18207,2

7.6.2 Αίθουσα (T8 LED X 2)

Για την περίπτωση της αίθουσας η προσομοίωση έδειξε ότι απαιτείται η εγκατάσταση 20 φωτιστικών με την διάταξη που παρουσιάζεται στο σχήμα ανάλυσης ψευδοχρωμάτων (Σχήμα 7.18). Η εγκατεστημένη ισχύς σε αυτό το σενάριο είναι 528W και η ισχύς ανά επιφάνεια είναι αρκετά χαμηλή ($5,66\text{W}/\text{m}^2$) ενώ επιτυγχάνεται μέση τιμή έντασης φωτισμού ίση με 484lx (603lx η μέγιστη και 328lx η ελάχιστη) και ομοιομορφία ίση με 0,68.

Οι προσομοιώσεις με την τρισδιάστατη απεικόνιση αντιστοιχούν στις εικόνες 7.27 και 7.28 και ακολουθεί ο πίνακας 7.23 με το σύνολο των δυνατών σεναρίων.

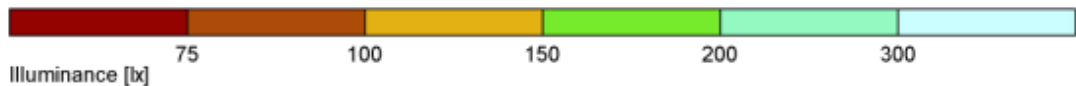
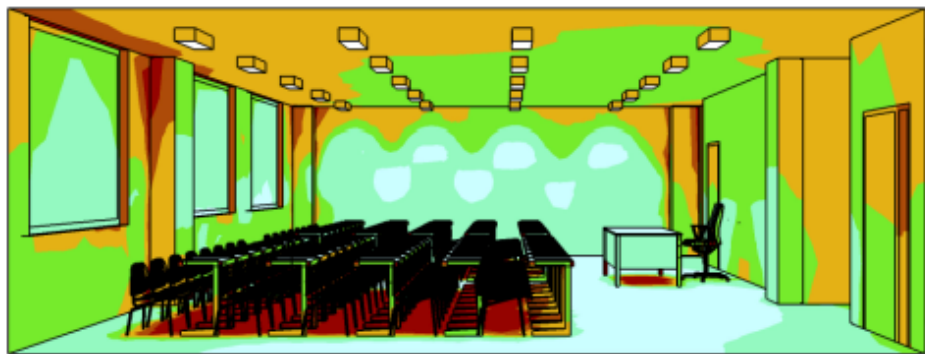
Ασφαλώς το κόστος είναι ιδιαίτερα αυξημένο και για την υλοποίηση του σεναρίου απαιτούνται 1748,8 € για τους T8 LED, 6620 € για τα φωτιστικά και 734,8€ για την τροφοδοσία.



Σχήμα 7.18 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για την αίθουσα περίπτωση T8 LED X 2



Εικόνα 7.27 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T8 LED X 2



Εικόνα 7.28 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση T8 LED X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.23 Επιδόσεις αίθουσας για την περίπτωση T8 LED X 2

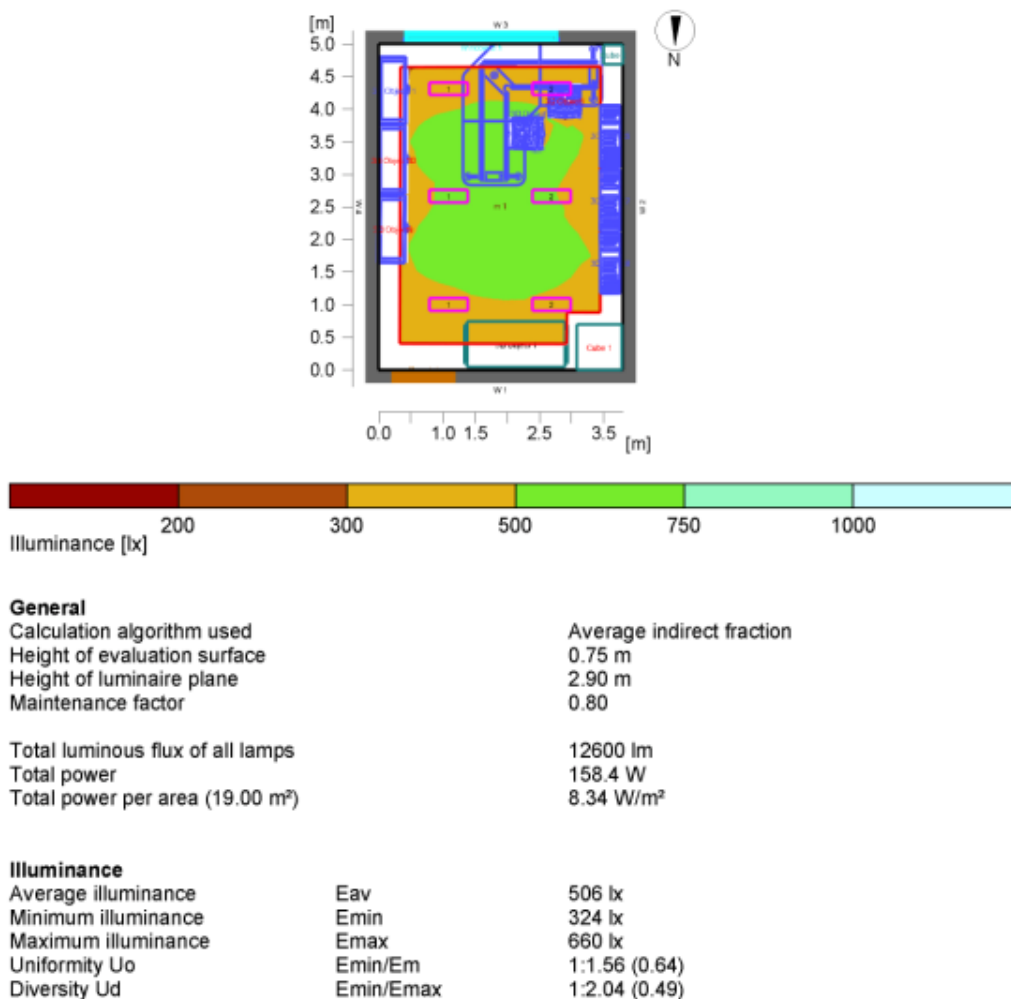
Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
A13	Ναι	Όχι	484	0,68	5,66	2483,6	9103,6
A14	Ναι	Ναι	484	0,68	5,66	2536,2	9156,2

7.6.3 Γραφείο (T8 LED X 2)

Αντίστοιχα για το γραφείο κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση έξι φωτιστικών με διάταξη όπως ορίζεται στο σχήμα με τα ψευδοχρώματα. Προφανώς η ισχύς εμφανίζεται λίγο αυξημένη όπως είναι λογικό για μικρούς χώρους και ισοδυναμεί με 158,4W (8.34 W/m²) όμως σε σχέση με τις υπόλοιπες λύσεις φαίνεται η διαφορά ως προς την εξοικονόμηση. Από άποψη επιτευχθείσας τιμής έντασης φωτισμού, τα υπολογισμένα νούμερα θεωρούνται ιδανικά και παρουσιάζεται μέση τιμή στα 506lx μέγιστη στα 660lx και ελάχιστη στα 324lx ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται ικανοποιητική ομοιομορφία στην τάξη του 0,64.

Το κόστος φυσικά είναι αυξημένο και απαιτούνται 524,64€ για τους T8 LED, 1.986€ για τα φωτιστικά της Pracht και 220,44€ για τα τροφοδοτικά.

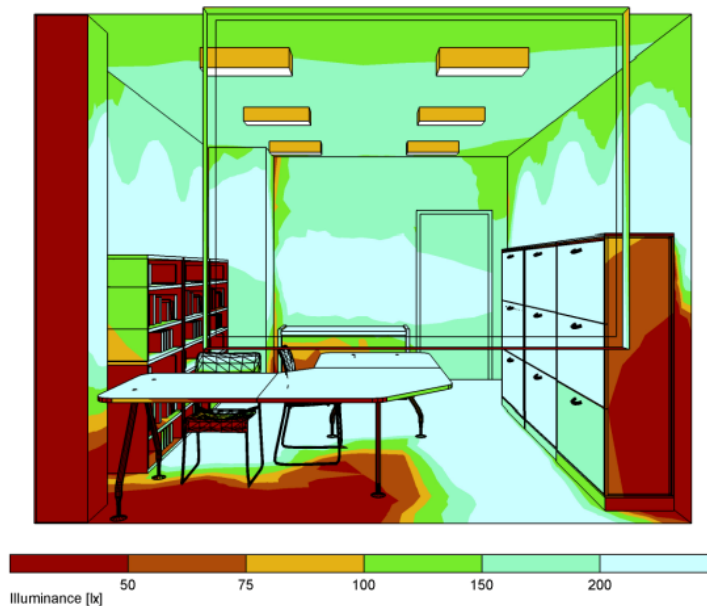
Τα αποτελέσματα στην επιφάνεια εργασίας φαίνονται στο σχήμα 7.19, ακολουθούν οι τρισδιάστατες απεικονίσεις (εικόνες 7.29 και 7.30) και ο τελικός πίνακας 7.24



Σχήμα 7.19 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T8 LED X 2 με χρήση ψευδοχρωμάτων



Εικόνα 7.29 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T8 LED X 2



Εικόνα 7.30 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T8 LED X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.24 Επιδόσεις Γραφείου για την περίπτωση T8 LED X 2

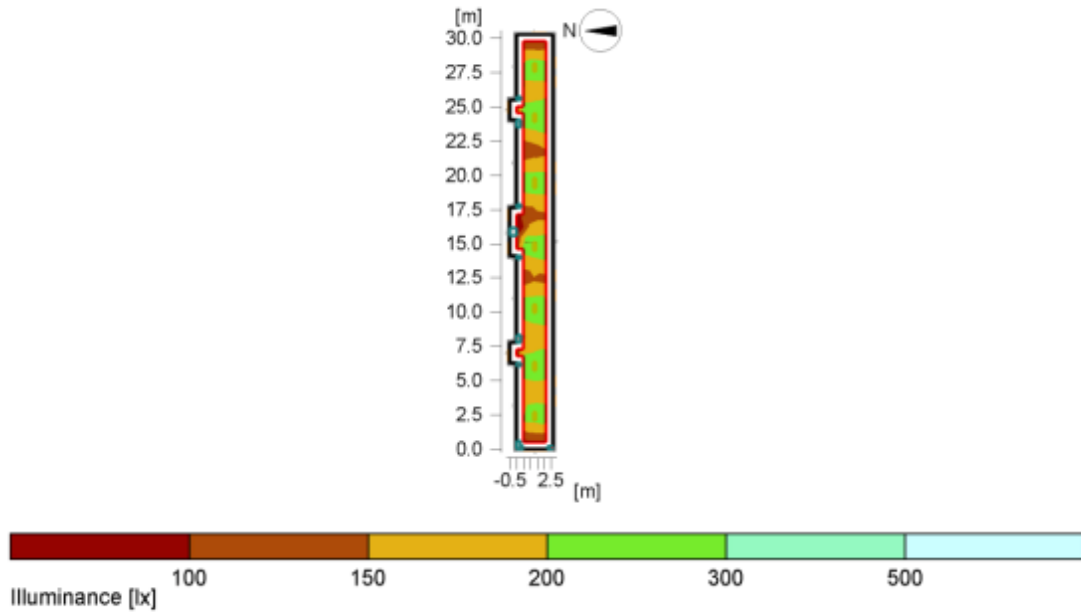
Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρας φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² W/ m ²	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Γ7	Ναι	Όχι	506	0,64	8,34	745,08	2731,08
Γ8	Ναι	Ναι	506	0,64	8,34	771,38	2757,38

7.6.4 Διάδρομος (T8 LED X 2)

Ομοίως παρατηρείται ότι τα δεδομένα φωτιστικά μπορούν να ανταπεξέρθουν αρκετά καλά στον χώρο του διαδρόμου και σε αντίθεση με μερικές άλλες περιπτώσεις, επιτυγχάνεται σωστό τελικό αποτέλεσμα. Συνεπώς για την εύρυθμη λειτουργία απαιτούνται επτά φωτιστικά σώματα με συνολική ισχύ 184,8W ή ισοδύναμα 2,19W/ m². Η τιμή της έντασης σε μέση τιμή είναι 188lx (114 η ελάχιστη και 237 η μέγιστη) και η ομοιομορφία υπολογίζεται στο 0,6.

Για τους λαμπτήρες απαιτούνται 612,08€ και για τα φωτιστικά 2.317€ και για τους μετασχηματιστές τροφοδοσίας 257,18€.

