

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

1411

**ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΑΝΟΙΚΤΩΝ και
ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX και ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ
ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ Φ/Β
ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΒΟΚΡΙ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΚΑΠΛΑΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ζούμε σε μια εποχή όπου η τεχνολογία εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς. Ο άνθρωπος κινείται και εργάζεται όχι μόνο υπό το φως της ημέρας αλλά και τη νύχτα. Εργάζεται σε ανοικτούς και κλειστούς χώρους. Σε χώρους όπου το φως του ηλίου δεν φτάνει... Η ανάγκη της παρουσίας του φωτός όμως στο περιβάλλον της εργασίας του τον προέτρεψε να δημιουργήσει διάφορα αντικείμενα παραγωγής φωτός, από τις δάδες και φωτιές πέρασε στα λυχνάρια, στις λάμπες λαδιού, στα κεριά, στις λάμπες κηροζίνης...

Όσο όμως αλλάζανε οι εποχές, οι εργασίες και τα ενδιαφέροντά του, αλλάζανε και οι ανάγκες του για το φωτισμό και την ποιότητά του, την ένταση, το χρώμα... Έτσι ανακάλυψε τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, αλογόνου, φθορισμού, LED...

Κάθε χώρος εργασίας έχει την δική του ιδιαιτερότητα οπότε χρειάζεται και διαφορετικό φωτισμό. Σε ένα γραφείο χρειαζόμαστε φωτισμό τέτοιο ώστε να μπορούμε να εργαστούμε ευχάριστα και να μην κουράζονται τα μάτια μας από τον ελλιπή ή πολύ έντονο φωτισμό. Ένας δρόμος χρειάζεται δυνατό φωτισμό ώστε να γίνονται πιο ευδιάκριτα τα αντικείμενα και οι άνθρωποι ώστε να αποφεύγονται τυχόν ατυχήματα. Σε ένα μουσείο θέλουμε φωτισμό ο οποίος να αναδεικνύει το έργο. Έτσι και οι λαμπτήρες παράγονται σε διαφορετικά μεγέθη, χρώματα και ισχύ.

Για να μπορεί να καθορίσει το φωτισμό του κάθε χώρου, έκανε μελέτες και υπολογισμούς πάνω στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα χρώματα και την ένταση του φωτός. Κάθε φορά, σε κάθε έργο έπιανε χαρτί και μολύβι, έβαζε κάτω τύπους και εξισώσεις, έψαχνε τα καταστήματα και τις εταιρίες λαμπτήρων και φωτιστικών και έβγαζε τα αποτελέσματα του φωτισμού που χρειαζόταν.

Αυτή η διαδικασία όμως ήταν χρονοβόρα και πολλές φορές, για έναν λάθος υπολογισμό μπορεί να έβγαινε και λάθος. Εδώ έρχεται με την εξέλιξη και των Η/Υ η δημιουργία κάποιων λογισμικών τα οποία, με βάση τις παραμέτρους που τους δίνουμε, υπολογίζουν αυτόματα τις ανάγκες του έργου. Ένα από αυτά είναι και το **DiaLux**.

Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία όμως υπάρχουν και επιπτώσεις προς το περιβάλλον. Η ανάγκη για φωτισμό απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή της οποίας χρησιμοποιείται κυρίως η καύση κάποιων υλών. Η καύση αυτών των υλών επιβαρύνει το περιβάλλον αυξάνοντας το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο σε συνδυασμό με την χρόνια αποψίλωση των δασών και την επέκταση των αστικών κέντρων, είναι βλαβερό για την ανθρωπότητα. Σε απάντηση αυτού, έρχεται μια άλλη εξέλιξη τις τεχνολογίας η οποία είναι πολύ χρήσιμη για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Ο λόγος για τα **Φ/Β** πλαίσια και την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού χωρίς επιπτώσεις προς το περιβάλλον. Και εδώ όμως χρειάζεται υπολογισμός και διαστασιολόγηση της γεννήτριας ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εγκατάστασης. Θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, να λάβουμε υπόψη το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, το ύψος, την έκταση που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κ.α..

