



**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**“ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ ΚΑΙ  
ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:** Γιώργος Ιωαννίδης

**Σπουδαστής:** Ηλίας Σταθόπουλος AM: 31125

**Σπουδαστής:** Στέλιος Ρουτζάκης AM: 37867

**Αιγάλεω**

**Φεβρουάριος-2013**

Copyright © Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

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 της 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ίδρυματος Πειραιά.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή και επιβλέπων στην πτυχιακή μας εργασία κύριο Γιώργο Ιωαννίδη για την υπομονή του και για την βοήθεια που μας πρόσφερε για την υλοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε και τους γονείς μας που μας βοήθησαν και καταφέραμε επιτέλους να ολοκληρώσουμε τις σπουδές μας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	iii
Περιεχόμενα .....	iv
Λίστα σχημάτων.....	vi
Λίστα πινάκων.....	viii
Summary .....	ix
Πρόλογος .....	1
<b>1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Περί του Φωτός” .....</b>	<b>1</b>
1.1 Βασικές έννοιες.....	1
1.1.1 Διάδοση του φωτός.....	1
1.2 Θεωρίες για τη φύση του φωτός .....	2
1.2.1 Θεωρία του Newton.....	4
1.2.2 Θεωρία Huygens.....	4
1.2.3 Θεωρία Maxwell.....	5
1.2.4 Κβαντική Θεωρία.....	5
1.2.5 Η Ταχύτητα του φωτός.....	7
1.2.6 Η Ανάλυση του φωτός .....	7
1.2.7 Η ανασύνθεση του φωτός.....	8
<b>2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Βασικές Έννοιες Φωτισμού” .....</b>	<b>10</b>
2.1 Ένταση φωτισμού.....	10
2.2 Φωτεινή Ροή.....	11
2.3 Φωτεινή ένταση.....	12
2.4 Λαμπρότητα .....	12
2.5 Ανάκλαση .....	13
2.5.1 Ανάκλαση από επίπεδο κάτοπτρο.....	14
2.6 Αντίθεση .....	15
2.7 Διάθλαση.....	15
2.8 Διάχυση φωτός.....	17
2.9 Θάμβωση .....	17
2.10 Φωτορύπανση.....	18
<b>3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Λαμπτήρες” .....</b>	<b>19</b>
3.1 Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης.....	19
3.1.1 Εφαρμογές.....	20
3.1.2 Ballast.....	20
3.2 Λαμπτήρες ατμού υδράργυρου .....	21
3.3 Λαμπτήρες μεταλλικών αλογόνων.....	21
3.3.1 Έναυση λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων .....	22
<b>4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Προδιαγραφές της FIFA” .....</b>	<b>24</b>
4.1 Γενικά .....	24
4.2 Κατηγορίες γηπέδων.....	24
4.3 Τοποθέτηση φωτιστικών.....	25
4.3.1 Ύψος των φωτιστικών.....	25
4.3.2 Περιοχή γραμμής άουτ.....	26
4.3.3 Έλεγχος σκιών, πολυζωνική στόχευση .....	27
4.3.4 Θέσεις τηλεοπτικής κάμερας.....	30
4.4 Προδιαγραφές φωτισμού .....	31
4.4.1 Οριζόντια ομοιομορφία.....	31
4.4.2 Κάθετος φωτισμός .....	31
4.4.3 Θερμοκρασία χρώματος.....	31
4.4.4 Χρωματική απόδοση.....	31

4.5	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	33
<b>5<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “Μελέτη Φωτισμού Ποδοσφαιρικού Γηπέδου IV Κατηγορίας” .....</b>	<b>35</b>
5.1	Εισαγωγή.....	35
5.2	Γενικά στοιχεία γηπέδου.....	35
5.3	Τοποθέτηση φωτιστικών.....	36
5.3.1	Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών .....	36
5.3.2	Περιοχές μη τοποθέτησης φωτιστικών .....	37
5.3.3	Σημεία τοποθέτησης.....	38
5.3.4	Σημεία υπολογισμού έντασης φωτισμού.....	39
5.4	Ένταση φωτισμού.....	40
5.4.1	Οριζόντια ένταση φωτισμού.....	40
5.4.2	Κάθετη ένταση φωτισμού .....	42
5.5	Θάμβωση .....	48
<b>6<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “Μελέτη Φωτισμού Βοηθητικού Γηπέδου και Αποδυτηρίων” .....</b>	<b>52</b>
6.1	Εισαγωγή.....	52
6.2	Βοηθητικό γήπεδο .....	52
6.2.1	Ένταση φωτισμού .....	54
6.3	Θάμβωση (UGR).....	57
6.4	Αποδυτήρια .....	58
6.4.1	Γραφείο προπονητή.....	59
6.4.2	Αίθουσα μασάζ.....	62
6.4.3	Αίθουσα αποδυτηρίων.....	65
6.4.4	Αίθουσα ντουζ .....	68
6.4.5	Αίθουσα WC.....	71
6.4.6	Διάδρομος.....	74
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>77</b>

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Διάδοση του φωτός .....	2
Σχήμα 1.2 Isaac Newton (1642 –1727).....	4
Σχήμα 1.3 Θεωρία Huygens .....	4
Σχήμα 1.4 Θεωρία Maxwell .....	5
Σχήμα 1.5 Φαινόμενο Compton.....	6
Σχήμα 1.6 Ανάλυση φωτός.....	8
Σχήμα 1.7 Δίσκος του Νεύτωνα .....	9
Σχήμα 2.1 Υπολογισμός φωτεινής έντασης .....	12
Σχήμα 2.2 Επίπεδο κάτοπτρο .....	14
Σχήμα 2.3 Διάθλαση φωτός.....	16
Σχήμα 2.4 Διάχυση φωτός.....	17
Σχήμα 3.1 Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης .....	19
Σχήμα 3.2 Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων .....	23
Σχήμα 4.1 Τρόπος τοποθετήσεις φωτιστικών .....	26
Σχήμα 4.2 Απαγορευμένες περιοχές τοποθέτησης φωτιστικών .....	27
Σχήμα 4.3 Κατηγορία γηπέδου 5 .....	28
Σχήμα 4.4 Κατηγορία γηπέδου 4 .....	28
Σχήμα 4.5 Τρόποι τοποθέτησεις φωτιστικών σε μικρότερες κατηγορίες γηπέδων.....	29
Σχήμα 4.6 Πιθανές θέσεις τοποθέτησης καμερών.....	30
Σχήμα 4.7 Κάτοψη περιμέτρου γηπέδου και εντάσεις φωτισμού .....	34
Σχήμα 4.8 Τρόποι τοποθέτησης φωτιστικών.....	34
Σχήμα 5.1 Κάτοψη γηπέδου IV κατηγορίας.....	36
Σχήμα 5.2 Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών.....	36
Σχήμα 5.3 Κάτοψη φωτιστικών στις περιοχές μη τοποθέτησης τους.....	37
Σχήμα 5.4 Κάτοψη σημείων τοποθέτησης φωτιστικών γηπέδου IV κατηγορίας .....	38
Σχήμα 5.5 Κάτοψη φωτιστικών με στοιχεία στόχευσης γηπέδου IV κατηγορίας.....	38
Σχήμα 5.6 Σημεία υπολογισμού έντασης φωτισμού γηπέδου IV κατηγορίας .....	39
Σχήμα 5.7 Οριζόντια ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο για το τμήμα 1.....	40
Σχήμα 5.8 Οριζόντια ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο στο τμήμα 2 .....	41
Σχήμα 5.9 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση $0^\circ$ στο τμήμα 1 .....	42
Σχήμα 5.10 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση $90^\circ$ στο τμήμα 2.....	43
Σχήμα 5.11 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση $90^\circ$ στο τμήμα 1.....	44
Σχήμα 5.12 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση $180^\circ$ στο τμήμα 2... ..	45
Σχήμα 5.13 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση $270^\circ$ στο τμήμα 1.. ..	46
Σχήμα 5.14 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση $270^\circ$ στο τμήμα 2.. ..	47
Σχήμα 5.15 Σημεία μετρήσεων θάμβωσης γηπέδου IV κατηγορίας .....	48
Σχήμα 5.16 Παρατηρητής UGR σε τυχαίο σημείο εντός του αγωνιστικού χώρου .....	51
Σχήμα 6.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση βοηθητικού γηπέδου .....	52
Σχήμα 6.2 Στόχευση φωτιστικών-γήπεδο I κατηγορίας.....	53
Σχήμα 6.3 Σημεία μέτρησης έντασης φωτισμού γηπέδου I κατηγορίας.....	54
Σχήμα 6.4 Κάτοψη αποδυτηρίων.....	58
Σχήμα 6.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση γραφείου.....	60
Σχήμα 6.6 Κάτοψη γραφείου προπονητή με φωτιστικά .....	60
Σχήμα 6.7 Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο-Γραφείο προπονητή.....	61
Σχήμα 6.8 Παρατηρητής UGR- Γραφείο προπονητή .....	61
Σχήμα 6.9 Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας μασάζ.....	63

Σχήμα 6.10	Κάτοψη χώρου μασάζ με φωτιστικά.....	63
Σχήμα 6.11	Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο-Αίθουσα μασάζ.....	64
Σχήμα 6.12	Παρατηρητής UGR- Αίθουσα μασάζ.....	64
Σχήμα 6.13	Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας αποδυτηρίων.....	66
Σχήμα 6.14	Κάτοψη χώρου αποδυτηρίων με φωτιστικά.....	66
Σχήμα 6.15	Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο- Αίθουσα αποδυτηρίων.....	67
Σχήμα 6.16	Παρατηρητής UGR- Αίθουσα αποδυτηρίων.....	67
Σχήμα 6.17	Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας ντουζ.....	69
Σχήμα 6.18	Κάτοψη χώρου ντουζ με φωτιστικά.....	69
Σχήμα 6.19	Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο - Αίθουσα ντουζ.....	70
Σχήμα 6.20	Παρατηρητής UGR - Αίθουσα ντουζ.....	70
Σχήμα 6.21	Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας WC.....	72
Σχήμα 6.22	Κάτοψη χώρου WC με φωτιστικά.....	72
Σχήμα 6.23	Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο - Αίθουσα WC.....	73
Σχήμα 6.24	Παρατηρητής UGR - Αίθουσα WC.....	73
Σχήμα 6.25	Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας διαδρόμου.....	75
Σχήμα 6.26	Κάτοψη χώρου διαδρόμου με φωτιστικά.....	75
Σχήμα 6.27	Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο - Αίθουσα διαδρόμου.....	75
Σχήμα 6.28	Παρατηρητής UGR - Αίθουσα διαδρόμου.....	76

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Παραδείγματα έντασης φωτισμού .....	10
Πίνακας 4.1 Κατηγορίες γηπέδων .....	25
Πίνακας 4.2 Προδιαγραφές φωτισμού.....	32
Πίνακας 4.3 Προδιαγραφές φωτισμού για γήπεδα 1,2,3 κατηγορίας.....	33
Πίνακας 4.4 Εντάσεις φωτισμού εξωτερικά του γηπέδου που πρέπει να τηρηθούν.....	33
Πίνακας 5.1 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού στο τμήμα 1 .....	40
Πίνακας 5.2 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού στο τμήμα 2 .....	41
Πίνακας 5.3 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 0°στο τμήμα 1 .....	42
Πίνακας 5.4 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 90° στο τμήμα 1 .....	43
Πίνακας 5.5 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 90° στο τμήμα 2 .....	44
Πίνακας 5.6 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 180° στο τμήμα 2 ....	45
Πίνακας 5.7 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 270°στο τμήμα 1 ....	46
Πίνακας 5.8 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 270°στο τμήμα 2 .....	47
Πίνακας 5.9 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης γηπέδου IV κατηγορίας.....	49
Πίνακας 5.10 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης γηπέδου IV κατηγορίας.....	50
Πίνακας 6.1 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού .....	54
Πίνακας 6.2 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης βοηθητικού γηπέδου .....	55
Πίνακας 6.3 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης βοηθητικού γηπέδου .....	56
Πίνακας 6.4 Δείκτης UGR .....	57
Πίνακας 6.5 Visual Comfort Probability .....	57
Πίνακας 6.6 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών .....	59
Πίνακας 6.7 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού-παρατηρητή UGR.....	59
Πίνακας 6.8 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών .....	62
Πίνακας 6.9 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR .....	62
Πίνακας 6.10 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών .....	65
Πίνακας 6.11 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR ...	65
Πίνακας 6.12 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών .....	68
Πίνακας 6.13 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR ...	68
Πίνακας 6.14 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών .....	71
Πίνακας 6.15 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR ...	71
Πίνακας 6.16 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών .....	74
Πίνακας 6.17 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR ...	74



## SUMMARY

The aim of this dissertation is to study and design the lighting system of an IV class football stadium, a training stadium and locker rooms facilities.

For the implementation of this design we have used Dialux software for PC. Using this software the horizontal and vertical illuminance and glare have been estimated.

In the first chapter we referred mainly to the history of lighting as well as to important people who played a significant role in the history of the light evolution, within the last centuries.

In the second chapter we made a reference to the lighting concepts that help us to understand the meaning of illumination.

In the third chapter we referred to the types of lamps that are mainly used outdoors, as it was in our case, the lighting of a football stadium.

In the fourth chapter we made a reference to the FIFA specifications of football stadium lighting.

In the fifth and the sixth chapter we analyzed the lighting designs of an IV class football stadium, a training field and locker rooms and finally we exported detailed results of illuminance (horizontal, vertical) and glare.

**Keywords:** glare rating, GR, observer UGR, luminous flux, horizontal luminance, FIFA specifications, lighting uniformity, football stadium, floodlight, illuminance, Dialux

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να γίνει η μελέτη φωτισμού ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου IV κατηγορίας καθώς επίσης ενός βοηθητικού γηπέδου και χώρων αποδυτήριων.

Για την επίτευξη των μελετών αυτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα για ηλεκτρονικούς υπολογιστές Dialux. Μέσω αυτού του προγράμματος μπορέσαμε να εξάγουμε αποτελέσματα έντασης οριζόντιας και κάθετης έντασης φωτισμού καθώς επίσης και θάμβωσης,

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο ασχολούμαστε κυρίως με αναφορές για την ιστορία του φωτισμού καθώς επίσης και σημαντικά πρόσωπα κυρίως περασμένων αιώνων που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ιστορία της εξέλιξης του φωτός.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο κάνουμε μια αναφορά σε γενικές έννοιες του φωτισμού που μας βοηθούν να κατανοήσουμε την έννοια και τον τρόπο λειτουργίας του φωτισμού.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο κάνουμε μια αναφορά σε λαμπτήρες φωτισμού που χρησιμοποιούνται κυρίως σε εξωτερικούς χώρους όπως και στη δίκη μας περίπτωση ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφερόμαστε στις προδιαγραφές της FIFA όσον αφορά τον φωτισμό ποδοσφαιρικών γηπέδων.

Στο 5<sup>ο</sup> αλλά και στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο ασχολούμαστε με την μελέτη φωτισμού γηπέδου IV κατηγορίας, βοηθητικού γηπέδου, αποδυτήριων και θα εξάγουμε από εκεί αναλυτικά αποτελέσματα για τις εντάσεις φωτισμού (οριζόντιου, κάθετου) καθώς επίσης και της θάμβωσης.

**Λέξεις κλειδιά:** Μελέτη φωτισμού, παρατηρητής UGR, θάμβωση, φως, φωτεινή ροή, οριζόντια ένταση φωτισμού, προδιαγραφές FIFA, ομοιομορφία φωτισμού, ποδοσφαιρικό γήπεδο, συστοιχίες φωτισμού.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ”

### 1.1 Βασικές έννοιες

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (οφθαλμό) και που εκλαμβάνεται ως αίσθηση (αντίληψη) αυτής. Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης.

Όμως η αντίληψη αυτή του "ορατού" φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (δηλαδή στα χρώματα του ουράνιου τόξου).

Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες το φως εκδηλώνει ιδιότητες είτε φωτεινού κύματος, (φωτεινή ακτίνα), είτε δέσμης σωματιδίων, (φωτεινή δέσμη ή δέσμες). Τα στοιχειώδη σωματίδια-κύματα (κβάντα) φωτός ονομάζονται φωτόνια.

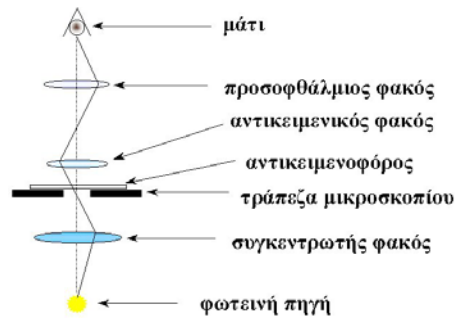
#### 1.1.1 Διάδοση του φωτός

Η διάδοση του φωτός στο χώρο γενικά ακολουθεί τις εξής αρχές:

Αρχή του Ήρωνα: Το φως διαδίδεται (από ένα σημείο στο αμέσως επόμενο) ακολουθεί, (οδεύοντας), την συντομότερη (χρονικά) οδό. (Η αρχή αυτή ισχύει για όλα τα οπτικά μέσα, ακόμη και για τα "μη ισότροπα", στα οποία η συντομότερη οδός διάδοσης του φωτός δεν είναι ευθεία. Ο Ήρωνας, αναφερόμενος στη συντομότερη οδό, εννοούσε το μήκος της διαδρομής).

Το φως σε ένα ισότροπο μέσο διαδίδεται ευθύγραμμα, όταν και ο χώρος είναι ισότροπος (πρέπει δηλαδή το φως να διέρχεται και από χώρο με μη έντονη διαβάθμιση της βαρύτητας ή καμπύλωσης του χωροχρόνου, όπως αυτή εξηγείται με τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας).

Αρχή του ελαχίστου χρόνου. Πρόκειται για την "αρχή του Ήρωνα" εκπεφρασμένη από τον Φερμά (1662) στην έννοια του χρόνου.



Σχήμα 1.1 Διάδοση του φωτός

## 1.2 Θεωρίες για τη φύση του φωτός

Ένα από τα σκοτεινότερα αλλά και ελκυστικότερα θέματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο ήταν και η φύση του φωτός. Η έρευνα γύρω από το πρόβλημα αυτό σύνδεσε μεγάλα ονόματα της επιστήμης. Πρώτος ο Ισαάκ Νεύτων (1643-1737) και στη συνέχεια ο φυσικός Ολλανδός Κρίστιαν Χόυχενς (1629-1695) ανέπτυξαν θεωρίες που για πολλά χρόνια αντιμάχονταν σε μεγάλο βαθμό. Το μεγάλο κύρος του πρώτου απέτρεπε κάθε ένσταση ή άλλη πρόταση ακόμη και συμβιβασμούς. Όταν όμως μια θεωρία δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε όλο το εύρος της τότε αυτή πάσχει. Έτσι κλονίζεται και παραχωρεί την θέση της σε άλλη. Αυτό συνέβη και με τη θεωρία του Νεύτωνα που δεν μπόρεσε ν'αντέξει ελέγχους και παρατηρήσεις που είχαν να κάνουν και από τις μετρήσεις της ταχύτητας του φωτός. Όμως το τελειωτικό κτύπημα δόθηκε από τον Γάλλο φυσικό Αυγουστίνo Φρενέλ (1788-1827) όταν ανακάλυψε το φαινόμενο της συμβολής ή αλληλοτυπίας του φωτός όπου φως προστιθέμενο σε φως άλλοτε γεννά εντονότερο και άλλοτε ασθενέστερο ακόμη και σκότος. Έτσι σύμφωνα μ'αυτά το φως χαρακτηρίζεται από κύματα και έτσι εδραιώθηκε η πεποίθηση της κυματικής φύσεως του φωτός. Στη συνέχεια οι Φυσικοί προχώρησαν στην ερμηνεία των φαινομένων της διάθλασης, της περίθλασης και της πόλωσης του φωτός.

Τότε όμως πρόβαλε μια άλλη δυσκολία που αφορούσε τη φύση του μέσου αν πάλλεται και πως πάλλεται και διαδίδει το φως. Και αυτή η δυσκολία παραμερίστηκε όταν ο Άγγλος φυσικός Τζέιμς Μάξγουελ απέδειξε θεωρητικά το 1870 ότι τα φωτεινά κύματα είναι κύματα ηλεκτρομαγνητικά περιοδικώς μεταβλητά κατά χρόνο και τόπο και ότι στην ουσία το μέσο διάδοσης είναι το ίδιο το κύμα, όπου πρακτικά η ηλεκτρική συνιστώσα ταξιδεύει πάνω στη μαγνητική και αντίστροφα. Τέλος όταν η θεωρία του Μάξγουελ επαληθεύτηκε στα πειράματα του Χερτζ το 1888 δεν έμεινε πλέον καμία αμφιβολία ότι τα κύματα του φωτός έχουν ηλεκτρομαγνητική φύση.

Έτσι είχαν τα πράγματα μέχρι το τέλος του αιώνα όταν ξεπρόβαλε νέα δυσκολία ακολουθίας της τελευταίας θεωρίας που ήταν ποιο έντονη και που αφορούσε ένα φαινόμενο που ήταν αδύνατον να ερμηνεύσει η κυματική. Ήταν το "φωτοηλεκτρικό" όπως ονομάστηκε. Παρατηρήθηκε δηλαδή πως όταν φωτεινή δέσμη μικρού μήκους κύματος προσπέσει σε μεταλλική πλάκα αποσπώνται απ' αυτή ηλεκτρόνια και μάλιστα αμέσως όσο ασθενές κι αν είναι το φως. Βέβαια για να αποσπασθεί ένα ηλεκτρόνιο απαιτείται κάποια ενέργεια. Αν επομένως το φως είναι κύμα, που έχει το χαρακτηριστικό της συνέχειας, θα έπρεπε να πέρναγε κάποιος χρόνος μέχρι αυτό το ηλεκτρόνιο να απορροφήσει ενέργεια για να αποσπασθεί λαμβανομένου υπόψη ότι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι ίδια όση απόσταση κι αν παρεμβάλλεται μεταξύ πηγής και πετάσματος. Οι παρατηρήσεις αυτές έφεραν σε πολύ δύσκολη θέση τους φυσικούς.

Πως να συμβιβάσουν την θεωρία με την παρατήρηση; Έτσι αν τα πειράματα ήταν ορθά θα έπρεπε να αναζητηθεί άλλη βάση της υψής του φωτός που να ερμηνεύει και το νέο πλέον παρατηρούμενο φαινόμενο. Στη δύσκολη αυτή θέση των Φυσικών στις 14 Δεκεμβρίου του 1900 ο φυσικός και καθηγητής του Πανεπιστημίου του Βερολίνου Μαξ Πλανκ (1858-1947) έκανε μια καταπληκτική ανακοίνωση που αποτέλεσε τη βάση της θεωρίας των κβάντα με την οποία και ανατράπηκε η μέχρι τότε αντίληψη περί της συνέχειας της ακτινοβολίας.

Οι δηλώσεις αυτές του Πλανκ πράγματι συγκλόνισαν όπως ήταν επόμενο τους φυσικούς που την αποδέχθηκαν στην αρχή με επιφυλάξεις και σκεπτικισμό. Στις επιφυλάξεις εκείνες που διέκοψαν τις περαιτέρω έρευνες το 1905 ακούσθηκε η επιδοκιμαστική φωνή του Αϊνστάιν που προχώρησε και σε πέρα των αρχικών θέσεων του Πλανκ και έδωσε την απόδειξη με την "κβαντική σύσταση του φωτός". Έτσι οι δισταγμοί υποχώρησαν και οι τότε φυσικοί εξοικειώθηκαν με την σύγχρονη αντίληψη.

Με την ανάπτυξη ακόμη της "μικροφυσικής" νέα ακόμη φαινόμενα ανακαλύφθηκαν που ήταν εξηγήσιμα με τη κυματική θεωρία αλλά όμως με την κβαντική ερμηνεύονταν καλύτερα. Έτσι μέσα απ' αυτόν τον υπέροχο δρόμο της έρευνας πραγματοποιείται η σύνθεση της θεωρίας του Νεύτωνα και της κυματικής του Χόυχενς, αφού το φωτόνιο του Πλανκ είναι κάτι και από τα δύο δηλαδή "σωμάτιο και κύμα".

### 1.2.1 Θεωρία του Newton

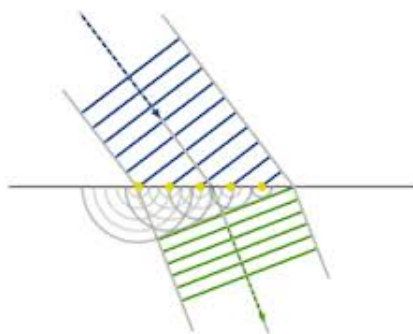
Η πρώτη θεωρία που εξηγούσε κάπως ικανοποιητικά ορισμένα από τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το φως διατυπώθηκε από τον Ισαάκ Νεύτωνα ο οποίος δεχόταν ότι τα φωτεινά σώματα εκπέμπουν σωματίδια, τα οποία κινούνται ευθύγραμμα και με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Τα σωματίδια αυτά ανακλώνται στο μάτι και προκαλούν τη ανάλογη αίσθηση, αντίληψη.



Σχήμα 1.2 Isaac Newton (1642 –1727)

### 1.2.2 Θεωρία Huygens

Σε μεγάλη αντιπαράθεση της προηγούμενης θεωρίας την ίδια εποχή υπήρξε αυτή του Huygens. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή το φως αποστέλλεται από κύματα κατά περιοδικές "διαταραχές" κάποιου υποθετικού μέσου, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί .



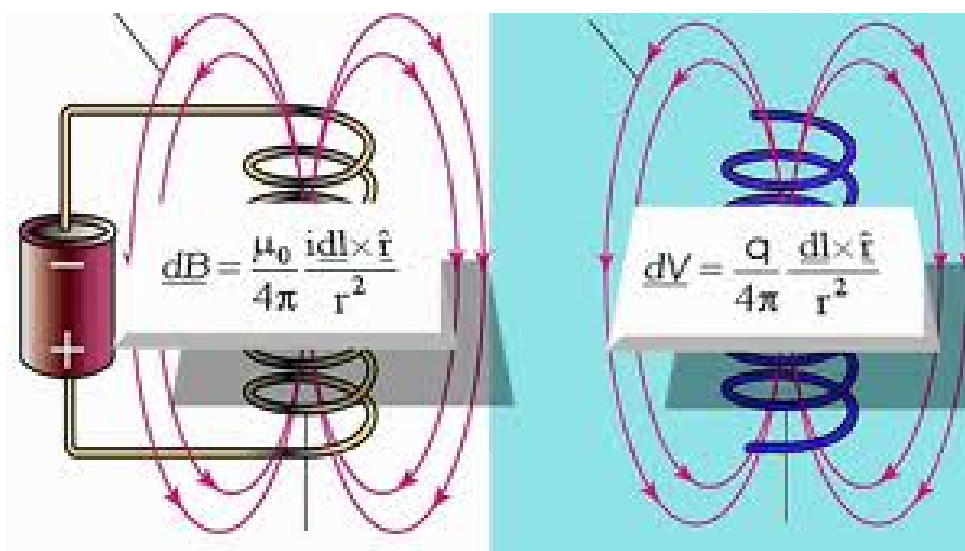
Σχήμα 1.3 Θεωρία Huygens

Εστίες των περιοδικών αυτών μεταβολών είναι οι φωτεινές πηγές των οποίων τα μόρια βρίσκονται σε "ταχύτατη κραδασμική κίνηση" ενώ το υποθετικό μέσον δια του οποίου

μεταδίδονται οι παλμικές κινήσεις είναι ο αιθέρας, ένα ελαστικό ακίνητο και αβαρές ρευστό με το οποίο πληρείται το σύμπαν. Ο αιθέρας αυτός φέρεται διάχυτος στο διάστημα μεταξύ των ουρανίων σωμάτων, προκειμένου έτσι να εξηγηθεί η εις το κενό διάδοση του φωτός αυτών των ουρανίων σωμάτων.

### 1.2.3 Θεωρία Maxwell

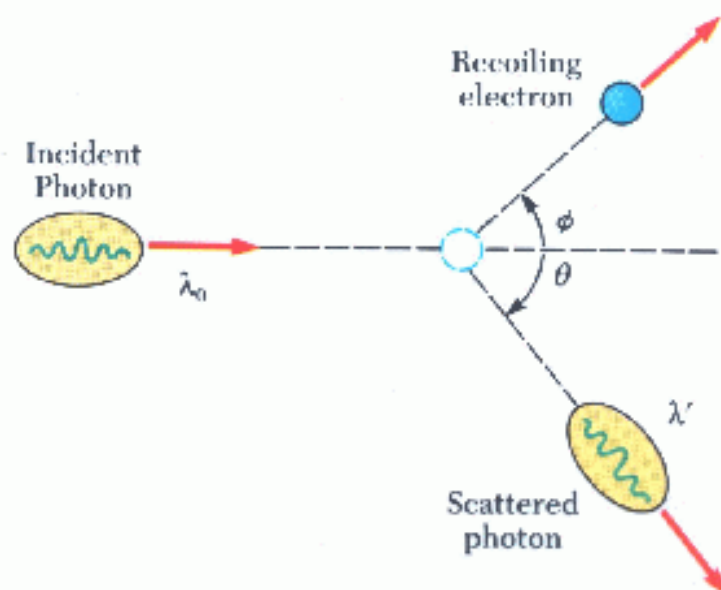
Σύμφωνα με την θεωρία αυτή που ονομάζεται και "ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Μάξγουελ" λαμβάνοντας ως βάση τη κυματική θεωρία του Χόυχεν, προτάθηκε ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ξεκινούν από φωτεινή πηγή (όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα). Η θεωρία αυτή επιβεβαιώθηκε αργότερα με τα πειράματα που έκανε ο Χερτζ.



Σχήμα 1.4 Θεωρία Maxwell

### 1.2.4 Κβαντική Θεωρία

Είναι η σημαντικότερη θεωρία της σύγχρονης Φυσικής. Από τις αρχές κιόλας του 20ου αιώνα, η ανάγκη της ανθρωπότητας για εξέλιξη των θετικών επιστημών, αποτέλεσε κίνητρο για τους επιστήμονες να ασχοληθούν σχολαστικότερα με διάφορα φαινόμενα ή καταστάσεις της ύλης.



Σχήμα 1.5 Φαινόμενο Compton

Η φυσική θεώρηση που δέσποζε μέχρι τότε, δηλαδή η Κλασσική Φυσική, παρουσίαζε σοβαρά ρήγματα. Αυτά τα προβλήματα αναδεικνύονταν κατά τη διεξαγωγή διάφορων πειραμάτων, όπως στη μελέτη πολύ μικρών μεγεθών (ατομικού μεγέθους) ή ακαριαίων γεγονότων (έρευνες για την ταχύτητα του φωτός), καθιστώντας τη Φυσική του Νεύτωνα και του Γαλιλαίου ανίκανες να εξηγήσουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Η θεωρία της κβαντικής φυσικής θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν απορρίπτει τη Νευτώνεια Φυσική. Η δεύτερη, μέχρι και σήμερα δίνει σαφείς απαντήσεις σε φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο Μακρόκοσμο, εφόσον φυσικά εξετάζουμε μεγάλα μεγέθη και σε μικρές ταχύτητες.

Όπως προαναφέρθηκε, οι νόμοι της Κλασσικής Φυσικής είναι μια ακραία περίπτωση των νόμων που διέπουν το Μικρόκοσμο. Αυτή η βαθμιαία συγκέντρωση και η κατόπιν η διατύπωση σε μια ενιαία θεωρία είναι ένα από τα σημαντικότερα κατορθώματα της σύγχρονης επιστήμης. Αυτή η διαδικασία συγκέντρωσης και διατύπωσης μπορεί να χωριστεί ιστορικά σε δύο φάσεις, από τις οποίες απορρέει και η σύνδεση της παλιάς με τη νέα κβαντική θεωρία.



### 1.2.5 Η Ταχύτητα του φωτός

Η ταχύτητα του φωτός είναι η ταχύτητα με την οποία το φως διαδίδεται στο κενό ή σε άλλα μέσα. Στο κενό όπου συμβολίζεται συνήθως με  $c$ , είναι 299.792.458 m/s (μέτρα το δευτερόλεπτο) σε μονάδες SI, δηλαδή κατά προσέγγιση 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο ή σε επιστημονική μορφή  $3 \cdot 10^8$  m/s.

Η ταχύτητα του φωτός στο "κενό" θεωρείται η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί, όχι μόνο από το φως αλλά και από τα υπόλοιπα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, άλλες μορφές μετάδοσης ενέργειας και από την ύλη

Η ταχύτητα αυτή είναι τόσο μεγάλη, ώστε αν ένας παρατηρητής κινούταν γύρω από τον ισημερινό της γης με αυτή την ταχύτητα θα ολοκλήρωνε το γύρω του κόσμου σε 13 εκατοστά του δευτερολέπτου. Άλλο παράδειγμα είναι ότι το φως του ήλιου φτάνει στη γη μετά από 8 λεπτά, αφότου εκπεμφθεί από την επιφάνειά του. Η ταχύτητα του φωτός δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το μέσο μέσα στο οποίο γίνεται η διάδοση.

Συγκεκριμένα, όταν το φως διαδίδεται σε κάποιο υλικό (όπως το γυαλί ή ο αέρας), η ταχύτητά του εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης του συγκεκριμένου υλικού· όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης, τόσο πιο μικρή είναι η ταχύτητα του φωτός μέσα στο υλικό. Η ταχύτητα του φωτός σε άλλα υλικά είναι κατά κανόνα μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό, ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι 1 και στα υπόλοιπα υλικά μεγαλύτερος του ένα.