Τα αποτελέσματα φαίνονται σε αυτή την περίπτωση στις εικόνες 7.31 και 7.32, τον πίνακα 7.25 και το σχήμα 7.20

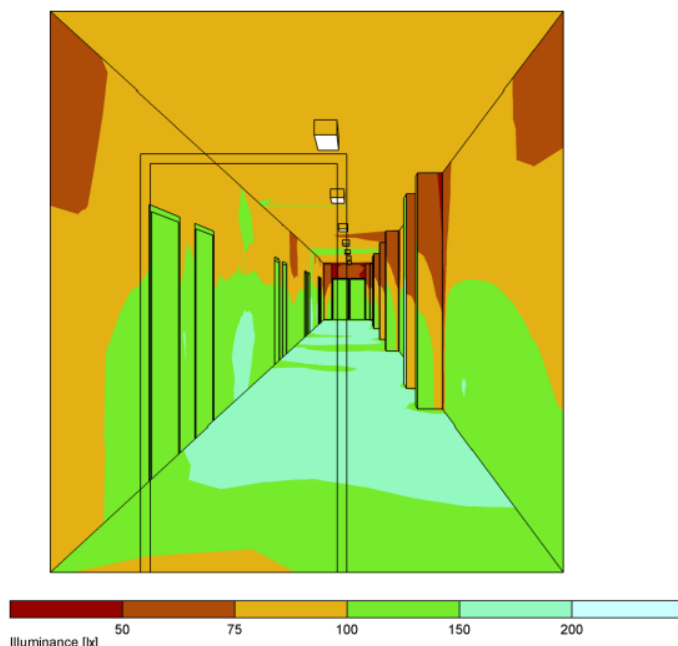


General		Average indirect fraction
Calculation algorithm used		0.75 m
Height of evaluation surface		2.90 m
Height of luminaire plane		0.80
Maintenance factor		
Total luminous flux of all lamps		14700 lm
Total power		184.8 W
Total power per area (84.52 m ²)		2.19 W/m ² (1.16 W/m ² /100lx)
Illuminance		
Average illuminance	E _{av}	188 lx
Minimum illuminance	E _{min}	114 lx
Maximum illuminance	E _{max}	237 lx
Uniformity U ₀	E _{min} /E _{max}	1:1.66 (0.6)
Diversity U _d	E _{min} /E _{max}	1:2.08 (0.48)

Σχήμα 7.20 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για τον διάδρομο, περίπτωση T8 LED X 2



Εικόνα 7.31 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T8 X 2



Εικόνα 7.32 Προσομοίωση διαδρόμου για την περίπτωση T8 LED X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.25 Επιδόσεις διαδρόμου για την περίπτωση T8 LED X 2

Κωδικός Σεναρίου	Αισθητήρας παρουσίας	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (/ m ²)	Κόστος Αναλώσιμων (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Δ7	Όχι	188	0,6	2,19	869,26	3186,26
Δ8	Ναι	188	0,6	2,19	937,26	3254,26

7.7 LED φωτιστικό τύπου downlight

Μετά από τις παραπάνω έρευνες και επιπρόσθετα, εκτελέστηκε ένα σενάριο που αφορά φωτιστικά τύπου down light. Πρόκειται για μια ιδιαίτερη περίπτωση που έχει όμως αρκετό ενδιαφέρον. Τα φωτομετρικά στοιχεία του δεδομένου φωτιστικού δεν δόθηκαν από τον κατασκευαστή όπως στις άλλες περιπτώσεις αλλά μετρηθήκαν από το Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του Ε.Μ.Π. και παρατίθενται στο παράρτημα. Το μοντέλο ανήκει στην εταιρία Cree και έχει όνομα LR150-2000L-40K. Όπως φαίνεται και από το φύλλο τεχνικών χαρακτηριστικών η απόδοση εμφανίζεται στο 100%, αυτό συμβαίνει γιατί το φωτιστικό δεν δέχεται λαμπτήρες, αλλά αποτελεί από μόνο του μια ενιαία κατασκευή. Επομένως μετριέται απευθείας η φωτεινή ροή που εξέρχεται από το φωτιστικό και έχει υπολογιστεί στα 2.039,6lumen. Σε περίπτωση που καούν τα LED πρέπει να αντικαταστεί ολόκληρο το σώμα.

Κατά τα άλλα εμφανίζεται μεγάλη απόδοση ως προς την ισχύ που αντιστοιχεί σε 70,7lm/W και η ισχύς ανά φωτιστικό είναι μόλις 28,85W. Γενικά είναι δύσκολο να επιτευχθούν τόσο υψηλές τιμές σε περιπτώσεις φωτιστικών downlight. Φυσικά το κόστος είναι αρκετά αυξημένο και σε αυτή την περίπτωση και κάθε σώμα στοιχίζει 225,48€. Ο αισθητήρας φωτός που είχε επιλεγεί δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε λαμπτήρες που δεν έχουν γεωμετρικά χαρακτηριστικά T5 ή T8 επομένως θα

χρησιμοποιηθεί μια εναλλακτική λύση ο PCD-IN-SA της General Electric. Τα στοιχεία φαίνονται στον πίνακα 7.26

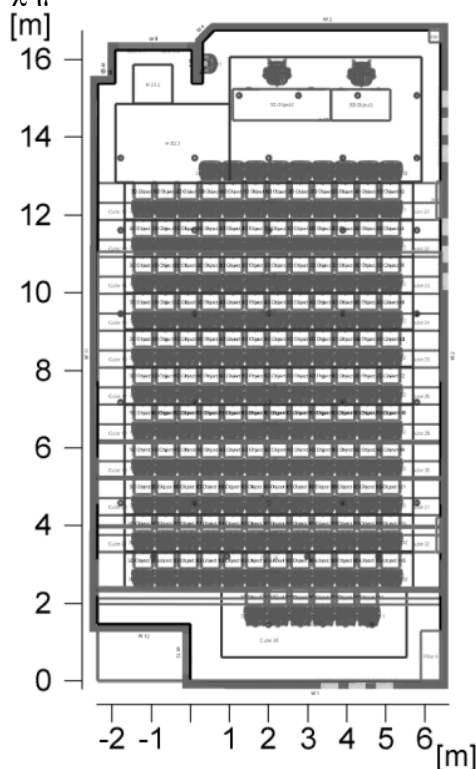
Πίνακας 7.26 Στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σενάριο T8 LED X 2

Κατηγορία	Επεξήγηση	Εταιρία	Όνομα	Κόστος (€)
Φωτιστικό		Cree	LR150-2000L-40K	225,48
Τροφοδοτικό	Με dimming	Osram	OPTRONIC OT 35/220-240/700 LTCS	36,74
Photo sensor		GE	PCD-IN-SA	100

7.7.1 Αμφιθέατρο (LED Downlight)

Τα φωτιστικά του συγκεκριμένου τύπου, φαίνεται πως ανταποκρίνονται άριστα στον χώρο. Τα αντίστοιχα φωτιστικά της υπάρχουσας εγκατάστασης είναι επίσης τύπου downlight και η προσομοίωση δείχνει ότι δεν παρουσιάζονται ανομοιομορφίες και το σχήμα της οροφής δεν αποτελεί πρόβλημα. Η θέση τους έχει οριστεί όπως παρουσιάζεται στο σχήμα και συνολικά χρησιμοποιούνται 35 σώματα. Η προτελευταία γραμμή φωτιστικών αποτελείται από τέσσερα σώματα εν αντιθέσει με τις υπόλοιπες που αποτελούνται από πέντε για να μην υπάρχει έντονος φωτισμός τοπικά. Συνολικά δαπανώνται 1.009,7W (7,15W/m²). Τα αποτελέσματα σε κάθε επιφάνεια βρίσκονται στον πίνακα 7.27.

Σε ότι αφορά το κόστος προφανώς πρέπει η δαπάνη αγοράς των φωτιστικών να ενταχθεί στο κόστος των αναλωσίμων επειδή αν καεί ένα σώμα, πρέπει να γίνει επανεγκατάστασή του χωρίς δυνατότητα μεμονωμένης αλλαγής του λαμπτήρα. Επομένως απαιτούνται 7.891,8 € για τα φωτιστικά, 1.285,9 € για τα τροφοδοτικά. Εδώ θα γίνεται αναφορά μόνο στο συνολικό κόστος. Η κάτοψη με την θέση των φωτιστικών φαίνεται στο σχήμα 7.21.

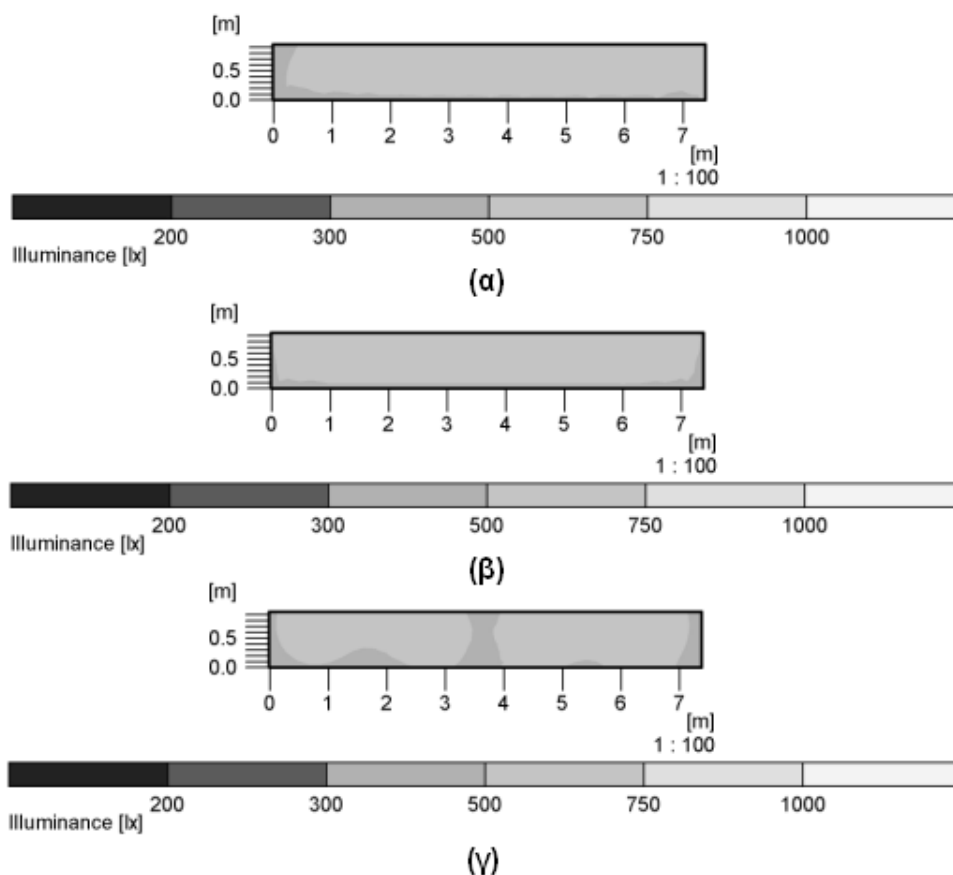


Σχήμα 7.21 Κάτοψη αμφιθεάτρου και οι θέσεις των φωτιστικών

Οι τιμές έντασης φωτισμού ανά επιφάνεια βρίσκονται στον πίνακα 7.27 ενώ το σχήμα 7.22 ορίζει την ανάλυση σε ψευδοχρώματα σε επιλεγμένες επιφάνειες. Οι αντίστοιχες εικόνες 7.33 και 7.34 δείχνουν την τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου.

Πίνακας 7.27 Ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια

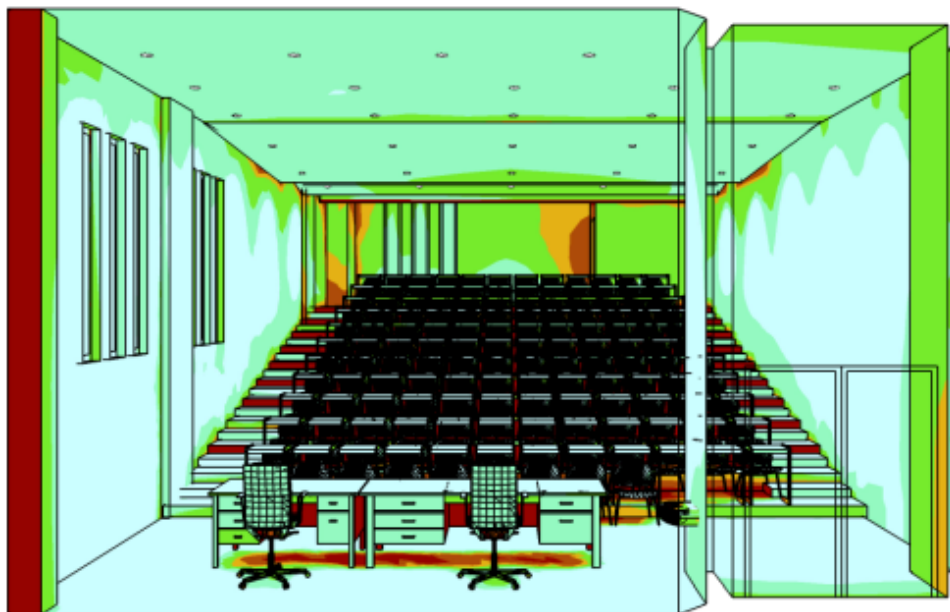
Αριθμός επιφανείας	Μέση ένταση (lx)	Ελάχιστη ένταση (lx)	Μέγιστη ένταση (lx)
1	554	396	644
2	263	196	355
3	470	302	599
4	581	432	650
5	579	504	626
6	564	475	605
7	546	491	582
8	532	490	554
9	516	427	543
10	489	302	555
11	466	442	482
12	533	485	563
13	518	409	595
14	582	353	718
15	491	204	753



Σχήμα 7.22 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα α) επιφάνεια 4, β) επιφάνεια 8 γ) επιφάνεια 14



Εικόνα 7.33 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση LED Downlight



Εικόνα 7.34 Προσομοίωση αμφιθεάτρου για την περίπτωση LED Downlight, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.28 Επιδόσεις αμφιθεάτρου για την περίπτωση LED Downlight