Και σε αυτήν την περίπτωση, ο τεχνικός ηλεκτρολόγος θα χρειαστεί χαρτί και μολύβι να βάλει κάτω τύπους και εξισώσεις, να ψάξει εταιρίες και καταστήματα και να υπολογίσει το μέγεθος της Φ/Β γεννήτριας. Και εδώ έρχεται άλλη μια καινοτομία από το χώρο των Η/Υ με το λογισμικό **Sunny Design** το οποίο με βάση τις

προδιαγραφές που θα του εισάγουμε, θα μας υπολογίσει αυτόματα το μέγεθος της Φ/Β γεννήτριας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί η μελέτη διαστασιολόγησης μιας Φ/Β γεννήτριας συνδεδεμένη στο δίκτυο με την μορφή Net-Metering, για την κάλυψη των φορτίων φωτισμού γηπέδου και των βοηθητικών του χώρων με τη χρήση επίσης και του λογισμικού Dialux.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα στοιχεία της μελέτης, τους χώρους που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και την γεωμετρία τους. Τον τρόπο για την καλύτερη αξιοποίησή τους. Θα εξετάσουμε την χρήση **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας** έτσι ώστε να έχουμε μεγαλύτερη οικονομία αλλά και για ένα πιο καθαρό περιβάλλον. Την στιγμή που το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας παράγεται από την καύση λιγνίτη, η εγκατάσταση μιας **ΑΠΕ** κρατάει σε χαμηλά επίπεδα τις εκπομπές CO₂. Παρουσιάζουμε επίσης τα φορτία που θα έχουμε και την χρήση τους στην διάρκεια του χρόνου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται οι βασικές έννοιες που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της μελέτης και της φυσικής υπόστασης του θέματος. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της θεωρίας του φωτός-φωτισμού και των φωτιστικών σωμάτων. Ο τρόπος κατά τον οποίο το φως διαχέεται στο χώρο και οι προϋποθέσεις για έναν ικανοποιητικό φωτισμό.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η δομή και λειτουργία του λογισμικού **DiaLux**. Με το λογισμικό αυτό θα κάνουμε την μελέτη εγκατάστασης του φωτισμού στους χώρους μας. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα θα μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική ενέργεια που χρειάζεται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, η εργασία μας αναφέρεται στην ηλιακή ακτινοβολία και τον τρόπο εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία των **Φ/Β** συστημάτων και ο τρόπος μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την μελέτη διαστασιολόγησης της **Φ/Β** γεννήτριας αρχικά χρησιμοποιώντας τις δικές μας γνώσεις και τύπους. Αλλά και με την χρήση του **Sunny Design**, ενός λογισμικού σχεδιασμένου να υπολογίζει αυτόματα την **Φ/Β** γεννήτρια που θέλουμε, η δομή και η λειτουργία του οποίου θα αναλυθεί στο κεφάλαιο αυτό.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο, η εργασία μας αναφέρεται στον οικονομικό τομέα. Αναλύεται η οικονομοτεχνική μελέτη της όλης εγκατάστασης, το κόστος κατασκευής και ο καλύτερος τρόπος αποπληρωμής της.