Λόγω της αλλαγής της ταχύτητάς του καθώς μεταβαίνει από ένα μέσο σε άλλο με διαφορετικό δείκτη διάθλασης παρατηρείται το φαινόμενο της διάθλασης, γιατί ισχύει ο νόμος της συντομότερης διαδρομής του φωτός. Η ταχύτητα του φωτός στην αρχή μετρήθηκε με αστρονομικές μεθόδους - παρατηρήσεις. Πρώτος που μέτρησε την ταχύτητα του φωτός είναι ο Δανός Ραίμερ (Roemmer) το 1676. Δυο αιώνες μετά, οι Γάλλοι φυσικοί Ιππόλυτος Φιζώ (Hippolyte Fizeau) το 1849 και ο Ιωάννης Φουκώ κατάφεραν να μετρήσουν την ταχύτητα αυτή με φυσικές μεθόδους και με ικανοποιητικότερη ακρίβεια

### 1.2.6 Η Ανάλυση του φωτός

Όταν μια φωτεινή δέσμη λευκού φωτός συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφανών μέσων θα παρουσιάσει διάθλαση των φωτεινών της ακτινών με διαφορετικές διευθύνσεις και διαφορετικά χρώματα. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί καλύτερα αν η παράλληλη δέσμη του λευκού φωτός συναντήσει ένα διαφανές πρίσμα.

Επειδή αυτό παρουσιάζει διαφορές στη τιμή του δείκτη διάθλασης για κάθε διαφορετικό μήκος κύματος φωτεινής ακτίνας η αρχική δέσμη αναλύεται σε επιμέρους ομόχρωμες δέσμες με διαφορετικές διευθύνσεις. Αυτές οι διαφορετικές κατά χρώμα και διεύθυνση ακτίνες αν στη συνέχεια προσπέσουν σε μια λευκή οθόνη (πέτασμα) θα παρουσιάσει μια έγχρωμη ταινία που ονομάζεται «ορατό φάσμα».



Σχήμα 1.6 Ανάλυση φωτός

Τα άκρα αυτής της ταινίας απολήγουν με τα χρώματα κόκκινο και ιώδες. Η σειρά των χρωμάτων αυτών είναι: Κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, μπλε και ιώδες. Αν μια από αυτές τις αναδυόμενες οδηγηθεί σε άλλο πρίσμα θα διαπιστωθεί ότι αυτή δεν θα αναλυθεί περαιτέρω αλλά το μόνο που θα υποστεί θα είναι να αλλάξει διεύθυνση. Τούτο σημαίνει ότι τα φωτόνια της συγκεκριμένης δέσμης έχουν την αυτή συχνότητα, δηλαδή το ίδιο μήκος κύματος. Την ανάλυση του φωτός ως φάσμα, εξετάζει με ειδικά όργανα η Φασματοσκοπία

### 1.2.7 Η ανασύνθεση του φωτός

Κάθε σύνθετο φως μπορεί να υποστεί ανασύνθεση από τις συνιστώσες ακτίνες του. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν οι αναδυόμενες από ένα διαφανές πρίσμα μονοχρωματικές φωτεινές ακτίνες προσπέσουν σε όμοιο ισότροπο πρίσμα σε αντίστροφη διάταξη οπότε εξερχόμενες του δεύτερου θα συγκεντρωθούν σε ένα σημείο σχηματίζοντας μια λευκή κηλίδα. Αν το αρχικό φως δεν ήταν λευκό αλλά κάποιο άλλο σύνθετο, τότε η τελική κηλίδα θα έχει το αυτό χρώμα με το αρχικό. Μια τέτοια ανασύνθεση λευκού φωτός μπορεί να γίνει επίσης και με τον δίσκο του Νεύτωνα. Πρόκειται για ένα δίσκο που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και που είναι χρωματισμένος κατά τομείς με τα χρώματα του ορατού

φάσματος σε ίδια σειρά χρωμάτων. Μόνο που η επιφάνεια του κάθε χρωματιστού τομέα είναι ανάλογη της περιεκτικότητας των διαφόρων χρωμάτων στο λευκό φως.

Όταν λοιπόν ο δίσκος αυτός περιστρέφεται με ταχύτητα δημιουργείται στον οφθαλμό η εντύπωση του λευκού φωτός. Αυτό συμβαίνει διότι η εντύπωση του κάθε χρώματος παραμένει στο μάτι για  $1/16$  του δευτερολέπτου. Όμως στο χρόνο αυτό συμβαίνει να έχουν παρέλθει, με την ταχύτητα περιστροφής του δίσκου, όλα τα χρώματα.



Σχήμα 1.7 Δίσκος του Νεύτωνα

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ”

#### 2.1 Ένταση φωτισμού

Ονομάζεται το μέτρο, το οποίο μας δείχνει πόση φωτεινή ροή απλώνεται σε μια δεδομένη περιοχή. Κάποιος μπορεί να σκεφτεί την φωτεινή ροή (μετρήσιμη σε lumens) ως ένα μέτρο του συνολικού «ποσού» του ορατού παρόντος φωτός και η ένταση φωτισμού ως ένα μέτρο φωτισμού σε μια επιφάνεια. Μια δεδομένη ποσότητα του φωτός θα φωτίσει μια επιφάνεια πιο αμυδρά, αν έχει εξαπλωθεί σε μια ευρύτερη περιοχή, έτσι η ένταση φωτισμού είναι αντιστρόφως ανάλογη της περιοχής. Ένα lux είναι ίσο με ένα lumen ανά τετραγωνικό μέτρο

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{m}^{-2} \quad (2.1)$$

Ροή 1.000 lumens, συγκεντρωμένη σε ένα χώρο ενός τετραγωνικού μέτρου ισούται με φωτεινότητα 1.000 lux. Ωστόσο τα ίδια 1,000 lumens απλωμένα σε μία επιφάνεια δέκα τετραγωνικών μέτρων παράγει μία μειωμένης εντάσεως φωτεινότητα ίση με 100 lux.

Η επίτευξη έντασης φωτισμού 500 lux σε μία κουζίνα μπορεί να επιτευχθεί με ένα φωτιστικό σώμα, με λάμπα φθορισμού που παράγει 12.000 lumens. Για να φωτιστεί ένα πάτωμα εργοστασίου 12 φορές μεγαλύτερο από την περιοχή της κουζίνας θα απαιτούσε 12 τέτοια φωτιστικά. Έτσι, για να φωτιστεί μία μεγαλύτερη περιοχή στην οποία θα έχουμε 500 lux χρειάζεται μεγαλύτερος αριθμός lumens.

Πίνακας 2.1 Παραδείγματα έντασης φωτισμού

Φωτεινότητα	Παράδειγμα
0.002 lux	Καθαρός ουρανός χωρίς φεγγάρι
0.01 lux	1/4 του φεγγαριού
1 lux	Πανσέληνος πάνω απο τροπικά γεωγραφικά πλάτη
3.4 lux	Σκοτεινό όριο του αστικού λυκόφως κάτω από ένα καθαρό ουρανό
50 lux	Οικογενειακό σαλόνι
100 lux	Πολύ σκοτεινή συννεφιασμένη μέρα
400 lux	Ανατολή ή δύση του ηλίου
10,000–25,000 lux	Πλήρης φως της ημέρας (όχι άμεσο ηλιακό φως)
32,000–130,000 lux	Άμεσο ηλιακό φως

## 2.2 Φωτεινή Ροή

Από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπουν οι φωτεινές πηγές, ένα μικρό μέρος της ανήκει στην περιοχή της ορατής, δηλαδή ανάμεσα στα 400nm και τα 700nm. Οι παρατηρήσεις μας έδειξαν ότι το ανθρώπινο μάτι δεν ανταποκρίνεται το ίδιο σε όλα τα μήκη κύματος που είναι σε θέση να παρατηρήσει. Μια φωτεινή λυχνία π.χ. των 40W που εκπέμπει στην περιοχή του ερυθρού, φαίνεται λιγότερο φωτεινή από μία ίδιας ισχύος (40W) που εκπέμπει στην περιοχή του πράσινου. Το μήκος κύματος στο οποίο το μάτι παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία είναι το κιτρινοπράσινο των 555nm. Η φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει μια πηγή στη μονάδα του χρόνου και είναι υπεύθυνη για να διεγείρει την αίσθηση της όρασης ονομάζεται φωτεινή ροή (luminous flux)  $F$ . Μόνο το 10% της ισχύος που ακτινοβολεί μία κοινή λάμπα φωτισμού, είναι φωτεινή.

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το λούμεν (lumen) -lm, που ορίζεται σε σχέση με μια σταθερή πηγή όπως αυτή κατασκευάζεται από το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών. Ένα lm είναι η φωτεινή ροή (ή η ορατή ακτινοβολούμενη ισχύς) που εκπέμπεται από το  $1/60\text{cm}^2$  επιφανείας λευκόχρυσου στη θερμοκρασία τήξης του και περιέχεται σε μια στερεά γωνία 1 sr.

Σ' ένα πρότυπο λαμπτήρα πυρακτώσεως ο οποίος παράγει ένα συνεχές ορατό φάσμα, πρέπει να πάρουμε διάφορα χρονικά διαστήματα για τον προσδιορισμό της φωτεινής ροής. Για πηγές, όπως μια λάμπα ατμών υδραργύρου, όμως, αυτό είναι λίγο ευκολότερο. Ο υδράργυρος εκπέμπει φως κατά κύριο λόγο σε ένα συνεχές φάσμα, αυτό το καθιστά ευκολότερο να καθορίσει τη φωτεινή ροή του λαμπτήρα σε σχέση με αυτό το πυρακτώσεως.

Η φωτεινή ροή συνήθως δίνεται για ένα λαμπτήρα με βάση εργαστηριακές δοκιμές κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Για παράδειγμα, η φωτεινή ροή για ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως 100W είναι περίπου 1700 lm.

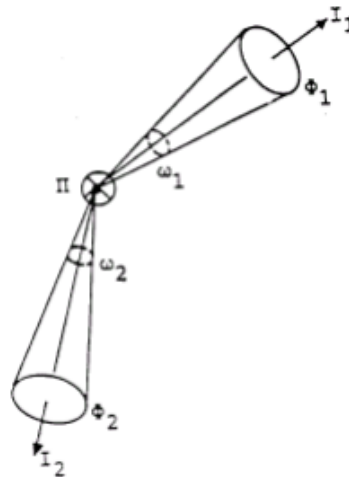
Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις πληροφορίες για παρόμοιες λάμπες. Έτσι, η μέση φωτεινή απόδοση για έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι περίπου 17 lm / W. Μπορούμε τώρα να χρησιμοποιήσουμε αυτό ως μια προσέγγιση για παρόμοιες πηγές πυράκτωσης σε διάφορες τιμές ισχύος.

## 2.3 Φωτεινή ένταση

Η φωτεινή ένταση  $I$  είναι ένα μέγεθος η εισαγωγή του οποίου καλύπτει την ανάγκη του καθορισμού του ποσού της φωτεινής ροής  $\Phi$  που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η φωτεινή ένταση  $I$  ορίζεται με το λόγο της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που εκπέμπει μία φωτεινή πηγή μέσα σε μία στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$ , προς τη γωνία αυτή:

$$I = d\Phi/d\omega \quad (2.2)$$

Η μονάδα της φωτεινής εντάσεως ονομάζεται Candela (Cd) και λαμβάνεται όταν μέσα σε στερεά γωνία 1 Sr ακτινοβολεί φωτεινή ισχύ 1 lm. Την μονάδα αυτή συνοδεύει και η κατεύθυνση παρατήρησης. Από τον ορισμό αυτό φαίνεται ότι η φωτεινή Ένταση  $I$  έχει τις ίδιες διαστάσεις με την φωτεινή ροή  $\Phi$ , γιατί το Sr είναι μονάδα χωρίς διαστάσεις



Σχήμα 2.1 Υπολογισμός φωτεινής έντασης

## 2.4 Λαμπρότητα

Η Λαμπρότητα  $L$  ορίζεται σαν ο λόγος της Φωτεινής Έντασης  $I$  της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν  $S$  της επιφάνειας της πηγής το οποίο βλέπει ο παρατηρητής, δηλαδή είναι:

$$L = \frac{I}{dS * \cos(\alpha)} \quad (2.3)$$

Είναι φανερό λοιπόν ότι Λαμπρότητα μαθηματικά είναι διανυσματικό μέγεθος και μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή της φωτεινής πηγής. Αν δύο σώματα έχουν την ίδια Φωτεινή Ένταση  $I$  αλλά διαφορετικές διαστάσεις είναι φανερό ότι το σώμα που για τον παρατηρητή «θα έχει το μικρότερο εμβαδόν» έχει την μεγαλύτερη Λαμπρότητα. Η μονάδα της Λαμπρότητας είναι το Nit (nt) που ισούται με:

$$nt = \frac{cd}{m^2} \quad (2.4)$$

Η Λαμπρότητα είναι ένα μέγεθος που αναφέρεται σε φωτοβολούσες επιφάνειες, άρα και σε ετερόφωτες φωτεινές πηγές. Η Λαμπρότητα των φωτιζόμενων επιφανειών και των φωτεινών πηγών αποτελεί σημαντική παράμετρο των μελετών φωτισμού, διότι σε αρκετές περιπτώσεις προκαλεί προβλήματα στην όραση και κόπωση του ματιού (οθόνες υπολογιστών, στυλπνές επιφάνειες κ.λπ.), ενώ γίνεται και πρόξενος ατυχημάτων (λαμπρότητα οδοστρωμάτων κ.λπ.). Τα προβλήματα αυτά είναι γνωστά ως το φαινόμενο της θάμβωσης.

## 2.5 Ανάκλαση

Ανάκλαση ονομάζεται το φαινόμενο της αλλαγής διεύθυνσης διάδοσης ενός μετώπου κύματος, μέσα στο ίδιο μέσο, από μια διαχωριστική επιφάνεια. Τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα ανάκλασης είναι αυτά των κυμάτων φωτός, ήχου και νερού. Οι επιφάνειες που προκαλούν το φαινόμενο της ανάκλασης ονομάζονται κάτοπτρα (καθρέπτες).

Ανακλαστική επιφάνεια ή κάτοπτρο: η επιφάνεια που συμβαίνει το φαινόμενο της ανάκλασης

Προσπίπτουσα ακτίνα: η φωτεινή ακτίνα που κατευθύνεται από τη φωτεινή πηγή προς το κάτοπτρο.

Ανακλώμενη ακτίνα: η φωτεινή ακτίνα που ξεκινάει από το κάτοπτρο, και φθάνει στον παρατηρητή.

Επίπεδο ανάκλασης: Το επίπεδο που ορίζεται από την προσπίπτουσα και ανακλώμενη ακτίνα.

Σημείο πρόσπτωσης: Το σημείο του κατόπτρου όπου προσπίπτει η ακτίνα και στη συνέχεια ανακλάται, το σημείο πρόσπτωσης είναι ταυτόχρονα και σημείο ανάκλασης.

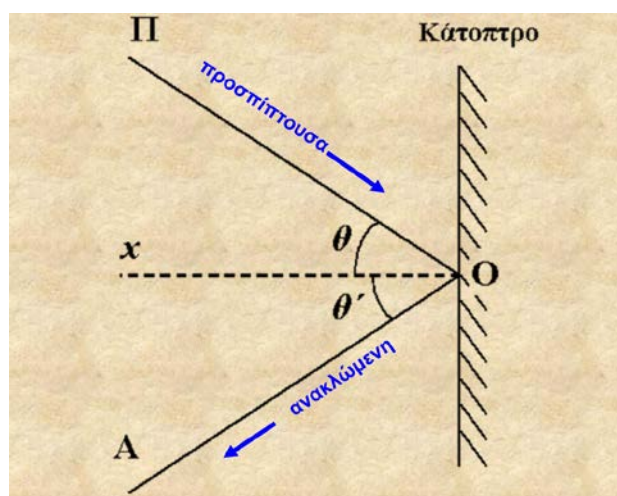
Γωνία πρόσπτωσης: η γωνία που σχηματίζεται από την προσπίπτουσα ακτίνα με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσης, από την οποία και μετράται.

Γωνία ανάκλασης: η γωνία που σχηματίζεται από την ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσης, από την οποία και μετράται.

Το φως μπορεί να ανακλαστεί κατοπτρικά (όπως στους καθρέφτες) ή να διαχυθεί (χωρίς να διατηρείται το είδωλο, αλλά μόνο η ενέργεια του κύματος). Ο τρόπος με τον οποίο ανακλάται το φως εξαρτάται από το υλικό την ανακλαστικής επιφάνειας. Επιπλέον, αν η επιφάνεια διαχωρίζει ένα διηλεκτρικό από ένα αγώγιμο υλικό τότε η φάση του κύματος μπορεί να αναστραφεί. Αντίθετα, όταν η επιφάνεια διαχωρίζει ένα διηλεκτρικό από ένα άλλο ηλεκτρικό υλικό τότε η φάση του κύματος δεν αναστρέφεται.

Το επίπεδο κάτοπτρο αποτελεί το συνηθέστερο αντικείμενο στο οποίο εμφανίζεται κατοπτρική ανάκλαση του φωτός. Είναι κατασκευασμένο από μια γυάλινη επιφάνεια, στο πίσω μέρος της οποίας υπάρχει μια μεταλλική επίστρωση στην οποία πραγματοποιείται η ανάκλαση. Επίσης, είναι δυνατόν να ανακλαστεί ένα κύμα στην επιφάνεια διαφανών υλικών, όπως νερό ή γυαλιού.

### 2.5.1 Ανάκλαση από επίπεδο κάτοπτρο



Σχήμα 2.2 Επίπεδο κάτοπτρο

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, μία ακτίνα φωτός (ΠΟ) προσπίπτει σε ένα κάτοπτρο στο σημείο Ο και ανακλάται από την επιφάνεια του (ακτίνα ΟΑ). Επιπλέον, θεωρούμε μια ευθεία κάθετη στο κάτοπτρο, που περνάει από το σημείο Ο (Οx). Ορίζουμε ως γωνία πρόσπτωσης την γωνία  $\theta$  και ως γωνία ανάκλασης την γωνία  $\theta'$ . Ο νόμος της ανάκλασης ορίζει ότι  $\theta = \theta'$ , δηλαδή ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με την γωνία ανάκλασης.



Στην πραγματικότητα το φως ανακλάται όταν διαδίδεται από ένα υλικό με συγκεκριμένο δείκτη διάθλασης σε ένα άλλο με διαφορετικό δείκτη. Γενικά, ένα ποσοστό του φωτός ανακλάται από την διαχωριστική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο διαθλάται. Η επίλυση των εξισώσεων του Μάξγουελ για μια δέσμη που προσπίπτει σε κάποιο σύνορο, οδηγούν στην δημιουργία των εξισώσεων Fresnel, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό του ποσοστού φωτός που θα ανακλαστεί. Υπάρχει μια συγκεκριμένη γωνία για την οποία μια δέσμη φωτός, που κινείται από ένα υλικό με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης προς ένα με μικρότερο, ανακλάται πλήρως.

Όταν φως διαδίδεται από ένα υλικό με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης (πυκνότερο υλικό) σε ένα με μικρότερο δείκτη, τότε κατά την ανάκλαση η φάση αντιστρέφεται κατά  $180^\circ$ . Αντίθετα, όταν διαδίδεται από ένα αραιότερο σε ένα πυκνότερο υλικό, κατά την ανάκλαση η φάση του κύματος διατηρείται.

## 2.6 Αντίθεση

Αντίθεση είναι η διαφορά στη φωτεινότητα και το χρώμα που κάνει ένα αντικείμενο να διακρίνεται στο περιβάλλον.

Στην οπτική αντίληψη του παρατηρητή καθορίζεται από τη διαφορά στο χρώμα και τη φωτεινότητα του αντικειμένου έναντι άλλων αντικειμένων εντός του ίδιου πεδίου.

Επειδή το ανθρώπινο οπτικό σύστημα είναι πιο ευαίσθητο σε αντίθεση από την απόλυτη λαμπρότητα, μπορούμε να αντιληφθούμε τον κόσμο ομοίως, ανεξάρτητα από τις τεράστιες αλλαγές στο φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας ή από τόπο σε τόπο. Η μέγιστη αντίθεση της εικόνας είναι ο λόγος αντίθεσης ή δυναμικό εύρος.

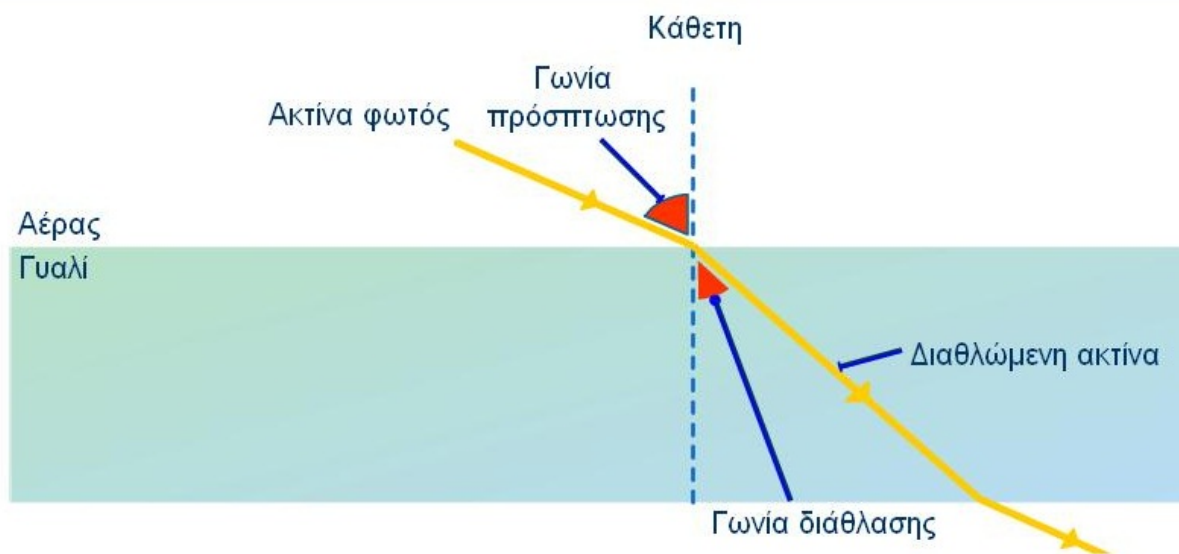
Αντίθεση είναι επίσης η διαφορά μεταξύ του χρώματος ή τη σκίαση του έντυπου υλικού σε ένα έγγραφο και το υπόβαθρο πάνω στο οποίο τυπώνεται, για παράδειγμα στην οπτική αναγνώριση χαρακτήρων

## 2.7 Διάθλαση

Γενικά διάθλαση ονομάζεται το φυσικό φαινόμενο της εκτροπής της ευθύγραμμης τροχιάς διάδοσης που υφίστανται φωτεινά ή άλλα κύματα όταν διέρχονται από ένα διαπερατό από αυτά μέσον σε έτερο (σχήμα 2.3).

Ιδιαίτερα, στην οπτική, διάθλαση φωτός χαρακτηρίζεται κάθε οπτικό φαινόμενο της εκτροπής της διεύθυνσης των φωτεινών ακτινών κατά τη μετάβασή τους από ένα διαπερατό

μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης  $n_1$  σε άλλο μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης  $n_2 \neq n_1$ .



Σχήμα 2.3 Διάθλαση φωτός

Η διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων ονομάζεται δίοπτρο. Το φαινόμενο αυτό, που οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα διάδοσης του φωτεινού κύματος και που εξαρτάται από το διαπερατό μέσο στο οποίο διαδίδεται το κύμα εξετάζει η Κυματική οπτική. Αντίθετα τη μελέτη των γωνιών εξετάζει η Γεωμετρική οπτική.

Η σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης με τη γωνία διάθλασης, ως προς την κάθετο, στη διαχωριστική επιφάνεια είναι γνωστή ως "Νόμος του Σνελ".

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.5)$$

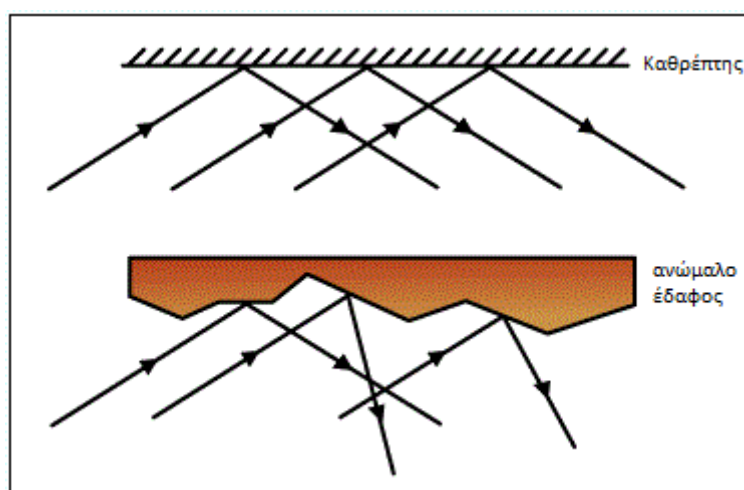
Για μικρές γωνίες  $\theta$  είναι δυνατό να γίνει η προσέγγιση  $\sin \theta \simeq \theta$ . Από αυτή την προσέγγιση προκύπτουν και τα γεωμετρικά σφάλματα φακών.

Εκ των παραπάνω συνάγεται ότι στο κενό η πορεία των φωτεινών ακτινών παραμένει αμετάβλητη, όταν δεν εκτρέπεται από βαρυτικά πεδία, όπως επίσης αμετάβλητη παραμένει κατά την διάδοσή τους μέσα σε ισόπυκνο διαπερατό μέσο π.χ. νερό, γυαλί κ.λπ.

Στην περίπτωση που φωτεινές ακτίνες διερχόμενες από ένα μέσον πέσουν κάθετα στην επιφάνεια του άλλου, τότε η γωνία πρόσπτωσης είναι μηδενική με αποτέλεσμα και η γωνία διάθλασης να είναι και αυτή μηδενική π.χ. ακτίνες φωτός από τον αέρα προσπίπτουσες κάθετα σε νερό συνεχίζουν στην ίδια διεύθυνση

## 2.8 Διάχυση φωτός

Η διάχυση του φωτός είναι ειδική περίπτωση του φαινομένου της ανάκλασης που παρατηρείται όταν φωτεινά κύματα κατά τη πρόσπτωσή τους σε σώματα με ακανόνιστες επιφάνειες ανακλώνται προς διάφορες κατευθύνσεις (σχήμα 2.10). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ενός εξαιρετικά μεγάλου αριθμού λείων μικροσκοπικών επιφανειών που απαρτίζουν τις ακανόνιστες ή τραχιές επιφάνειες των σωμάτων



Σχήμα 2.4 Διάχυση φωτός

Έτσι η ανάκλαση από τις μικροσκοπικές αυτές επιφάνειες παρουσιάζεται και αυτή ακανόνιστη με συνέπεια το φως να διαχέεται και να ονομάζεται “διάχυτο φως”.

## 2.9 Θάμβωση

Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε κάποιος να αισθάνεται ενόχληση και μείωση της ικανότητας να διακρίνει αντικείμενα εξαιτίας της μη κατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας, λόγω υπερβολικών αντιθέσεων λαμπρότητας. Πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι η Θάμβωση μπορεί να αποφευχθεί όταν μεταξύ των σημείων του οπτικού πεδίου με την μέγιστη και την ελάχιστη λαμπρότητα ισχύει η σχέση:

$$\frac{L_{max} - L_{min}}{L_{min}} \leq 10\% \quad (2.6)$$

Η Θάμβωση παρουσιάζεται με τρεις μορφές:

Την απόλυτη Θάμβωση (dazzle), η οποία οφείλεται σε υπερβολικά μεγάλη λαμπρότητα μέσα στο οπτικό πεδίο (τιμές μεγαλύτερες από 10.000 cd/m<sup>2</sup>).

Την ψυχολογική Θάμβωση ή Θάμβωση ενόχλησης (psychological glare, discomfort glare), κατά την οποία δημιουργείται μία δυσφορία και μία έλλειψη άνεσης.

Την φυσιολογική Θάμβωση ή Θάμβωση ανικανότητας (psychological glare, disability glare), η οποία όπως και η απόλυτη Θάμβωση συνδέεται με τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός σε όλο το οπτικό πεδίο, το οποίο μειώνει την αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ ενός αντικειμένου και του περιβάλλοντος του. Αντιστοιχεί λοιπόν σε μια πρόσθετη λαμπρότητα (ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου-Veiling Equivalent Luminance (L<sub>seq</sub>)), που επικάθεται στο οπτικό πεδίο μειώνοντας την αντίθεση λαμπρότητας. Το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί ο φωτισμός του περιβάλλοντος για να γίνει ένα αντικείμενο ορατό και πάλι ορίζεται ως προσαύξηση κατωφλίου της λαμπρότητας του περιβάλλοντος (Threshold Increment, TI).

## 2.10 Φωτορύπανση

Με τον όρο φωτορύπανση περιγράφουμε το φαινόμενο του υπερβολικού και λανθασμένου φωτισμού των αστικών περιοχών και τις συνέπειές του. Τα άφθονα φώτα των πόλεων ανακλώνται και διαχέονται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα το γνωστό σε όλους φωτισμένο ουρανό των αστικών περιοχών.

Η φωτορύπανση είναι ένα φαινόμενο με επιπτώσεις σε διάφορους τομείς της ζωής του ανθρώπου αλλά και με επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συνήθως, σε πρώτη επαφή με το πρόβλημα έρχεται κανείς από τη διαπίστωση ότι ο έναστρος ουρανός έχει πια εξαφανιστεί από τις περισσότερες αστικές περιοχές, χαμένος σε ένα περιβάλλον άφθονου τεχνητού φωτισμού. Η αποκοπή του σύγχρονου ανθρώπου των πόλεων από τον έναστρο ουρανό, που τόσο τον ενέπνευσε για τέχνη και επιστήμες στην πορεία των αιώνων, είναι μόνο η μία πλευρά του ζητήματος.

Η φωτορύπανση έχει επιπτώσεις και στον άνθρωπο, στο περιβάλλον, στην πανίδα και στη χλωρίδα, αλλά και σημαντική οικονομική σημασία καθώς είναι δείγμα σπατάλης πολύτιμων ενεργειακών πόρων.

## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ”

#### 3.1 Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης (ΝΥΠ) είναι αυτή τη στιγμή οι πιο αποδοτικές πηγές λευκού φωτός που υπάρχουν στην αγορά.

Αναπτύχθηκαν και εισήχθησαν το 1968 ως ενεργειακά αποδοτικές πηγές για εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους, για φωτισμό ασφαλείας και για βιομηχανικό φωτισμό ενώ είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες και στο φωτισμό δρόμων. Λόγω της μεγάλης αποδοτικότητας και διάρκειας ζωής οι σημερινοί λαμπτήρες ΝΥΠ είναι επίσης κατάλληλοι για φωτισμό εσωτερικών χώρων, ιδιαίτερα σε μέρη όπου η χρωματική απόδοση δεν είναι υψηλών απαιτήσεων.



Σχήμα 3.1 Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης

Σε ένα λαμπτήρα ΝΥΠ περιέχεται ένα μείγμα από ξένο, νάτριο και ψευδάργυρο. Το αέριο ξένο το οποίο ιονίζεται εύκολα, διευκολύνει την εκδήλωση του τόξου όταν εφαρμόζεται τάση στα ηλεκτρόδια. Η θερμότητα που παράγεται, ατμοποιεί τον ψευδάργυρο και το νάτριο. Ο ατμοποιημένος πλέον ψευδάργυρος αυξάνει την πίεση των αερίων και το νάτριο παράγει τελικά φως όταν η πίεση μέσα στη λάμπα είναι επαρκής. Οι λάμπες νατρίου υψηλής πίεσης είναι το πιο αποδοτικό τεχνητό λευκό φως με περίπου το 29% της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τη λάμπα να παράγει φως.

### 3.1.1 Εφαρμογές

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης, αντίθετα με τις περισσότερες μεταλλικών αλογονιδίων, δεν απαιτούν προστατευτικό περιβλήμα πέραν της προστασίας της λάμπας από την υγρασία. Αυτό κάνει τους λαμπτήρες NYΠ ιδιαίτερα εύκολους στη χρήση σε οποιοδήποτε τύπο υποδοχέα. Η θερμοκρασία χρώματος στις λάμπες NYΠ δεν ποικίλει πολύ. Ενώ οι «ποιοτικές» λάμπες NYΠ έχουν ένα σχετικά υψηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) 65, η θερμοκρασία χρώματός τους (2100-2200 K) δεν διαφέρει πολύ από αυτή των απλών λαμπτήρων NYΠ, η οποία κυμαίνεται από 1900K ως 2100K.

Όλες οι λάμπες NYΠ, εκτός από τις «λευκές», εμφανίζουν ένα χρυσό-ροζ χρώμα και δεν συνιστώνται για μη βιομηχανική εσωτερική χρήση. Οι λάμπες NYΠ προσφέρονται σε μεγέθη που κυμαίνονται από 35 ως 1000 Watt. Οι αποδόσεις είναι από 70 έως 120 lumens/watt (μαζί με το ballast) και αυξάνονται με την ισχύ. Τα ηλεκτρονικά ballast που έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνισή τους, θα βελτιώσουν την απόδοση του όλου συστήματος.

### 3.1.2 Ballast

Οι λάμπες NYΠ απαιτούν ballast για να ρυθμίζουν τη ροή ρεύματος και να παρέχουν τη σωστή τάση στο τόξο. Οι λάμπες NYΠ δεν περιέχουν ηλεκτρόδια εκκίνησης. Ανταυτού, ένα ηλεκτρονικό σύστημα εκκίνησης με ballast παράγει έναν παλμό υψηλής τάσης στα ηλεκτρόδια. Το παραδοσιακό ballast είναι ένα είδος μετασχηματιστή που μερικές φορές συνδυάζεται με μια συσκευή ανάφλεξης. Αυτό το ballast είναι γνωστό ως «μαγνητικό». Ένα υψηλής τάσης και χαμηλής συχνότητας ρεύμα εφαρμόζεται αμέσως στη λάμπα για την ανάφλεξη και μόλις το κύκλωμα μέσα στη λάμπα κλείσει, το ρεύμα επανέρχεται στην τάση λειτουργίας. Υπάρχουν διάφορα είδη αυτών των παραδοσιακών ballast αλλά όλα έχουν τις ακόλουθες «ατέλειες»:

- Ανεπαρκή λειτουργία
- Έντονη θέρμανση κατά τη λειτουργία
- Μεγάλο βάρος
- Ευαισθησία στη βύθιση τάσης
- Μειώνουν τη διάρκεια ζωής της λάμπας λόγω της απότομης εκκίνησης και της χαμηλής συχνότητας
- Δύσκολος και δαπανηρός ο έλεγχος του φωτισμού (dimming)

Στις μέρες μας, ειδικά στις λάμπες NYΠ, χρησιμοποιούνται κυρίως μαγνητικά ballast.