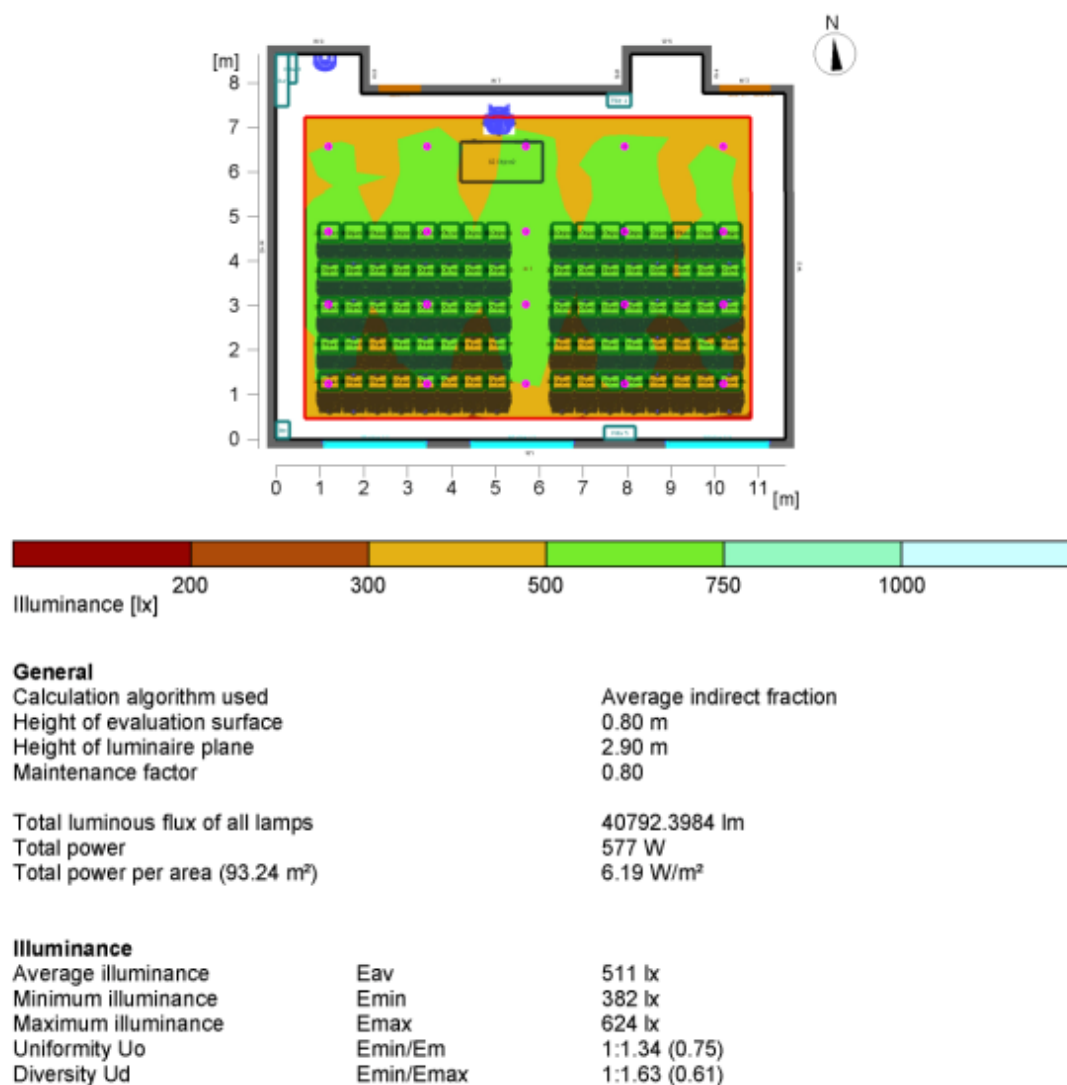
Κωδικός Σεναρίου	Δυνατότητα Dimming	Ισχύς ανά m^2 (W/m^2)	Συνολικό Κόστος (€)
Αμ8	Ναι	7,15	9177,7

7.7.2 Αίθουσα (LED Downlight)

Για την αίθουσα ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και στο αμφιθέατρο. Η χρήση 20 φωτιστικών με διάταξη όπως στο σχήμα δίνει μέση ένταση 511lx και ομοιομορφία 0,75. Η ισχύς συνολικά είναι 577. W (6.19. W/m²) και το κόστος είναι 4.509,6 € για τα φωτιστικά και 734,8€ για τα τροφοδοτικά. Οι αισθητήρες κοστίζουν 200€ συνολικά.

Προφανώς η διάταξη στον χώρο γίνεται σε τέσσερις γραμμές και κάθε μια περιέχει πέντε φωτιστικά, Οι θέσεις των εδράνων είναι περισσότερο ενισχυμένες με μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των γραμμών.

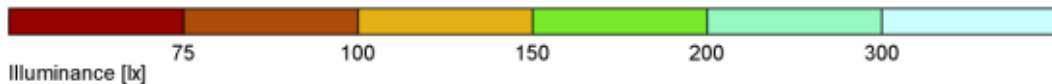
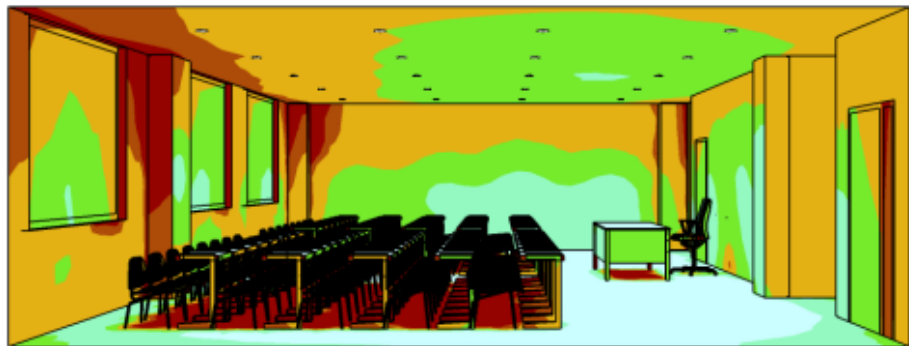
Τα αποτελέσματα της επιφάνειας εργασίας δίνονται στο σχήμα 7.23. Ακολουθούν οι εικόνες 7.35 και 7.36 με τις τρισδιάστατες προσομοιώσεις και ο πίνακας 7.29 με το σύνολο των σεναρίων.



Σχήμα 7.23 Ανάλυση σε ψευδοχρώματα και αποτελέσματα για την αίθουσα περίπτωση LED Downlight



Εικόνα 7.35 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση LED Downlight



Εικόνα 7.36 Προσομοίωση αίθουσας για την περίπτωση LED Downlight, με χρήση ψευδοχρωμάτων

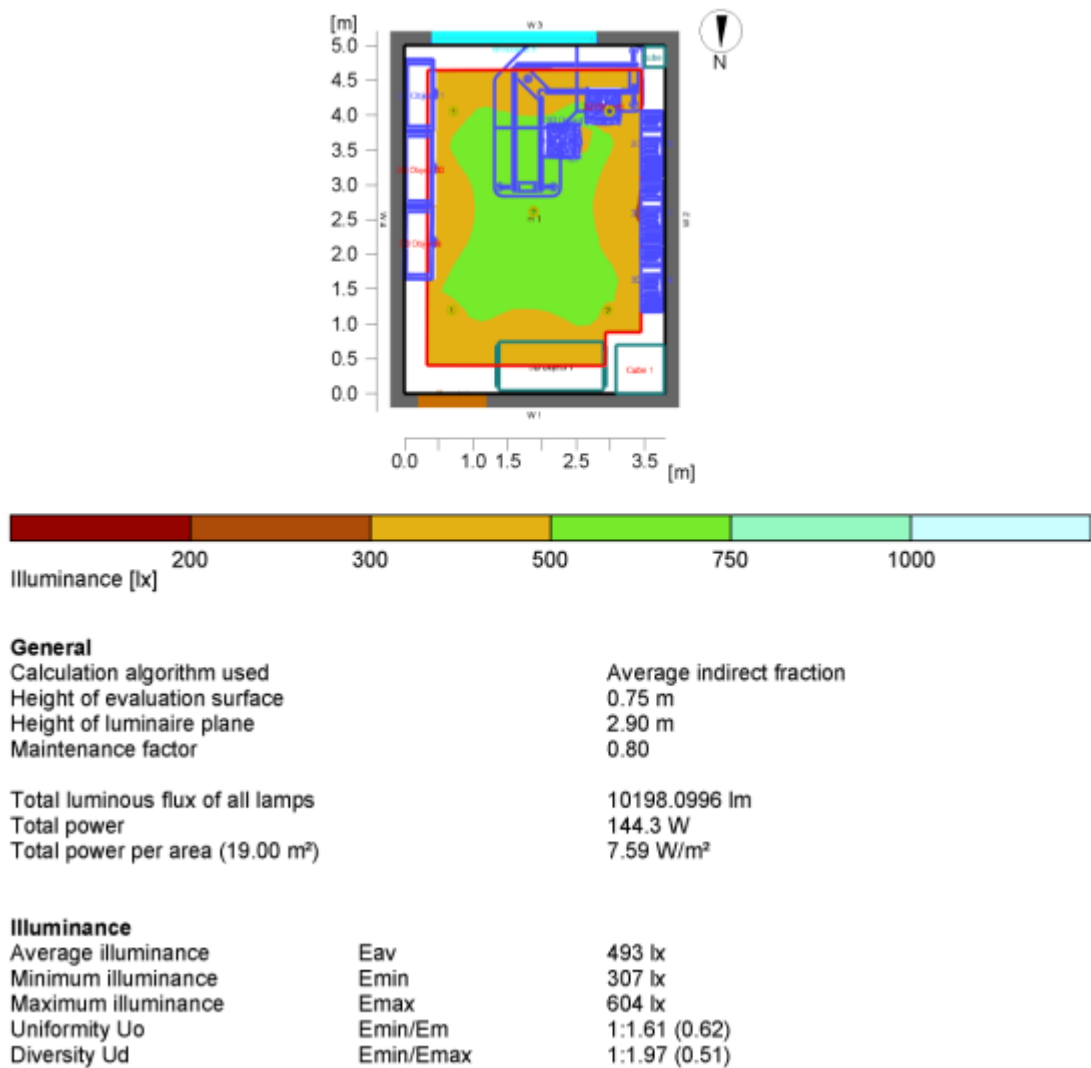
Πίνακας 7.29 Επιδόσεις αίθουσας για την περίπτωση T8 LED X 2

Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/m ²)	Συνολικό Κόστος (€)
A15	Ναι	Όχι	511	0,75	6,19	5244,4
A16	Ναι	Ναι	511	0,75	6,19	5444,4

7.7.3 Γραφείο (LED Downlight)

Ο χώρος του γραφείου απαιτεί πέντε φωτιστικά του συγκεκριμένου τύπου και αν συγκριθεί με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις δίνει μια από τις οικονομικότερες ενεργειακά λύσεις. Αναλυτικότερα η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας υπολογίζεται στα 7,59W/m² και προφανώς δαπανώνται μόλις 144,3W. Τα προηγούμενα μεγέθη αφορούν μια μέση ένταση φωτισμού ίση με 493lx και ομοιομορφία 0,62.

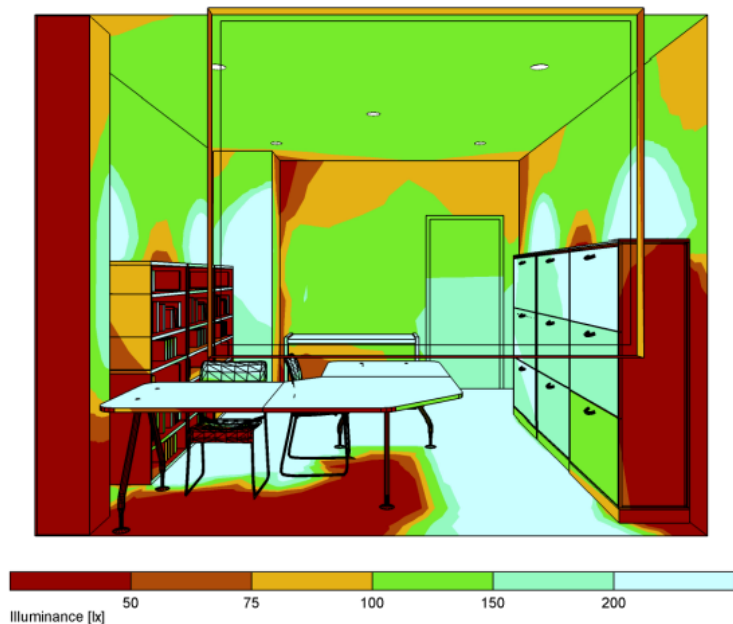
Το σχήμα 7.24 δείχνει την ένταση φωτισμού στη επιφάνεια εργασίας. Οι εικόνες 7.37 και 7.38 παρουσιάζουν τον χώρο σε τρεις διαστάσεις και ο πίνακας 7.30 περιέχει τα χαρακτηριστικά των σεναρίων συγκεντρωτικά



Σχήμα 7.24 Αποτελέσματα προσομοίωσης γραφείου για την περίπτωση LED downlight



Εικόνα 7.37 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση LED downlight



Εικόνα 7.38 Προσομοίωση γραφείου για την περίπτωση T8 LED X 2, με χρήση ψευδοχρωμάτων

Πίνακας 7.30 Επιδόσεις Γραφείου για την περίπτωση LED Downlight

Κωδικός Σεναρίου	Dimming	Αισθητήρας φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m^2 W/m^2	Συνολικό Κόστος (€)
Γ9	Ναι	Όχι	493	0,62	7,59	1311,1
Γ10	Ναι	Ναι	493	0,62	7,59	1411,1

Για την περίπτωση του διαδρόμου δεν μπορεί να υπάρξει αποτελεσματική λύση διότι αν χρησιμοποιηθούν λίγα φωτιστικά θα δημιουργηθεί μεγάλη ανομοιομορφία, αν αυξηθούν για να ξεπεραστεί το πρόβλημα, θα παρουσιαστεί μεγάλη τιμή μέσης έντασης φωτισμού και η εγκατάσταση θα είναι εκτός προδιαγραφών. Επομένως το φωτιστικό δεν ταιριάζει στον συγκεκριμένο χώρο.