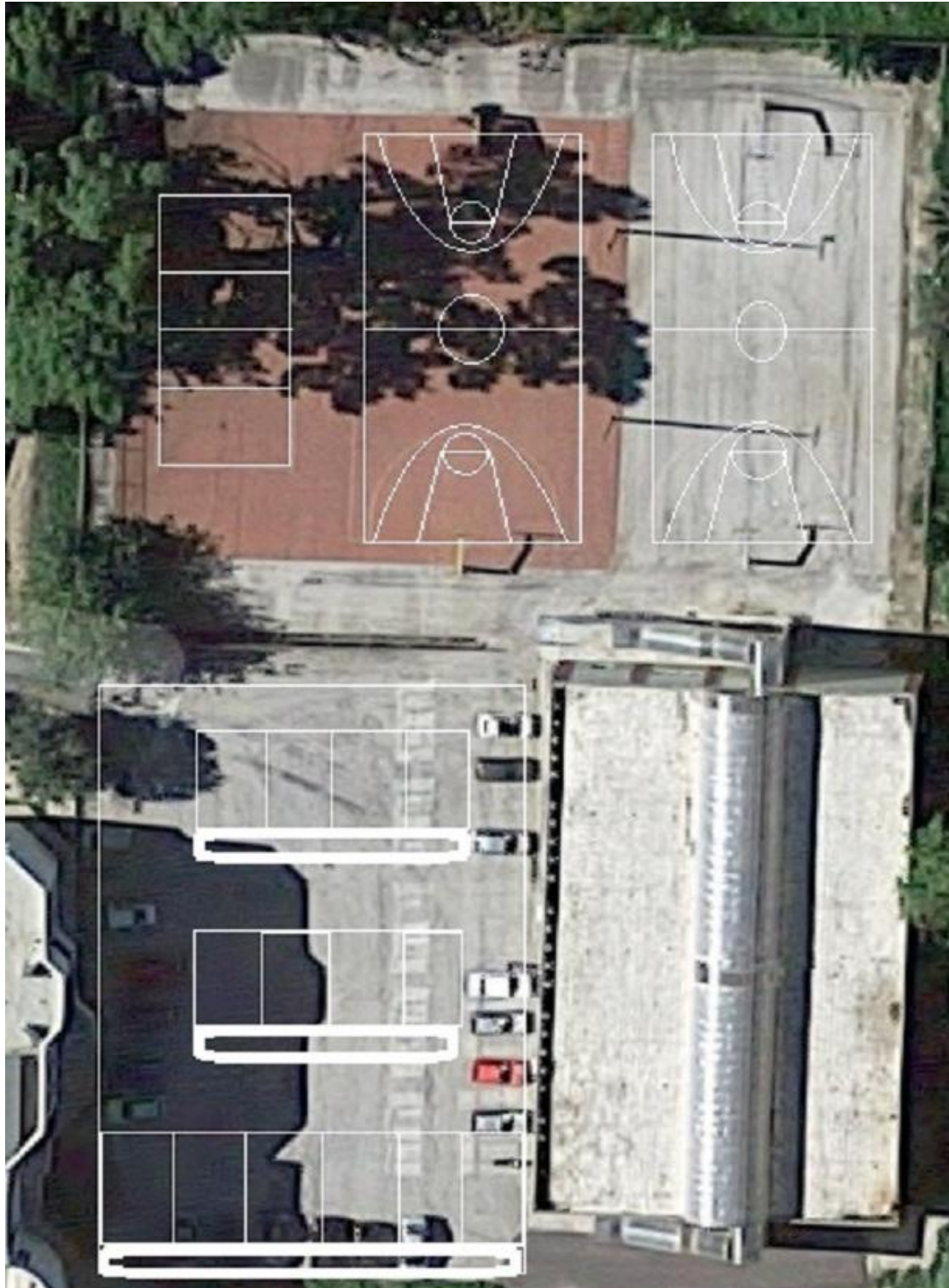
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	i
Περίληψη	ii
Περιεχόμενα	iii
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή και Παρουσίαση των στοιχείων της μελέτης	1
Κεφάλαιο 2 Φωτισμός	7
2.1. Βασικές αρχές για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το φως	7
2.1.1. Το φάσμα του ορατού φωτός	7
2.1.2. Παραγωγή φωτός, λαμπτήρες	8
2.1.2.1. Λαμπτήρες πυράκτωσης	8
2.1.2.2. Λαμπτήρες φθορισμού	9
2.1.2.3. Λαμπτήρες επαγωγής	9
2.1.2.4. Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (Light Emitting Diodes L.E.D)	10
2.1.3. Μέλαν σώμα και θερμοκρασία χρώματος	10
2.2. Θεμελιώδεις νόμοι και μεγέθη φωτοτεχνίας	11
2.2.1. Φωτεινή ροή	11
2.2.2. Φωτεινή ένταση	11
2.2.3. Ένταση φωτισμού	16
Κεφάλαιο 3. Μελέτη φωτισμού εσωτερικών και εξωτερικών χώρων	18
3.1. Λογισμικό DiaLux	18
3.2. Φωτισμός γηπέδου καλαθοσφαίρισης	19
3.3. Φωτισμός γηπέδου πετοσφαίρισης	26
3.4. Φωτισμός χώρου στάθμευσης	29
3.5. Φωτισμός χώρου αποδυτηρίων	33
3.6. Φωτισμός του χώρου του κυλικείου	40
3.7. Αποτελέσματα μελέτης φωτισμού	50
Κεφάλαιο 4. Φωτοβολταϊκά	51
4.1. Ηλιακή ακτινοβολία	51
4.1.1. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία	51
4.1.2. Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία	51
4.1.3. Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία	52
4.1.4. Ολική ηλιακή ακτινοβολία	52