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες για να αναπτυχθούν ηλεκτρονικά ballast για λάμπες ΝΥΠ. Οι προσπάθειες αυτές είχαν αποτέλεσμα και έτσι πολλές μεγάλες εταιρείες φωτισμού παρουσίασαν στην αγορά, σχετικά πολύ πρόσφατα, τα πρώτα ηλεκτρονικά ballast για λάμπες ΝΥΠ. Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών ballast είναι ήδη γνωστά από την εφαρμογή τους σε λάμπες φθορισμού, καλύτερες δυνατότητες dimming κλπ).

Όμως στο χώρο των λαμπτήρων ΝΥΠ δεν υπάρχει ιδιαίτερη εμπειρία από την εφαρμογή τους καθώς όπως είπαμε η τεχνολογία είναι πολύ πρόσφατη. Ωστόσο έχουν γίνει ήδη κάποιες μελέτες και πειραματικές εφαρμογές που έχουν καταλήξει σε μερικά πρώτα και αισιόδοξα αποτελέσματα για το μέλλον των ηλεκτρονικών ballast.

### **3.2 Λαμπτήρες ατμού υδράργυρου**

Οι λαμπτήρες υδραργύρου κατηγοριοποιούνται με βάση την κατασκευαστική δομή τους σε:

- ΑΠΛΟΙ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (HQL)
- ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΜΙΚΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ
- ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΜΕ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΑ ( HQI)

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου αντικατέστησαν στην πλειοψηφία τους, τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Το αρχικό τους κόστος είναι υψηλό και απαιτείται και η χρήση ballast, όμως η υψηλή τους απόδοση και η μεγάλη χρονική διάρκεια ζωής τους, τους κάνουν περισσότερο επιθυμητούς από τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Το μπλε-λευκό χρώμα του καθαρού λαμπτήρα είναι γενικά αποδεκτό. Ένας λαμπτήρας φωσφορούχου επίστρωσης χαρακτηρίζεται από υψηλότερη έξοδο και περισσότερο ευχάριστη απόδοση χρώματος.

### **3.3 Λαμπτήρες μεταλλικών αλογόνων**

Μοιάζουν κατά πολύ κατασκευαστικά με τους λαμπτήρες Hg, η μεγαλύτερη διαφορά είναι ότι ο σωλήνας του τόξου μεταλλικών αλογονιδίων εμπεριέχει διάφορα μεταλλικά αλογονίδια επιπρόσθετα με τον Hg και το αργό. Όταν ο λαμπτήρας φτάσει την τελική θερμοκρασία λειτουργίας, τα μεταλλικά αλογονίδια στο σωλήνα εξατμίζονται μερικώς. Όταν οι ατμοί των αλογονιδίων πλησιάσουν την υψηλή θερμοκρασία του κεντρικού πυρήνα της εκκένωσης, διασπώνται σε αλογονίδια και μέταλλα, όπου τα τελευταία ακτινοβολούν το φάσμα τους. Καθώς τα άτομα των αλογονιδίων και των μετάλλων κινούνται πλησίον του

ψυχρότερου τοιχίου του σωλήνα, επανενώνονται και ξεκινά ξανά ο κύκλος. Σε σύγκριση με τους λαμπτήρες υδραργύρου, η απόδοση αυτών των λαμπτήρων είναι σημαντικά βελτιωμένη, η οποία κυμαίνεται στα επίπεδα του 75 -125 Lm/Watt, χωρίς τις απώλειες του ballast

Μειονέκτημά τους είναι η σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής. Νεότεροι τύποι λαμπτήρων που αναφέρονται ως Κεραμικοί μεταλλικών αλογονιδίων έχουν κάνει την εμφάνισή τους με καλύτερα χαρακτηριστικά φωτισμού και διάρκειας ζωής. Όπως και οι λάμπες ατμών νατρίου κι αυτές οι λάμπες «βγαίνουν» σε δύο τύπους, τις κανονικές και αυτές που έχουν επιδεχθεί διόρθωση χρώματος (HQI). Οι τύποι HQI εκπέμπουν ένα «συμπαγές» ηλιακό φάσμα, σε αντίθεση με τις κανονικές που παράγουν πολύ κίτρινο, λίγο κυανό και όχι πολύ ερυθρό. Αντίθετα με τις ατμών Νατρίου, αυτές οι λάμπες είναι χρησιμότερες και οι καταλληλότερες για συστήματα υψηλών απαιτήσεων σε φως. Μπορούν να βρεθούν σε ισχύ διακόσια πενήντα (250), τετρακόσια (400) και χίλια (1.000) Watts, από τους περισσότερους κατασκευαστές, αλλά μπορεί κανείς να βρει ακόμη και ισχύος εβδομήντα (70) ή και εκατόν πενήντα (150) Watts.

#### **Χαρακτηριστικά λαμπτήρα**

- Προσθήκη μεταλλικών αλογόνων (κυρίως ιωδίδιο)
- Εκκίνηση και λειτουργία ίδια με τον λαμπτήρα ατμών Hg (~5min)
- Μικρότερη διάρκεια ζωής λόγω ανάγκης για μεγαλύτερες τάσεις
- Πιο συνεχές φάσμα

#### **3.3.1 Έναυση λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων**

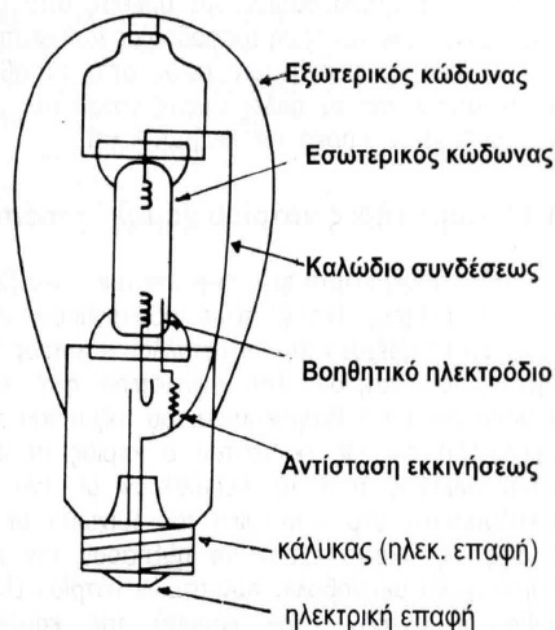
Η μέθοδος για την εκκίνηση των περισσότερων λαμπτήρων κάτω από 150 Watt αυτού του τύπου, είναι ο ίδιος με αυτόν των λαμπτήρων υδραργύρου. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της παρουσίας του αλογονιδίου, απαιτείται υψηλότερο επίπεδο τάσης έναυσης σε σύγκριση με τους λαμπτήρες υδραργύρου. Λόγω των εξαιρετικά μικρών διαστάσεων του σωλήνα τους, οι λαμπτήρες κάτω από 75Watt δεν χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια έναυσης. Αυτοί οι λαμπτήρες απαιτούν ειδικά κυκλώματα ballasting τα οποία περιλαμβάνουν μια ηλεκτρονική συσκευή που παράγει παλμούς υψηλής τάσης για την έναυση του λαμπτήρα. Καθώς ο λαμπτήρας θερμαίνεται, θα παρατηρηθούν αλλαγές στον χρωματισμό οφειλόμενες στην εξάτμιση κάθε φορά των διάφορων αλογονιδίων, μέχρι να φτάσει το χρώμα και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ισορροπίας μετά από 2-10 λεπτά, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα.

Καθώς αυτός ο τύπος λαμπτήρα λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τον λαμπτήρα υδραργύρου, ο χρόνος ψύξης και μείωσης της πίεσης του ατμού είναι γενικά



μεγαλύτερος. Για τον λόγο αυτό ο χρόνος επανεύανσης (restriking time) μπορεί να φτάσει τα 15 λεπτά.

Για την σωστή έναυση και λειτουργία των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων υπεράνω των 150 Watt χρησιμοποιείται συνήθως ballast lead peaked αυτομετασχηματιστή (lead peaked autotransformer). Η ρύθμιση ενός τέτοιου ballast είναι αρκετά καλή, ενώ μία διακύμανση της τάσης της γραμμής της τάξης του 10% προκαλεί μία αλλαγή 7 -10% στην ισχύ του λαμπτήρα. Αυτού του είδους το ballast έχει παρόμοια λειτουργία και απόδοση με το ballast αυτομετασχηματιστή σταθερής ισχύος και για το λόγο αυτό οι standard λαμπτήρες υδραργύρου μπορούν να λειτουργήσουν με αυτό το ballast. Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων κάτω από 175 Watt συνδυάζονται συνήθως με ballast τύπου lag reactor ή αυτομετασχηματιστή υψηλής άεργου αντιστάσεως όπου χρησιμοποιούνται πυκνωτές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος. Η ρύθμιση της ισχύος του λαμπτήρα σε σχέση με τη διακύμανση της τάσης της γραμμής είναι ανεπαρκής, ενδεικτικά μία διακύμανση της τάσης του δικτύου κατά 5% θα έχει σαν αποτέλεσμα μεταβολή της ισχύος κατά 12%. Η μακροπρόθεσμη λειτουργία του λαμπτήρα σε ασταθή δίκτυα θα οδηγήσει στην μείωση της ζωής του λαμπτήρα. Για την έναυση, απαιτείται ένα ξεχωριστό ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο θα παρέχει υψίσυχνους παλμούς μεταξύ 3 έως 5 mV. Τα κυκλώματα αυτά συνήθως χρησιμοποιούν ένα τύλιγμα του ballast.



Σχήμα 3.2 Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΗΣ FIFA”

#### 4.1 Γενικά

Ο πρωταρχικός στόχος της μελέτης φωτισμού που θα πραγματοποιηθεί για το κατεξοχήν γήπεδο είναι να καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερο τις προδιαγραφές της FIFA ανάλογα με τη κατηγορία στην οποία ανήκει.

Ανάλογα με την κατηγορία όπου ανήκει το γήπεδο που θα γίνει η μελέτη θα πρέπει να ληφθούν όλες οι απαραίτητες παράμετροι ώστε τηλεοπτικά συνεργεία (αν υπάρχουν) , θεατές, παίκτες, επιτελεία των ομάδων, διαιτητές, υπάλληλοι γηπέδου και λοιποί που θα παρευρίσκονται στο χώρο την ώρα τέλεσης αγώνων να έχουν την όσο το δυνατόν καλύτερη οπτική άνεση χωρίς να υπάρχει θάμβωση, υπερβολικό φως που να δυσκολεύει να εκτελεστούν οι δραστηριότητες του καθενός στο έπακρο.

Θα πρέπει δηλαδή τα τηλεοπτικά συνεργεία να έχουν τον κατάλληλο φωτισμό σε όλα τα σημεία που έχουν ορίσει να τοποθετήσουν κάμερες ώστε και να μπορούν να μεταδώσουν όσο το δυνατόν καλύτερα το τηλεοπτικό γεγονός.

Το ίδιο ισχύει και με τους παίκτες και διαιτητές που θα πρέπει μέσα στον αγωνιστικό χώρο ο φωτισμός να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος, να υπάρχει όσο το δυνατόν μικρότερη θάμβωση.

#### 4.2 Κατηγορίες γηπέδων

Υπάρχουν 5 κατηγορίες ποδοσφαιρικών γηπέδων 2 εξ αυτών είναι με τηλεοπτική κάλυψη και 3 με μη τηλεοπτική κάλυψη (πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1 Κατηγορίες γηπέδων

<b>Κατηγορία V</b>	Διεθνείς αγώνες με τηλεοπτική κάλυψη
<b>Κατηγορία IV</b>	Εθνικοί αγώνες με τηλεοπτική κάλυψη
<b>Κατηγορία III</b>	Εθνικοί αγώνες μη τηλεοπτικής κάλυψης Το γήπεδο πρέπει να φωτίζεται με τουλάχιστον 8 στύλους.
<b>Κατηγορία II</b>	Μικρές κατηγορίες μη τηλεοπτικής κάλυψης Το γήπεδο πρέπει να φωτίζεται με τουλάχιστον 6 στύλους.
<b>Κατηγορία I</b>	Προπόνησης και αναψυχής μη τηλεοπτικής κάλυψης Το γήπεδο πρέπει να φωτίζεται με τουλάχιστον 4 στύλους.

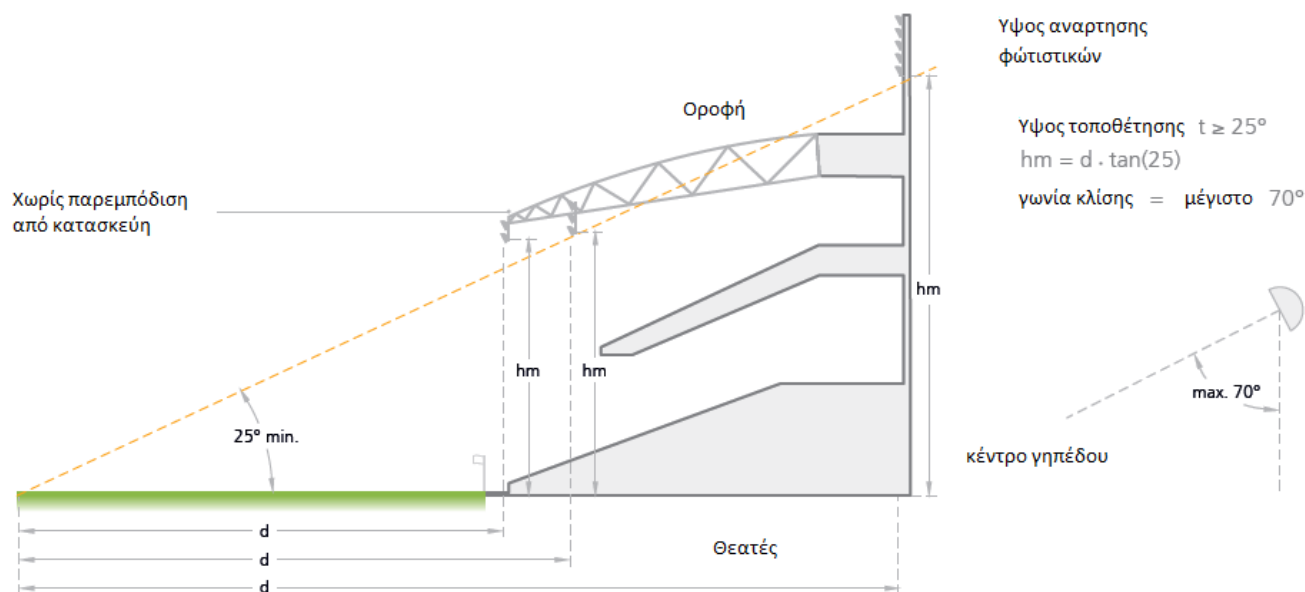
### 4.3 Τοποθέτηση φωτιστικών

#### 4.3.1 Ύψος των φωτιστικών

Το ύψος τοποθέτησης των φωτιστικών είναι πολύ σημαντικό για την επιτυχία και τον σωστό φωτισμό του γηπέδου.

Για να προσδιορίσουμε το ύψος της ανάρτησης βλέπε (σχήμα 4.1) της κεφαλής του στύλου θα πρέπει με μια νοητή γραμμή από το κέντρο του γηπέδου και με γωνία από 25° έως μέγιστο 45° από το οριζόντιο επίπεδο του αγωνιστικού χώρου και προς τα πάνω και καλύπτοντας την απόσταση  $d$  με κατεύθυνση το σημείο που έχει οριστεί να τοποθετηθούν τα φωτιστικά να βρούμε το σωστό σημείο για το ύψος τοποθέτησης.

Στις προδιαγραφές η FIFA μας δίνει ένα εύρος 20° γιατί κατασκευαστικά τα περισσότερα γήπεδα διαφέρουν και το ύψος μπορεί να αλλάζει ανάλογα με το αν υπάρχει στέγαστρο η όχι, ανάλογα πως είναι σχεδιασμένο το καθένα από αυτά με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα εύρος τιμών από 25°- 45° της γωνίας που να δίνει την δυνατότητα στους κατασκευαστές να μην περιοριστούν στον τρόπο σχεδίασης του εκάστοτε γηπέδου-σκέπαστρου.



Σχήμα 4.1 Τρόπος τοποθετήσεις φωτιστικών

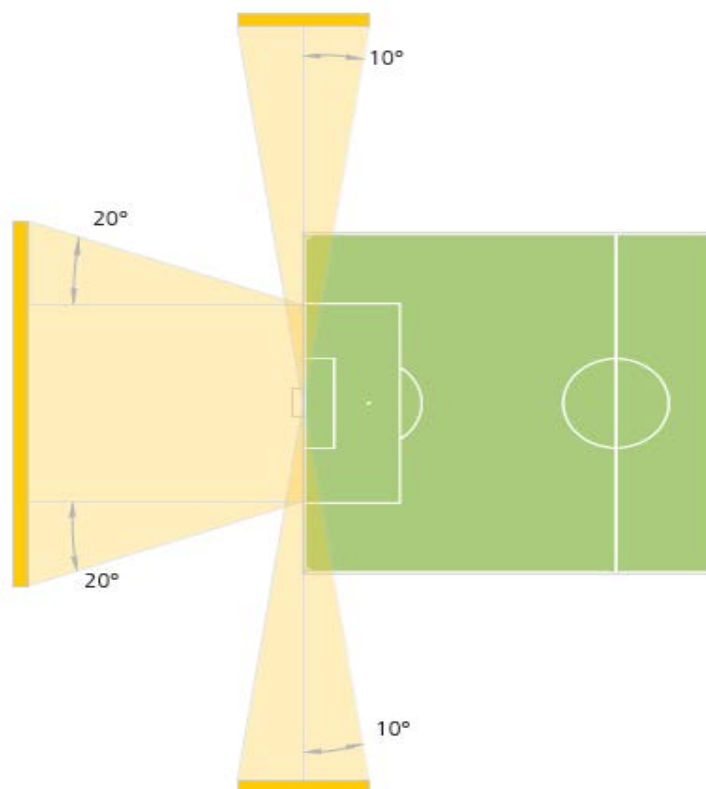
Όπως βλέπουμε στο σχήμα 4.1 για να προσδιοριστεί το ύψος τοποθέτησης υπάρχει ο τύπος  $hm = d \cdot \tan(25^\circ - 45^\circ)$ . Η γωνία στόχευσης του φωτιστικού δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις  $70^\circ$  παίρνοντας σαν σημείο αναφοράς τον κάθετο επίπεδο και κατεύθυνση προς το κέντρο του γηπέδου.

#### 4.3.2 Περιοχή γραμμής άουτ

Τα φωτιστικά δεν θα πρέπει να τοποθετούνται μέσα σε μια γωνία  $10^\circ$  από το κέντρο της εστίας και προς το πλάγιο άουτ (όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.2), έτσι ώστε να μην υπάρχει ενόχληση, στους παίκτες και διαιτητές την ώρα διεξαγωγής του αγώνα.

Επίσης στο σχήμα βλέπουμε και τα σημεία πίσω από την εστία που ενδείκνυται να τοποθετηθεί φωτισμός και ο λόγος είναι ότι οι επιτιθέμενοι παίκτες που έχουν κατεύθυνση προς την εστία θα επηρεάζονται από τον φωτισμό.

Εκτός από τους παίκτες που πιθανόν να επηρεάζονται από φωτισμό, υπόψη πρέπει να ληφθούν και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης που είναι πολύ σημαντικό να έχουν όσο τον δυνατόν καλύτερη εικόνα για να μεταδώσουν το γεγονός τηλεοπτικά.



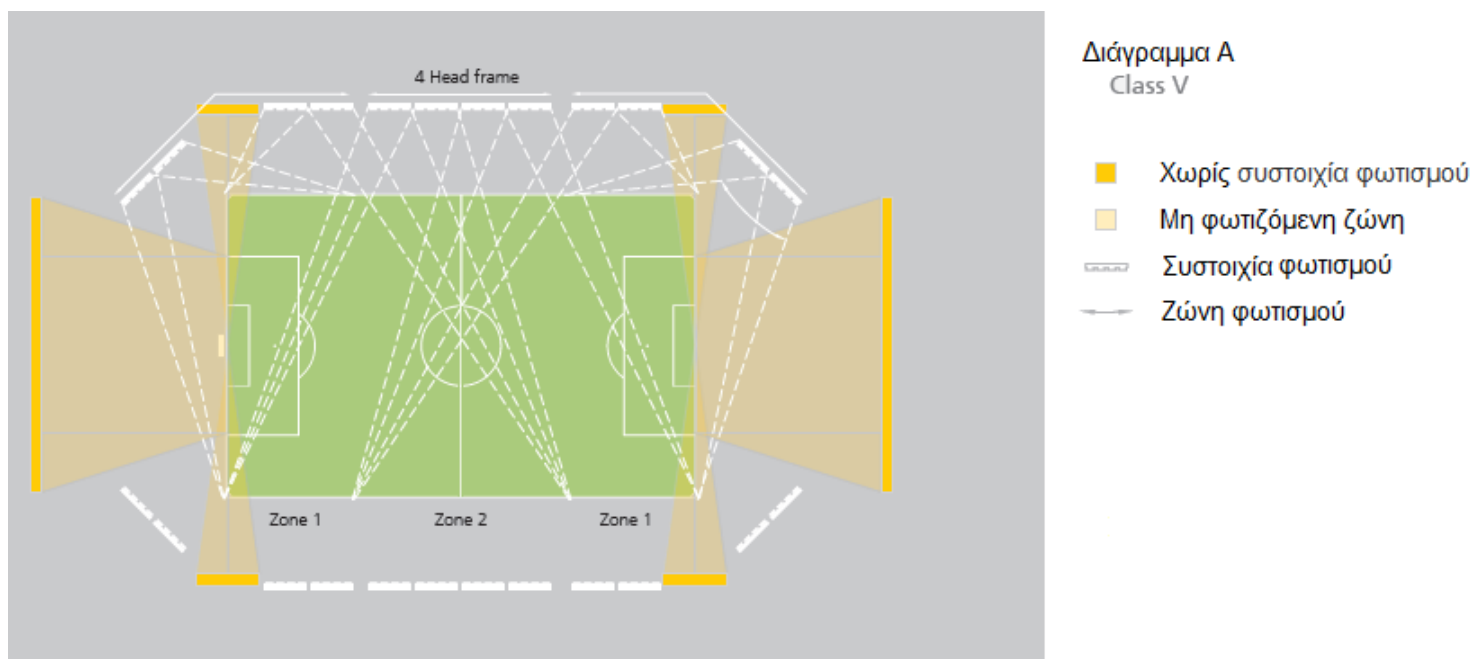
Σχήμα 4.2 Απαγορευμένες περιοχές τοποθέτησης φωτιστικών

#### 4.3.3 Έλεγχος σκιών, πολυζωνική στόχευση

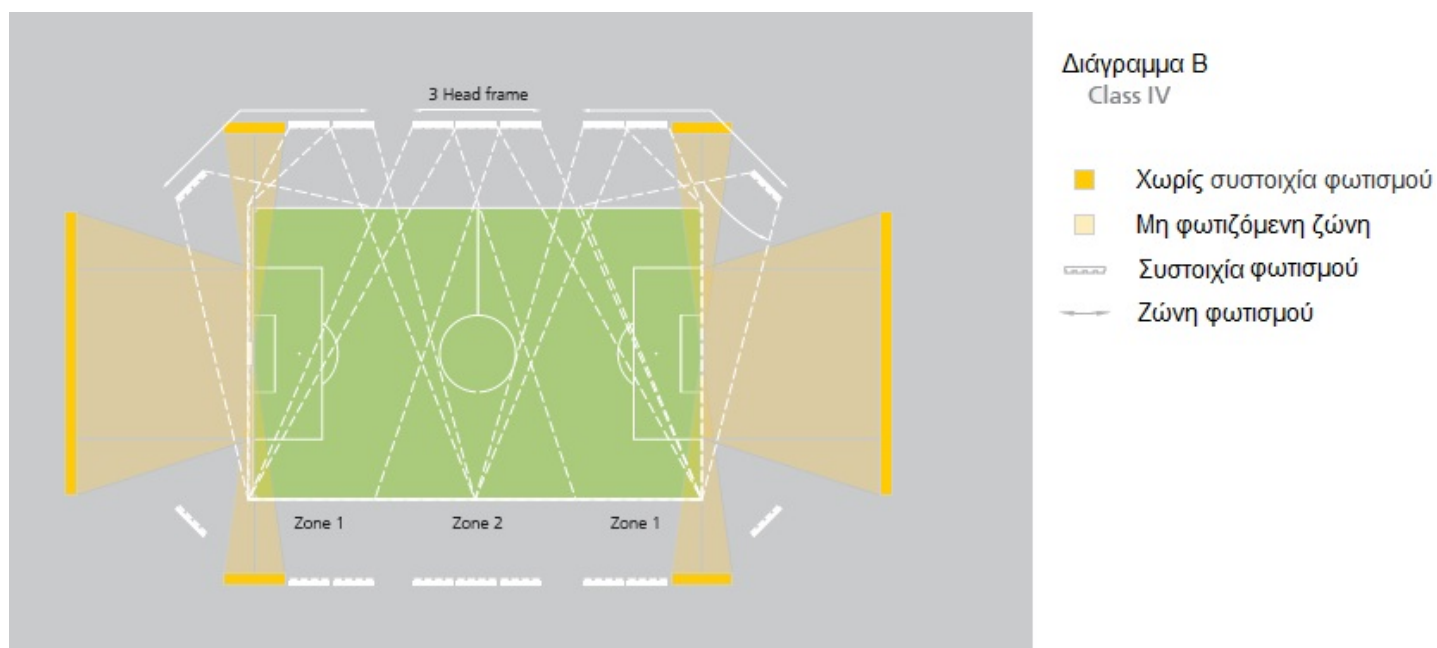
Ο περιορισμός των σκιών μέσα στο γήπεδο που δημιουργούνται κυρίως από παίκτες-διαιτητές είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε όταν υπάρχει τηλεοπτική κάλυψη με βίντεο υψηλής ευκρίνειας.

Η πολυζωνική στόχευση είναι η συνεχής στόχευση από διαφορετικές φωτεινές πηγές προς ίδια σημεία μέσα στο γήπεδο με αποτέλεσμα οι σκιές που δημιουργούνται ανά πάσα στιγμή από τους παίκτες μέσα στο γήπεδο να περιοριστούν και να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα.

Στα σχήματα 4.3 και 4.4 βλέπουμε τον τρόπο που τοποθετούνται οι συστοιχίες φωτιστικών για κατηγορίες γηπέδων IV και V δηλαδή κατηγορίες που θα υπάρχει τηλεοπτική κάλυψη και θα φιλοξενηθούν διεθνείς αγώνες. Όπως παρατηρούμε είναι έτσι τοποθετημένα τα φωτιστικά ώστε σε όλα τα σημεία του αγωνιστικού χώρου να υπάρχει φωτισμός που να προέρχεται από πολλές κατευθύνσεις ώστε να αποφεύγονται όσο τον δυνατόν περισσότερο οι σκιές.

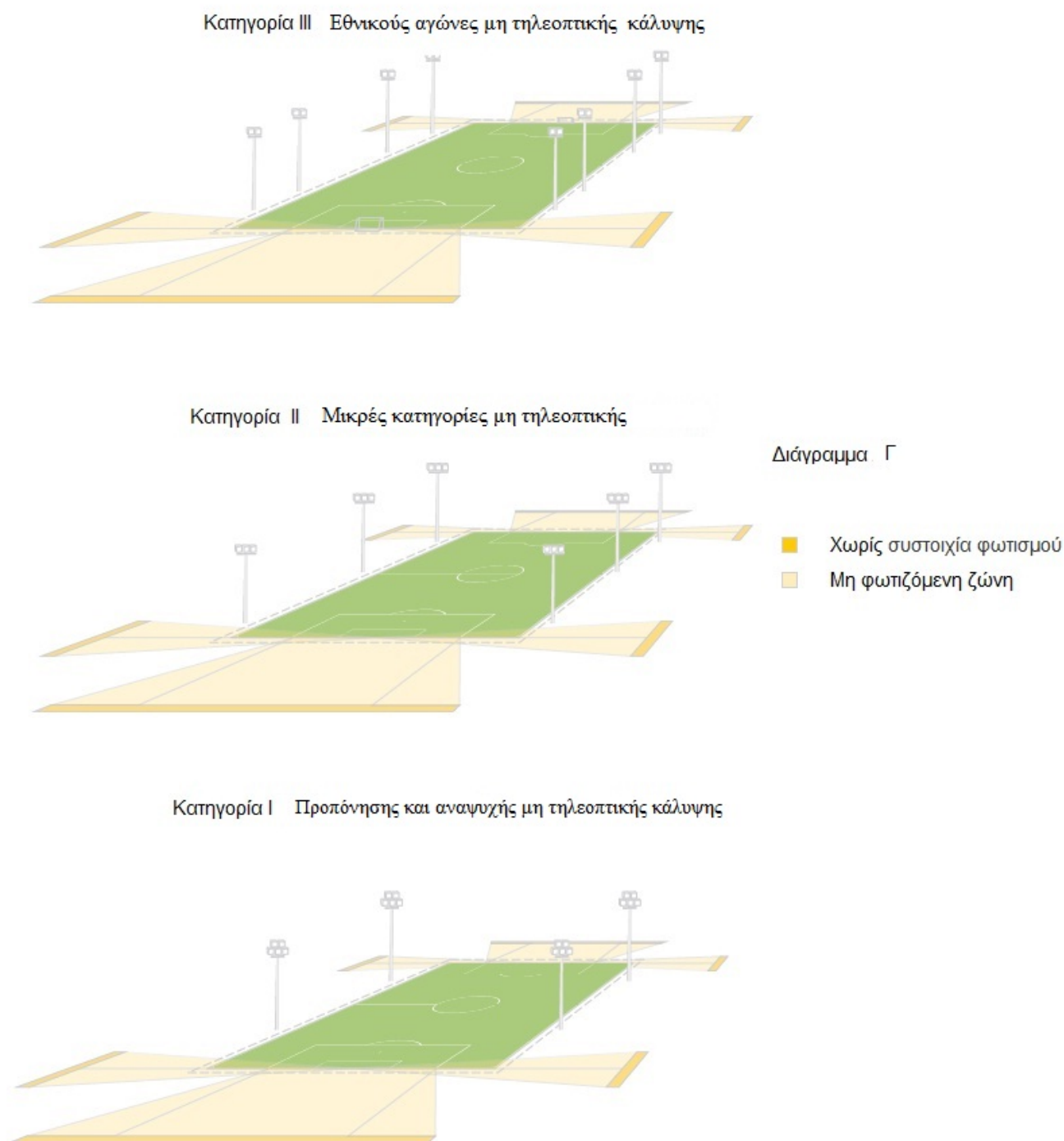


Σχήμα 4.3 Κατηγορία γηπέδου 5



Σχήμα 4.4 Κατηγορία γηπέδου 4

Μοντελοποίηση επιτυγχάνεται όταν ένας παίκτης περιβάλλεται από φωτισμό, από διαφορετικές γωνίες, δημιουργώντας ένα ισορροπημένο φωτεινό περιβάλλον.



Σχήμα 4.5 Τρόποι τοποθέτησης φωτιστικών σε μικρότερες κατηγορίες γηπέδων

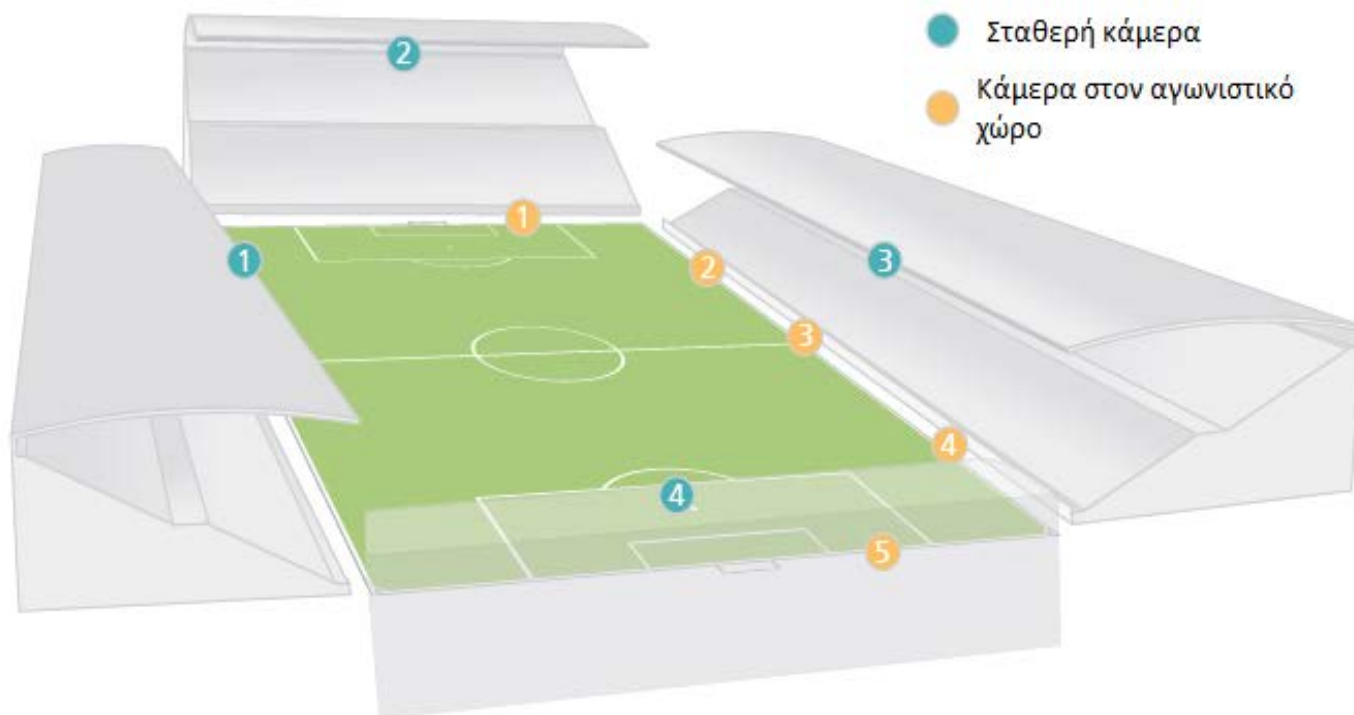
Στο σχήμα 4.5 βλέπουμε και τις υπόλοιπες κατηγορίες γηπέδων και με ποιο τρόπο τοποθετούνται τα φωτιστικά. Βέβαια θα παίξουν ρόλο και οι κερκίδες του κάθε σταδίου που θα είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την παρακολούθηση του αγώνα από τους θεατές.