7.8 Συγκεντρωτική παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στην συνέχεια για λόγους πληρότητας θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά όλα τα στοιχεία που εμφανίστηκαν έως αυτό το σημείο σε πίνακες. Έπειτα θα γίνει εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I αλλά μόνο για τις περιπτώσεις της αίθουσας, του γραφείου και του διαδρόμου γιατί λείπουν σημαντικά φωτοτεχνικά μεγέθη από τις μελέτες στο αμφιθέατρο και δεν μπορούν να οριστούν βασικά κριτήρια όπως η μέση ένταση ή η ομοιομορφία. Κάποια από τα σενάρια θα αφαιρεθούν από την διαδικασία, γιατί αποκλείονται άμεσα από συγγενικές επιλογές και η μέθοδος δεν μπορεί να δώσει αποτέλεσμα.

Ο Πίνακας 7.31 αναφέρεται στο σύνολο των σεναρίων για την περίπτωση του αμφιθέατρου, ακολούθως οι πίνακες 7.32, 7.33 και 7.34 αντιστοιχούν στις ανάλογες περιπτώσεις για τους χώρους της αίθουσας του γραφείου και του διαδρόμου.

Πίνακας 7.31 Συγκεντρωτικά τα σενάρια του αμφιθεάτρου

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Δυνατότητα Dimming	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Συνολικό Κόστος (€)
Αμ1	T5 X 2	Όχι	7,47	4947,36
Αμ2	T5 X 2	Ναι	7,47	6247,56
Αμ3	T5 X 4	Όχι	7,31	2034,40
Αμ4	T5 X 4	Ναι	7,31	2723,20
Αμ5	T8 X 2	Όχι	9,57	6194,10
Αμ6	T8 X 2	Ναι	9,57	7378,80
Αμ7	T8 LED X 2	Ναι	7,47	18207,20
Αμ8	LED D/L	Ναι	7,15	9177,70

Πίνακας 7.32 Συγκεντρωτικά τα σενάρια της αίθουσας

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Συνολικό Κόστος (€)
A1	T5 X 2	Όχι	Όχι	532	0,69	6,86	2998,40
A2	T5 X 2	Ναι	Όχι	532	0,69	6,86	3786,40
A3	T5 X 2	Ναι	Ναι	532	0,69	6,86	3839,00
A4	T5 X 4	Όχι	Όχι	592	0,65	7,62	1398,65
A5	T5 X 4	Ναι	Όχι	592	0,65	7,62	1872,20
A6	T5 X 4	Ναι	Ναι	592	0,65	7,62	1924,80
A7	T8 X 2	Όχι	Όχι	523	0,75	8,79	3754,00
A8	T8 X 2	Ναι	Όχι	523	0,75	8,79	4472,00
A9	T8 X 2	Ναι	Ναι	523	0,75	8,79	4524,60
A10	T8 X 4	Όχι	Όχι	567	0,74	10,81	1698,06
A11	T8 X 4	Ναι	Όχι	567	0,74	10,81	2251,20
A12	T8 X 4	Ναι	Ναι	567	0,74	10,81	2303,80
A13	T8 LED X 2	Ναι	Όχι	484	0,68	5,66	9103,60
A14	T8 LED X 2	Ναι	Ναι	484	0,68	5,66	9156,20
A15	LED D/L	Ναι	Όχι	511	0,75	6,19	5244,40
A16	LED D/L	Ναι	Ναι	511	0,75	6,19	5444,40

Πίνακας 7.33 Συγκεντρωτικά τα σενάρια του γραφείου

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Dimming	Αισθητήρας φωτός	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Συνολικό Κόστος (€)
Γ1	T5 X 2	Όχι	Όχι	500	0,65	8,42	750,1
Γ2	T5 X 2	Ναι	Όχι	500	0,65	8,42	947,1
Γ3	T5 X 2	Ναι	Ναι	500	0,65	8,42	973,4
Γ4	T8 X 2	Όχι	Όχι	521	0,66	10,79	938,5
Γ5	T8 X 2	Ναι	Όχι	521	0,66	10,79	1118
Γ6	T8 X 2	Ναι	Ναι	521	0,66	10,79	1144,3
Γ7	T8 LED X 2	Ναι	Όχι	506	0,64	8,34	2731,08
Γ8	T8 LED X 2	Ναι	Ναι	506	0,64	8,34	2757,38
Γ9	LED D/L	Ναι	Όχι	493	0,62	7,59	1311,1
Γ10	LED D/L	Ναι	Ναι	493	0,62	7,59	1411,1

Πίνακας 7.34 Συγκεντρωτικά τα σενάρια του διαδρόμου

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Αισθητήρας παρουσίας	Μέση ένταση (lx)	Ομοιομορφία	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Συνολικό Κόστος (€)
Δ1	T5 X 2	Όχι	191	0,64	2,65	1049,44
Δ2	T5 X 2	Ναι	191	0,64	2,65	1117,44
Δ3	T8 X 2	Όχι	210	0,62	3,40	1313,90
Δ4	T8 X 2	Ναι	210	0,62	3,40	1381,90
Δ5	T8 X 4	Όχι	217	0,43	4,26	606,45
Δ6	T8 X 4	Ναι	217	0,43	4,26	674,45
Δ7	T8 LED X 2	Όχι	188	0,60	2,19	3186,26
Δ8	T8 LED X 2	Ναι	188	0,60	2,19	3254,26

7.8.1 Εφαρμογή ELECTRE I στα σενάρια της αίθουσας

Για τα σενάρια της αίθουσας θα ενταχθούν στην μέθοδο οι περιπτώσεις A1 ,A3 ,A4 ,A6, A7, A9, A10, A12, A14, A16. Δεν θα μελετηθούν δηλαδή οι περιπτώσεις με dimming και χωρίς αισθητήρες για τις περιπτώσεις λαμπτήρων T5 και T8 και οι απλές περιπτώσεις στα LED, διότι είναι αρκετά συγγενικές με τις αντίστοιχες που περιλαμβάνουν αισθητήρες και η μέθοδος δεν βγάζει αποτέλεσμα αφού δεν ορίζεται πυρήνας.

Τα κριτήρια που θα εφαρμοστούν είναι έξι και παρουσιάζονται στον πίνακα 7.35. Κυρίαρχο κριτήριο προφανώς είναι η ισχύς ανά τετραγωνικό μέτρο και θα οριστεί με ένα μεγάλο βάρος, ομοίως αθροιστικά θα πρέπει να οριστεί μεγάλο βάρος για την δυνατότητα dimming και την παρουσία ή όχι αισθητήρων στην εγκατάσταση. Η μέση ένταση και η ομοιομορφία είναι βασικά κριτήρια. Για την ομοιομορφία ένας

συντελεστής στο 0,1 επαρκεί, η μέση ένταση θα μπορούσε να πάρει σε βάρος μεγαλύτερη τιμή από 0,1 αλλά από την στιγμή που όλα τα σενάρια έχουν τιμές εντός προδιαγραφών οι διαφοροποιήσεις δεν επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα. Το κόστος υπολογίζεται σε κάθε περίπτωση και εδώ θα έχει μια ουδέτερη θέση. Το βέτο ορίζεται στις 3000 €

Πίνακας 7.35 Κριτήρια, βάρη και βέτο για την περίπτωση της αίθουσας

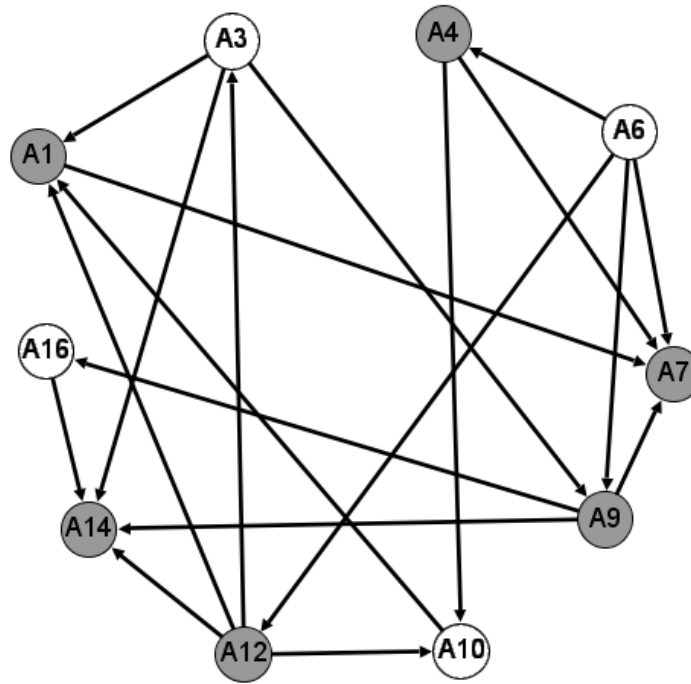
Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Dimming	0,15	-
2	Αισθητήρες	0,2	-
3	Μέση Ένταση	0,1	-
4	Ομοιομορφία	0,1	-
5	Ισχύς ανά m ²	0,25	-
6	Κόστος	0,2	3000

Με εφαρμογή της γνωστής από το πέμπτο και έκτο κεφάλαιο διαδικασίας προκύπτει ο πίνακας 7.36 που αντιστοιχεί στην μήτρα συμφωνίας.

Πίνακας 7.36 Μήτρα συμφωνίας για τα κριτήρια του πίνακα 7.35

Δράσεις	A1	A3	A4	A6	A7	A9	A10	A12	A14	A16
A1	1	0,65	0,7	0,35	0,9	0,55	0,6	0,25	0,4	0,3
A3	0,8	1	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,6	0,75	0,65
A4	0,65	0,3	1	0,65	0,9	0,55	0,9	0,55	0,3	0,3
A6	0,65	0,65	0,8	1	0,9	0,9	0,7	0,9	0,65	0,65
A7	0,45	0,3	0,45	0,1	1	0,65	0,7	0,35	0,4	0,4
A9	0,45	0,45	0,45	0,45	0,8	1	0,7	0,7	0,75	0,75
A10	0,75	0,4	0,45	0,3	0,65	0,3	1	0,65	0,4	0,3
A12	0,75	0,75	0,45	0,45	0,65	0,65	0,8	1	0,75	0,65
A14	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6
A16	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,75	1

Επιλέγεται ως δείκτης συμφωνίας ο αριθμός 0,75, χαμηλότερη τιμή οδηγεί σε άλυτο πρόβλημα αφού καμία δράση δεν εντάσσεται στον πυρήνα ενώ μεγαλύτερη ανατρέπει τις σχέσεις υπεροχής σε πολλές περιπτώσεις και ο πυρήνας γίνεται πολύ μεγάλος χωρίς να παρατηρείται ουσιαστικό αποτέλεσμα. Η επιβολή βέτο δεν αλλάζει το αποτέλεσμα αφού δεν γίνεται άρση καμίας σχέσης υπεροχής. Το γράφημα υπεροχής φαίνεται στο σχήμα 7.25.



Σχήμα 7.25 Γράφημα υπεροχής για τα σενάρια της αίθουσας.

Από το σχήμα φαίνεται ότι το σενάριο με κωδικό A6 δηλαδή η περίπτωση T5 X 4 με χρήση dimming και αισθητήρων φωτός εντάσσεται άμεσα στον πυρήνα και αποτελεί την μια λύση. Οι αντίστοιχες ασύγκριτες δράσεις δηλαδή όσες δεν δέχονται βέλος από την A6 είναι οι A1,A3,A10,A14 και A16. Ο ορισμός αναφέρει ότι οι καλύτερες μεταξύ των ασύγκριτων εντάσσονται στον πυρήνα επομένως η A1 αποκλείεται γιατί δέχεται βέλος από την A3 και η A14 αποκλείεται ομοίως γιατί δέχεται βέλος από τις A3 και A16. Οι προτεινόμενες λύσεις με βάση τα παραπάνω ορίζονται οι ακόλουθες (Πίνακας 7.37).

Πίνακας 7.37 Καλύτερες λύσεις βάση της μεθόδου ELECTRE I στην αίθουσα.

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Dimming	Αισθητήρες φωτός
A3	T5 X 2	Ναι	Ναι
A6	T5 X 4	Ναι	Ναι
A10	T8 X 4	Όχι	Όχι
A16	LED D/L	Ναι	Ναι

Οι λαμπτήρες T5 κυριαρχούν τόσο όταν χρησιμοποιούνται ανά δυο όσο και ανά τέσσερις με την προϋπόθεση dimming και αισθητήρων. Έκπληξη αποτελεί το σενάριο A10 (T8 X 4 χωρίς όμως ρύθμιση), επειδή τα ανάλογα ballasts που τις υποστηρίζουν αυτή την δυνατότητα αυξάνουν σημαντικά το κόστος. Φυσικά στην λύση εντάσσεται και το σενάριο με τα LED downlight με dimming και αισθητήρα φωτός το οποίο υπερισχύει έναντι του αντιστοίχου σεναρίου T8 LED.