4.2. Ηλιακή ενέργεια	53
4.3. Συλλογή και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας	56
4.3.1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια	56
Κεφάλαιο 5. Διαστασιολόγηση Φ/Β γεννήτριας	58
5.1. Διαστασιολόγηση χειροποίητα με βάση τους τύπους που έχουμε διδαχτεί	58
5.2. Διαστασιολόγηση μέσω του λογισμικού Sunny Design	64
5.3. Αποτελέσματα διαστασεολογήσεων και σύγκριση	67
Κεφάλαιο 6. Οικονομοτεχνική μελέτη	68
Βιβλιογραφία	72

Κεφάλαιο 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ και ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο ΤΕΙ Πάτρας, λειτουργεί ένας χώρος με δύο ανοικτά γήπεδα καλαθοσφαίρισης και ένα πετοσφαίρισης. Παρακάτω βλέπουμε μια πανοραμική εικόνα όλων των χώρων.



Εικόνα 1: Άποψη του χώρου των αθλοπαιδιών από δορυφόρο. Αποτελούμενος από δύο γήπεδα καλαθοσφαίρισης, ένα γήπεδο πετοσφαίρισης, τον χώρο στάθμευσης και το κτήριο όπου θα στεγάζεται το κυλικείο και τα αποδυτήρια.

Για τις ανάγκες της εργασίας μας, κάνουμε μια υπόθεση εργασίας όπως αναλύεται στη συνέχεια.

Στα πλαίσια προώθησης του αθλητισμού στο ΤΕΙ και λαμβάνοντας υπόψη και το ενδιαφέρον των φοιτητών, προγραμματίστηκε να διοργανωθούν κάποια τουρνουά ανάμεσα στα τμήματα. Τα τουρνουά θα είναι: καλαθοσφαίριση ανδρών, καλαθοσφαίριση γυναικών, πετοσφαίριση ανδρών και πετοσφαίριση γυναικών.

Οι χώροι που θα χρησιμοποιήσουμε είναι: δύο ανοιχτά γήπεδα καλαθοσφαίρισης διαστάσεων **28m** μήκος, **15m** πλάτος, ένα ανοιχτό γήπεδο πετοσφαίρισης με διαστάσεις **18m** μήκος, **9m** πλάτος, ο χώρος στάθμευσης με διαστάσεις **30m** μήκος, **30m** πλάτος, ο χώρος των αποδυτηρίων με διαστάσεις **10m** μήκος, **3m** πλάτος, **2.5m** ύψος και ο χώρος του κυλικείου με διαστάσεις **3m** μήκος, **2.5m** πλάτος, **2.5m** ύψος.

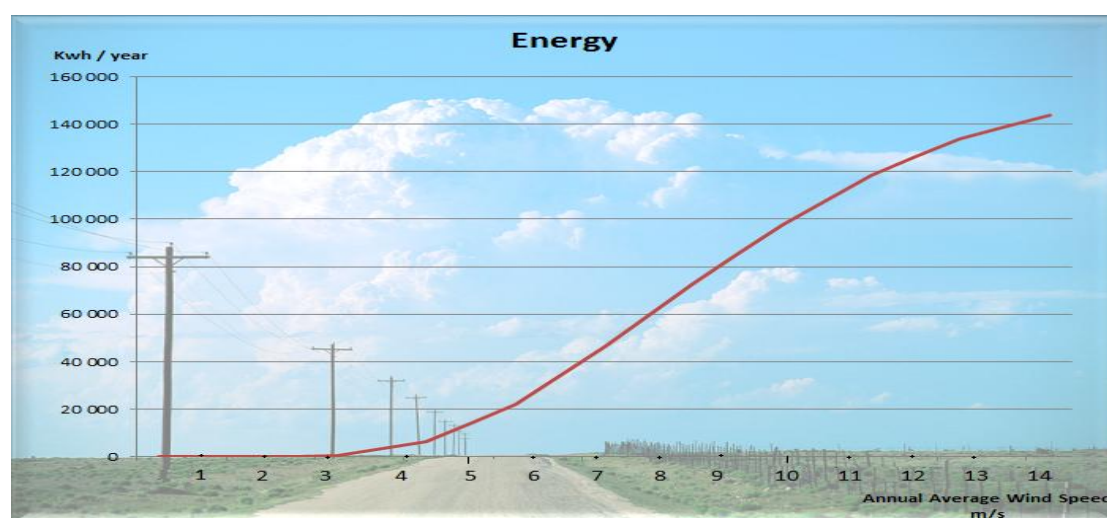
Συνέπεια των ανωτέρω, ο χώρος θα χρησιμοποιείται σχεδόν όλη τη χρονιά. Υποθέτουμε ότι οι αγώνες θα διεξάγονται 20:00 με 22:00 Αυτό σημαίνει ότι θα χρειαστεί να φωταγωγήσουμε το χώρο των γηπέδων και να ηλεκτροδοτήσουμε τους βοηθητικούς χώρους (αποδυτήρια, κυλικείο και χώρο στάθμευσης).