#### 4.3.4 Θέσεις τηλεοπτικής κάμερας

Υπάρχουν πολλές πιθανές θέσεις τοποθετήσεις καμερών, στο σχήμα 4.6 βλέπουμε μερικές από αυτές.

Υπάρχουν οι κάμερες αγωνιστικού χώρου που θα βρίσκονται κοντά στις γραμμές πλάγιου άουτ και οι σταθερές κάμερες που συνήθως τοποθετούνται σε υψηλότερα σημεία του γηπέδου όπως στα δημοσιογραφικά θεωρεία.

Στις κατηγορίες γηπέδων με τηλεοπτική κάλυψη στην μελέτη φωτισμού που θα πραγματοποιηθεί θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι από τα σημεία που είναι τοποθετημένες οι κάμερες ο φωτισμός να είναι τέτοιος ώστε να είναι δυνατή η κάλυψη του αγώνα με βίντεο υψηλής ποιότητας χωρίς να επηρεάζεται από μη ομοιομορφία του φωτισμού μέσα στον αγωνιστικό χώρο.



Σχήμα 4.6 Πιθανές θέσεις τοποθέτησης καμερών



## 4.4 Προδιαγραφές φωτισμού

### 4.4.1 Οριζόντια ομοιομορφία

Οριζόντια φωτεινότητα είναι το μέτρο του φωτός που φθάνει σε οριζόντιο επίπεδο, ένα μέτρο πάνω από την επιφάνεια του γηπέδου. Σημεία 10μ x 10μ απόσταση μεταξύ τους στο κομμάτι του αγωνιστικού χώρου χρησιμοποιούνται ως βάση για τη συλλογή αυτών των μετρήσεων και τον υπολογισμό του μέγιστου, ελάχιστου και μέσου φωτισμού στον αγωνιστικό χώρο.

### 4.4.2 Κάθετος φωτισμός

Κάθετος φωτισμός είναι η ποσότητα του φωτισμού που φθάνει στην κάθετη επιφάνεια των παικτών.

Αυτός ο φωτισμός βοηθά στο να φαίνονται λεπτομερείς στοιχεία των παικτών, ιδιαίτερα τα πρόσωπά τους, σε κρίσιμες στιγμές κατά τη διάρκεια του αγώνα. Αυτές οι εικόνες θα προβληθούν από τις κάμερες που είναι τοποθετημένες στο επίπεδο του γηπέδου.

Ο κατασκευαστής πρέπει να εξετάσει την εξισορρόπηση του φωτισμού για να μειώσουν υπερφωτιζόμενες περιοχές κατά τη διάρκεια τηλεοπτικής κάλυψης ώστε να μην υπάρχει χαμηλής ποιότητας τηλεοπτική κάλυψη.

### 4.4.3 Θερμοκρασία χρώματος

Η θερμοκρασία χρώματος περιγράφει του κατά πόσο θερμό (κόκκινο) ή ψυχρό(μπλε), είναι το είδος του φωτισμού.

Μετρείται σε Kelvin (TK). Η τρέχουσα ψηφιακή τεχνολογία επιτρέπει στην κάμερα να τροποποιεί το χρώμα και την αντίθεση, όπου απαιτείται για να παράγουν την επιθυμητή ποιότητα των χρωμάτων. Αποδεκτή θερμοκρασία χρώματος για υπαίθρια γήπεδα για όλες τις κατηγορίες γηπέδων Tk είναι  $\geq 4.000$ .

### 4.4.4 Χρωματική απόδοση

Η χρωματική απόδοση είναι η ικανότητα μιας τεχνητής πηγής φωτισμού να αναπαράγει φυσικό φωτισμό. Η κλίμακα χρωματικής απόδοσης είναι  $Ra=20-100$ . Όσο υψηλότερη βαθμολογία, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του χρώματος. Καλό χρώμα που παράγεται από τεχνητό σύστημα φωτισμού είναι  $Ra \geq 65$  και για τηλεοπτικά και μη-τηλεοπτικά γεγονότα.

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι μια περίληψη των κριτηρίων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τηλεοπτικά γεγονότα.

Καθορίζει τις προδιαγραφές για το κάθετο και οριζόντιο φωτισμό, την ομοιομορφία και τις χρωματικές ιδιότητες των λαμπτήρων.

Προδιαγραφές για τηλεοπτικά καλυπτόμενα γεγονότα:

Πίνακας 4.2 Προδιαγραφές φωτισμού

		ΚΑΘΕΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ			ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ			ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΑ	
		ΕΗ CAM AVE	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ		ΕΗ AVE	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΧΡ. ΑΠΟΔΟΣΗΣ
	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣ	LUX	U1	U2	LUX	U1	U2	Tκ	RA
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ V	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΜΕΡΑ	>2000	0.6	0.7	3500	0.6	0.8	>4000	≥65
	ΚΑΜΕΡΑ ΑΓ. ΧΩΡΟΥ	1800	0.4	0.65					
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ IV	ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΜΕΡΑ	2000	0.5	0.65					
	ΚΑΜΕΡΑ ΑΓ. ΧΩΡΟΥ	1400	0.35	0.6	2500	0.6	0.8	>4000	≥65

Σημειώσεις:

- Οι τιμές φωτισμού πρέπει να διατηρηθούν καθ' όλη την διάρκεια του αγώνα.
- Σε όλες τις κατηγορίες, η θάμβωση πρέπει να είναι  $GR \leq 50$  για τους παίκτες στον αγωνιστικό χώρο.

Ο πίνακας 4.3 που ακολουθεί είναι μια περίληψη των κριτηρίων που λαμβάνονται υπόψη για μη-τηλεοπτικά καλυπτόμενα γεγονότα. Καθορίζει τις προδιαγραφές για τον κάθετο και οριζόντιο φωτισμό, την ομοιομορφία και τις χρωματικές ιδιότητες των λαμπτήρων.

Πίνακας 4.3 Προδιαγραφές φωτισμού για γήπεδα 1,2,3 κατηγορίας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΓΗΠΕΔΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΝΤΑΣΗ	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΧΡ. ΑΠΟΔΟΣΗΣ
	ΕΗΛΑΒΕ (LUX)	U2	Tκ	RA
<b>III</b>	750	0.7	>4000	≥65
<b>II</b>	500	0.6	>4000	≥65
<b>I</b>	200	0.5	>4000	≥65

Οι τιμές φωτισμού πρέπει να διατηρηθούν καθ'όλη την διάρκεια του αγώνα.

#### 4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

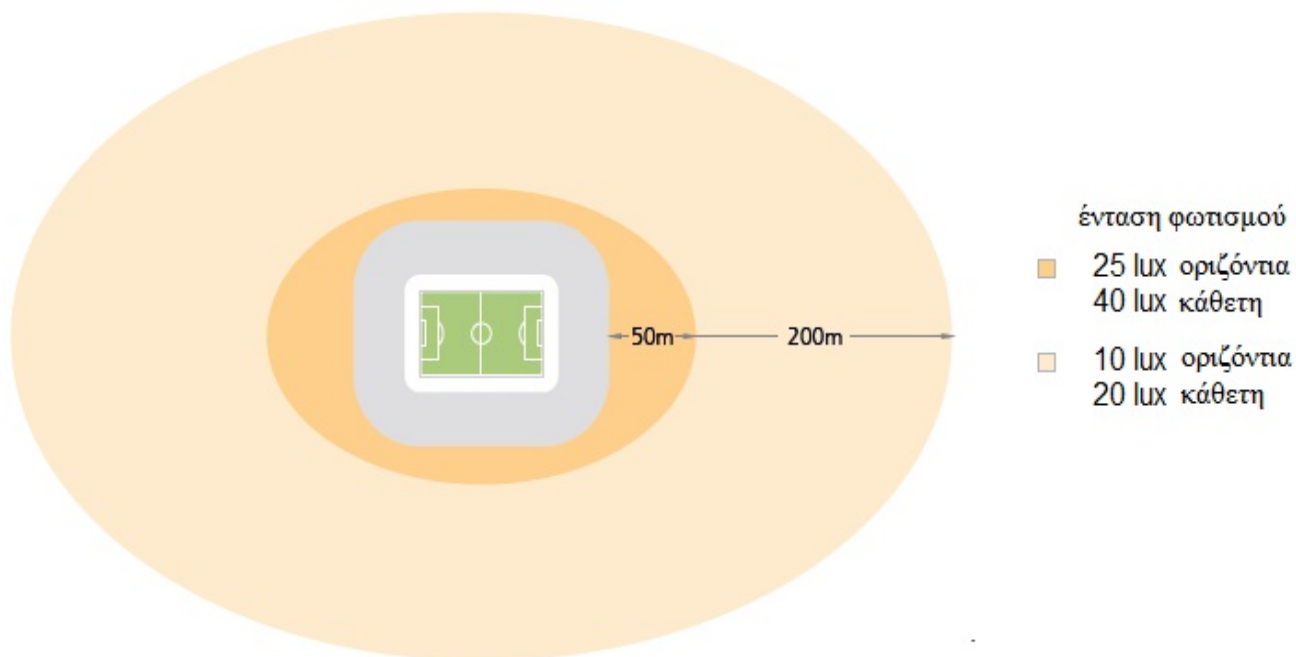
Η Φωτορύπανση και το ανεπιθύμητο φως χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

1. Φωτισμός περίσσιος, είναι το φως έξω από την περίμετρο του γηπέδου, όπου είναι μετρήσιμη και η θάμβωση, η οποία είναι η υπερβολική φωτεινότητα στο οπτικό πεδίο των πεζών και των οδηγών αυτοκινήτων έξω από το γήπεδο. Ο αντίκτυπος στις τοπικές κοινότητες είναι κρίσιμης σημασίας για την ασφάλεια, και την ευημερία των χώρων και των οικισμών που βρίσκονται περιμετρικά ενός γηπέδου. Κάθε προσπάθεια πρέπει να γίνει για τον περιορισμό του περίσσιου φωτός μέσα και έξω από το γήπεδο.

2. Φωτισμός διάχυσης έξω από το γήπεδο μπορεί να υπολογιστεί και να μετρηθεί, σε τιμές οριζοντίου και κάθετου φωτισμού

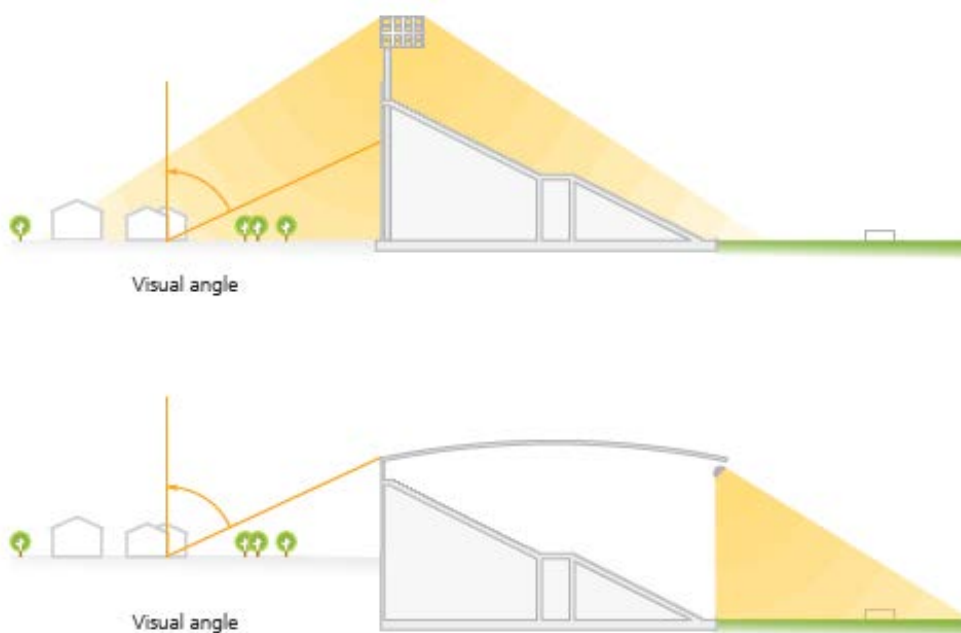
Πίνακας 4.4 Εντάσεις φωτισμού εξωτερικά του γηπέδου που πρέπει να τηρηθούν

ΓΩΝΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΓΗΠΕΔΟΥ	
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΧΥΣΗ	50M ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ	25 LUX
	200M ΜΑΚΡΥΤΕΡΑ	10 LUX
ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΑΘΕΤΟ	50M ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ	40 LUX
	200M ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ	20 LUX



Σχήμα 4.7 Κάτοψη περιμέτρου γηπέδου και εντάσεις φωτισμού

Στο σχήμα 4.8 βλέπουμε πως μπορεί να αποφευχθεί μεγάλη διαρροή φωτός προς το γύρω περιβάλλον. Με τον δεύτερο τρόπο τοποθετήσεις των φωτιστικών έχουμε μικρότερη διαρροή φωτός στο γύρω περιβάλλον.



Σχήμα 4.8 Τρόποι τοποθέτησης φωτιστικών

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ IV ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ”

#### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη φωτισμού γηπέδου IV κατηγορίας, κατάλληλο για εθνικούς αγώνες και για τηλεοπτική κάλυψη, με την βοήθεια του Dialux.

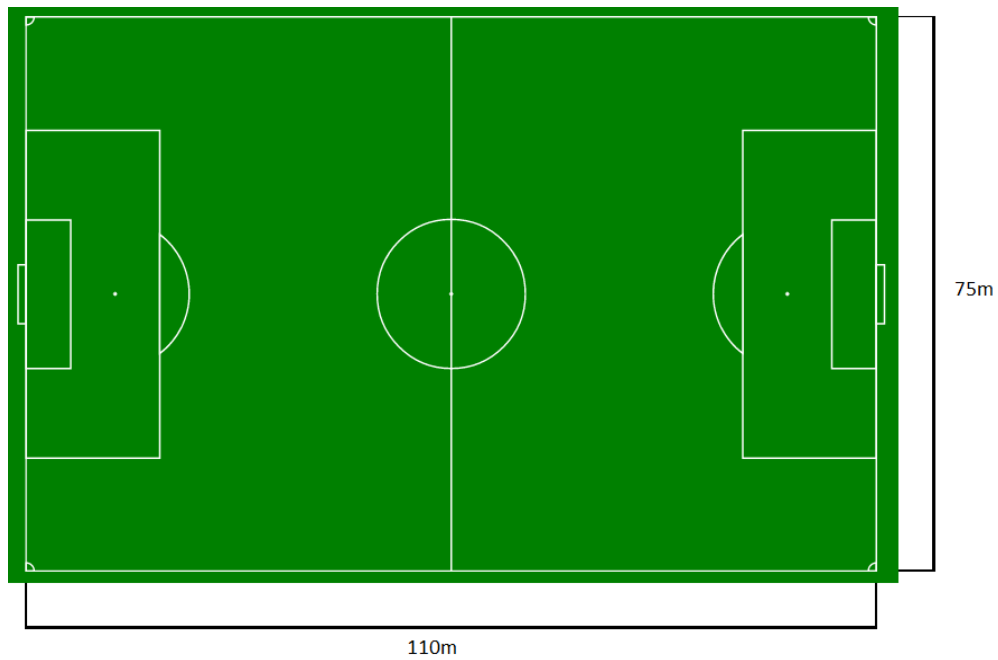
Θα ασχοληθούμε με τον τρόπο τοποθέτησης φωτιστικών, θα υπολογίσουμε την ένταση φωτισμού με το ενδεικτικό πλέγμα 10μ x 10μ που ορίζει η FIFA σαν πρότυπο. Στην ένταση φωτισμού θα πρέπει να υπολογίσουμε στο 1 μέτρο ύψος από το επίπεδο του αγωνιστικού χώρου, την οριζόντια ένταση φωτισμού, την καθετή ένταση φωτισμού η όποια θα μετρηθεί από 4 διαφορετικές κατευθύνσεις καθώς επίσης και την θάμβωση στα ίδια σημεία που θα γίνει η μέτρηση έντασης φωτισμού.

#### 5.2 Γενικά στοιχεία γηπέδου

Ακολουθώντας της προδιαγραφές της FIFA, σχεδιάζουμε τις διαστάσεις του γηπέδου τέταρτης κατηγορίας (110 μέτρα μήκος και 75 μέτρα πλάτος).

Οι προδιαγραφές της FIFA ορίζουν τα 105x68 μέτρα σαν συνιστώμενες διαστάσεις γηπέδου, εμείς έχουμε πάρει τα 110x75 μέτρα τα οποία είναι οι μέγιστες διαστάσεις που ορίζει η FIFA (κάτοψη γηπέδου σχήματος 5.1) που καλύπτουν τις προδιαγραφές IV κατηγορίας γηπέδου.

Τα φωτιστικά τα όποια χρησιμοποιήσαμε στο γήπεδο IV κατηγορίας είναι τα Philips MVF403 C 1xMHN-SA 2000W/400V/956 CAT-A2 και ανήρθαν στον αριθμό των 253 τεμαχίων συνολικής ισχύς 506KW. Η θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα είναι στα 5600K και το Ra=100 και βλέποντας τις προδιαγραφές της FIFA πρέπει να έχουμε  $T \geq 4000$  και  $Ra \geq 65$  και όπως παρατηρούμε οι προδιαγραφές για τον λαμπτήρα καλύπτονται.

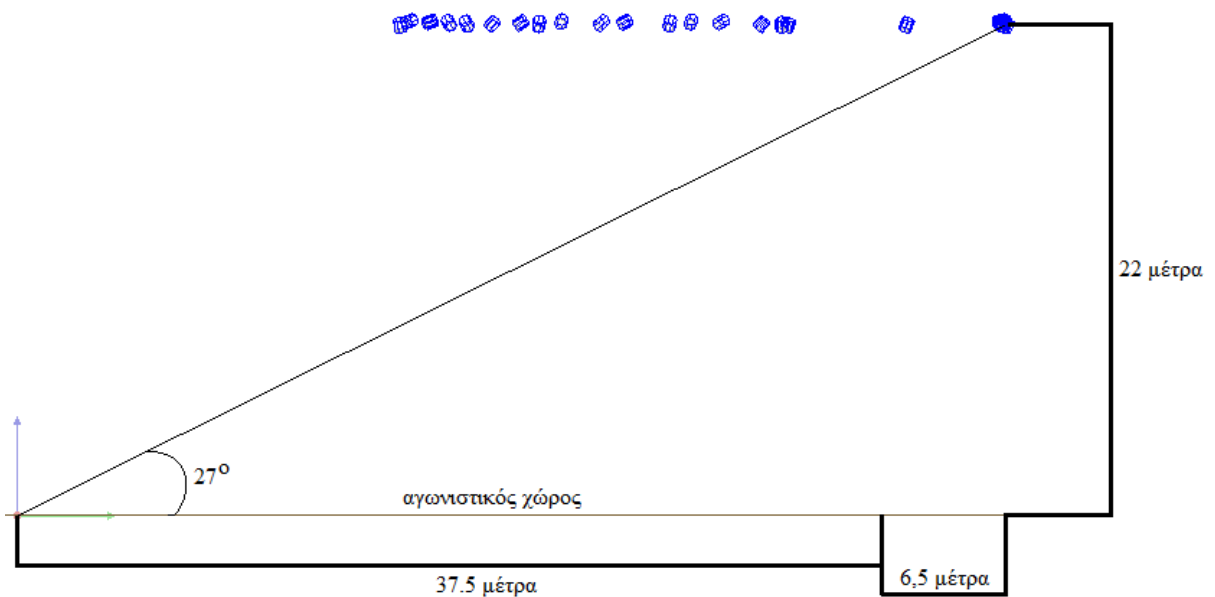


Σχήμα 5.1 Κάτοψη γηπέδου IV κατηγορίας

### 5.3 Τοποθέτηση φωτιστικών

#### 5.3.1 Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών

Η FIFA μας δίνει μια εξίσωση την οποία θα ορίσουμε το ύψος τοποθέτησης φωτιστικών, και είναι η απόσταση της διάταξης των φωτιστικών από το κέντρο του γηπέδου επί της εφαπτόμενης των  $25^{\circ}$ -  $45^{\circ}$  και στην δική μας περίπτωση είναι 44 μέτρα επί  $\epsilon\phi(27^{\circ})$ , δηλαδή περίπου στα 22,4 μέτρα και εμείς πήραμε σαν ύψος τα 22 μέτρα (σχήμα 5.2).

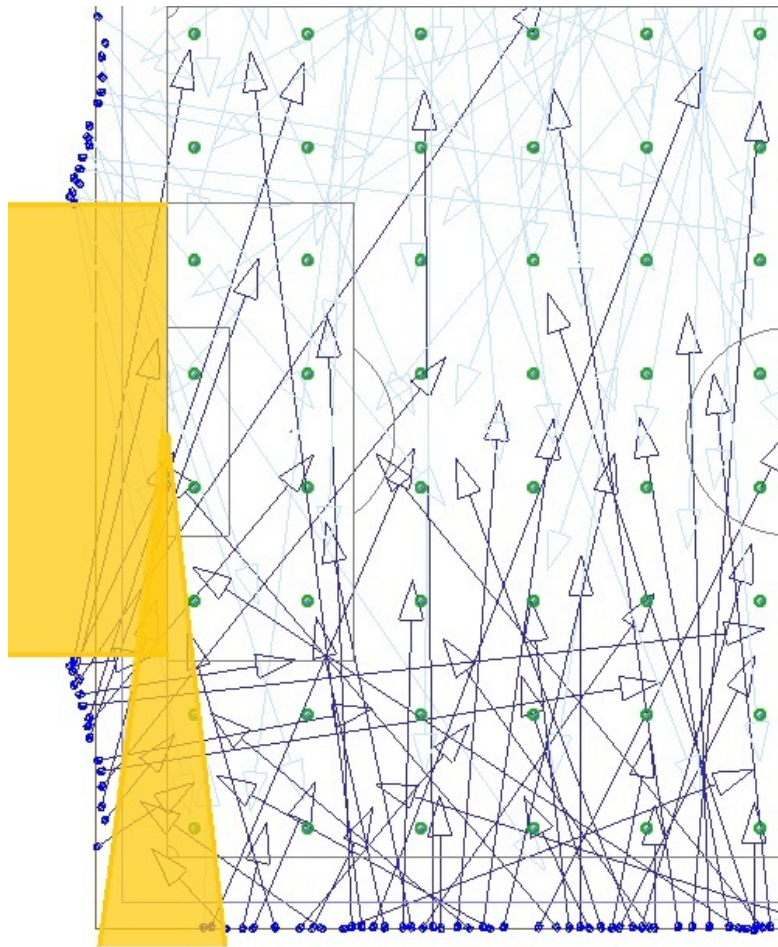


Σχήμα 5.2 Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών

Το ύψος τοποθέτησης μπορεί να διαφέρει λίγο από το αποτέλεσμα της εξίσωσης και αυτό διότι κάθε στάδιο διαφέρει από άποψη κατασκευής, με αποτέλεσμα να υπάρχουν κάποιες τροποποιήσεις στο ύψος τοποθέτησής οι οποίες βεβαίως δεν επηρεάζουν την μελέτη μας.

### 5.3.2 Περιοχές μη τοποθέτησης φωτιστικών

Η FIFA ορίζει περιοχές στις οποίες απαγορεύεται να τοποθετηθούν συστοιχίες φωτιστικών, και αυτό διότι τα σημεία που απαγορεύει είναι περιοχές όπως στο κόρνερ του γηπέδου και πίσω από την εστία που μπορεί να δημιουργεί πρόβλημα στους παίκτες.

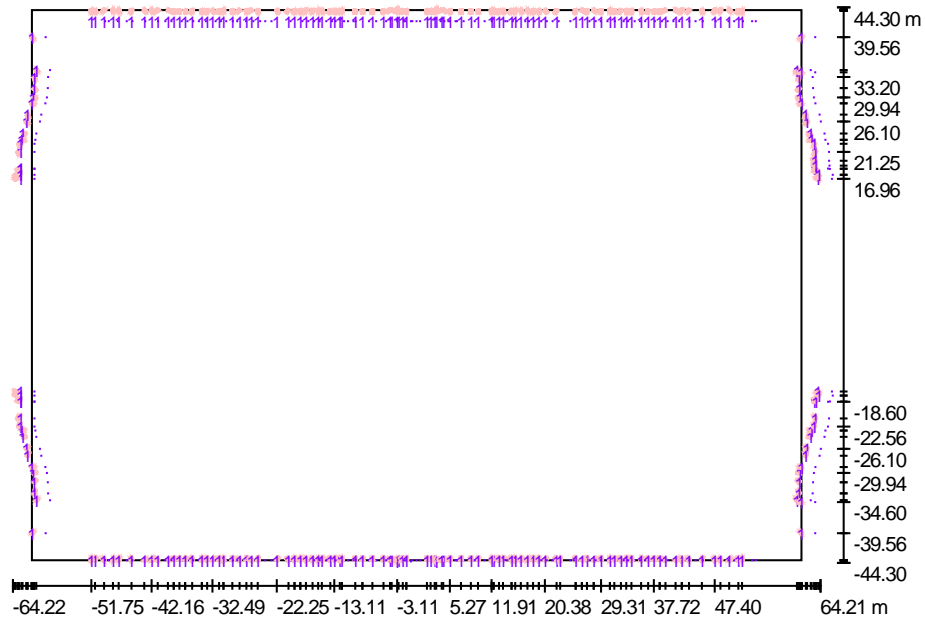


Σχήμα 5.3 Κάτοψη φωτιστικών στις περιοχές μη τοποθέτησής τους

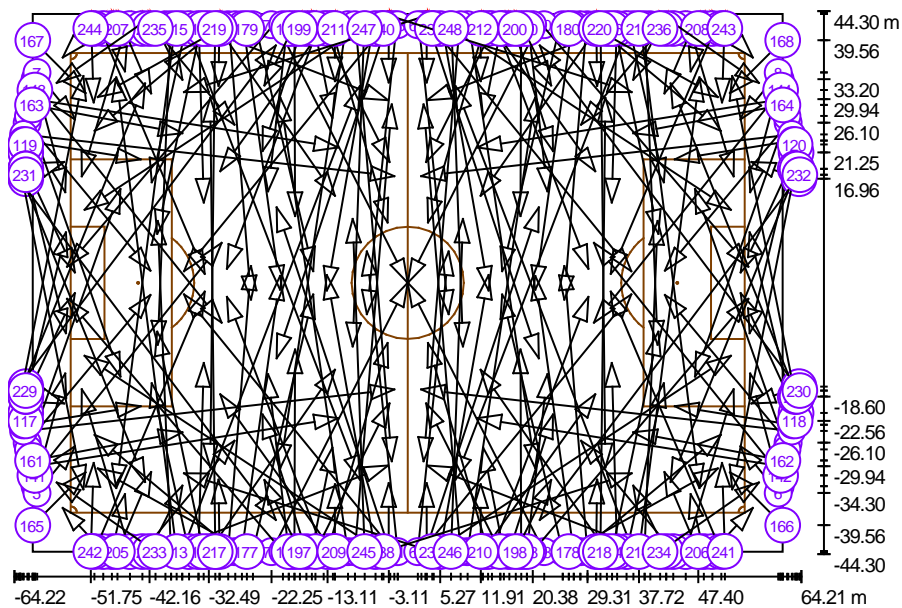
Όπως βλέπουμε στο σχήμα 5.3 με το πορτοκαλί χρώμα είναι οι περιοχές που δεν θα πρέπει να τοποθετηθούν φωτιστικά και όπως παρατηρούμε υπάρχουν κάποια φωτιστικά που είναι στο χώρο αυτό, αλλά η γωνία και το σημείο που στοχεύουν δεν είναι δυνατόν να δημιουργήσουν πρόβλημα στους παίκτες-διαιτητές.

### 5.3.3 Σημεία τοποθέτησης

Το γήπεδο το οποίο γίνεται η μελέτη είναι IV κατηγορίας και επομένως είναι ένα σύγχρονο στάδιο το οποίο θα φιλοξενήσει μεγάλους αγώνες συλλογικούς, εθνικούς και όποιοι θα έχουν τηλεοπτική κάλυψη. Το γήπεδο είναι πλήρως στεγασμένο επομένως τα φωτιστικά θα τοποθετηθούν περίπου κοντά στην γραμμή του πλάγιου σε απόσταση περίπου στα 6 μέτρα και σε ύψος 22 μέτρα. Τα σημεία τοποθέτησης φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 5.4 Κάτοψη σημείων τοποθέτησης φωτιστικών γηπέδου IV κατηγορίας



Σχήμα 5.5 Κάτοψη φωτιστικών με στοιχεία στόχευσης γηπέδου IV κατηγορίας



### 5.3.4 Σημεία υπολογισμού έντασης φωτισμού

Από της προδιαγραφές της FIFA για να έχουμε μια σωστή μέτρηση της έντασης φωτισμού στον αγωνιστικό χώρο, παίρνουμε σημεία μέτρησης μέσα στο γήπεδο σε απόσταση **10x10** μέτρα μεταξύ τους, σε ύψος μέτρησης το **1 μέτρο** από τον αγωνιστικό χώρο.

Για να το επιτύχουμε αυτό χωρίσαμε το γήπεδο σε δυο ίσα τμήματα και κάναμε μετρήσεις σε κάθε ένα τμήμα ξεχωριστά. Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα είναι χωρισμένο σε δυο ίσα τμήματα και τα σημεία υπολογισμού είναι συμμετρικά μεταξύ τους.

Το κάθε σημείο στο εκάστοτε τμήμα απέχει από το άλλο 10 μέτρα και τα σημεία που βρίσκονται στις πλάγιες γραμμές, κεντρική γραμμή απέχουν 2,5 μέτρα από αυτή.



Σχήμα 5.6 Σημεία υπολογισμού έντασης φωτισμού γηπέδου IV κατηγορίας

## 5.4 Ένταση φωτισμού

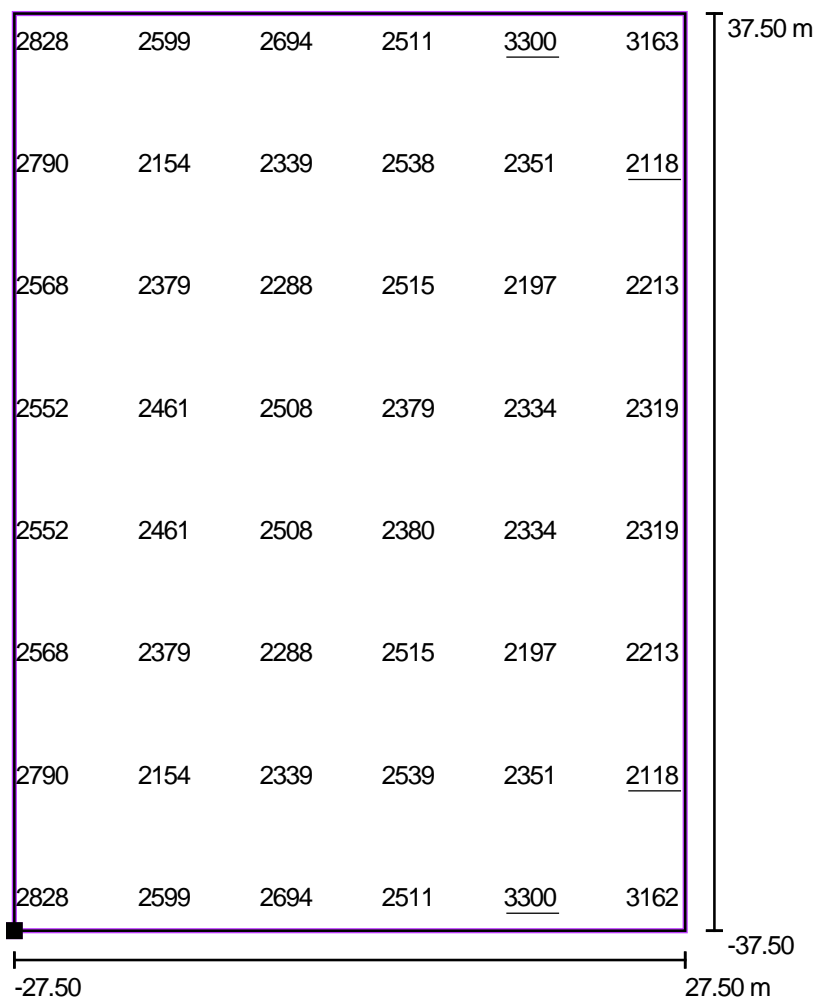
Το γήπεδο IV κατηγορίας έχει σαν μέση ένταση **οριζοντίου** φωτισμού τα 2500 lux, με ομοιομορφία **U1=0,6** και **U2=0,8** όπου **U1=ελαχ/μεγ** και **U2=ελαχ/μεσο**

### 5.4.1 Οριζόντια ένταση φωτισμού

Στο πίνακα 5.1 που ακολουθεί βλέπουμε το μέγεθος της έντασης οριζοντίου φωτισμού που παίρνουμε από τα σημεία υπολογισμού στο **τμήμα 1**.