Τα συμπεράσματα δίνουν καθοριστικές απαντήσεις, αν η μελέτη προχωρήσει ένα βήμα παραπέρα τα πράγματα γίνονται ακόμη πιο ενδιαφέροντα. Για παράδειγμα, τα παραπάνω κριτήρια θεωρούνται λογικά και θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια αντικειμενική κρίση. Σε περίπτωση όμως που υπάρξει μεγαλύτερος προσανατολισμός προς την εξοικονόμηση ενέργειας εις βάρος της δαπάνης οι λύσεις αλλάζουν σημαντικά. Τα νέα βάρη των κριτηρίων φαίνονται στον πίνακα 7.38, η τιμή βέτο δεν αλλάζει.

Πίνακας 7.38 Νέα κριτήρια προσανατολισμός στην εξοικονόμηση εις βάρος του κόστους

Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Dimming	0,15	-
2	Αισθητήρες	0,2	-
3	Μέση Ένταση	0,1	-
4	Ομοιομορφία	0,1	-
5	Ισχύς ανά m ²	0,3	-
6	Κόστος	0,15	3000

Σε αυτή την περίπτωση η νέα μήτρα συμφωνίας έχει την παρακάτω μορφή (Πίνακας 7.39):

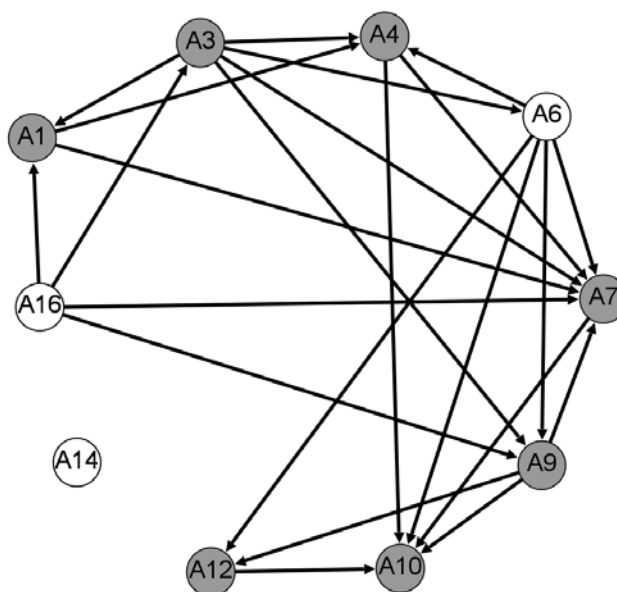
Πίνακας 7.39 Νέα μήτρα συμφωνίας

Δράσεις	A1	A3	A4	A6	A7	A9	A10	A12	A14	A16
A1	1	0,65	0,75	0,4	0,9	0,55	0,65	0,3	0,35	0,25
A3	0,85	1	0,75	0,75	0,75	0,9	0,65	0,65	0,7	0,6
A4	0,6	0,25	1	0,65	0,9	0,55	0,9	0,55	0,25	0,25
A6	0,6	0,6	0,85	1	0,9	0,9	0,75	0,9	0,6	0,6
A7	0,45	0,25	0,45	0,1	1	0,65	0,75	0,4	0,35	0,35
A9	0,45	0,45	0,45	0,45	0,85	1	0,75	0,75	0,7	0,7
A10	0,7	0,35	0,45	0,25	0,6	0,25	1	0,65	0,35	0,25
A12	0,7	0,7	0,45	0,45	0,6	0,6	0,85	1	0,7	0,6
A14	0,65	0,65	0,75	0,75	0,65	0,65	0,65	0,65	1	0,65
A16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,7	1

Για συντέλεση 0,75 (δεν γίνεται να οριστούν μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές λόγω των συνθηκών που αναλυθήκαν πριν και εξακολουθούν να ισχύουν) και για το ορισμένο βέτο προκύπτει μετά τον έλεγχο διαφωνίας ο πίνακας 7.40.

Πίνακας 7.40 Άρση συνθηκών υπεροχής με εφαρμογή του βέτο

A4	R	A14	Κριτήριο	Κόστος
A6	R	A14	Κριτήριο	Κόστος
A4	R	A16	Κριτήριο	Κόστος
A6	R	A16	Κριτήριο	Κόστος
A10	R	A16	Κριτήριο	Κόστος
A12	R	A16	Κριτήριο	Κόστος



Σχήμα 7.26 Νέο γράφημα υπεροχής για τα σενάρια της αίθουσας

Σύμφωνα με το σχήμα 7.26, τα νέα κριτήρια δείχνουν πως οι καλύτερες λύσεις για την δεδομένη περίπτωση είναι οι λαμπτήρες LED. Το αποτέλεσμα θεωρείται λογικό διότι ο προσανατολισμός της δεδομένης τεχνολογίας αφορά χαμηλές τιμές κατανάλωσης με βελτιστοποίηση της απόδοσης αλλά παράλληλη επιβάρυνση του κόστους. Ακόμη φαίνεται ότι παρά τα διαφορετικά κριτήρια η A6 που πριν εντασσόταν άμεσα στον πυρήνα τώρα είναι μέσα στις λύσεις ως η καλύτερη μεταξύ των ασύγκριτων (A4, A6, A10 και A12 οι ασύγκριτες, η A6 υπερέχει έναντι όλων). Επομένως η λύση του σεναρίου A6 είναι ευσταθής. Η λύση του σεναρίου A14 είναι απομονωμένη από τις υπόλοιπες και αναφέρεται σε άλλου είδους προδιαγραφές επειδή το κόστος της είναι πολύ υψηλό. Σε αυτή την περίπτωση ο πίνακας με τις ισχυρότερες λύσεις είναι ο πίνακας 7.41

Πίνακας 7.41 Καλύτερες λύσεις βάση της μεθόδου ELECTRE I στην αίθουσα με εφαρμογή των καινούργιων κριτηρίων.

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Dimming	Αισθητήρες φωτός
A6	T5 X 4	Ναι	Ναι
A14	T8 LED X 2	Ναι	Ναι
A16	LED D/L	Ναι	Ναι

Φυσικά στην πράξη το κόστος είναι μια υπαρκτή παράμετρος και η τιμή του 0,2 σαν βάρος είναι αντικειμενική. Η αρχική ανάλυση θεωρείται ορθότερη όμως η παραπάνω λύση δείχνει πόσο καθοριστική είναι η επιλογή κριτηρίων και η αυξομείωση των τιμών τους. Η διαφορετική προσέγγιση κάθε προβλήματος εμπεριέχει μια μορφή υποκειμενικότητας πράγμα που καθιστά τον ρόλο του αναλυτή δυσκολότερο.

Θεωρητικά η δυνατότητα dimming και η παρουσία αισθητήρων θα μπορούσε να είναι ένα ενοποιημένο κριτήριο με βάρος το άθροισμα των επιμέρους βαρών γιατί δεν θεωρείται αποδοτικό να δαπανηθούν χρήματα για ballasts με δυνατότητα ρύθμισης και να μην αξιοποιηθεί η παρουσία του φυσικού φωτισμού με μια ελάχιστη περαιτέρω δαπάνη.

7.8.2 Εφαρμογή ELECTRE I στα σενάρια του γραφείου

Αν ακολουθηθεί η ίδια λογική με αυτή των παραπάνω περιπτώσεων της αίθουσας, δεν θα χρησιμοποιηθούν τα σενάρια Γ2, Γ5, Γ7 και Γ9 γιατί έχουν πολύ συγγενικά χαρακτηριστικά με παρόμοιες περιπτώσεις και με ελάχιστη μεταβολή στο κόστος γίνεται μεγάλη αναβάθμιση στην ποιότητα της εγκατάστασης με της προσθήκη αισθητήρων. Τα κριτήρια φαίνονται στον πίνακα 7.42 και βασίζονται στην λογική που αναλύθηκε στα προηγούμενα φύλλα. Το βέτο όπως αναμένεται πέφτει και για την δεδομένη εγκατάσταση έχει οριστεί στα 1.000€

Πίνακας 7.42 Κριτήρια, βάρη και βέτο για την περίπτωση του γραφείου

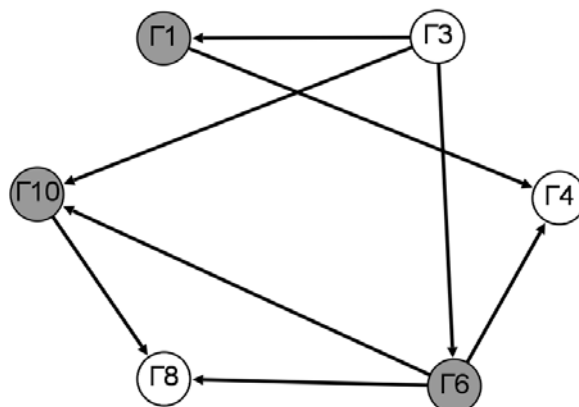
Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Dimming	0,15	-
2	Αισθητήρες	0,2	-
3	Μέση Ένταση	0,1	-
4	Ομοιομορφία	0,1	-
5	Ισχύς ανά m ²	0,25	-
6	Κόστος	0,2	1000

Η μήτρα συμφωνίας θα έχει την μορφή του πίνακα 7.43:

Πίνακας 7.43 Μήτρα συμφωνίας

Δράσεις	Γ1	Γ3	Γ4	Γ6	Γ8	Γ10
Γ1	1	0,65	0,8	0,45	0,3	0,4
Γ3	0,8	1	0,6	0,8	0,65	0,75
Γ4	0,55	0,4	1	0,65	0,4	0,4
Γ6	0,55	0,55	0,8	1	0,75	0,75
Γ8	0,7	0,7	0,6	0,6	1	0,55
Γ10	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1

Γίνεται επιλογή του δείκτη συμφωνίας για τιμή ίση με 0,75 γιατί σε χαμηλότερη αξία η μέθοδος δεν δίνει πυρήνα. Ο έλεγχος διαφωνίας δεν ανατρέπει κάποια υπεροχή επομένως το γράφημα υπεροχής θα έχει την μορφή του σχήματος 7.27.



Σχήμα 7.27 Γράφημα υπεροχής για τα σενάρια του γραφείου

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω κριτήρια οι επικρατέστερες λύσεις είναι οι λαμπτήρες T5 X 2 με δυνατότητα ρύθμισης και αισθητήρες, οι λαμπτήρες T8 X 2 απλοί και οι T8 LED X 2 με ρύθμιση και αισθητήρες (Πίνακας 7.44).

Πίνακας 7.44 Καλύτερες λύσεις βάση της μεθόδου ELECTRE I στο γραφείο

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Dimming	Αισθητήρες φωτός
Γ3	T5 X 2	Ναι	Ναι
Γ4	T8 X 2	Όχι	Όχι
Γ8	T8 LED X 2	Ναι	Ναι

Αν τα κριτήρια αλλάξουν κατά τον ίδιο τρόπο που άλλαξαν στην περίπτωση της αίθουσας και επαναληφθεί η ίδια διαδικασία τότε προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία(Πίνακες 7.45-8 και σχήμα7.28).

Πίνακας 7.45 Νέα κριτήρια προσανατολισμός στην εξοικονόμηση εις βάρος του κόστους

Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Dimming	0,15	-
2	Αισθητήρες	0,2	-
3	Μέση Ένταση	0,1	-
4	Ομοιομορφία	0,1	-
5	Ισχύς ανά m ²	0,3	-
6	Κόστος	0,15	1000

Πίνακας 7.46 Νέα μήτρα συμφωνίας

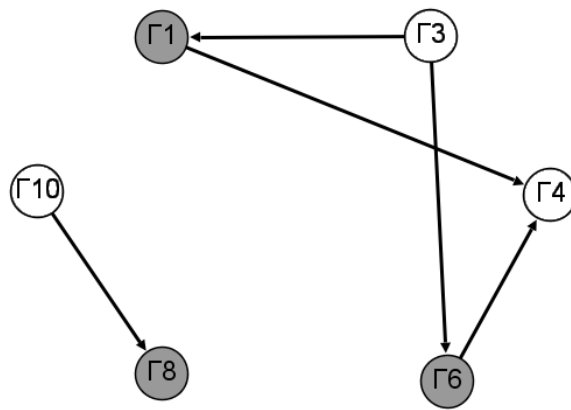
Δράσεις	Γ1	Γ3	Γ4	Γ6	Γ8	Γ10
Γ1	1	0,65	0,8	0,45	0,25	0,35
Γ3	0,85	1	0,65	0,8	0,6	0,7
Γ4	0,55	0,35	1	0,65	0,35	0,35
Γ6	0,55	0,55	0,85	1	0,7	0,7
Γ8	0,75	0,75	0,65	0,65	1	0,55
Γ10	0,65	0,65	0,65	0,65	0,8	1

Ο δείκτης συμφωνίας παραμένει στο 0,75 για τους ίδιους λόγους που επιλέχθηκε σε αυτή την τιμή με τα προηγούμενα κριτήρια. Η παρουσία των βέτο έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται ορισμένες σχέσεις συγκρισιμότητας.

Πίνακας 7.47 Συνθήκες συγκρισιμότητας από την επιλογή βέτο.

Γ1	R	Γ8	Κριτήριο	Κόστος
Γ3	R	Γ8	Κριτήριο	Κόστος

Επομένως για την συγκεκριμένη περίπτωση το διάγραμμα θα έχει την παρακάτω μορφή.



Σχήμα 7.28 Γράφημα υπεροχής για την περίπτωση του γραφείου με εφαρμογή καινούργιων κριτηρίων.