Το σύστημα όμως προκύπτει ενεργοβόρο, οπότε για την κάλυψη των αναγκών και για προώθηση της πράσινης ενέργειας, θα καταφύγουμε σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Για να αποφασίσουμε τι είδος ενεργειακής πηγής ΑΠΕ θα προτιμηθεί, θα εξετάσουμε δυνατές περιπτώσεις.

1. Εξετάζοντας την περίπτωση χρήσης ανεμογεννήτριας, βλέπουμε ότι θα μπορούσε να παρέχει ισχύ όλο το 24ώρο άρα και τις ώρες που χρησιμοποιούμε το χώρο μας ανάλογα με τη δύναμη του ανέμου.

Στο διάγραμμα 1 βλέπουμε την χαρακτηριστική καμπύλη της Α/Γ.



Διάγραμμα 1: Χαρακτηριστική καμπύλη ετήσιας παραγωγής ενέργειας ανεμογεννήτριας ισχύος 10kw σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου. [<http://www.energyworks.gr/gr/30kw.html>]

Μια ανεμογεννήτρια όμως με ονομαστική ισχύ για παράδειγμα **10kW**, για μια παραγωγή περίπου **100kWh/day** που θα δούμε παρακάτω ότι χρειαζόμαστε, πρώτον απαιτεί, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, μια ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον **10-11m/s**.

Με βάση όμως τις μετρήσεις απ' το εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ (<http://solar-net.teipat.gr/res/index.php/en/meteo-station/live-data>), η μέση ταχύτητα ανέμου είναι περίπου **3-4m/s**.

Δεύτερον η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει ιδιαίτερη τιμή για μικρές Α/Γ ισχύος μέχρι 50kW. Μια ανεμογεννήτρια ισχύος **10kw** θα πρέπει να έχει ενδεικτικά μέση διάμετρο πτερωτής **8μ** και μέσο ύψος πύργου **10μ**. Ο χώρος όμως όπου βρίσκονται τα γήπεδα περιβάλλεται από δέντρα και κτίρια τα οποία εμποδίζουν την εγκατάσταση και την ομαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Έτσι απορρίπτουμε αυτήν την περίπτωση.

[<http://www.bigpower.gr/%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B5%CF83/>]

2. Από τις μετρήσεις όμως της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως βλέπουμε και στον πίνακα 1 και όπως θα αναλύσουμε παρακάτω στο κεφάλαιο **Φωτοβολταϊκά Και Ηλιακή Ακτινοβολία**, παρατηρούμε ότι μπορούμε να εγκαταστήσουμε **Φ/Β** γεννήτρια για την οποία θα γίνει ανάλυση και διαστασιολόγηση.

Πίνακας 1: Τιμές ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Τιμή του PSH ανά μήνα και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για την Πάτρα. [Ήπιες Μορφές Ενέργειας 3^{ος} Τόμος Σ. Καπλάνης]*

Μήνας	\bar{R} για 0°	Ημέρες	H_T για 0° (MJ/m ²)	$I_T \cdot 10^3$ kWh/day	PSH h/day	T° C/μήνα
Ι	1	31	220	1,97	1,97	11
Φ	1	28	259	2,57	2,57	12
Μ	1	31	400	3,58	3,58	13
Α	1	30	493	4,56	4,56	16
Μ	1	31	684	6,13	6,13	20
Ι	1	30	745	6,90	6,90	25
Ι	1	31	781	7,00	7,00	27
Α	1	31	713	6,39	6,39	27
Σ	1	30	526	4,87	4,87	24
Ο	1	31	367	3,29	3,29	20
Ν	1	30	241	2,23	2,23	16
Δ	1	31	187	1,68	1,68	13
ΜΟ Ετ.				4,26	4,26	19

*Ο όρος **PSH** μας δίνει την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνουμε την ώρα ανά ημέρα.