Πίνακας 5.1 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού στο τμήμα 1

Μέγιστη ένταση	3300 lux
Ελάχιστη ένταση	2118 lux
Μέση ένταση	2504 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.64
U2=ελαχ/μεσο	0.85

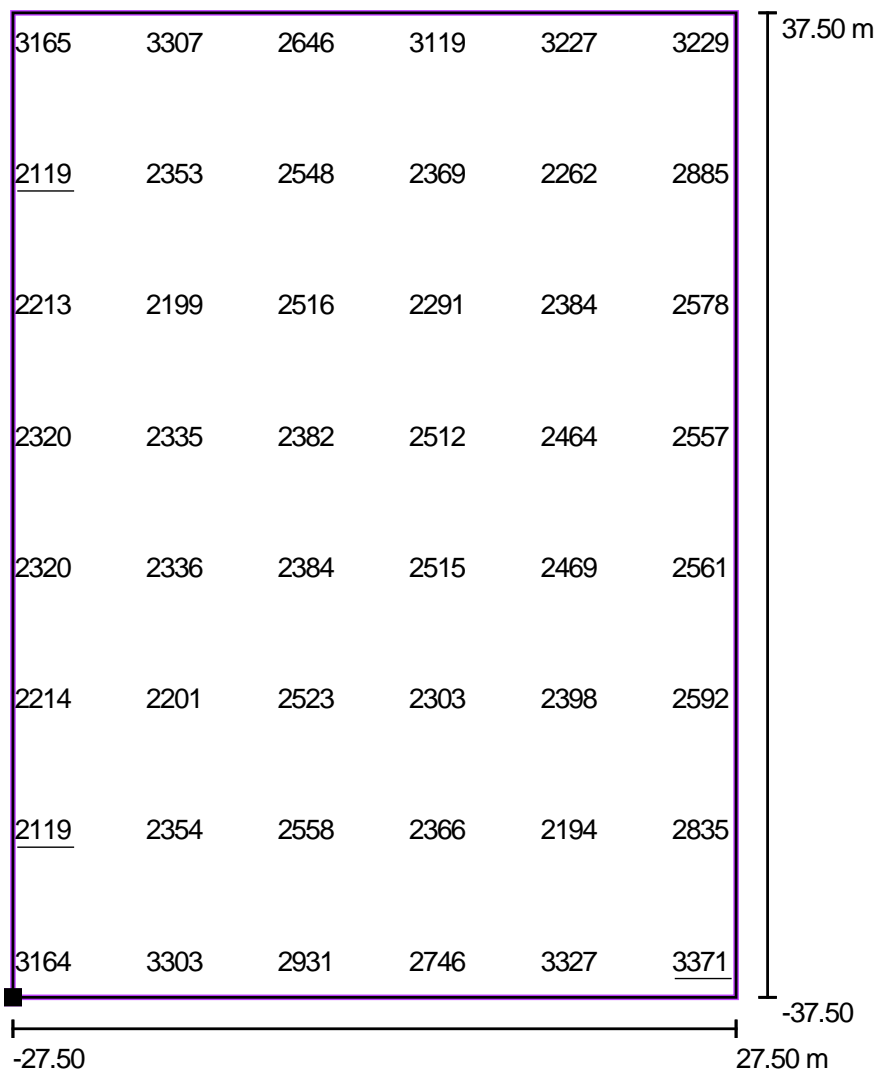


Σχήμα 5.7 Οριζόντια ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο για το τμήμα 1

Στοιχεία που παίρνουμε από τα σημεία υπολογισμού στο **τμήμα 2**

Πίνακας 5.2 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού στο τμήμα 2

Μέγιστη ένταση	3371 lux
Ελάχιστη ένταση	2119 lux
Μέση ένταση	2585 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.63
U2=ελαχ/μεσο	0.82



Σχήμα 5.8 Οριζόντια ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο στο τμήμα 2

Όπως παρατηρούμε από τα αποτελέσματα που πήραμε από την μελέτη φωτισμού η μέση οριζόντια ένταση φωτισμού καθώς και οι ομοιομορφίες U1 και U2 καλύπτουν πλήρως τις προδιαγραφές που ορίζει η FIFA για την IV κατηγορία γηπέδου. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι η μελέτη μας είναι πολύ καλή.

### 5.4.2 Κάθετη ένταση φωτισμού

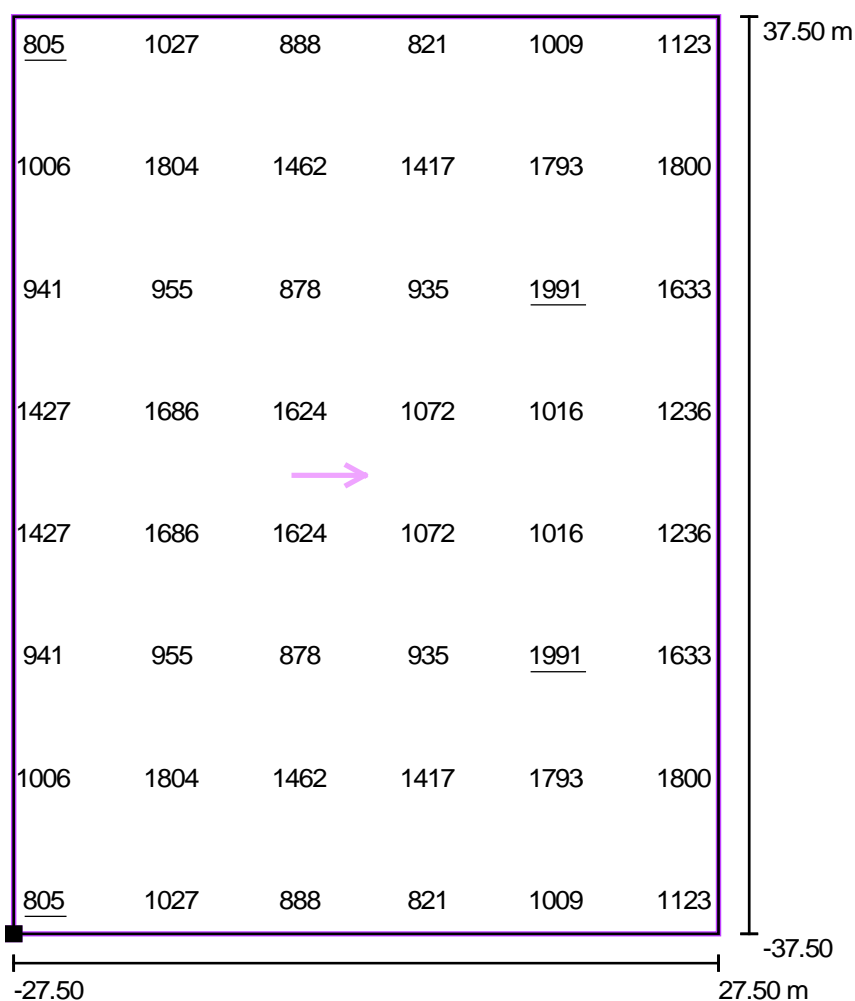
Βάσει προδιαγραφών πρέπει να κάνουμε μετρήσεις για 4 κατευθύνσεις φωτισμού δηλαδή για  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  διότι πρέπει να πάρουμε μετρήσεις που έχουν να κάνουν κυρίως με θέσεις τοποθέτησης καμερών στο επίπεδο του αγωνιστικού χώρου.

Το γήπεδο IV κατηγορίας έχει σαν μέση ένταση **κάθετου** φωτισμού τα 1400 lux, με μοιαιομορφία **U1=0,35** και **U2=0,6**

Παίρνουμε τα αποτελέσματα για  $0^\circ$  τα οποία βρίσκονται μόνο στο **τμήμα 1**.

Πίνακας 5.3 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για  $0^\circ$  στο τμήμα 1

Μέγιστη ένταση	1991 lux
Ελάχιστη ένταση	805 lux
Μέση ένταση	1265 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.40
U2=ελαχ/μεσο	0.64

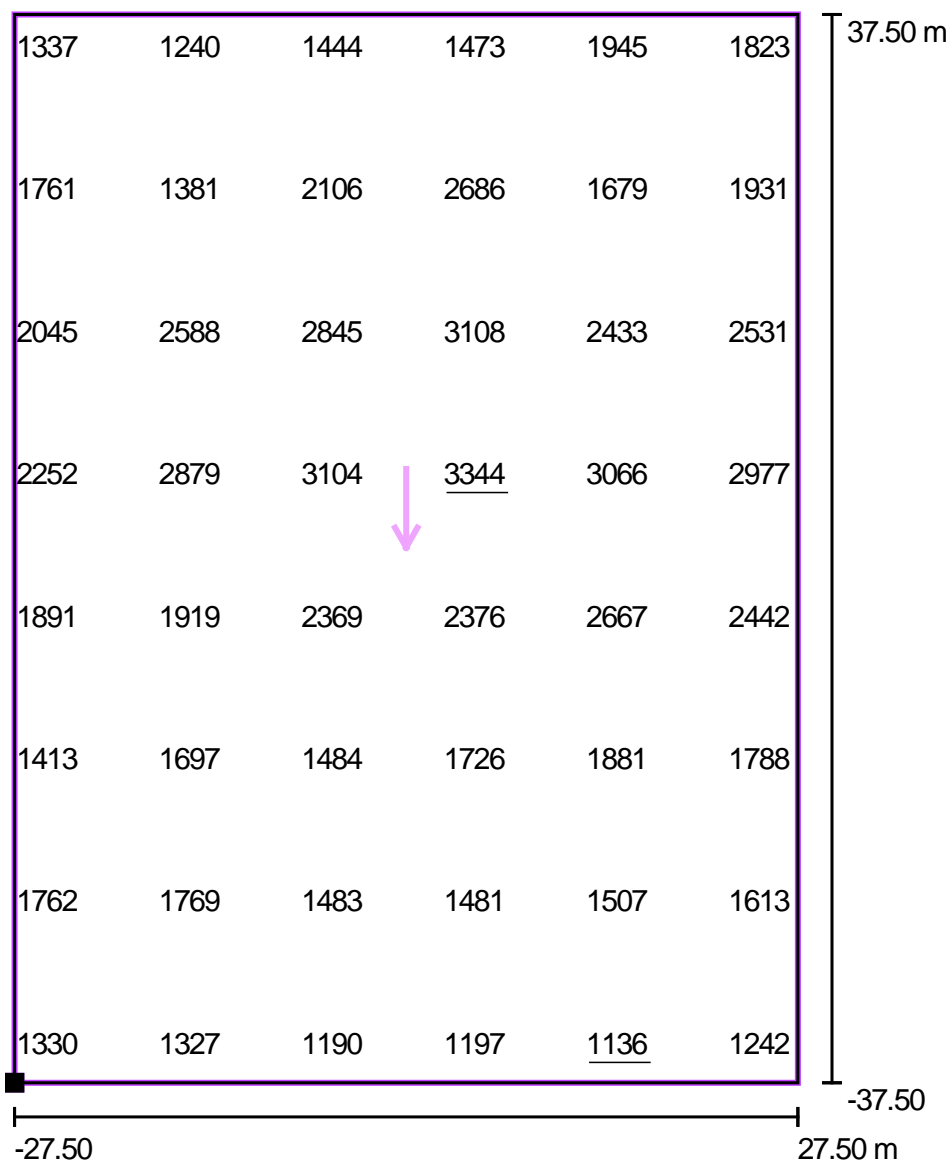


Σχήμα 5.9 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση  $0^\circ$  στο τμήμα 1

Παίρνουμε τα αποτελέσματα για 90° στο **τμήμα 1**

Πίνακας 5.4 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 90° στο τμήμα 1

Μέγιστη ένταση	3344 lux
Ελάχιστη ένταση	1136 lux
Μέση ένταση	1972 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.34
U2=ελαχ/μεσο	0.58

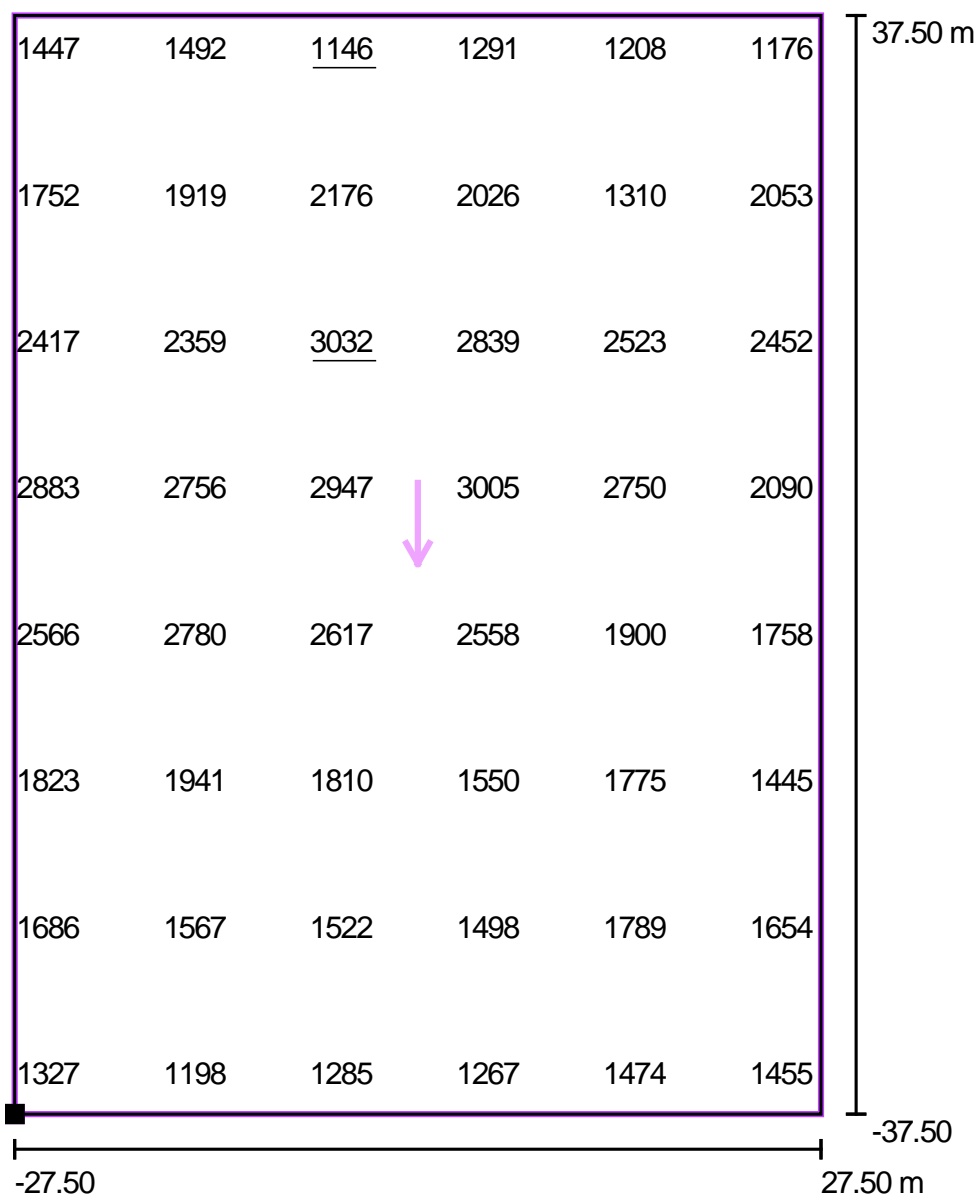


Σχήμα 5.10 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση 90° στο τμήμα 2

Παίρνουμε τα αποτελέσματα για 90° στο **τμήμα 2**

Πίνακας 5.5 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 90° στο τμήμα 2

Μέγιστη ένταση	3032 lux
Ελάχιστη ένταση	1146 lux
Μέση ένταση	1944 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.38
U2=ελαχ/μεσο	0.59

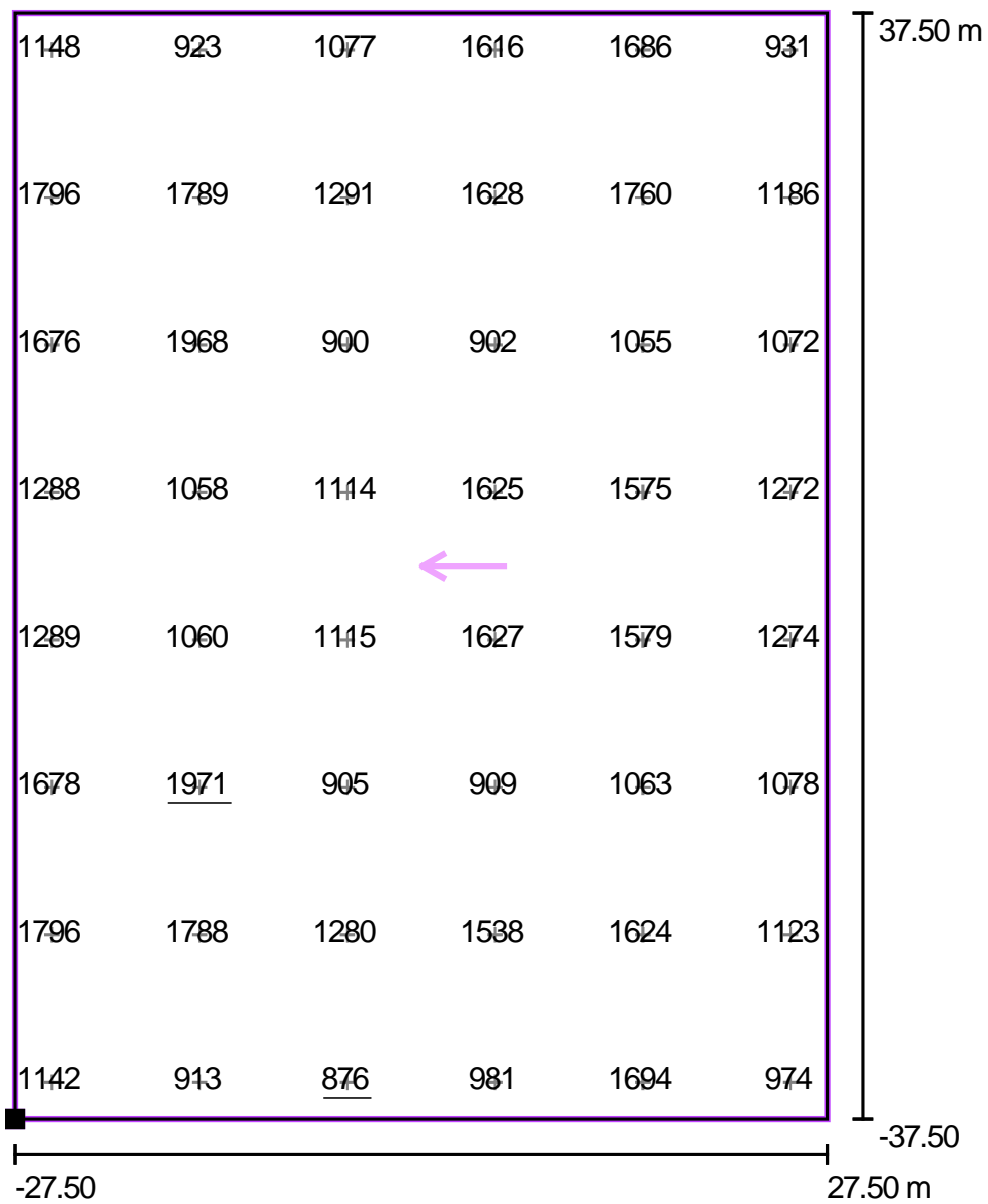


Σχήμα 5.11 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση 90° στο τμήμα 1

Παίρνουμε τα αποτελέσματα για 180° το οποίο βρίσκεται μόνο στο **τμήμα 2**

Πίνακας 5.6 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 180° στο τμήμα 2

Μέγιστη ένταση	1971 lux
Ελάχιστη ένταση	876 lux
Μέση ένταση	1325 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.44
U2=ελαχ/μεσο	0.66

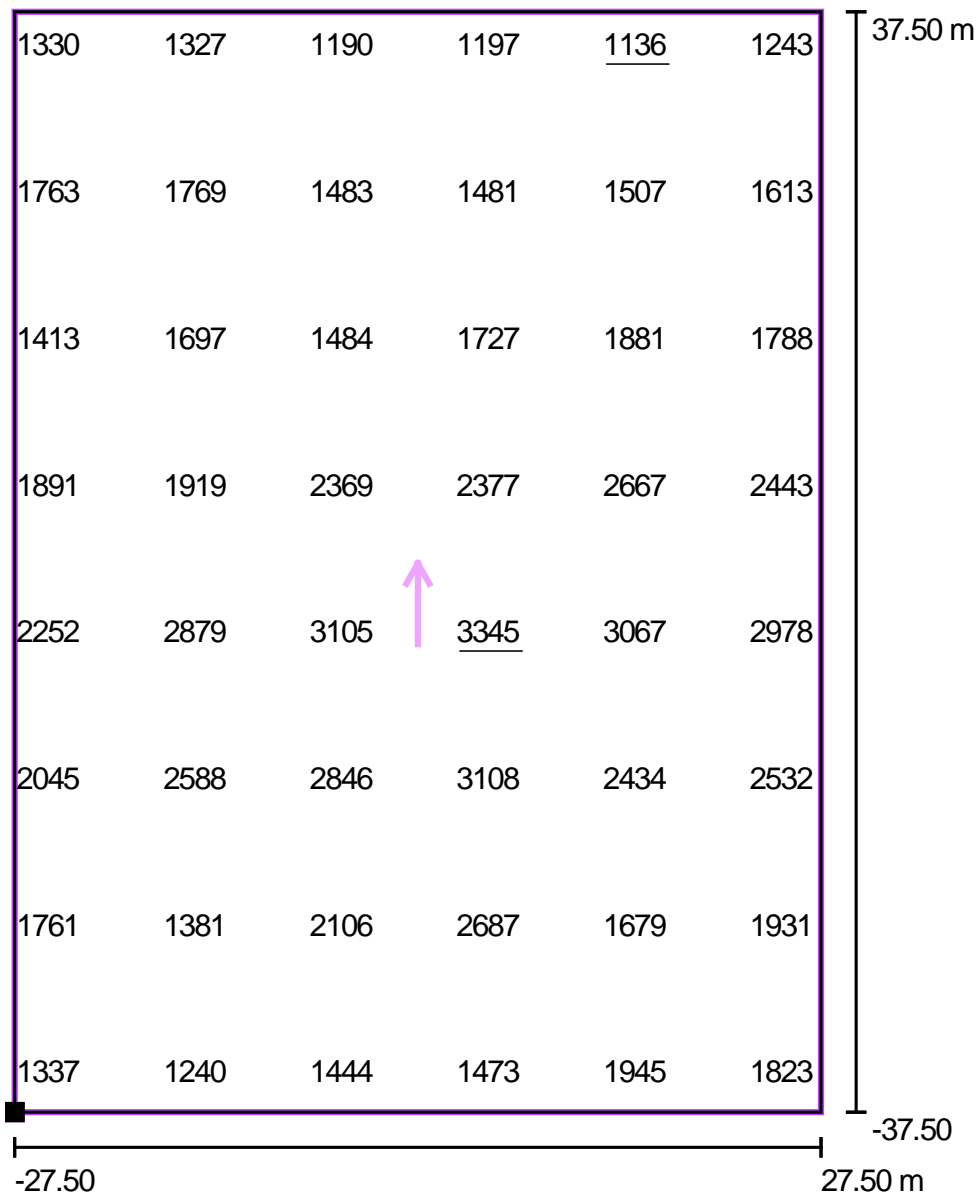


Σχήμα 5.12 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση 180° στο τμήμα 2

Παίρνουμε τα αποτελέσματα για 270° στο **τμήμα 1**.

Πίνακας 5.7 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 270° στο τμήμα 1

Μέγιστη ένταση	3345 lux
Ελάχιστη ένταση	1136 lux
Μέση ένταση	1972 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.34
U2=ελαχ/μεσο	0.58



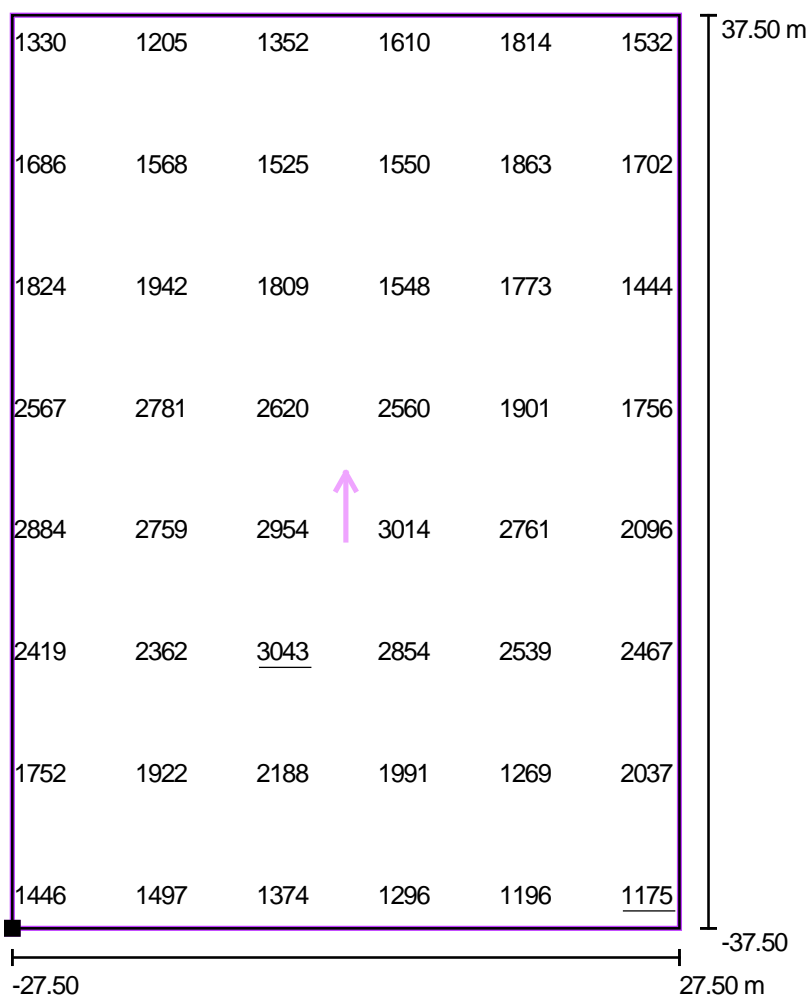
Σχήμα 5.13 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση 270° στο τμήμα 1



Παίρνουμε τα αποτελέσματα για 270° στο **τμήμα 2**.

Πίνακας 5.8 Συνοπτικά αποτελέσματα κάθετης έντασης φωτισμού για 270° στο τμήμα 2

Μέγιστη ένταση	3043 lux
Ελάχιστη ένταση	1175 lux
Μέση ένταση	1970 lux
U1=ελαχ/μεγ	0.39
U2=ελαχ/μεσο	0.6



Σχήμα 5.14 Κάθετη ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο από κατεύθυνση 270° στο τμήμα 2

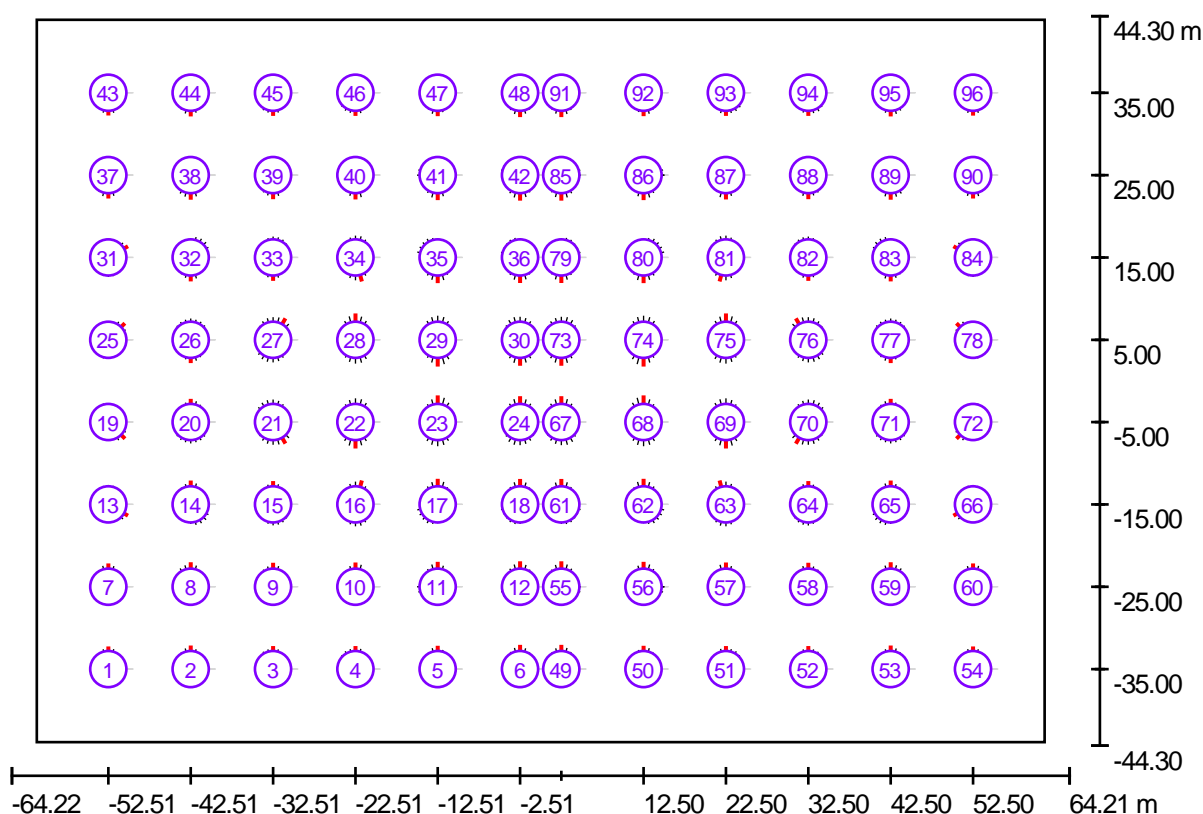
Όπως παρατηρούμε από τα αποτελέσματα που πήραμε σε όλες τις περιπτώσεις καλύπτουμε τις προδιαγραφές σε αρκετά μεγάλο βαθμό, έχοντας μια μικρή απόκλιση στις ομοιομορφίες τις τάξεως του 0,1-0,2, καθώς επίσης και μέση ένταση κάθετου φωτισμού που είναι μεγαλύτερη σε κάποιες μετρήσεις η οποία δεν επηρεάζει τα τηλεοπτικά μέσα για τα οποία γίνεται η μέτρηση της κάθετης έντασης φωτισμού.

### 5.5 Θάμβωση

Η θάμβωση η αλλιώς το glare rating ή GR όπως το αναφέρει η FIFA, είναι κατά πόσο οι παίκτες, διαιτητές που βρίσκονται στον αγωνιστικό χώρο έχουν ικανοποιητική όραση χωρίς να τους ενοχλεί ο φωτισμός που έχει εγκατασταθεί.

Η FIFA μας δίνει σαν όριο θάμβωσης **GR ≤ 50**.

Οποιοδήποτε σημείο έχει GR μικρότερο του 50 είναι αποδεκτό ενώ σημεία με GR πάνω από 50 δεν είναι αποδεκτά και πρέπει να γίνει μια τροποποίηση της μελέτης ώστε σε όλα τα σημεία να υπάρχει  $GR \leq 50$ .



Σχήμα 5.15 Σημεία μετρήσεων θάμβωσης γηπέδου IV κατηγορίας

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 5.15 έχουν οριστεί σημεία μέσα στον γήπεδο για την μέτρηση θάμβωσης, με αυτόν τον τρόπο παίρνουμε πιθανές θέσεις στις οποίες θα βρεθούν οι παίκτες την ώρα ενός αγώνα.