Πίνακας 7.48 Καλύτερες λύσεις βάση της μεθόδου ELECTRE I στο γραφείο με εφαρμογή καινούργιων κριτηρίων.

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Dimming	Αισθητήρες φωτός
Γ3	T5 X 2	Ναι	Ναι
Γ4	T8 X 2	Όχι	Όχι
Γ10	LED D/L	Ναι	Ναι

Παρατηρείται ευστάθεια ως προς την λύση για τα σενάρια Γ3 και Γ4. Η πρώτη εξακολουθεί να βρίσκεται άμεσα στον πυρήνα και η δεύτερη συνεχίζει να εντάσσεται σε αυτόν ως η καλύτερη μεταξύ των ασύγκριτων. Η περίπτωση Γ10 υπερισχύει έναντι της Γ8 και το γράφημα σπάει σε δυο επιμέρους τμήματα. Το πρώτο αφορά την τεχνολογία λαμπτήρων φθορισμού και το δεύτερο την τεχνολογία LED επομένως η μέθοδος με την δεδομένη ανάλυση δείχνει ότι υπάρχει σύγκριση μεταξύ δράσεων με διαφορετικές προδιαγραφές.

7.8.3 Εφαρμογή ELECTRE I στα σενάρια του διαδρόμου

Τα βάρη των κριτηρίων αλλάζουν στην περίπτωση του διαδρόμου. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν έχει νόημα η δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού μέσω dimming ενώ αντί για αισθητήρες φωτός χρησιμοποιούνται αισθητήρες κίνησης. Τα στοιχεία των μεγεθών δίνονται παρακάτω (Πίνακας 7.49):

Πίνακας 7.49 Κριτήρια, βάρη και βέτο για την περίπτωση του γραφείου

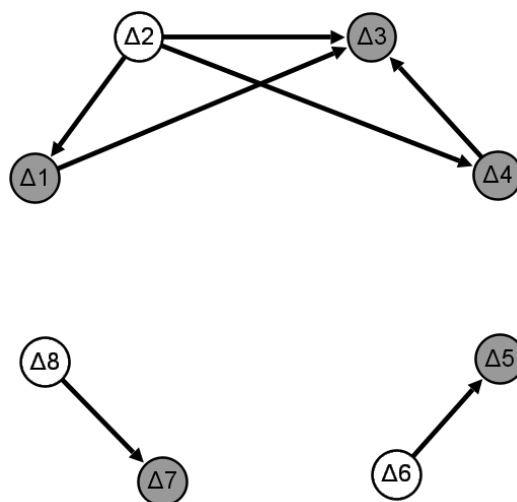
Κριτήρια	Όνομα	Βάρος	Βέτο
1	Αισθητήρας παρουσίας	0,3	-
2	Μέση ένταση (lx)	0,1	-
3	Ομοιομορφία	0,1	-
4	Ισχύς ανά m ²	0,3	-
5	Κόστος	0,2	1000

Η μήτρα συμφωνίας αντιστοιχεί στον πίνακα 7.50

Πίνακας 7.50 Μήτρα συμφωνίας για τα σενάρια του διαδρόμου

Δράσεις	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8
Δ1	1	0,7	0,9	0,6	0,7	0,4	0,7	0,4
Δ2	0,8	1	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7
Δ3	0,4	0,1	1	0,7	0,7	0,4	0,7	0,4
Δ4	0,4	0,4	0,8	1	0,7	0,7	0,7	0,7
Δ5	0,6	0,3	0,6	0,3	1	0,7	0,6	0,3
Δ6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1	0,6	0,6
Δ7	0,6	0,3	0,6	0,3	0,7	0,4	1	0,7
Δ8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	1

Ο δείκτης συμφωνίας ορίζεται στο 0,8, ο έλεγχος διαφωνίας δεν δίνει κάποια ανατροπή υπεροχής επομένως το γράφημα αυτής της περίπτωσης έχει την μορφή του σχήματος 7.29.



Σχήμα 7.29 Γράφημα υπεροχής για τα σενάρια του διαδρόμου

Στην προκειμένη περίπτωση φαίνεται να μην υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των περιπτώσεων και το διάγραμμα σπάει σε τρία επιμέρους τμήματα. Η περίπτωση λαμπτήρων T5 X 2 με χρήση PIR φαίνεται από τις ισχυρότερες. Οι Δ6 και Δ7 κερδίζουν τα αντίστοιχα σενάρια χωρίς την ύπαρξη αισθητήρων. Αν αλλάξουν τα βάρη των κριτηρίων και η κατανάλωση έχει συντελεστή 0,35 ενώ το κόστος 0,15 δηλαδή ακολουθηθεί η προηγούμενη τακτική, οι λύσεις δεν αλλάζουν και το αντίστοιχο γράφημα υπεροχής παραμένει ανεπηρέαστο.

Πίνακας 7.51 Επικρατέστερες λύσεις για τον διάδρομο βάση της μεθόδου ELECTRE I

Κωδικός Σεναρίου	Περίπτωση	Αισθητήρες PIR
Δ2	T5 X 2	Ναι
Δ6	T8 X 4	Ναι
Δ8	T8 LED X 2	Ναι

7.9 Σύγκριση της κατανάλωσης των σεναρίων

Η ανάλυση με την βοήθεια της μεθόδου ELECTRE I έδωσε ξεκάθαρες απαντήσεις για την αξιολόγηση των εκάστοτε σεναρίων. Η ύπαρξη όμως πολλαπλών λύσεων στον πυρήνα κάθε γραφήματος υπερόχης δεν έδωσε όρισε σε κάθε περίπτωση την επιλογή που εν τέλει θα υλοποιηθεί. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια τελική σύγκριση στην παρούσα ενότητα αξιολογούνται όλες οι παραπάνω δράσεις ανάλογα με την δυνατότητα τους να αποσβέσουν το κόστος αρχικής επένδυσης. Για τους υπολογισμούς που ακολουθούν θεωρείται το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος ίσο με 0,10801€/KWh και ορίζονται ως αντίστοιχοι χρόνοι λειτουργίας οι 8 ώρες καθημερινά για διάστημα 5 ημερών ανά εβδομάδα σε έτος 48 εβδομάδες. Τα δεδομένα ωράρια προσεγγίζουν τις ώρες λειτουργίας των εγκαταστάσεων και ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Επειδή δεν μπορεί να υπάρξει αντικειμενικός υπολογισμός της εξοικονόμησης με την βοήθεια αισθητήρων, θα εφαρμοστούν οι δυσμενέστεροι στατιστικά δείκτες που προσδιορίζουν την εξοικονόμηση μέσω αισθητήρων παρουσίας σε 35%, μέσω αισθητήρων σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού σε 35% και μέσω dimmers 30%. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες 7.52, 7.53, 7.54 και 7.55.

Πίνακας 7.52 Σενάρια αμφιθεάτρου και εκτιμώμενοι χρόνοι απόσβεσης

Κωδικός	Σενάριο	Dimming	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Εκτιμώμενη ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Ενέργεια ανά έτος (kWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Χρόνος απόσβεσης (έτη)
Αρχικό	CFL 26WX2	Όχι	21,34	21,34	5792,33	-	-
Αμ1	T5 X 2	Όχι	7,47	7,47	2027,59	4947,36	12,17
Αμ2	T5 X 2	Ναι	7,47	5,23	1419,58	6247,56	13,23
Αμ3	T5 X 4	Όχι	7,31	7,31	1984,16	2034,40	4,95
Αμ4	T5 X 4	Ναι	7,31	5,18	1406,01	2723,20	5,75
Αμ5	T8 X 2	Όχι	9,57	9,57	2597,59	6194,10	17,95
Αμ6	T8 X 2	Ναι	9,57	6,70	1818,58	7378,80	17,19
Αμ7	T8 LED X 2	Ναι	7,47	5,23	1419,58	18207,20	38,55
Αμ8	LED D/L	Ναι	7,15	5,00	1357,15	9177,70	19,16

Πίνακας 7.53 α) Σενάρια αίθουσας και εκτιμώμενοι χρόνοι απόσβεσης

Κωδικός	Σενάριο	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Εκτιμώμενη ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Ενέργεια ανά έτος (kWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Χρόνος απόσβεσης (έτη)
Αρχικό	CFL 26WX2	Όχι	Όχι	16,73	16,73	2995,02	-	-
A1	T5 X 2	Όχι	Όχι	6,86	6,86	1228,08	2998,40	15,71
A2	T5 X 2	Ναι	Όχι	6,86	4,80	859,30	3786,40	16,41
A3	T5 X 2	Ναι	Ναι	6,86	4,46	798,43	3839,00	16,18
A4	T5 X 4	Όχι	Όχι	7,62	7,62	1364,13	1398,65	7,94
A5	T5 X 4	Ναι	Όχι	7,62	5,33	954,18	1872,20	8,49

Πίνακας 7.53 β) Σενάρια αίθουσας και εκτιμώμενοι χρόνοι απόσβεσης

A6	T5 X 4	Ναι	Ναι	7,62	4,95	886,15	1924,80	8,45
A7	T8 X 2	Όχι	Όχι	8,79	8,79	1573,59	3754,00	24,45
A8	T8 X 2	Ναι	Όχι	8,79	6,15	1100,98	4472,00	21,86
A9	T8 X 2	Ναι	Ναι	8,79	5,71	1022,20	4524,60	21,23
A10	T8 X 4	Όχι	Όχι	10,81	10,81	1935,22	1698,06	14,83
A11	T8 X 4	Ναι	Όχι	10,81	7,57	1355,19	2251,20	12,71
A12	T8 X 4	Ναι	Ναι	10,81	7,03	1258,52	2303,80	12,28
A13	T8 LED X 2	Ναι	Όχι	5,66	3,96	708,92	9103,60	36,87
A14	T8 LED X 2	Ναι	Ναι	5,66	3,68	658,80	9156,20	36,29
A15	LED D/L	Ναι	Όχι	6,19	4,33	775,16	5244,40	21,87
A16	LED D/L	Ναι	Ναι	6,19	4,02	719,66	5444,40	22,15

Πίνακας 7.54 Σενάρια γραφείου και εκτιμώμενοι χρόνοι απόσβεσης

Κωδικός	Σενάριο	Dimming	Αισθητήρες φωτός	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Εκτιμώμενη Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Ενέργεια ανά έτος (kWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Χρόνος απόσβεσης (έτη)
Αρχικό	CFL 26WX2	Όχι	Όχι	24,63	24,63	898,50	-	-
Γ1	T5 X 2	Όχι	Όχι	8,42	8,42	307,16	750,10	11,74
Γ2	T5 X 2	Ναι	Όχι	8,42	5,89	214,87	947,10	12,83
Γ3	T5 X 2	Ναι	Ναι	8,42	5,47	199,55	973,40	12,89
Γ4	T8 X 2	Όχι	Όχι	10,79	10,79	393,62	938,50	17,21
Γ5	T8 X 2	Ναι	Όχι	10,79	7,55	275,42	1118,00	16,61
Γ6	T8 X 2	Ναι	Ναι	10,79	7,01	255,72	1144,30	16,48
Γ7	T8 LED X 2	Ναι	Όχι	8,34	5,83	212,68	2731,08	36,87
Γ8	T8 LED X 2	Ναι	Ναι	8,34	5,42	197,72	2757,38	36,43
Γ9	LED D/L	Ναι	Όχι	7,59	5,31	193,71	1311,10	17,22
Γ10	LED D/L	Ναι	Ναι	7,59	4,93	179,85	1411,10	18,18

Πίνακας 7.55 Σενάρια διαδρόμου και εκτιμώμενοι χρόνοι απόσβεσης

Κωδικός	Σενάριο	Αισθητήρας παρουσίας	Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Εκτιμώμενη Ισχύς ανά m ² (W/ m ²)	Ενέργεια ανά έτος (kWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Χρόνος απόσβεσης (έτη)
Αρχικό	CFL 26WX2	Όχι	4,92	4,92	798,41	-	-
Δ1	T5 X 2	Όχι	2,65	2,65	430,04	1049,44	26,38
Δ2	T5 X 2	Ναι	2,65	1,72	279,12	1117,44	19,92
Δ3	T8 X 2	Όχι	3,40	3,40	551,75	1313,90	49,32
Δ4	T8 X 2	Ναι	3,40	2,21	358,64	1381,90	29,09
Δ5	T8 X 4	Όχι	4,26	4,26	691,31	606,45	52,42
Δ6	T8 X 4	Ναι	4,26	2,77	449,51	674,45	17,90
Δ7	T8 LED X 2	Όχι	2,19	2,19	355,39	3186,26	66,59
Δ8	T8 LED X 2	Ναι	2,19	1,42	230,44	3254,26	53,05

Συμπεράσματα

Μέσω της παρούσης διπλωματικής εργασίας αναδείχθηκε η χρήση πολυκριτηριακών μεθόδων προκειμένου να δοθεί ποσοτική απάντηση σε προβλήματα αποφάσεων που σχετίζονται με το φωτισμό. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν μέσω πολλαπλών κριτηρίων εναλλακτικά συστήματα φωτισμού που αποτελούνται από λαμπτήρες T5, T8, LED's, ballasts, καθώς και αισθητήρες σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού αλλά και παρουσίας. Μέσω της προσεκτικής επιλογής κριτηρίων, βαρών, καθώς και καταωφλίων βέτο και την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I δύναται ο μηχανικός να έχει ποσοτική λύση για την εύρεση του βέλτιστου συστήματος φωτισμού κατά τη σύγκριση πολλαπλών εναλλακτικών.