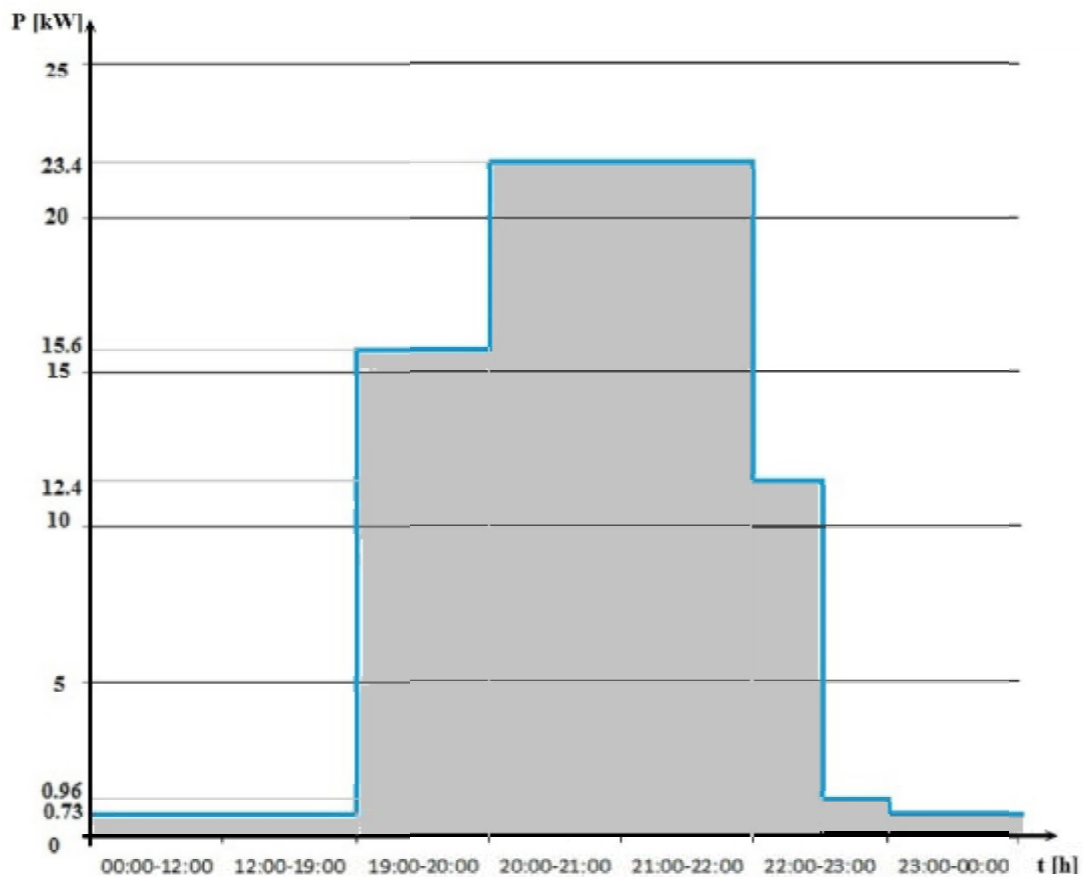
Για να προχωρήσουμε την διαστασιολόγηση του ΦΒ συστήματος, θα πρέπει αρχικά να ορίσουμε τα φορτία μας και τον ημερήσιο χρόνο λειτουργίας των ως εξής.

1. Οι αγώνες ορίστηκε να διεξαχθούν Δευτέρα, Τετάρτη και Παρασκευή στις 08:00μμ και θα έχουν διάρκεια δύο ώρες. Μια ώρα πριν τον αγώνα θα γίνεται η προσέλευση των θεατών και μισή ώρα μετά, η αποχώρησή τους. Τις ημέρες που θα έχουμε αγώνα θα χρησιμοποιείται το ένα γήπεδο.