Στους πίνακες 5.9 και 5.10 βλέπουμε αναλυτικά όλα τα σημεία που παίρνουμε μετρήσεις. Παίρνουμε μια πανοραμική άποψη δηλαδή γωνία 360° σε κάθε σημείο και μετράμε την θάμβωση με 15° βήμα ώστε να έχουμε ένα πιο σωστό αποτέλεσμα για κάθε σημείο. Η κλίση είναι -2° δηλαδή περίπου στο οριζόντιο επίπεδο από τα μάτια του κάθε παίκτη-διαιτητή

Πίνακας 5.9 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης γηπέδου IV κατηγορίας

α/α	Περιοχή οπτικής γωνίας	Εύρος βήματος	Κλίση	Μέγιστο
1	0°-360°	15°	-2°	36
2	0°-360°	15°	-2°	37
3	0°-360°	15°	-2°	36
4	0°-360°	15°	-2°	36
5	0°-360°	15°	-2°	37
6	0°-360°	15°	-2°	38
7	0°-360°	15°	-2°	37
8	0°-360°	15°	-2°	39
9	0°-360°	15°	-2°	38
10	0°-360°	15°	-2°	38
11	0°-360°	15°	-2°	40
12	0°-360°	15°	-2°	40
13	0°-360°	15°	-2°	35
14	0°-360°	15°	-2°	38
15	0°-360°	15°	-2°	37
16	0°-360°	15°	-2°	39
17	0°-360°	15°	-2°	41
18	0°-360°	15°	-2°	40
19	0°-360°	15°	-2°	37
20	0°-360°	15°	-2°	37
21	0°-360°	15°	-2°	39
22	0°-360°	15°	-2°	42
23	0°-360°	15°	-2°	43
24	0°-360°	15°	-2°	41
25	0°-360°	15°	-2°	37
26	0°-360°	15°	-2°	37
27	0°-360°	15°	-2°	39
28	0°-360°	15°	-2°	42
29	0°-360°	15°	-2°	43
30	0°-360°	15°	-2°	41
31	0°-360°	15°	-2°	35
32	0°-360°	15°	-2°	38
33	0°-360°	15°	-2°	37
34	0°-360°	15°	-2°	39
35	0°-360°	15°	-2°	41
36	0°-360°	15°	-2°	40
37	0°-360°	15°	-2°	37
38	0°-360°	15°	-2°	39
39	0°-360°	15°	-2°	38
40	0°-360°	15°	-2°	38
41	0°-360°	15°	-2°	40
42	0°-360°	15°	-2°	40
43	0°-360°	15°	-2°	36
44	0°-360°	15°	-2°	37
45	0°-360°	15°	-2°	36
46	0°-360°	15°	-2°	36
47	0°-360°	15°	-2°	37
48	0°-360°	15°	-2°	38

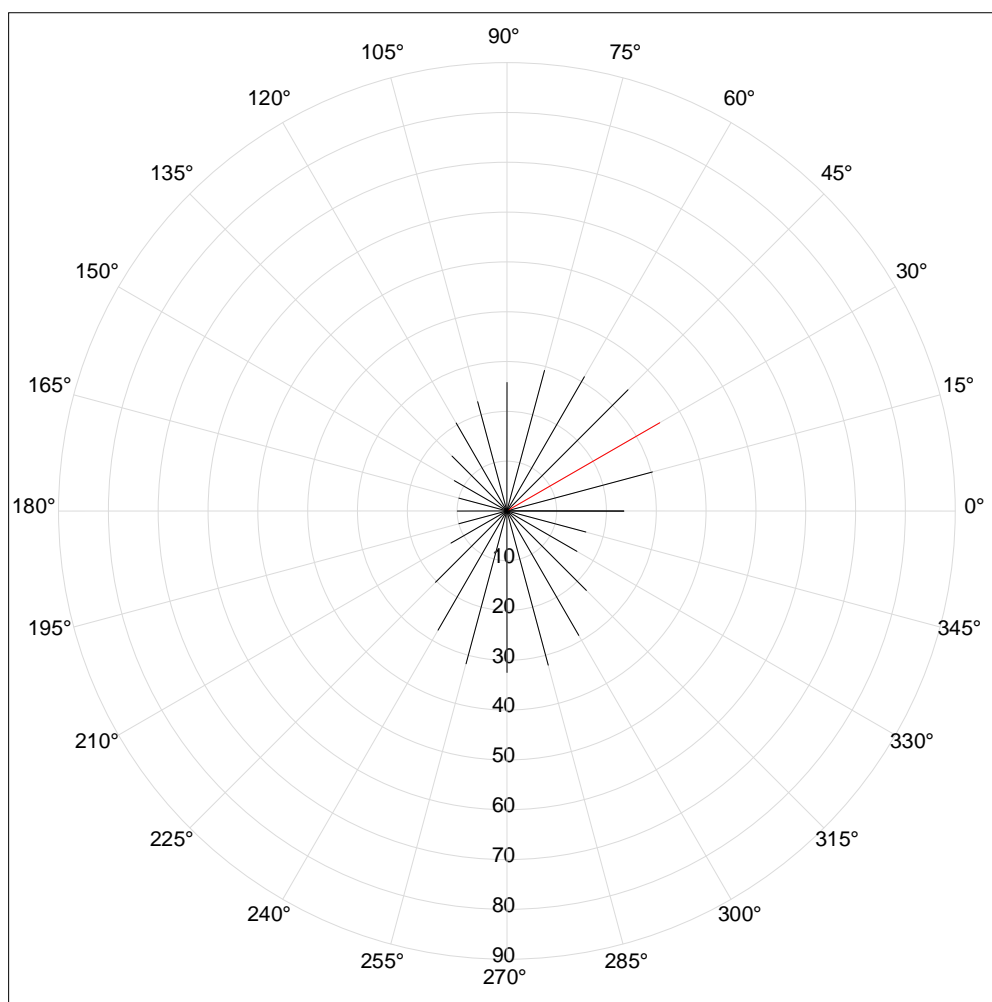
Πίνακας 5.10 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης γηπέδου IV κατηγορίας

α/α	Περιοχή οπτικής γωνίας	Εύρος βήματος	Κλίση	Μέγιστο
49	0°-360°	15°	-2°	38
50	0°-360°	15°	-2°	37
51	0°-360°	15°	-2°	36
52	0°-360°	15°	-2°	36
53	0°-360°	15°	-2°	37
54	0°-360°	15°	-2°	36
55	0°-360°	15°	-2°	40
56	0°-360°	15°	-2°	40
57	0°-360°	15°	-2°	38
58	0°-360°	15°	-2°	38
59	0°-360°	15°	-2°	39
60	0°-360°	15°	-2°	37
61	0°-360°	15°	-2°	40
62	0°-360°	15°	-2°	41
63	0°-360°	15°	-2°	39
64	0°-360°	15°	-2°	37
65	0°-360°	15°	-2°	38
66	0°-360°	15°	-2°	35
67	0°-360°	15°	-2°	41
68	0°-360°	15°	-2°	43
69	0°-360°	15°	-2°	42
70	0°-360°	15°	-2°	39
71	0°-360°	15°	-2°	37
72	0°-360°	15°	-2°	37
73	0°-360°	15°	-2°	41
74	0°-360°	15°	-2°	43
75	0°-360°	15°	-2°	42
76	0°-360°	15°	-2°	39
77	0°-360°	15°	-2°	37
78	0°-360°	15°	-2°	37
79	0°-360°	15°	-2°	40
80	0°-360°	15°	-2°	41
81	0°-360°	15°	-2°	39
82	0°-360°	15°	-2°	37
83	0°-360°	15°	-2°	38
84	0°-360°	15°	-2°	35
85	0°-360°	15°	-2°	40
86	0°-360°	15°	-2°	40
87	0°-360°	15°	-2°	38
88	0°-360°	15°	-2°	38
89	0°-360°	15°	-2°	39
90	0°-360°	15°	-2°	37
91	0°-360°	15°	-2°	38
92	0°-360°	15°	-2°	37
93	0°-360°	15°	-2°	36
94	0°-360°	15°	-2°	36
95	0°-360°	15°	-2°	37
96	0°-360°	15°	-2°	36

Όπως βλέπουμε από τα αποτελέσματα η θάμβωση στα σημεία κυμαίνεται από 35 έως και 43 και μέσος όρος είναι 38,3, πράγμα που σημαίνει ότι καλύπτουμε πλήρως τις προδιαγραφές από την FIFA που ζητά σαν μέγιστο το 50.

Στο παρακάτω σχήμα (5.16) βλέπουμε μια αναλυτική απεικόνιση της θάμβωσης στο σημείο 31 (βλέπε σχήμα 5.15). Όπως παρατηρούμε στις 30° η θάμβωση είναι μεγαλύτερη στο σημείο αυτό και είναι της τάξεως GR=35

Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε και το βήμα των 15° που για κάθε σημείο θα γίνουν συνολικά 24 μετρήσεις που στο σύνολο τους μας κάνουν 360° δηλαδή ένα κύκλο, έτσι θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε από ποια κατεύθυνση προέρχεται ο φωτισμός που προκαλεί τη θάμβωση.



Σχήμα 5.16 Παρατηρητής UGR σε τυχαίο σημείο εντός του αγωνιστικού χώρου

## 6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΥΤΗΡΙΩΝ”

#### 6.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε τον φωτισμό ενός βοηθητικού γηπέδου με τέσσερις στύλους φωτισμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1, καθώς επίσης και τους χώρους αποδυτήριων με την βοήθεια του Dialux. Θα ασχοληθούμε με τον τρόπο τοποθέτησης φωτιστικών, θα υπολογίσουμε την ένταση φωτισμού σε κάθε σημείο, καθώς επίσης και την θάμβωση.

#### 6.2 Βοηθητικό γήπεδο

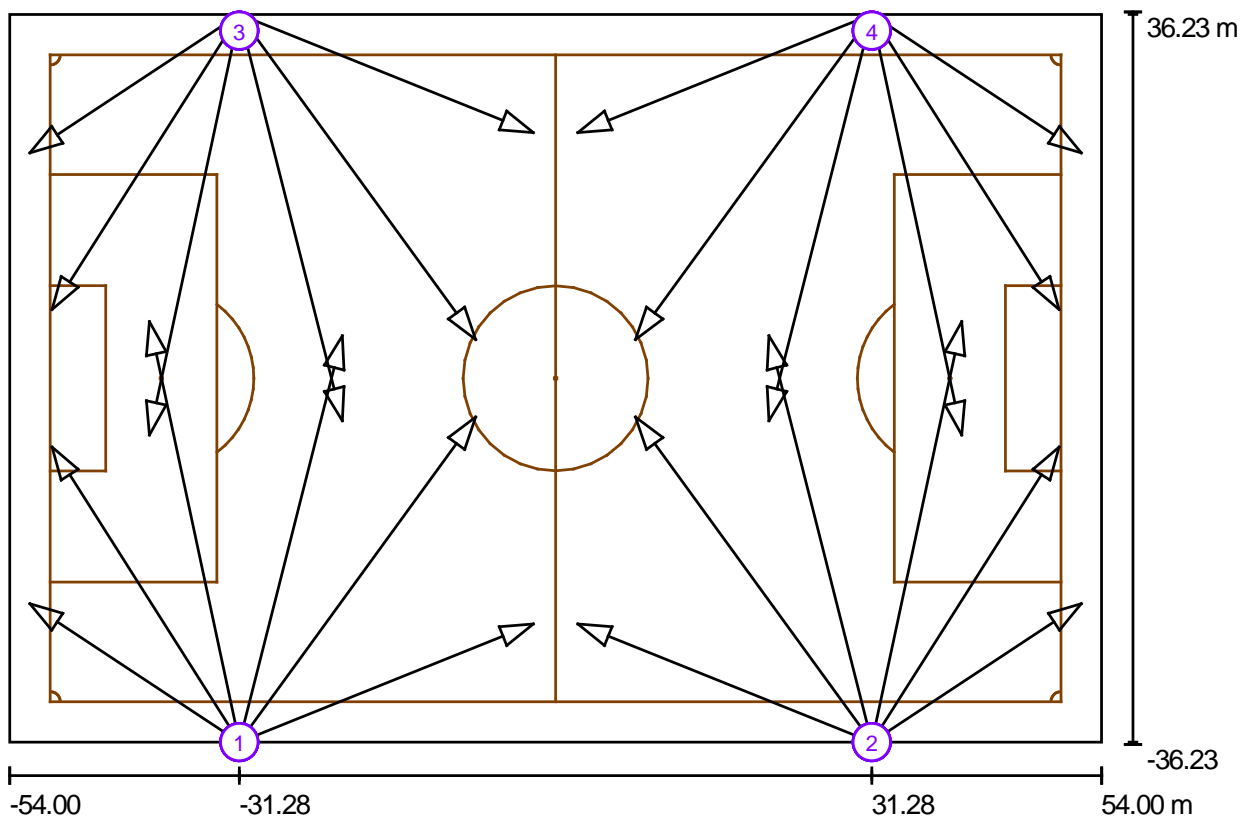


Σχήμα 6.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση βοηθητικού γηπέδου

Ορίζουμε σαν διαστάσεις για το βοηθητικό γήπεδο το οποίο είναι I κατηγορίας, δηλαδή μη τηλεοπτικής κάλυψης και χρήση προπόνησης και αναψυχής στα 100 μέτρα μήκος και 65 μέτρα πλάτος. Σαν προδιαγραφές από την FIFA πρέπει να έχουμε μέση ένταση **οριζοντίου φωτισμού τα 200 lux**, με ομοιομορφία  **$U2=0,5$**  όπου  **$U2=ελαχ/μεσο$**

Τα φωτιστικά τα οποία χρησιμοποιήσαμε στο γήπεδο IV κατηγορίας είναι τα OSRAM 4008321414106 SATURNO II HQI-TS 2000W DS/VWFL και ανήρθαν στον αριθμό των 24 τεμαχίων συνολικής ισχύς 48KW.

Το ύψος τοποθέτησης φωτιστικών είναι στα 17 μέτρα. Στο γήπεδο τοποθετήθηκαν 4 στύλοι με 6 φωτιστικά στο κάθε ένα, σύνολο 24 φωτιστικά.

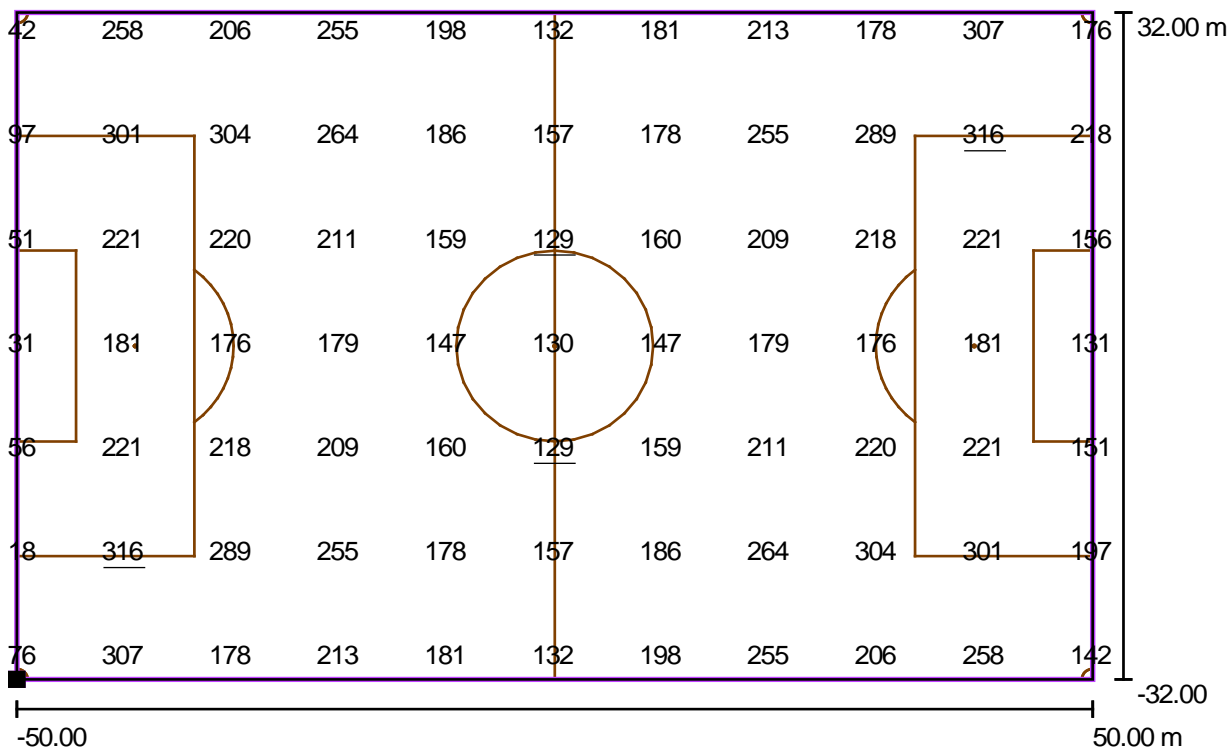


Σχήμα 6.2 Στόχευση φωτιστικών-γήπεδο I κατηγορίας

Βλέπουμε στην εικόνα τα σημεία που στοχεύουν τα φωτιστικά από κάθε πυλώνα, και στους 4 πυλώνες τα φωτιστικά στοχεύουν συμμετρικά σε σημεία του γηπέδου για να έχουμε καλύτερη ομοιομορφία του φωτισμού.

### 6.2.1 Ένταση φωτισμού

Από τις προδιαγραφές της FIFA παίρνουμε σημεία μέτρησης μέσα στο γήπεδο σε απόσταση **10x10** μέτρα μεταξύ τους, σε ύψος μέτρησης το **1 μέτρο** από τον αγωνιστικό χώρο (σχήμα 6.3).



Σχήμα 6.3 Σημεία μέτρησης έντασης φωτισμού γηπέδου I κατηγορίας

Στο πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε τα στοιχεία που παίρνουμε από τα σημεία υπολογισμού

Πίνακας 6.1 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού

Μέγιστη ένταση	316 lux
Ελάχιστη ένταση	129 lux
Μέση ένταση	204 lux
U2=ελαχ/μεσο	0.63

Όπως βλέπουμε από τα αποτελέσματα καλύπτουμε πλήρως τις προδιαγραφές με μέση ένταση φωτισμού τα 204 lux, έχοντας σαν στόχο τα 200 lux πράγμα που σημαίνει ότι η μελέτη μας είναι αρκετά ακριβής.

Στα ίδια σημεία υπολογισμού έγινε και μέτρηση της θάμβωσης και τα αποτελέσματα που πήραμε τα βλέπουμε στους πίνακες 6.2-6.3.



Πίνακας 6.2 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης βοηθητικού γηπέδου

α/α	Περιοχή οπτικής γωνίας	Εύρος βήματος	Κλίση	Μέγιστο
1	0°-360°	15°	-2°	38
2	0°-360°	15°	-2°	36
3	0°-360°	15°	-2°	37
4	0°-360°	15°	-2°	36
5	0°-360°	15°	-2°	38
6	0°-360°	15°	-2°	33
7	0°-360°	15°	-2°	37
8	0°-360°	15°	-2°	36
9	0°-360°	15°	-2°	37
10	0°-360°	15°	-2°	36
11	0°-360°	15°	-2°	38
12	0°-360°	15°	-2°	40
13	0°-360°	15°	-2°	39
14	0°-360°	15°	-2°	38
15	0°-360°	15°	-2°	38
16	0°-360°	15°	-2°	38
17	0°-360°	15°	-2°	38
18	0°-360°	15°	-2°	47
19	0°-360°	15°	-2°	37
20	0°-360°	15°	-2°	38
21	0°-360°	15°	-2°	38
22	0°-360°	15°	-2°	38
23	0°-360°	15°	-2°	38
24	0°-360°	15°	-2°	40
25	0°-360°	15°	-2°	40
26	0°-360°	15°	-2°	39
27	0°-360°	15°	-2°	40
28	0°-360°	15°	-2°	38
29	0°-360°	15°	-2°	37
30	0°-360°	15°	-2°	39
31	0°-360°	15°	-2°	39
32	0°-360°	15°	-2°	39
33	0°-360°	15°	-2°	40
34	0°-360°	15°	-2°	39
35	0°-360°	15°	-2°	40
36	0°-360°	15°	-2°	41
37	0°-360°	15°	-2°	40
38	0°-360°	15°	-2°	41
39	0°-360°	15°	-2°	40
40	0°-360°	15°	-2°	40
41	0°-360°	15°	-2°	37
42	0°-360°	15°	-2°	40
43	0°-360°	15°	-2°	41
44	0°-360°	15°	-2°	40
45	0°-360°	15°	-2°	41
46	0°-360°	15°	-2°	40
47	0°-360°	15°	-2°	39
48	0°-360°	15°	-2°	39

Πίνακας 6.3 Αναλυτικός πίνακας μετρήσεων θάμβωσης βοηθητικού γηπέδου

α/α	Περιοχή οπτικής γωνίας	Εύρος βήματος	Κλίση	Μέγιστο
49	0°-360°	15°	-2°	39
50	0°-360°	15°	-2°	37
51	0°-360°	15°	-2°	38
52	0°-360°	15°	-2°	40
53	0°-360°	15°	-2°	39
54	0°-360°	15°	-2°	40
55	0°-360°	15°	-2°	40
56	0°-360°	15°	-2°	40
57	0°-360°	15°	-2°	38
58	0°-360°	15°	-2°	38
59	0°-360°	15°	-2°	38
60	0°-360°	15°	-2°	38
61	0°-360°	15°	-2°	37
62	0°-360°	15°	-2°	37
63	0°-360°	15°	-2°	38
64	0°-360°	15°	-2°	38
65	0°-360°	15°	-2°	38
66	0°-360°	15°	-2°	38
67	0°-360°	15°	-2°	39
68	0°-360°	15°	-2°	38
69	0°-360°	15°	-2°	36
70	0°-360°	15°	-2°	37
71	0°-360°	15°	-2°	36
72	0°-360°	15°	-2°	37
73	0°-360°	15°	-2°	36
74	0°-360°	15°	-2°	38
75	0°-360°	15°	-2°	36
76	0°-360°	15°	-2°	37
77	0°-360°	15°	-2°	36

Όπως παρατηρούμε στους παραπάνω πίνακες από τα αποτελέσματα που πήραμε παρατηρούμε ότι η θάμβωση σε όλα τα σημεία του γηπέδου που κάναμε τις μετρήσεις δεν ξεπερνά πουθενά το μέγιστο όριο το οποίο ορίζει η FIFA σαν επιτρεπτό  $GR \geq 50$  δηλαδή και παρατηρούμε ότι το μέγιστο είναι το 41.

Η μελέτη μας επομένως παρατηρούμε ότι πληροί όλες τις προδιαγραφές που ορίζει η FIFA για ένα γήπεδο I κατηγορίας, και όσον αφορά την ένταση φωτισμού και όσον αφορά την θάμβωση.

### 6.3 Θάμβωση (UGR)

Παρακάτω στα σχήματα και τους πίνακες παραθέτουμε τις μετρήσεις έντασης φωτισμού καθώς και του παρατηρητή UGR για όλους τους χώρους

Στις αίθουσες έγιναν και μετρήσεις για την θάμβωση με την βοήθεια του δείκτη UGR (Unified Glare Rating), παρακάτω παραθέτουμε ένα πίνακα με τιμές UGR και κατά πόσο επηρεάζουν την όραση.

Πίνακας 6.4 Δείκτης UGR

UGR	Συνθήκες φωτισμού
< 13	Δεν υπάρχει θάμβωση
13-16	Κατάλληλες συνθήκες για ακριβείς οπτικές εργασίες
16-19	Κατάλληλες συνθήκες για συνήθειες οπτικές εργασίες
19-22	Κατάλληλες συνθήκες για οπτικές εργασίες μετρίων απαιτήσεων
22-28	Κατάλληλες συνθήκες για απλές οπτικές εργασίες
>28	Ακατάλληλες συνθήκες φωτισμού για εργασία

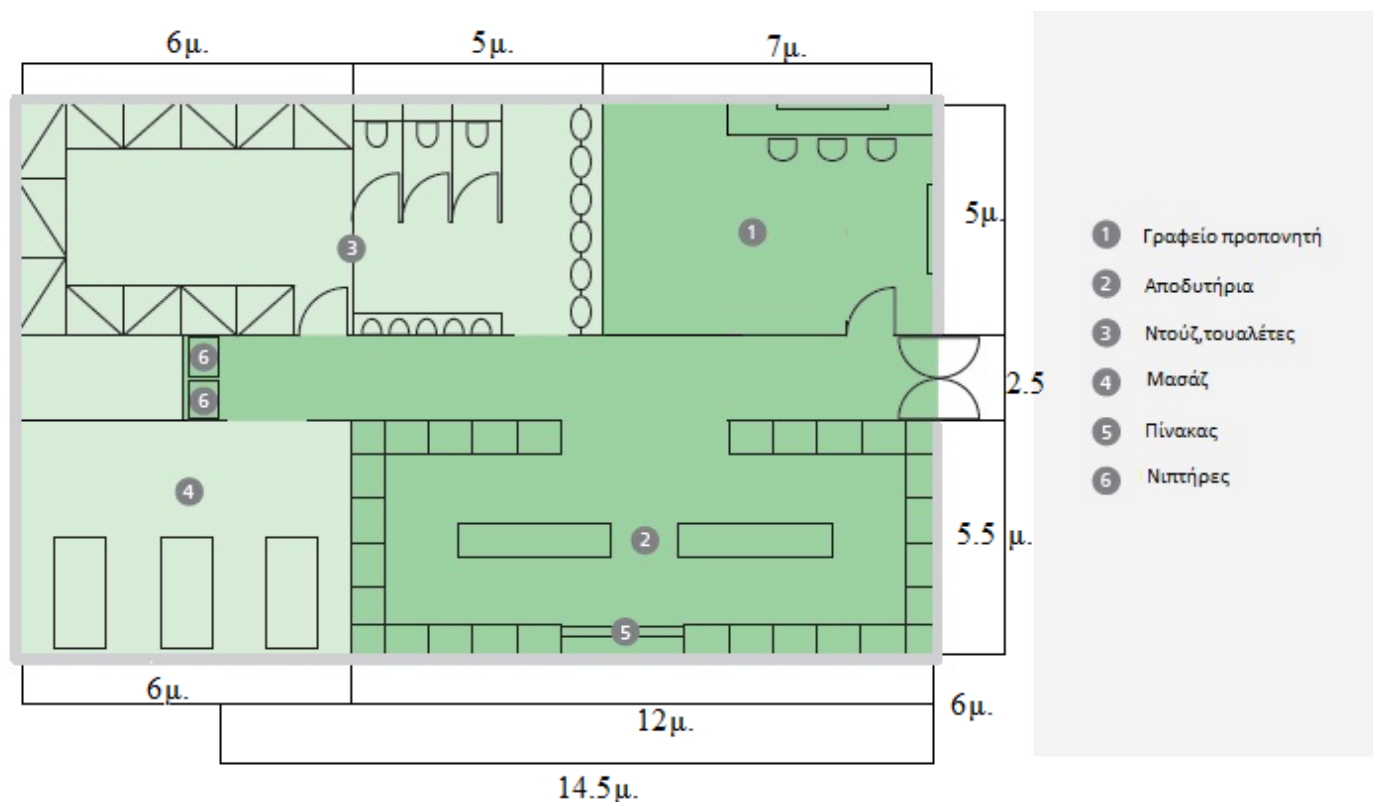
Στον πίνακα 6,5 βλέπουμε τιμές που ανάλογα με την θάμβωση το VCP (Visual Comfort Probability) είναι η σε ποσοστό οπτική άνεση που έχουμε στον χώρο. Όπως παρατηρούμε τιμές από <10 έως 19 είναι αρεστές.

Πίνακας 6.5 Visual Comfort Probability

ΜΕΓΙΣΤΟ UGR	VCP
11,6	90%
16	80%
19	70%
21,6	60%
24	50%

## 6.4 Αποδυτήρια

Σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με την μελέτη φωτισμού των αποδυτηρίων.



Σχήμα 6.4 Κάτοψη αποδυτηρίων

Η κάτοψη του σχήματος 6.4 είναι μια γενική μορφή που προτείνει η FIFA για τους χώρους των αποδυτηρίων και γραφείων. Σ'αυτούς τους χώρους τοποθετηθήκαν φωτιστικά τύπου LED σε ύψος 2,8 μέτρων. Η μελέτη των εσωτερικών χώρων θα γίνει βάσει του πρότυπου EN 12464-1. Το ύψος υπολογισμού έντασης φωτισμού και της θάμβωσης θα είναι στα 0,85 μέτρα για τους χώρους γραφείο προπονητή, αίθουσα μασάζ, χώρο αποδυτηρίων, και στα 0 μέτρα για το χώρο του ντους, του WC και το διάδρομο. Στις μετρήσεις συνυπολογίσουμε και τον παρατηρητή UGR, η θάμβωση δηλαδή στο κάθε χώρο βάσει του πρότυπου να είναι στα ικανοποιητικά επίπεδα ώστε να θεωρηθεί η μελέτη μας σωστή.

Στο επίπεδο εργασίας θα υπάρχει μια περιοχή η όποια δεν θα ληφθεί υπόψη για την μέτρηση της έντασης φωτισμού και αυτή θα είναι στις γωνίες κάθε χώρου περιμετρικά αυτού και σε απόσταση από τον τοίχο 0,5 μέτρα για τους χώρους αποδυτηρίων, μασάζ, γραφείο προπονητή, στα 0,4 μέτρα για τους χώρους ντους και WC και στα 0,3 μέτρα για τον διάδρομο. Βλέποντας τα σχήματα (6,7-6,11-6,15-6,19-6,23-6,27) μπορούμε να παρατηρήσουμε από τις κατόψεις τις περιοχές αυτές.

### 6.4.1 Γραφείο προπονητή

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιήσουμε μελέτη φωτισμού για το γραφείο του προπονητή. Βάσει του πρότυπου EN 12464-1 για χώρο γραφείου θα πρέπει η μέση ένταση φωτισμού να είναι στα 400 lux, και θα πρέπει η μελέτη μας να είναι αρκετά ακριβής για ένα τέτοιο χώρο. Ο παρατηρητής UGR βάσει προτύπου πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με 19 για γραφεία. Επίσης η ομοιομορφία  $U2=ελαχ/μεσο$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,7.

Στο χώρο του γραφείου τοποθετηθήκαν 6 φωτιστικά SITECO 5MQ1287LY Quadrature τύπου LED σε ύψος τοποθέτησης τα 2.8 μέτρα. Το ύψος μέτρησης έντασης φωτισμού και της θάμβωσης είναι στα 0.85 μέτρα. Η ισχύς του φωτιστικού είναι 47W. Στο πίνακα 6.6 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές ανακλάσεως του δαπέδου, της οροφής, των τοίχων και το επιλεγμένο χρώμα βαφής καθενός.

Πίνακας 6.6 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών

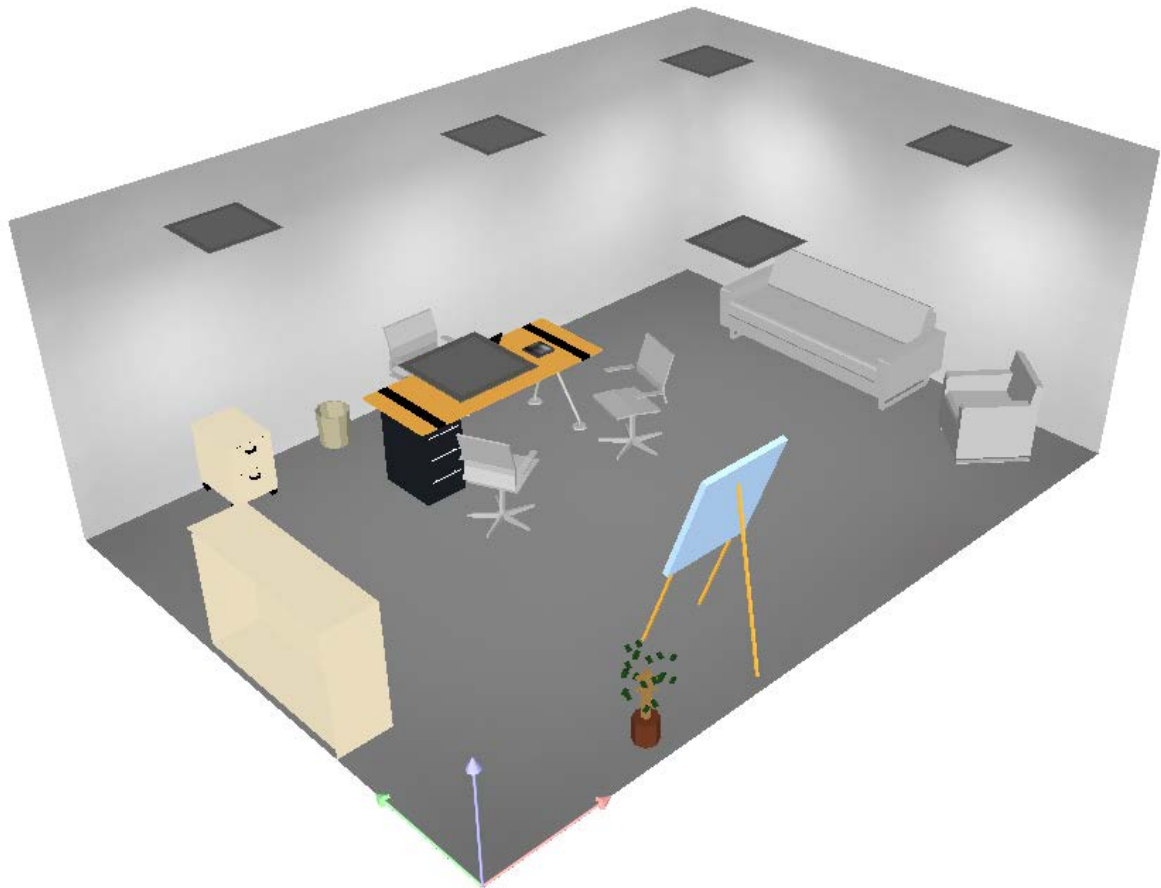
Επιφάνεια	Συντ. Ανακλάσεως	Επιλεγμένο χρώμα
Τοίχος 1	0.6	ανοικτό γκρι
Τοίχος 2	0.6	ανοικτό γκρι
Τοίχος 3	0.6	ανοικτό γκρι
Τοίχος 4	0.6	ανοικτό γκρι
Οροφή	0.7	λευκό
Δάπεδο	0.3	σκούρο γκρι

Στο πίνακα 6.7 βλέπουμε συνοπτικά τα στοιχεία που παίρνουμε από τις μετρήσεις.