Μετά την εύρεση του καλύτερου εξοπλισμού, οι βέλτιστες επιλογές χρησιμοποιήθηκαν για το φωτισμό των χώρων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Πραγματοποιήθηκαν μελέτες φωτισμού με διαφορετικά σενάρια για κάθε χώρο, επιλέχθηκε μια συνεπής οικογένεια κριτηρίων και η μέθοδος εφαρμόστηκε εκ νέου για την εύρεση του καλύτερου δυνατού συστήματος φωτισμού, αυτή τη φορά για το φωτισμό κάθε χώρου. Κυρίαρχος στόχος ήταν η εξοικονόμηση στην κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα δίνεται έμφαση σε τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά καθώς και στην ποιότητα του φωτισμού.

Εν γένει, παρατηρήθηκε ότι οι τεχνολογίες λαμπτήρων φθορισμού T8 και T5 προσφέρουν υψηλές αποδόσεις και σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος αρχικής επένδυσης θεωρούνται ιδανικές για εφαρμογή στους συγκεκριμένους χώρους. Φυσικά η κατανάλωση μπορεί να περιοριστεί περαιτέρω με εγκατάσταση λαμπτήρων τεχνολογίας LED. Το τίμημα αυτής της επιλογής όμως είναι η αύξηση του αρχικού κόστους εγκατάστασης και παρά το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη μείωση στην κατανάλωση, η απόσβεση πραγματοποιείται μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα που σε κάποιες περιπτώσεις είναι απαγορευτικό.

Είναι αυτονόητο, ότι οι αισθητήρες σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού συμβάλλουν στο σχεδιασμό βιώσιμων συστημάτων φωτισμού, γι' αυτό και αξιοποιήθηκαν στις μελέτες φωτισμού των προαναφερθέντων χώρων της Σχολής. Ο υπολογισμός της εξοικονόμησης όμως δεν μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής. Αναφορικά με τους αισθητήρες παρουσίας, το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας σχετίζεται άμεσα με τη επισκεψιμότητα του χώρου στον οποίο εγκαθίστανται.

Αναφορικά με τις μελέτες, στο σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού λήφθηκε υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση, όπου δεν υπάρχει παρουσία φυσικού φωτισμού προκειμένου τα εκάστοτε σενάρια να ανταποκρίνονται επαρκώς ανεξάρτητα από εξωτερικές συνθήκες.

Για το αμφιθέατρο αποδείχθηκε το ιδανικότερο σενάριο σχετικά με τους χρόνους απόσβεσης είναι η περίπτωση T5 X 4 χωρίς δυνατότητα dimming. Η δεδομένη λύση όμως δεν επαληθεύεται από αποτελέσματα της ELECTRE I επειδή δεν εφαρμόστηκε σε αυτή την περίπτωση ο συγκεκριμένος αλγόριθμος λόγω έλλειψης βασικών κριτηρίων. Τα σενάρια που χρησιμοποιούν τεχνολογία LED αποτελούν την δυσμενέστερη περίπτωση για τον χώρο του αμφιθεάτρου.

Αναφορικά με την αίθουσα η σύγκριση μεταξύ των δυο διαφορετικών γραφημάτων υπεροχής δίνει ως βέλτιστες λύσεις την περίπτωση λαμπτήρων T5 X 4 με dimming και αισθητήρες σύζευξης και την περίπτωση που αφορά LED's με dimming και αισθητήρες σύζευξης. Η πρώτη εναλλακτική τελικά κρίνεται ως η βέλτιστη, αφού σύμφωνα με τα οικονομοτεχνικά χαρακτηριστικά κυριαρχεί.

Το γραφείο παρουσιάζει γραφήματα υπεροχής με μεγαλύτερη ευστάθεια ως προς τις λύσεις. Ο πυρήνας αποτελείται σε κάθε περίπτωση από τρεις δράσεις όμως η περίπτωση με λαμπτήρες T5 X 2 με δυνατότητα dimming και αισθητήρες σύζευξης αλλά και η περίπτωση με τους λαμπτήρες T8 X 2 είναι σταθερά εντός των βέλτιστων εναλλακτικών. Ιδανικότερη περίπτωση αποτελεί η περίπτωση των λαμπτήρων T5 X 2, αφού η απόσβεση επιτυγχάνεται ταχύτερα. Τα υπόλοιπα σενάρια που αφορούν τεχνολογία λαμπτήρων T8 με dimming έχουν αποκλειστεί από την ELECTRE I, διότι το κόστος αυξάνεται σημαντικά λόγω της προμήθειας ballasts με την δυνατότητα dimming.

Ο διάδρομος αποτελεί εγκατάσταση με διαφορετικές προδιαγραφές. Η μέθοδος ELECTRE I με την χρήση των κριτηρίων που ορίστηκαν δεν δίνει συμπαγές αποτέλεσμα και το γράφημα δεν είναι συνεκτικό. Μεταξύ των σεναρίων που αφορούν εγκατάσταση λαμπτήρων T5 X 2, λαμπτήρες T8 X 4 και LED's T8 X 2 (όλων με δυνατότητα dimming) υπερισχύει η περίπτωση με την ταχύτερη απόσβεση, δηλαδή το σενάριο με την εγκατάσταση λαμπτήρων T8 X 4. Η χαμηλή εγκατεστημένη ισχύς του συγκεκριμένου χώρου έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Συνεπώς, απαιτείται η παρέλευση μεγάλου χρονικού διαστήματος για την απόσβεση της επένδυσης.

Οι εγκαταστάσεις εκτός από τις αυξημένες απαιτήσεις σε ποιότητα φωτισμού, απαιτούσαν προσεκτική μελέτη ώστε να επιτευχθεί ομοιομορφία στο φωτισμό, λόγω κατασκευαστικών ιδιαιτεροτήτων των διαφόρων χώρων. Παράλληλα σε μικρούς ή στενούς χώρους τα σενάρια, που περιλάμβαναν φωτιστικά με τέσσερις λαμπτήρες, δεν μπορούσαν πάντα να αποδώσουν τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού, επειδή παρουσιάζονταν σημαντικές ανομοιομορφίες.

Η μέθοδος ELECTRE I παρά τα μειονεκτήματά της, τα οποία σχετίζονται κυρίως με την υποκειμενικότητα των βαρών και των κατωφλίων βέτο, τα οποία μπορούν να εξαλειφθούν με χρήση ανάλυσης ευαισθησίας, ώστε τα τελικά αποτελέσματα να είναι συμπαγή, προσφέρει στον αποφασίζοντα το πλεονέκτημα εύρεσης της βέλτιστης επιλογής, αξιοποιώντας το μαθηματικό της υπόβαθρο σε σύνθετα προβλήματα απόφασης.

Παράρτημα
(Data sheets φωτιστικών σωμάτων)

Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

ERCO, Quintessence round Recessed lu... (46608.000)

Data sheet

Manufacturer: ERCO

46608.000 recessed luminaire Quintessence round Recessed luminaires for compact fluorescent lamps

Quintessence Downlight

for compact fluorescent lamps

Size 7 30°

White (RAL9002)

ECG

Covered mounting detail

Wide diffuser

Housing and fixing ring: plastic, black.

Mounting ring: plastic, white (RAL9002). Mounting for ceiling thicknesses of 1-30mm with covered mounting detail and 12.5-25mm with flush mounting detail.

Junction box for through-wiring, 5-pole terminal block, integrated strain relief. Electronic control gear.

Darklight reflector: aluminium, bright anodised. Cut-off angle 30°.

Diffuser: plastic, translucent.

Energy efficiency class: EEI A2

Weight 1.60kg

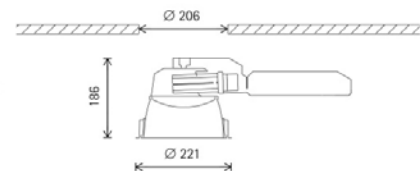
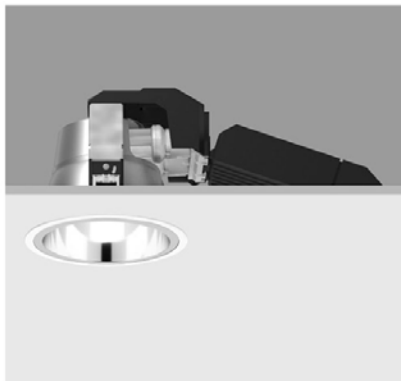
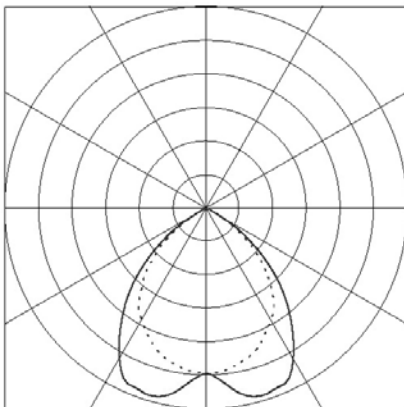
ENEC10, CCC, GOST

Luminaire data

Luminaire efficiency : 49.5%
Luminaire efficacy : 34.27 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes : 71 99 100 100 49
Control gear : electronic ballast
System power : 52 W
Diameter : 221 mm

Equipped with

Quantity : 2
Designation : FSMH
Power : 26 W
Colour : 4000
Luminous flux : 1800 lm



Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

Glamox Luxo Lighting, C20-R300 (!C20-R300 214 SL)

Data sheet

Manufacturer: Glamox Luxo Lighting

!C20-R300 214 SL Commercial - Ceiling recessed C20-R300

Light source

2 x T5 14, 24, 28, 54W

3 x T5 14, 24, 28, 54W

4 x T5 14, 24, 28, 54W

Can be supplied with or without light source.

Ballast

Electronic ballast (HF), analogue dimming (HFDa), digital dimming (HFDd) or DALI.

Body material & colour

Steel body in pre-painted white.

Mounting

For easy lay in to exposed T-bar ceiling or in concealed ceilings by using mounting brackets that must be ordered separately.

Accessories

Mounting brackets for concealed ceiling 4 pc: 815403011

Connection

Cable entry in top. Can be supplied with cable or cable and plug. 3 or 5 pole push-in terminal block. Linect connection on top as standard.

Optics

Double parabolic Softlight optic type SL/SU, a double parabolic high gloss Darklight optic type DL/DU, a white painted double parabolic optic type WL/WU, an Opal diffuser type OP and a double prismatic diffuser type DP.

Integrated emergency light

LED emergency light type standard (S), Selftest (ST) and addressable DALI (DALI). (Not available on DP/OP optic)

Integrated sensors

Stand-alone presence sensor type S-SEN, master / slave presence sensor with corridor function type M-SEN and a combination of presence and daylight sensor type D-SEN. (Not available on DP/OP optic)

Luminaire data

Luminaire efficiency : 87.2%
Luminaire efficacy : 73.57 lm/W
Classification : A50 ? 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes : 72 99 100 100 87
Control gear :
System power : 32 W
Length : 597 mm
Width : 297 mm

Equipped with

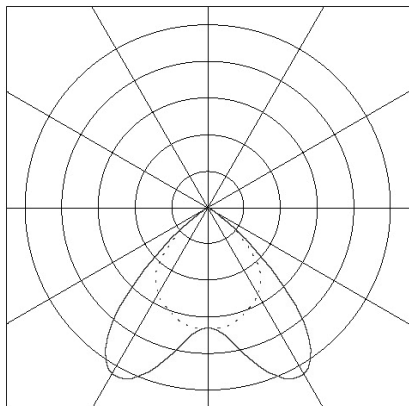
Quantity : 2
Designation : FDH-Ø16 G5
Power : 14 W
Colour : 840/4000K
Luminous flux : 1350 lm

Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

Glamox Luxo Lighting, C20-R300 (!C20-R300 214 SL)

Data sheet



Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

OSRAM, DEDRA T5 VABS KIT 4x14W/840 (!4008321380937)

Data sheet

Manufacturer: OSRAM



!4008321380937 Luminaires / Indoor - Recessed luminaires / T5 lamps / OSRAM DEDRA plus[®] T5 Kit DALI / WIELAND / VATS DEDRA T5 VABS KIT 4x14W/840

OSRAM DEDRA plus[®] T5 KIT – DPB-C WIELAND

OSRAM DEDRA plus[®] T5 KIT – DPB-C WIELAND is a set ready for installation and consists of a recessed ceiling luminaire with integrated Electronic Control Gear and three T5 fluorescent lamps (Ø 16 mm) for installation in shallow suspended ceilings with a grid size of 600 × 600 mm. It is ideal as background lighting in offices, schools and conference rooms and for illuminating screenbased workplaces.

Casing of powder-coated steel in white (RAL 9016) with safety cable

Peel-off film to protect the surfaces during installation

Connection with WIELAND connector

Double parabolic optics comprising a symmetrical longitudinal

-- Reflector and louver with a polished finish for low luminance

-- UGR 17 according to EN12464-1

Equipped with 3 LUMILUX[®] T5 14 W 840 HE lamps with an average life of 24,000 hours

Integrated QTP5 3x14W control gear (EEI = A2)

ENEC 8, equipped with lamp, light colour 840 glow wire test at 960°C, protection against mechanical stress at 220-240 V, 0/50-60 Hz, G5 base. not dimmable

OSRAM DEDRA plus[®] T5 KIT – VABS

OSRAM DEDRA plus[®] T5 KIT – VABS is a set ready for installation and consists of a recessed ceiling luminaire with integrated Electronic Control Gear and four T5 fluorescent lamps (Ø 16 mm) for installation in shallow suspended ceilings with a grid size of 600 × 600 mm. It is ideal as background lighting in offices, schools and conference rooms and for illuminating screen-based workplaces.