Αναλυτικά οι χρόνοι χρήσης του χώρου θα είναι:

- Ένα γήπεδο à 1 ώρα προσέλευση κοινού
 à 2 ώρες διάρκεια αγώνα
 à 0,5 ώρες αποχώρηση κοινού
- Χώρος στάθμευσης 4 ώρες
- Κυλικείο 3,5 ώρες + πάγια κατανάλωση (ψυγείο)
- Αποδυτήρια 2 ώρες

Στο διάγραμμα 2 βλέπουμε την χρονική μεταβολή των φορτίων κατά τη διάρκεια της ημέρας ενός αγώνα.



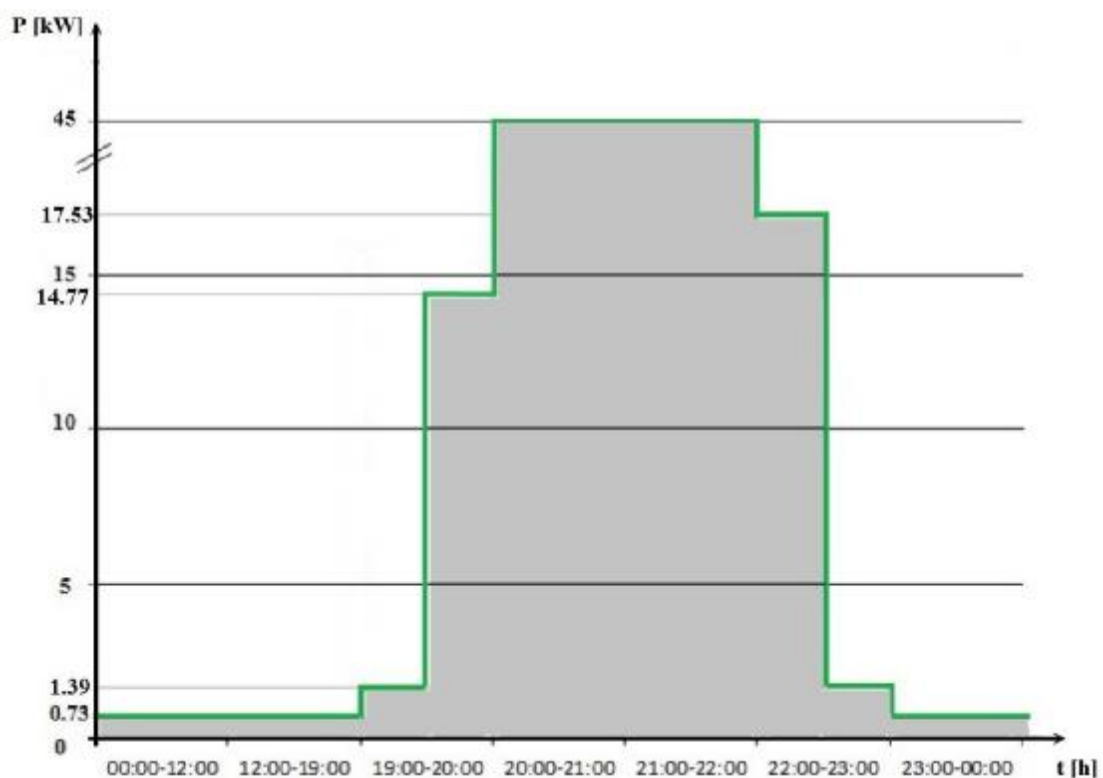
Διάγραμμα 2: Φορτία του χώρου στη διάρκεια της ημέρας σε αγώνα.

2. Τις υπόλοιπες ημέρες τα γήπεδα θα αξιοποιούνται για τις προπονήσεις των ομάδων (τρία γήπεδα τρεις ομάδες). Η προπονήσεις θα ξεκινάνε από τις 07:30μμ και θα έχουν διάρκεια δύο ώρες.

Αναλυτικά οι χρόνοι χρήσης του χώρου θα είναι:

- Τρία γήπεδα 2ώρες προπόνηση
- Χώρος στάθμευσης 3ώρες
- Κυλικείο 3ώρες + πάγια κατανάλωση (ψυγείο)
- Αποδυτήρια 2ώρες

Στο διάγραμμα 3 βλέπουμε την χρονική μεταβολή των φορτίων κατά τη διάρκεια της ημέρας προπόνησης.



Διάγραμμα 3: Φορτία του χώρου στη διάρκεια της ημέρας σε προπόνηση (εδώ έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση γιατί χρησιμοποιούνται και τα τρία γήπεδα).