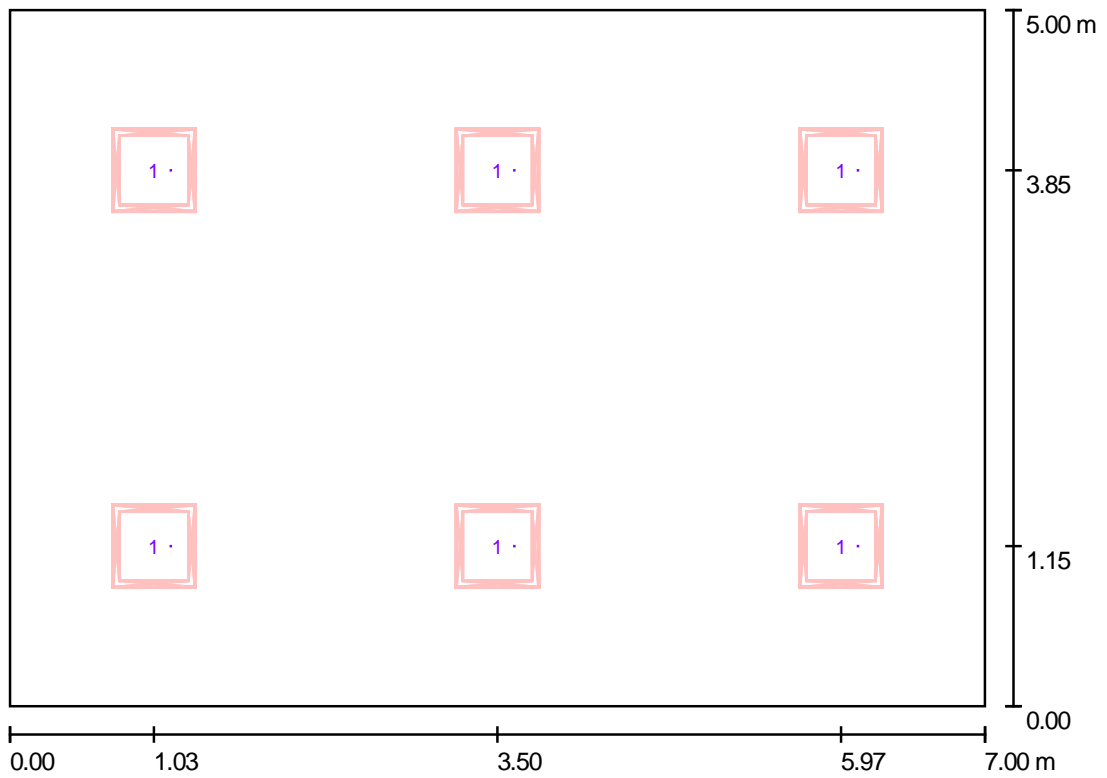
Πίνακας 6.7 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού-παρατηρητή UGR

Μέγιστη ένταση	480 lux
Ελάχιστη ένταση	336 lux
Μέση ένταση	411 lux
$U1=ελαχ/μεγ$	0.7
$U2=ελαχ/μεσο$	0.82
Παρατηρητής UGR ελάχιστο	<10
Παρατηρητής UGR μέγιστο	15

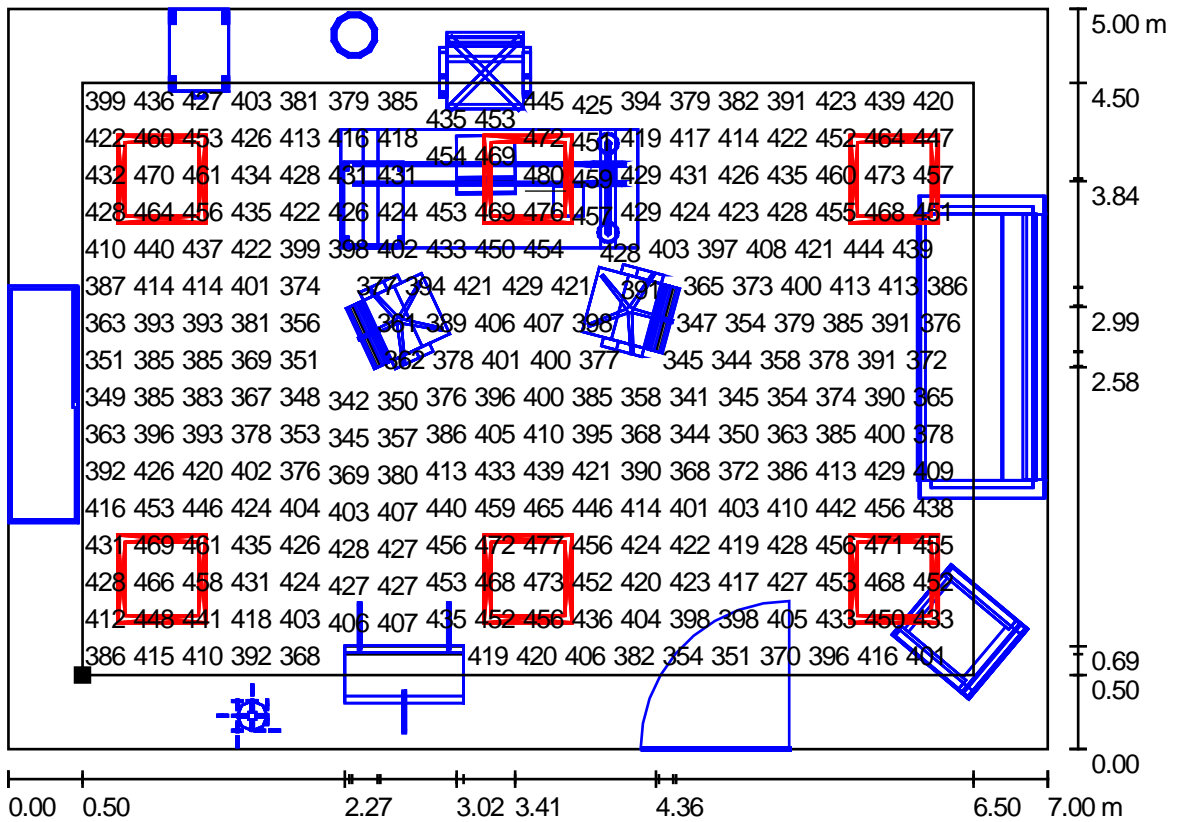
Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι η μέση ένταση είναι 411 lux έχοντας σαν προτεινόμενη ένταση τα 400 lux, επίσης η ομοιομορφία  $U2$  είναι στα 0.82, διαπιστώνουμε ότι το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Όσον αφορά τον παρατηρητή UGR πήραμε μέγιστη τιμή το 15 που πληροί τις προδιαγραφές. Παρακάτω παραθέτουμε κάποια σχήματα τα οποία έχουμε εξάγει από το Dialux και αφορούν την ένταση φωτισμού και την θάμβωση.



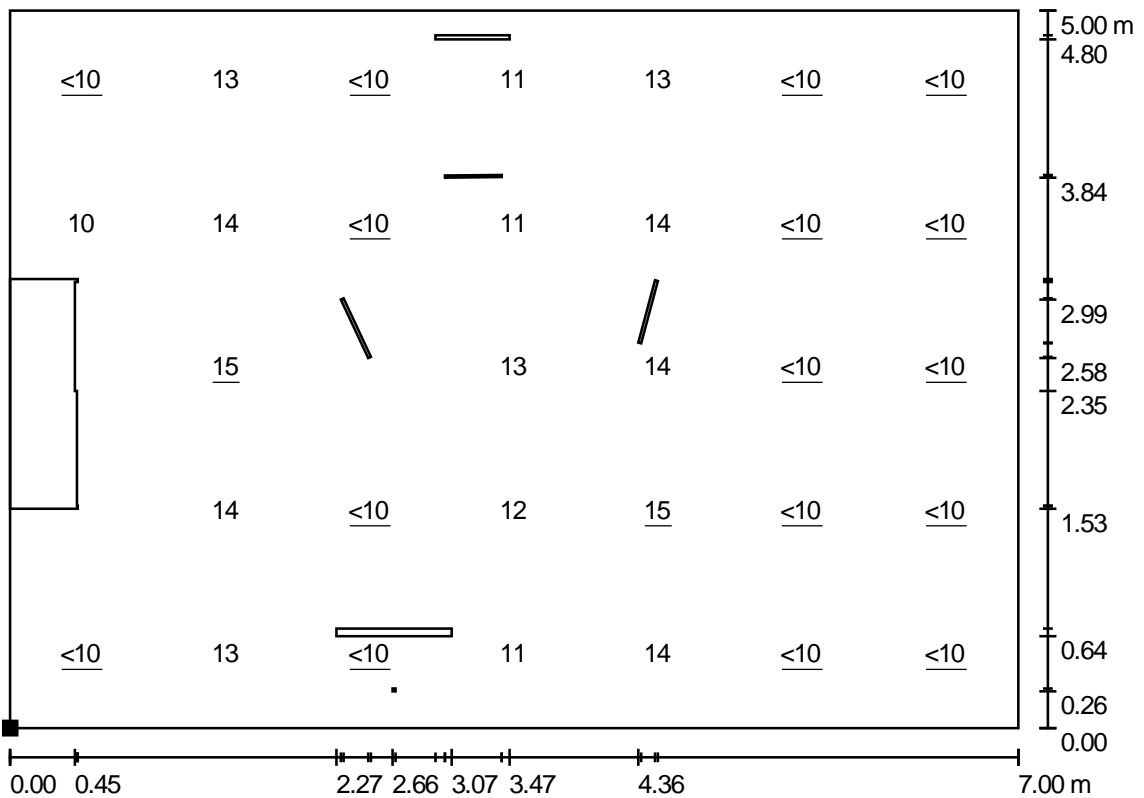
Σχήμα 6.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση γραφείου



Σχήμα 6.6 Κάτοψη γραφείου προπονητή με φωτιστικά



Σχήμα 6.7 Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο-Γραφείο προπονητή



Σχήμα 6.8 Παρατηρητής UGR- Γραφείο προπονητή

### 6.4.2 Αίθουσα μασάζ

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιήσουμε μελέτη φωτισμού για την αίθουσα μασάζ. Βάσει του πρότυπου EN 12464-1 για χώρο μασάζ θα πρέπει η μέση ένταση φωτισμού να είναι στα 300 lux. Ο παρατηρητής UGR βάσει προτύπου πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος 19. Επίσης η ομοιομορφία  $U2=ελαχ/μεσο$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,7.

Στο χώρο τοποθετήθηκαν 4 φωτιστικά SITECO 5MQ1287LY Quadrature τύπου LED σε ύψος τοποθέτησης τα 2.8 μέτρα. Το ύψος μέτρησης έντασης φωτισμού και της θάμβωσης είναι στα 0.85 μέτρα. Η ισχύς του φωτιστικού είναι 47W.

Στο πίνακα 6.8 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές ανακλάσεως του δαπέδου, της οροφής, των τοίχων και το επιλεγμένο χρώμα βαφής καθενός.

Πίνακας 6.8 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών

Επιφάνεια	Συντ. Ανακλάσεως	Επιλεγμένο χρώμα
Τοίχος 1	0.5	γκρι μπλε ανοικτό
Τοίχος 2	0.5	γκρι μπλε ανοικτό
Τοίχος 3	0.5	γκρι μπλε ανοικτό
Τοίχος 4	0.5	γκρι μπλε ανοικτό
Οροφή	0.7	λευκό
Δάπεδο	0.67	ανοικτό γκρι

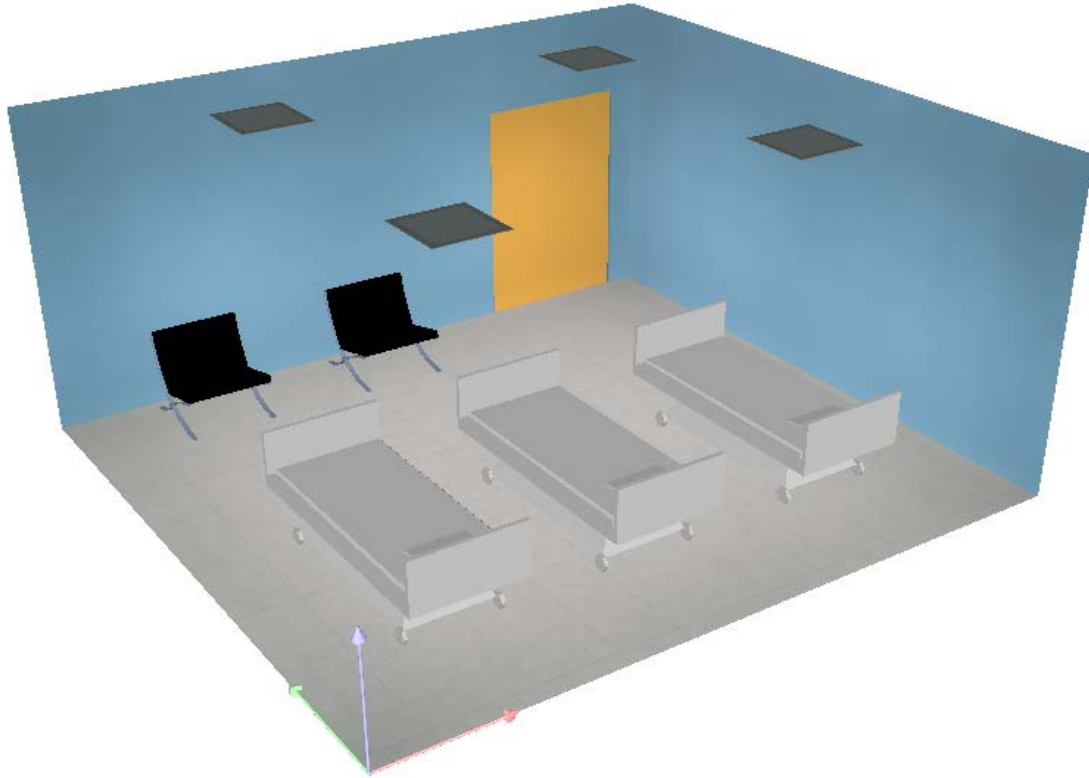
Στο πίνακα 6.9 βλέπουμε συνοπτικά τα στοιχεία που παίρνουμε από τις μετρήσεις.

Πίνακας 6.9 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR

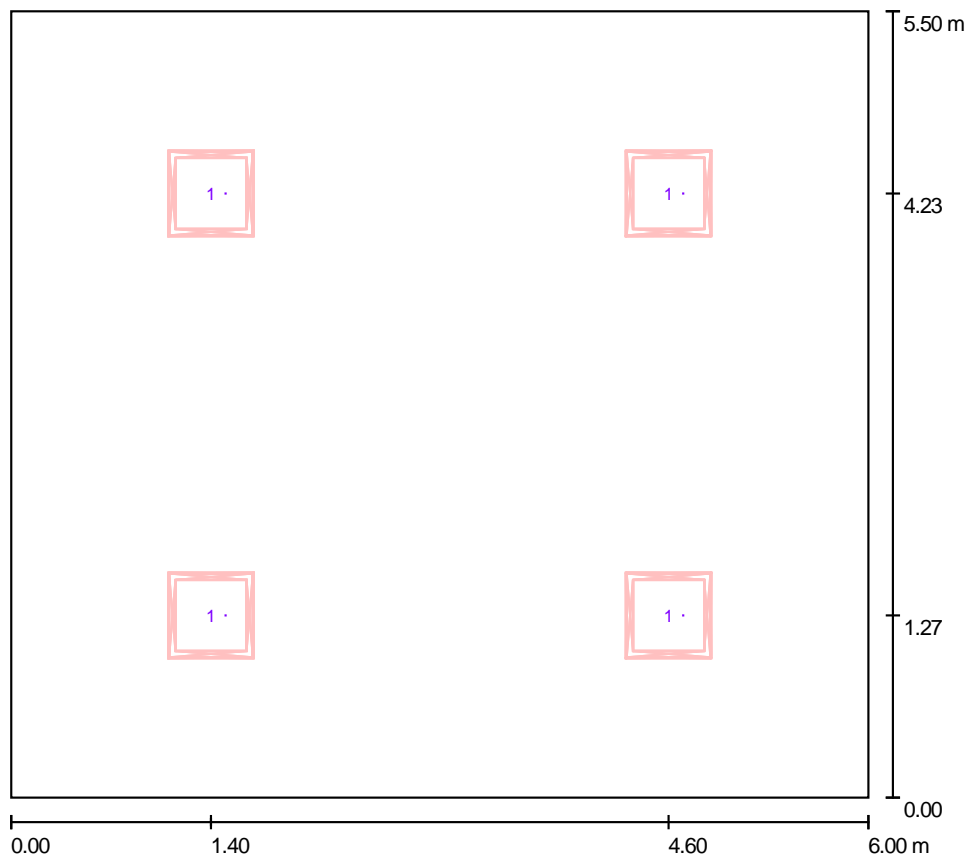
Μέγιστη ένταση	447 lux
Ελάχιστη ένταση	222 lux
Μέση ένταση	334 lux
$U1=ελαχ/μεγ$	0.5
$U2=ελαχ/μεσο$	0.67
Παρατηρητής UGR ελάχιστο	<10
Παρατηρητής UGR μέγιστο	13

Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι η μέση ένταση είναι 334 lux έχοντας σαν προτεινόμενη ένταση τα 300 lux, επίσης η ομοιομορφία  $U2$  είναι στα 0.67, διαπιστώνουμε ότι το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Όσον αφορά τον παρατηρητή UGR πήραμε μέγιστη τιμή το 13 που πληροί τις προδιαγραφές. Παρακάτω παραθέτουμε κάποια σχήματα τα οποία έχουμε εξάγει από το Dialux και αφορούν την ένταση φωτισμού και την θάμβωση.

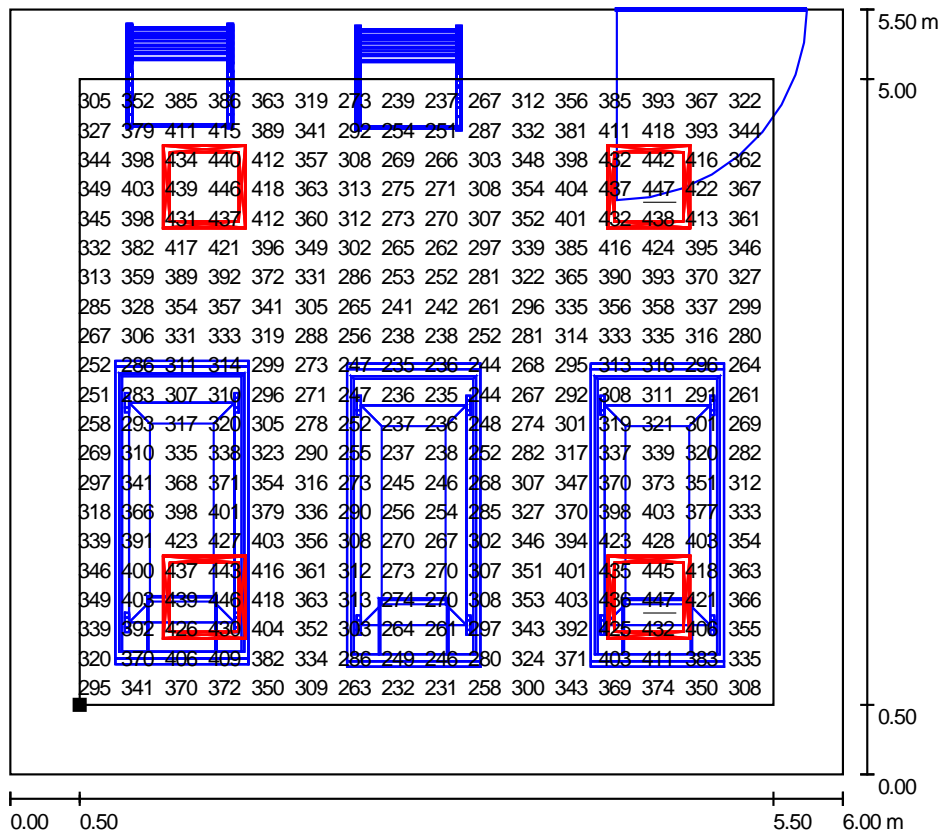




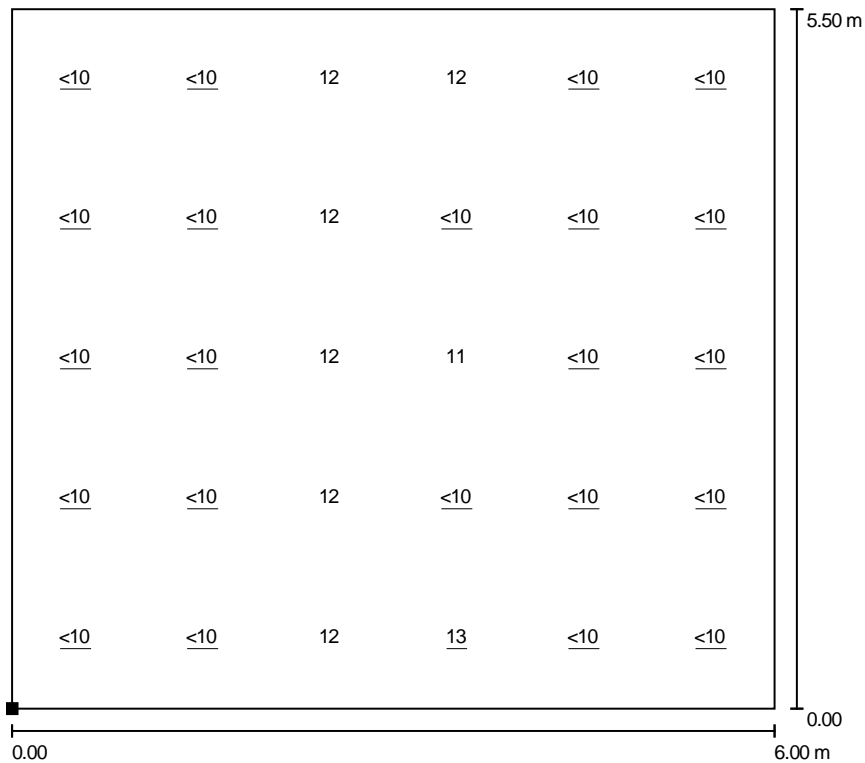
Σχήμα 6.9 Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας μασάζ



Σχήμα 6.10 Κάτοψη χώρου μασάζ με φωτιστικά



Σχήμα 6.11 Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο-Αίθουσα μασάζ



Σχήμα 6.12 Παρατηρητής UGR- Αίθουσα μασάζ

### 6.4.3 Αίθουσα αποδυτηρίων

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιήσουμε μελέτη φωτισμού για την αίθουσα αποδυτηρίων. Βάσει του πρότυπου EN 12464-1 για χώρο αποδυτηρίων θα πρέπει η μέση ένταση φωτισμού να είναι στα 300 lux. Ο παρατηρητής UGR βάσει προτύπου πρέπει να είναι μέγιστο 22. Επίσης η ομοιομορφία  $U2=ελαχ/μεσο$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,7.

Στο χώρο τοποθετήθηκαν 10 φωτιστικά SITECO 5MQ12872Y Quadrature τύπου LED σε ύψος τοποθέτησης τα 2.8 μέτρα. Το ύψος μέτρησης έντασης φωτισμού και της θάμβωσης είναι στα 0.85 μέτρα. Η ισχύς του φωτιστικού είναι 54W.

Στο πίνακα 6.10 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές ανακλάσεως του δαπέδου της οροφής, των τοίχων καθώς επίσης επιλεγμένο χρώμα βαφής καθενός.

Πίνακας 6.10 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών

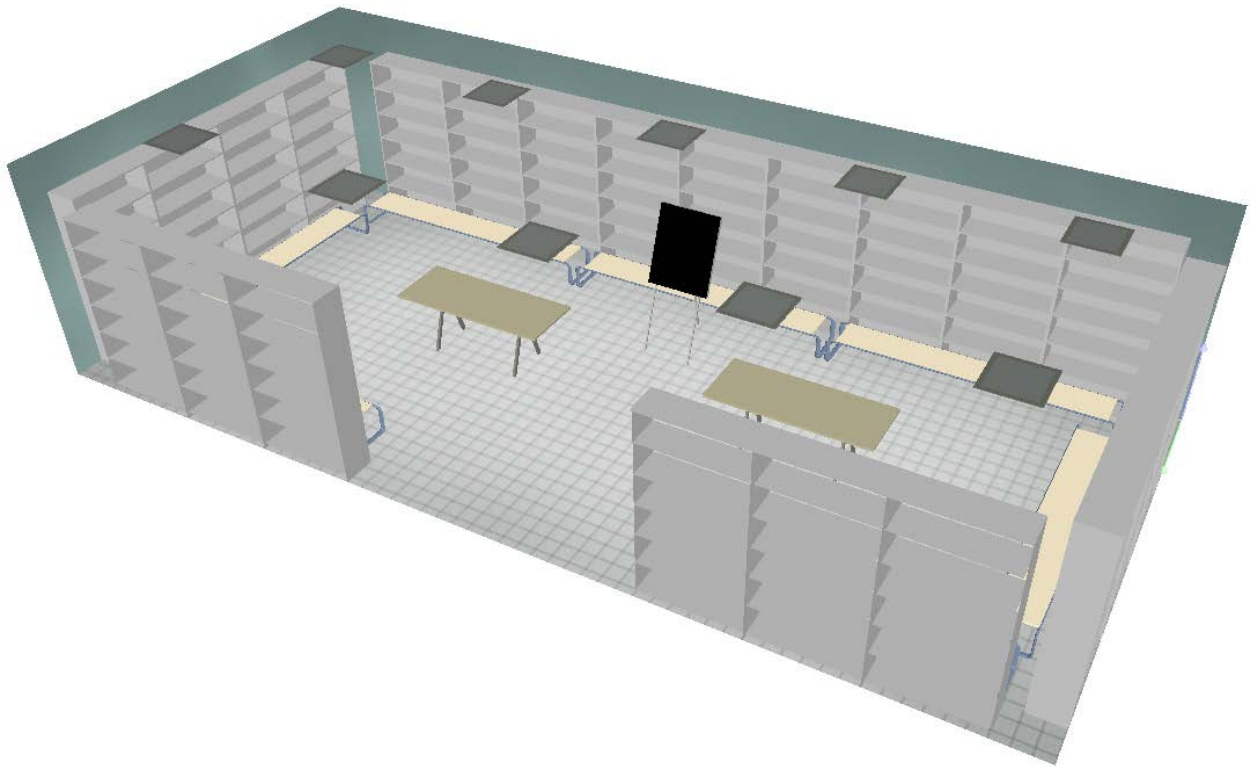
Επιφάνεια	Συντ. Ανακλάσεως	Επιλεγμένο χρώμα
Τοίχος 1	0.4	γκρι πράσινο ανοικτό
Τοίχος 2	0.4	γκρι πράσινο ανοικτό
Τοίχος 3	0.4	γκρι πράσινο ανοικτό
Τοίχος 4	0.4	γκρι πράσινο ανοικτό
Οροφή	0.55	λευκό
Δάπεδο	0.4	γκρι

Στο πίνακα 6.11 που ακολουθεί βλέπουμε συνοπτικά τα στοιχεία που παίρνουμε από τις μετρήσεις.

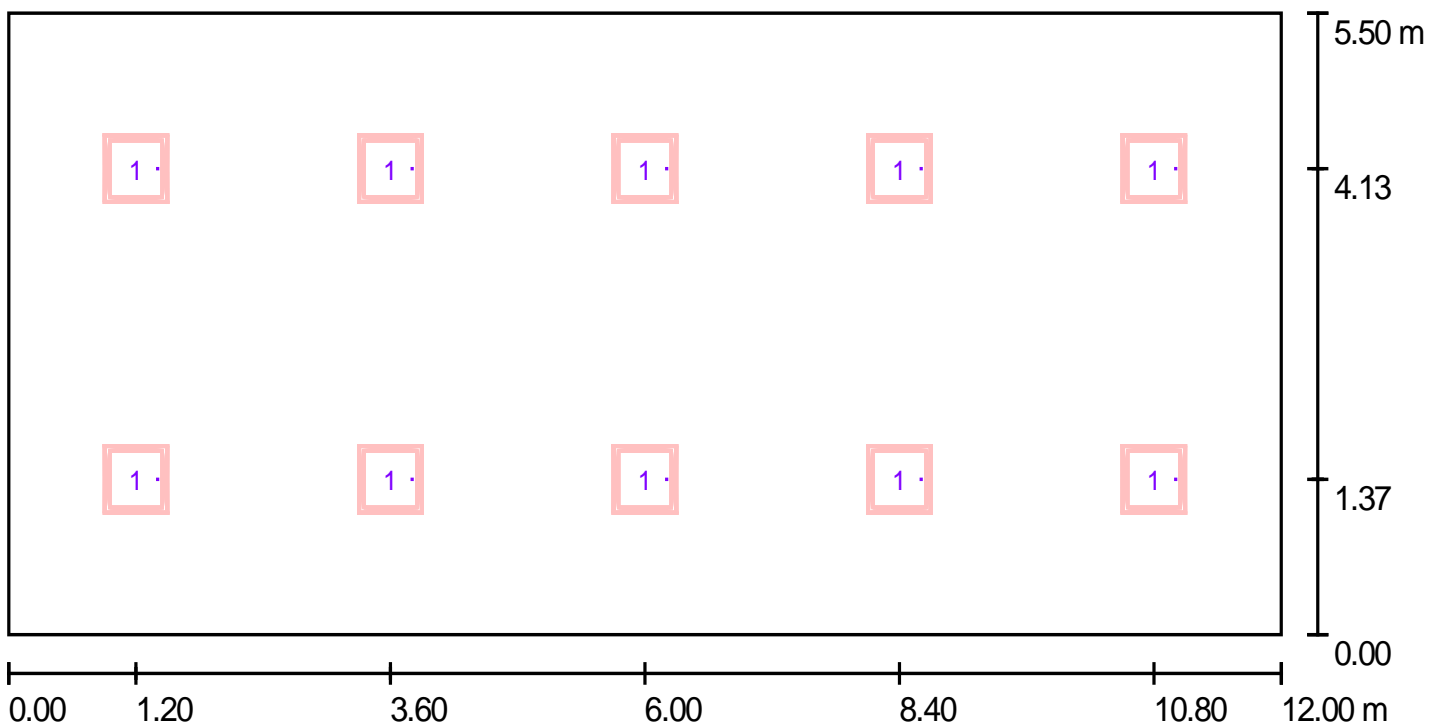
Πίνακας 6.11 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR

Μέγιστη ένταση	371 lux
Ελάχιστη ένταση	234 lux
Μέση ένταση	298 lux
$U1=ελαχ/μεγ$	0.63
$U2=ελαχ/μεσο$	0.79
Παρατηρητής UGR ελάχιστο	<10
Παρατηρητής UGR μέγιστο	16

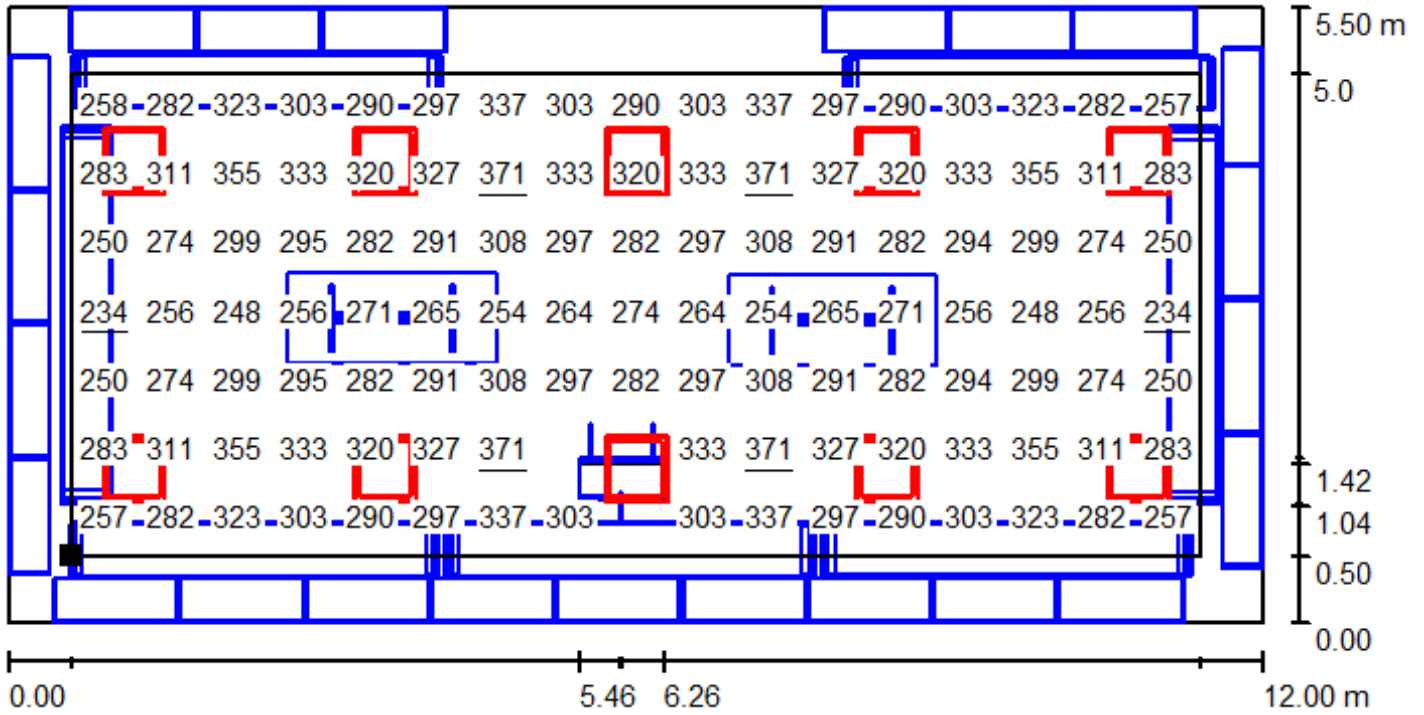
Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι η μέση ένταση είναι 298 lux έχοντας σαν προτεινόμενη ένταση τα 300 lux, επίσης η ομοιομορφία  $U2$  είναι στα 0.79, διαπιστώνουμε ότι το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Όσον αφορά τον παρατηρητή UGR πήραμε μέγιστη τιμή το 16 που πληροί τις προδιαγραφές. Παρακάτω παραθέτουμε κάποια σχήματα τα οποία έχουμε εξάγει από το Dialux αφορούν την ένταση φωτισμού και την θάμβωση.