Casing of powder-coated steel in white (RAL 9016) with safety cable

Peel-off film to protect the surfaces during installation

Connection with 3-pin double plug terminal

Optics consisting of a symmetrical V reflector made of brilliant aluminum and louver made of satinized aluminum

Equipped with 4 LUMILUX[®] T5 14 W 840 HE lamps with an average life of 24,000 hours

UGR 20 according to EN 12464- 1

Integrated QTP5 4x14W control gear (EEI = A2)

equipped with lamp, light color 840 , glow wire test 960°C, protection against mechanical stress, 220-240 V, 0/50-60 Hz, G5 base, not dimmable

Luminaire data

Luminaire efficiency : 88.84%
Luminaire efficacy : 74.26 lm/W
Classification : A50 ? 99.7% ↑ 0.3%
CIE Flux Codes : 59 88 99 100 89
Control gear : ELECTRONIC CONTROL GEAR (ECG)
System power : 64.6 W
Length : 596 mm
Width : 596 mm

Equipped with

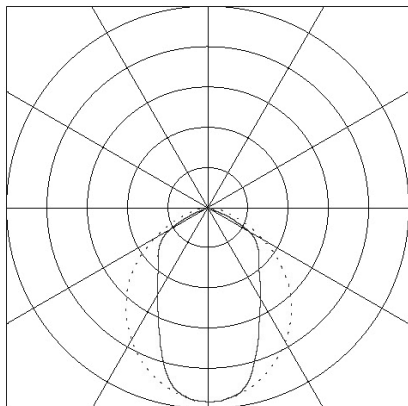
Quantity : 4
Designation : FH 14W/840
Power : 16.15 W
Colour : 3900
Luminous flux : 1350 lm

Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

OSRAM, DEDRA T5 VABS KIT 4x14W/840 (!4008321380937)

Data sheet



Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

Pracht, Herkules 2/18W (435130)

Data sheet

Manufacturer: Pracht

435130 Batten Luminaires with Reflektors IP65 Herkules 2/18W

Damp-proof luminaire with push-fit lampholder end pieces, SK II, IP 65, seamless tubular luminaire housing made of white, fibre-glass reinforced low flammability polyester resin, essentially fully resistant against acids and alkalis, one-piece push-fit lampholder end pieces made of PBTP, two-slot plug-in socket with silver-plated contacts, short ageing resistant silicone seals, low loss ballast, electronic ballast optional. Through-wiring 7x2.5 mm² max. Variable mounting points with PRACT CLIP SYSTEM made of stainless steel, suited for ceiling, pendant and horizontal wall mounting. The luminaire needs to be completed with an additional lamp cover like, for example, adjustable reflectors with pralux® technology or with a lamp protection tube.

3614601

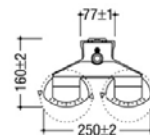
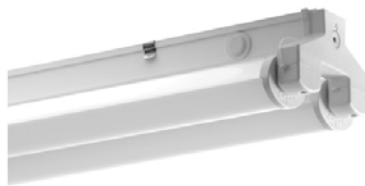
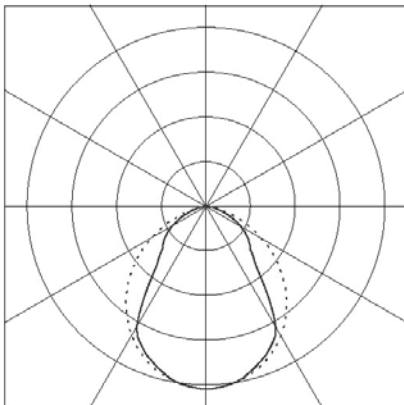
PSR-PLEX-PO-DD-090 pralux® medium-beam prachtopal®, PMMA impact resistant, opalescent, seamless, adjustable with interior specular reflector

Luminaire data

Luminaire efficiency : 89.2%
Luminaire efficacy : 58.74 lm/W
Classification : A50 ? 98.6% ↑ 1.4%
CIE Flux Codes : 58 86 98 99 89
Control gear : inductive low loss ballast, with starter
System power : 41 W
Length : 636 mm
Width : 250 mm
Height : 160 mm

Equipped with

Quantity : 2
Designation : FD-Ø26 G13
Power : 18 W
Colour : 840/4000K
Luminous flux : 1350 lm



W	L (mm)
18	636±2
36	1246±2
58	1546±2

Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

OSRAM, Siteco louvre lum. Plus,4... (!4039806405753)

Data sheet

Manufacturer: OSRAM

!4039806405753 Luminaires / Indoor - Recessed luminaires / T8 lamps / SITECO LOUVRE LUM
Siteco louvre lum. Plus,4x18W,T26,ECG ALU HSP
SITECO LOUVRE LUM. Recessed luminaires using T26 fluorescent lamps

Product features

Asymmetric light distribution via adjustment of lampholder position
Wallwasher effect for single-lamp luminaires via supplementary reflector
Torsionally rigid, roll-formed metal housing

Product benefits

Economic
Continuous rows with optically seamless louvers
Standardised lighting solutions

Areas of application

Suspended ceilings
Walls and panels

Equipment / Accessories

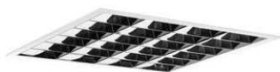
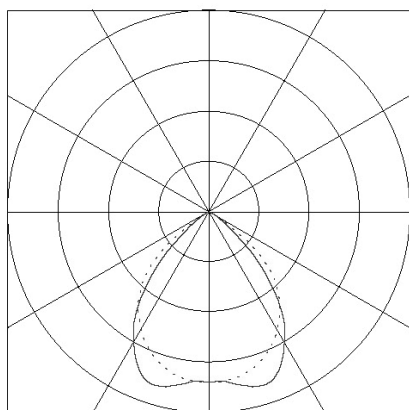
Binder 5LP90000XC for ceiling installation; span width 21-36 mm, 1 bag = 4 pcs
Binder 5LP90010XC for ceiling installation, span width 37-50 mm, 1 Bag = 4 pcs

Luminaire data

Luminaire efficiency : 62.7%
Luminaire efficacy : 47.03 lm/W
Classification : A60 ? 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes : 74 99 100 100 63
Control gear : AC
System power : 72 W
Length : 597 mm
Width : 597 mm

Equipped with

Quantity : 4
Designation :
Power : 54 W
Colour : -/
Luminous flux : 1350 lm



Object :
 Installation :
 Project number :
 Date :

Luminaire data

Pracht, Galiled LED 2x12 / 350mA Spieg... (!7806824)

Data sheet

Manufacturer: Pracht

!7806824 LED-Luminaire IP65 Galiled LED 2x12 / 350mA Spiegel raumstrahlend

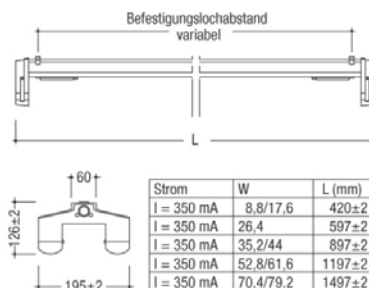
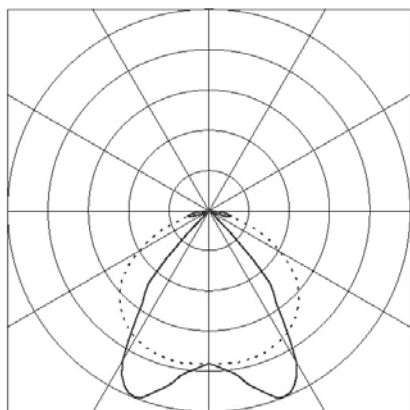
Waterproof (moisture-proof) luminaire with one part push-fit lampholder, Protection Class II, IP65, seamless tubular housing made of Renewable Raw Materials, essentially resistant against acid and alkalis. Lamp protective tube with integrated cooling body. Exchangeable High Power LED System through special locking technology. Short age-resistant silicone seals. Internal electronic gear. Through-wiring max. 7x2,5mm². Variable mounting points due to the Pracht Clip System made of stainless steel. Suitable for ceiling and pendant mounting as well as for horizontal wall mounting.

Luminaire data

Absolute Photometry
 Luminaire efficacy : 79.55 lm/W
 Classification : A50 ? 99.3% ↑ 0.7%
 CIE Flux Codes : 64 91 98 99 100
 Control gear : electronic transformer
 System power : 26.4 W
 Length : 597 mm
 Width : 195 mm
 Height : 126 mm

Equipped with

Quantity : 2
 Designation : LED Modul 840
 Colour : 840/4000K
 Luminous flux : 1050 lm



Object :
Installation :
Project number :
Date :

Luminaire data

Cree, Inc., Extruded aluminum heatsi... (LR150-2000L-40K)

Data sheet

Manufacturer: Cree, Inc.

LR150-2000L-40K

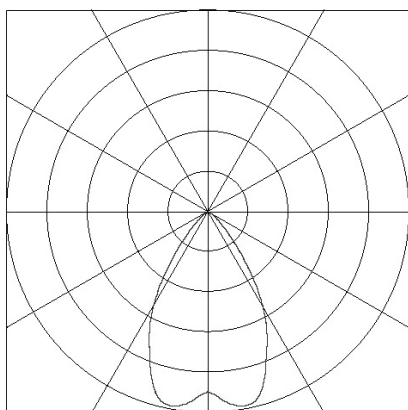
Extruded aluminum heatsink housing, frosted plastic lens a

Luminaire data

Luminaire efficiency : 100%
Luminaire efficacy : 70.7 lm/W
Classification : A70 ? 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes : 92 100 100 100 100
Control gear :
System power : 28.85 W
Diameter : 127 mm
Height : 1 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation :
Colour : 0
Luminous flux : 2039.6 lm



Βιβλιογραφία

- [1] Έκθεση Eurostat 2013
- [2] Έκθεση Eurostat 2008
- [3] Πέρδιος Σταμάτης, “Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων και βιομηχανιών”, εκδόσεις Σέλκα -4M, 2006
- [4] Ιστοσελίδα Υπουργείου Ανάπτυξης & Ανταγωνιστικότητας <http://www.yproian.gr/>
- [5] Ιστοσελίδα Κ.Α.Π.Ε. www.cres.gr
- [6] Ιωάννης Ψαρράς, “Διαχείριση ενέργειας και περιβαλλοντική πολιτική”, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2010
- [7] Φ.Β.Τοπαλής, “Φωτοτεχνία, βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού”, εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1994
- [8] Ιστοσελίδα εταιρίας Osram www.osram.com
- [9] Στέφανος Ν. Μανιάς, “Ηλεκτρονικά ισχύος”, εκδόσεις Συμμεών,2007
- [10] Ιστοσελίδα εταιρίας Philips www.philips.com
- [11] Ιστοσελίδα Scientific American <http://www.scientificamerican.com>
- [12] Safa Kasap, “Electronic materials and devices”, McGraw-Hill Education, 2006
- [13] Susan K. Oldroyd, “Daylighting in schools”, McGraw-Hill Construction,2005
- [14] Nancy Ruck, “Daylight in Buildings, a source book on daylighting systems and components”,2000
- [15] Jennifer O’Connor, Eleanor Lee, Franchis Rubinstein,Stephen Selkowitz “Tips for daylighting with windows”, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory,1997
- [16] A.Tsangrassoulis, A.Jacobs, M.Wilson, J.Solomon, M.Fontoynt, W.Pohl, A.Zimmermann,”SynthLight Handbook, European educational infrastructure on energy efficient lighting technologies”, assisted by 3D environments,2001
- [17] Mohamed Boubekri,”Daylighting, Architecture and Health, Building Design Strategies”,2008
- [18] Λάμπρος Δούλος. “Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης προσαρμογής του τεχνητού φωτισμού με στόχο την βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού”, διδακτορική διατριβή, 2010

- [19] Google Maps <https://maps.google.gr>
- [20] Τεχνικός Τομέας Πρυτανείας Ε.Μ.Π
- [21] Μ.Σαμουηλίδης, Κ.Βλάχος ,Γ.Ψαρράς “Συστήματα Αποφάσεων”, εκδόσεις ΕΜΠ,1986-7
- [22] Hal Varian, μετάφραση Βαλλιάνος Χρήστος, Σακκά Ανδριάννα “Μικροοικονομική, μια σύγχρονη προσέγγιση”, εκδόσεις Κριτική, 2006
- [23] Σίσκος Ι, “Μοντέλα αποφάσεων”, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα 2008
- [24] Ιστοσελίδα εταιρίας General Electric www.ge.com
- [25] Ιστοσελίδα εταιρίας Narva www.narva-light.com
- [26] Ιστοσελίδα εταιρίας Sylvania www.sylvania.com
- [27] Ιστοσελίδα εταιρίας Helvar www.helvar.com
- [28] Ιστοσελίδα εταιρίας Tridonic www.tridonic.com
- [29] Ιστοσελίδα εταιρίας Ledison www.ledison-led-light.co.uk
- [30] Ιστοσελίδα εταιρίας Siemens www.siemens.com
- [31] Ιστοσελίδα εταιρίας Bosch www.bosch.com
- [32] Ιστοσελίδα εταιρίας Leviton www.leviton.com
- [33] Ιστοσελίδα εταιρίας Erco www.ercos.com
- [34] Ιστοσελίδα εταιρίας Glamox Luxo Lighting www.glamox.com
- [35] Ιστοσελίδα εταιρίας Pracht www.prachtgroup.com
- [36] Ιστοσελίδα εταιρίας Cree www.cree.com