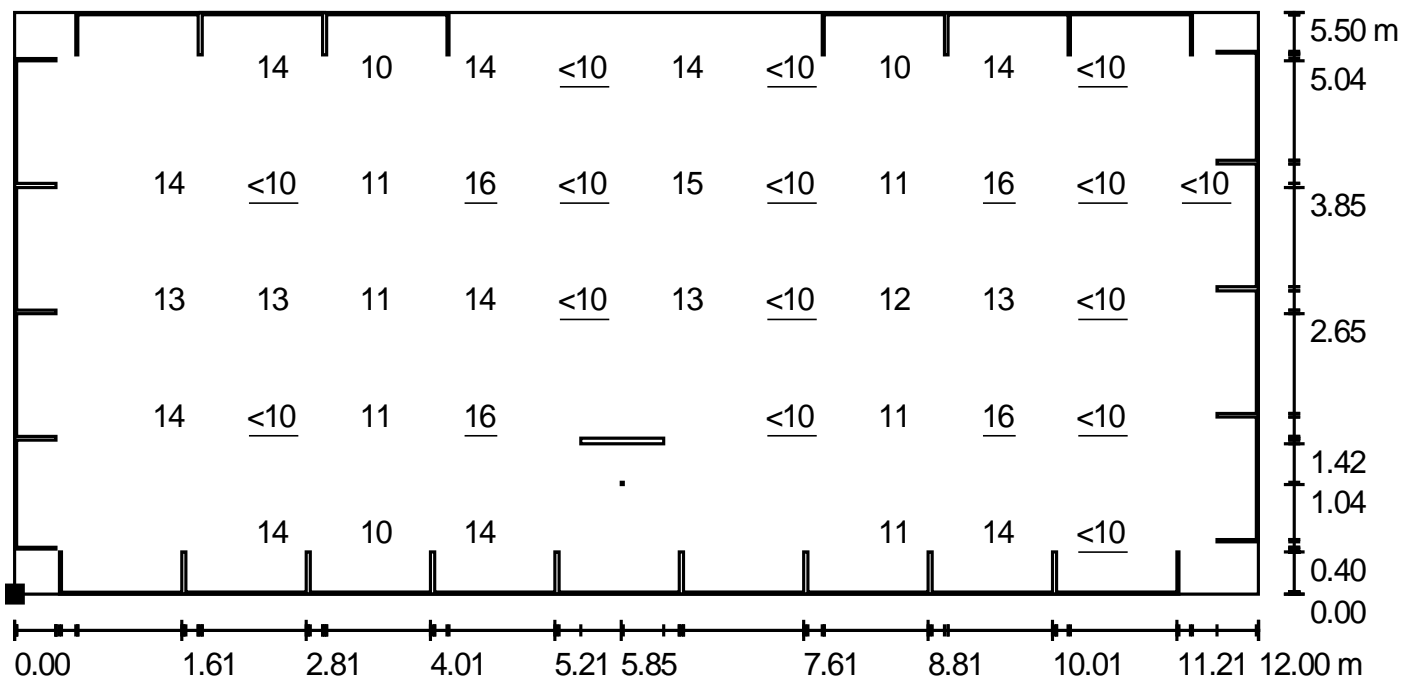
Σχήμα 6.13 Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας αποδυτηρίων



Σχήμα 6.14 Κάτοψη χώρου αποδυτηρίων με φωτιστικά



Σχήμα 6.15 Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο- Αίθουσα αποδυτηρίων



Σχήμα 6.16 Παρατηρητής UGR- Αίθουσα αποδυτηρίων

#### 6.4.4 Αίθουσα ντουζ

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιήσουμε μελέτη φωτισμού για την αίθουσα του ντουζ. Βάσει του πρότυπου EN 12464-1, για χώρο ντουζ θα πρέπει η μέση ένταση φωτισμού να είναι στα 200 lux. Ο παρατηρητής UGR βάσει προτύπου πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με 25. Επίσης η ομοιομορφία  $U2=ελαχ/μεσο$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,5.

Στο χώρο του ντουζ τοποθετηθήκαν 3 φωτιστικά SITECO 5MQ12872Y Quadrature τύπου LED σε ύψος τοποθέτησης τα 2.8 μέτρα. Το ύψος μέτρησης έντασης φωτισμού και της θάμβωσης είναι στα 0 μέτρα. Η ισχύς του φωτιστικού είναι 54W.

Στο πίνακα 6.12 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές ανακλάσεως του δαπέδου, της οροφής, των τοίχων καθώς επίσης επιλεγμένο χρώμα βαφής ή το χρώμα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 6.12 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών

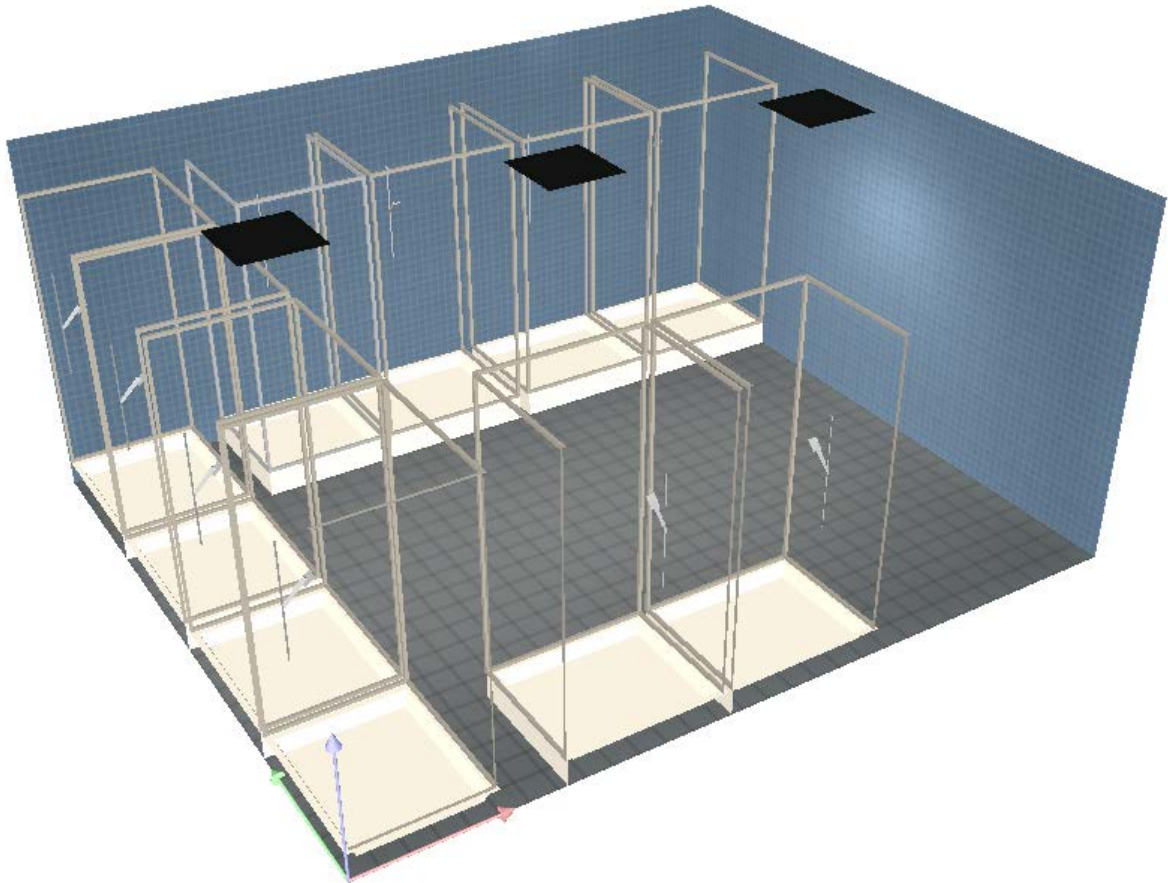
Επιφάνεια	Συντ. Ανακλάσεως	Επιλεγμένο χρώμα
Τοίχος 1	0.7	μπλε ανοικτό
Τοίχος 2	0.7	μπλε ανοικτό
Τοίχος 3	0.7	μπλε ανοικτό
Τοίχος 4	0.7	μπλε ανοικτό
Οροφή	0.7	λευκό
Δάπεδο	0.75	γκρι

Στο πίνακα 6.13 που ακολουθεί βλέπουμε συνοπτικά τα στοιχεία που παίρνουμε από τις μετρήσεις.

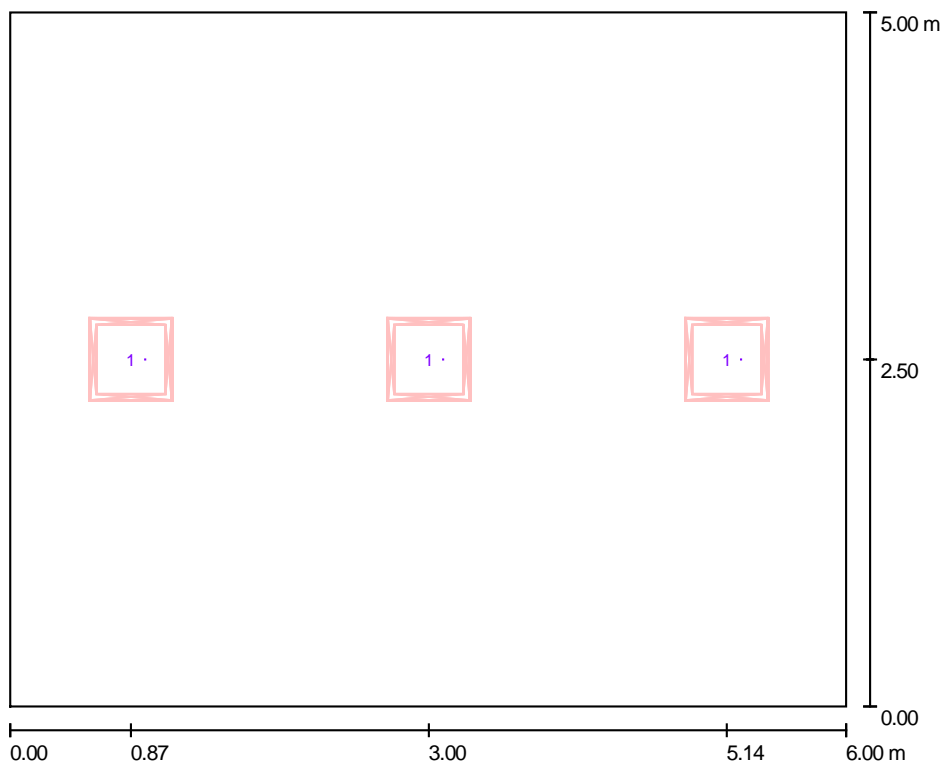
Πίνακας 6.13 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR

Μέγιστη ένταση	278 lux
Ελάχιστη ένταση	139 lux
Μέση ένταση	224 lux
$U1=ελαχ/μεγ$	0.5
$U2=ελαχ/μεσο$	0.62
Παρατηρητής UGR ελάχιστο	<10
Παρατηρητής UGR μέγιστο	13

Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι η μέση ένταση είναι 224 lux έχοντας σαν προτεινόμενη ένταση τα 200 lux, επίσης η ομοιομορφία  $U2$  είναι στα 0.62, διαπιστώνουμε ότι το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Όσον αφορά τον παρατηρητή UGR πήραμε μέγιστη τιμή το 13 που πληροί τις προδιαγραφές. Παρακάτω παραθέτουμε κάποια σχήματα τα οποία έχουμε εξάγει από το Dialux αφορούν την ένταση φωτισμού και την θάμβωση.



Σχήμα 6.17 Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας ντουζ



Σχήμα 6.18 Κάτοψη χώρου ντουζ με φωτιστικά





### 6.4.5 Αίθουσα WC

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιήσουμε μελέτη φωτισμού για την αίθουσα WC. Βάσει του πρότυπου EN 12464-1 για χώρο WC θα πρέπει η μέση ένταση φωτισμού να είναι στα 200 lux. Ο παρατηρητής UGR βάσει προτύπου πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με 25. Επίσης η ομοιομορφία  $U2=ελαχ/μεσο$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,5.

Στο χώρο του WC τοποθετηθήκαν 2 φωτιστικά SITECO 5MQ1287LY Quadrature τύπου LED σε ύψος τοποθέτησης τα 2.8 μέτρα. Το ύψος μέτρησης έντασης φωτισμού και θάμβωσης είναι στα 0 μέτρα. Η ισχύς του φωτιστικού είναι 47W.

Στο πίνακα 6.14 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές ανακλάσεως του δαπέδου, της οροφής, των τοίχων καθώς επίσης επιλεγμένο χρώμα βαφής ή το χρώμα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 6.14 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών

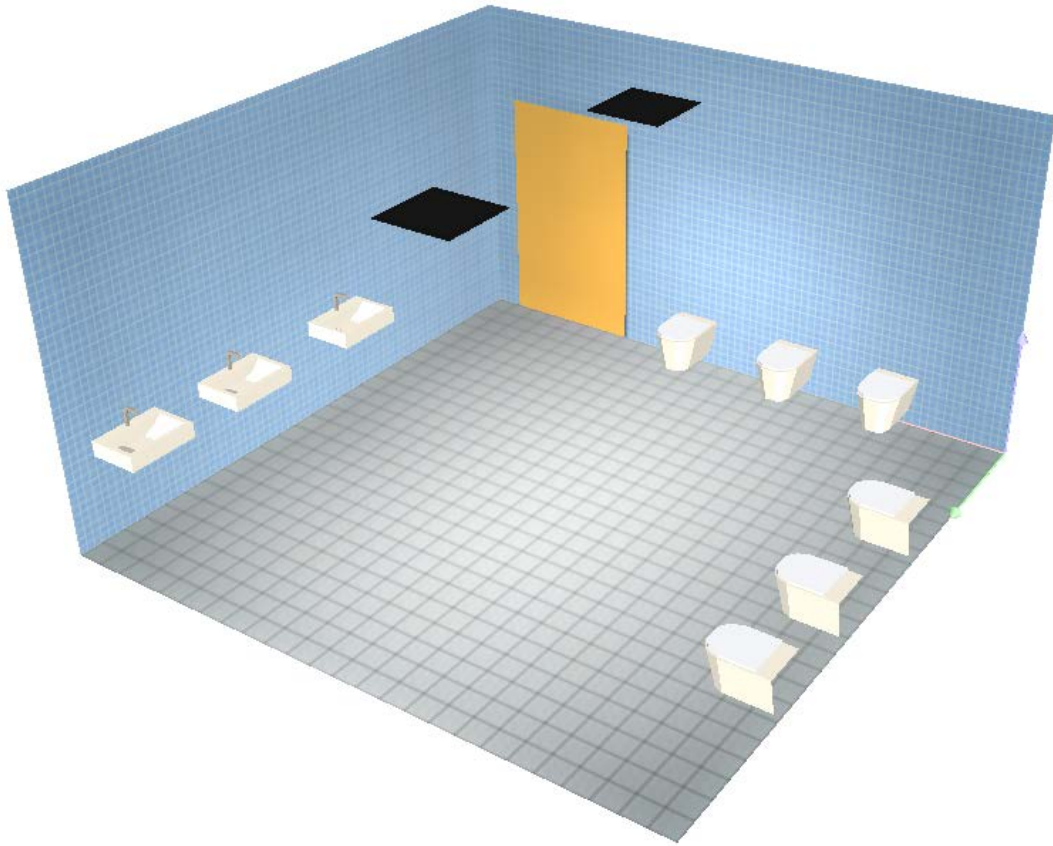
Επιφάνεια	Συντ. Ανακλάσεως	Επιλεγμένο χρώμα
Τοίχος 1	0.61	μπλε ανοικτό
Τοίχος 2	0.61	μπλε ανοικτό
Τοίχος 3	0.61	μπλε ανοικτό
Τοίχος 4	0.61	μπλε ανοικτό
Οροφή	0.7	λευκό
Δάπεδο	0.54	γκρι

Στο πίνακα 6.15 που ακολουθεί βλέπουμε συνοπτικά τα στοιχεία που παίρνουμε από τις μετρήσεις.

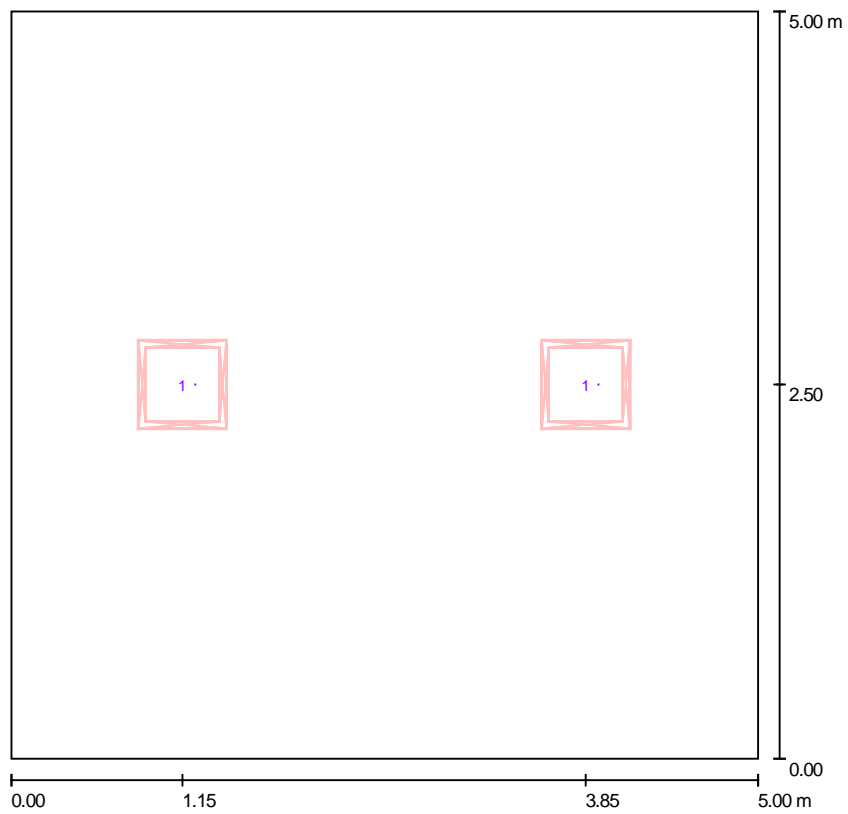
Πίνακας 6.15 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR

Μέγιστη ένταση	315 lux
Ελάχιστη ένταση	130 lux
Μέση ένταση	230 lux
$U1=ελαχ/μεγ$	0.42
$U2=ελαχ/μεσο$	0.56
Παρατηρητής UGR ελάχιστο	<10
Παρατηρητής UGR μέγιστο	16

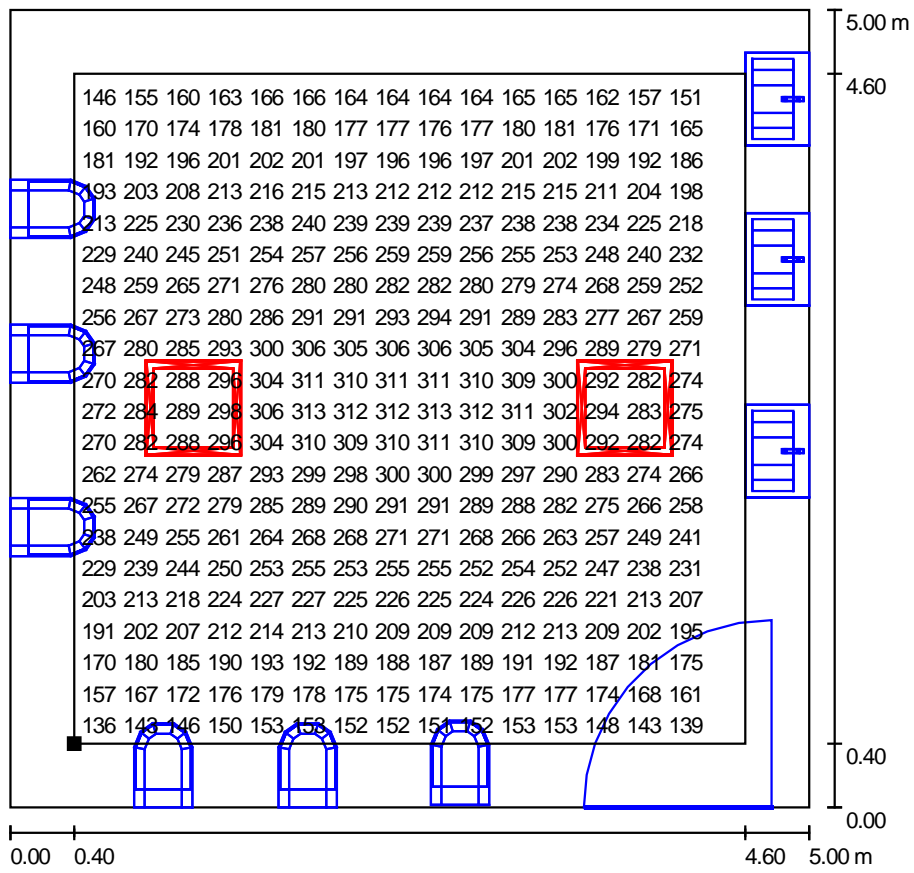
Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι η μέση ένταση είναι 230 lux έχοντας σαν προτεινόμενη ένταση τα 200 lux, επίσης η ομοιομορφία είναι στα 0.56, διαπιστώνουμε ότι το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Όσον αφορά τον παρατηρητή UGR πήραμε μέγιστη τιμή το 16 που πληροί τις προδιαγραφές. Παρακάτω παραθέτουμε κάποια σχήματα τα οποία έχουμε εξάγει από το Dialux αφορούν την ένταση φωτισμού και την θάμβωση.



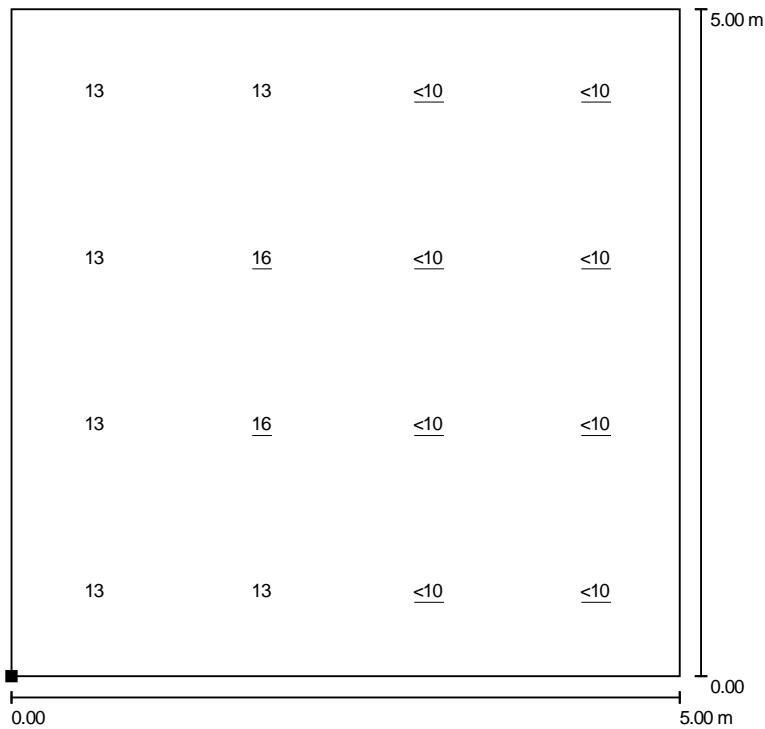
Σχήμα 6.21 Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας WC



Σχήμα 6.22 Κάτοψη χώρου WC με φωτιστικά



Σχήμα 6.23 Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο - Αίθουσα WC



Σχήμα 6.24 Παρατηρητής UGR - Αίθουσα WC

### 6.4.6 Διάδρομος

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιήσουμε μελέτη φωτισμού για την αίθουσα διαδρόμου. Βάσει του πρότυπου EN 12464-1 για χώρο διαδρόμου θα πρέπει η μέση ένταση φωτισμού να είναι στα 100 lux. Ο παρατηρητής UGR βάσει προτύπου πρέπει να είναι μέγιστο 25. Επίσης η ομοιομορφία  $U2=ελαχ/μεσο$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,5

Στο χώρο του διαδρόμου τοποθετηθήκαν 3 φωτιστικά SITECO 5MQ12872Y Quadrature τύπου LED σε ύψος τοποθέτησης τα 2.8 μέτρα. Το ύψος μέτρησης έντασης φωτισμού είναι στα 0 μέτρα. Η ισχύς του φωτιστικού είναι 54W.

Στο πίνακα 6.16 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές ανακλάσεως του δαπέδου, της οροφής, των τοίχων καθώς επίσης επιλεγμένο χρώμα βαφής ή το χρώμα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 6.16 Συντελεστές ανακλάσεως - χρώμα επιφανειών

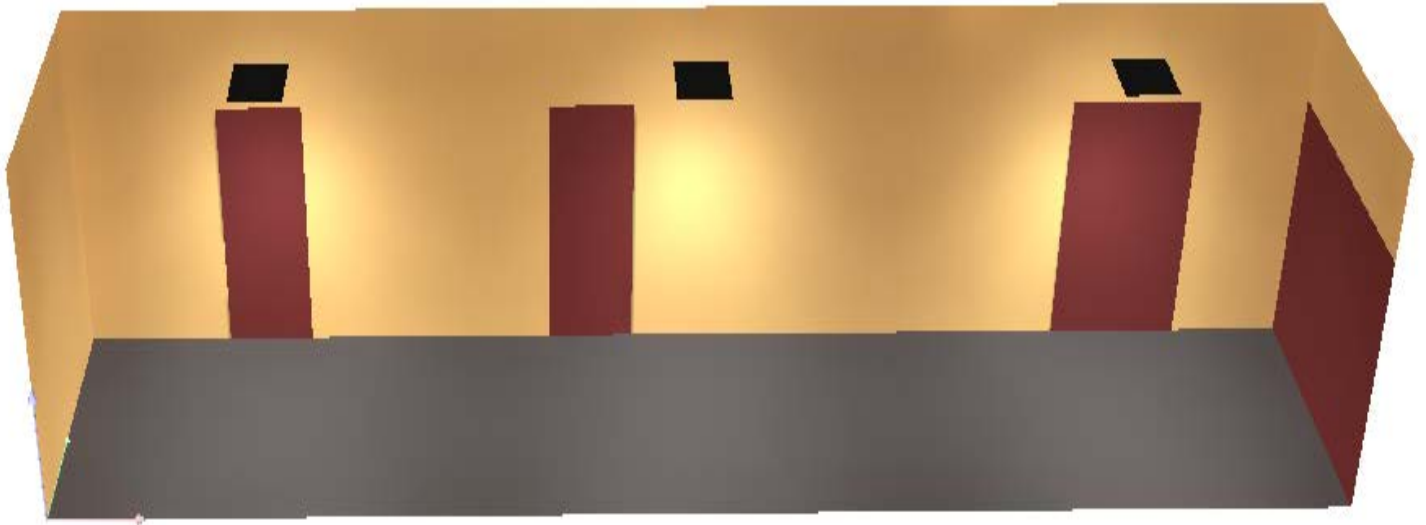
Επιφάνεια	Συντ. Ανακλάσεως	Επιλεγμένο χρώμα
Τοίχος 1	0.7	κίτρινο ανοικτό
Τοίχος 2	0.7	κίτρινο ανοικτό
Τοίχος 3	0.7	κίτρινο ανοικτό
Τοίχος 4	0.7	κίτρινο ανοικτό
Οροφή	0.7	λευκό
Δάπεδο	0.2	σκούρο γκρι

Στο πίνακα 6.17 που ακολουθεί βλέπουμε συνοπτικά τα στοιχεία που παίρνουμε από τις μετρήσεις.

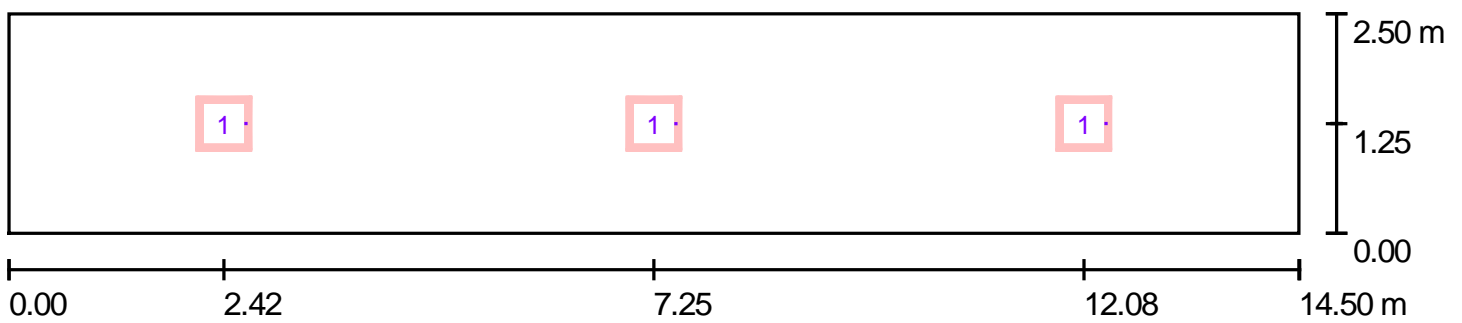
Πίνακας 6.17 Συνοπτικά αποτελέσματα οριζόντιας έντασης φωτισμού παρατηρητή UGR

Μέγιστη ένταση	149 lux
Ελάχιστη ένταση	60 lux
Μέση ένταση	110 lux
$U1=ελαχ/μεγ$	0.4
$U2=ελαχ/μεσο$	0.53
Παρατηρητής UGR ελάχιστο	<10
Παρατηρητής UGR μέγιστο	17

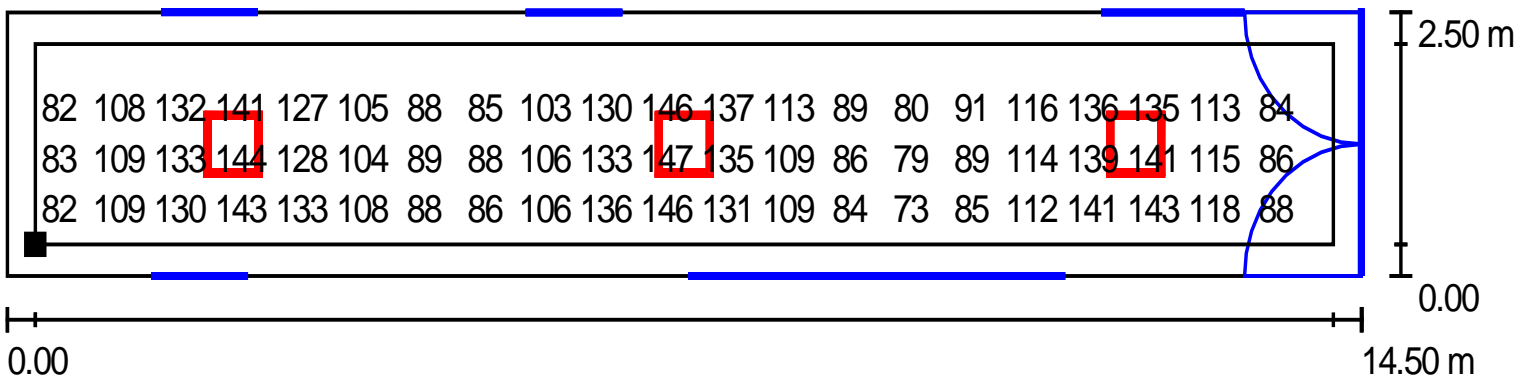
Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι η μέση ένταση είναι 110 lux έχοντας σαν προτεινόμενη ένταση τα 100 lux, επίσης η ομοιομορφία είναι στα 0.53, διαπιστώνουμε ότι το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό. Όσον αφορά τον παρατηρητή UGR πήραμε μέγιστη τιμή το 17 που πληροί τις προδιαγραφές. Παρακάτω παραθέτουμε κάποια σχήματα τα οποία έχουμε εξάγει από το Dialux αφορούν την ένταση φωτισμού και την θάμβωση.



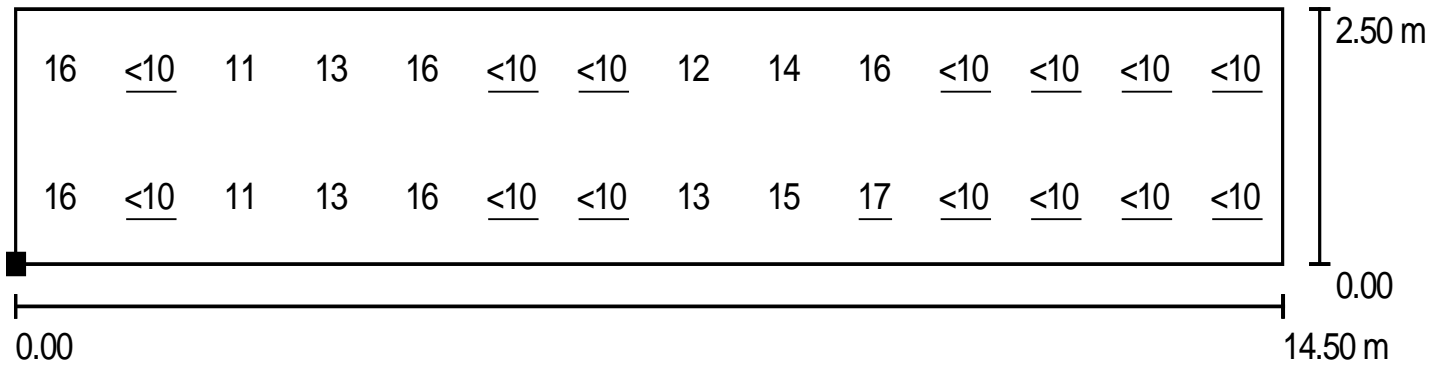
Σχήμα 6.25 Τρισδιάστατη απεικόνιση αίθουσας διαδρόμου



Σχήμα 6.26 Κάτοψη χώρου διαδρόμου με φωτιστικά



Σχήμα 6.27 Εντάσεις φωτισμού σε κάθε σημείο - Αίθουσα διαδρόμου



Σχήμα 6.28 Παρατηρητής UGR - Αίθουσα διαδρόμου

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βιβλίο φωτοτεχνίας καθηγητή Αντωνίου Ι. Τσακίρη Αθήνα 2004
2. «Θάμβωση εσωτερικών χώρων» σημειώσεις φωτοτεχνίας Γεωργίου Ιωαννίδη
3. «Football Stadiums Technical recommendations and requirements» pdf αρχείο από ιστοσελίδα της FIFA
4. Ιστοσελίδα <http://www.wikipedia.org/>
5. Ιστοσελίδα <http://www.siteco.com>
6. Ιστοσελίδα <http://www.lighting.philips.gr/>
7. Ιστοσελίδα  
[http://docs.agi32.com/AGi32/Content/adding\\_calculation\\_points/Calculations\\_UGR\\_Concepts.htm](http://docs.agi32.com/AGi32/Content/adding_calculation_points/Calculations_UGR_Concepts.htm)

**Αιγάλεω**

**Φεβρουάριος-2013**