Στον πίνακα 2 παραθέτουμε αναλυτικά τα φορτία μας, τις ώρες λειτουργίας τους και την ημερήσια κατανάλωσή τους.

Πίνακας 2: Ημερήσιες καταναλώσεις των στοιχείων του χώρου κατά την διάρκεια αγώνα και κατά την προπόνηση.

Φορτία	Ισχύς	Αγώνας	Κατανάλωση	Προπόνηση	Κατανάλωση
Κυλικείο	W	ώρες	kWh/day	ώρες	kWh/day
Φωτισμός	79	19:00-22:30	0,276	19:30-22:30	0,237
Τοστιέρα	1800	19:00-22:00	5,400	19:30-22:00	4,500
Βιτρίνα	180	19:00-22:30	0,630	19:30-22:30	0,540
Μηχανή καφέ	3300	19:00-10:00	9,900	19:30-22:00	8,250
Ταμιακή	20	19:00-22:30	0,070	19:30-22:30	0,060
Ψυγείο αναψ.	730	00:00-24:00	4,050	00:00-24:00	4,050
Αποδυτήρια					
				19:10-19:30 19:40-20:00 20:10-20:30 21:30-21:50 22:00-22:20 22:30-22:50	
Φωτισμός	292	19:00-20:00 20:40-21:00 21:40-22:20	0,584		0,584
Χώρος στάθμ.					
Φωτισμός	1188	19:00-23:00	4,752	19:00-23:00	4.752
Γήπεδα					
Φωτισμός 1	8000	19:00-20:00			
Φωτισμός 1	16000	20:00-22:00			
Φωτισμός 1	8000	22:00-22:15	44		
Φωτισμός 1	16000			19:30-21:30	32
Φωτισμός 2	16000			20:00-22:00	32
Φωτισμός 3	8000			20:30-22:30	16
Συνολικά			69,662		102,973

Η κατανάλωση του κάθε χώρου υπολογίζεται προσθέτοντας την κατανάλωση των επιμέρους φορτίων του. Για της συσκευές, μας δίνει την ισχύ ο κατασκευαστής.

Για τον φωτισμό, τα φωτιστικά σώματα, την εγκατάσταση και την κατανάλωσή τους θα αναφερθούμε αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο.

Την ισχύ των φωτιστικών σωμάτων την παίρνουμε από τον πίνακα 11 όπου βλέπουμε τα αποτελέσματα του υπολογισμού.

Κεφάλαιο 2^ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Το σκοτάδι πάντα προκαλούσε στους ανθρώπους αίσθημα αβεβαιότητας γιατί έθετε σε αχρηστία την όρασή τους. Ο άνθρωπος ξεκίνησε την προσπάθεια για τη δημιουργία τεχνητού φωτός ώστε να μπορεί να κινείται τις νυκτερινές ώρες. Από δάδες και φωτιές πέρασε στα λυχνάρια, στις λάμπες λαδιού, στα κεριά, στις λάμπες κηροζίνης, στους λαμπτήρες πυρακτώσεως, φθορισμού, LED...

Το φως παίζει βασικό ρόλο στην ποιότητα της καθημερινής μας ζωής. Το ερώτημα τι είναι καλός φωτισμός, απασχολεί τους μελετητές εγκαταστάσεων φωτισμού. Σε γραφεία, σε χώρους βιομηχανικής ή εμπορικής δραστηριότητας ο καλός φωτισμός ενισχύει την απόδοση, την άνεση και την ασφάλεια των εργαζομένων. Σε καταστήματα, μουσεία και άλλους δημόσιους χώρους διαμορφώνει την ατμόσφαιρα του χώρου και βοηθά στην ανάδειξη αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών. Στις οικίες βοηθά στην διεκπεραίωση εργασιών. Επίσης δημιουργεί ένα άνετο, φιλόξενο περιβάλλον. Ο καλός φωτισμός δεν έχει να κάνει μόνο με την ασφάλεια, την καλή απόδοση και τη λειτουργικότητα. Επηρεάζει και την ψυχολογία των ανθρώπων που τον χρησιμοποιούν.

Βασικές απαιτήσεις όπως η ένταση του φωτισμού, η ευκρίνεια, η απόδοση των χρωμάτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε περίπτωση σε συνδυασμό και με τη χρήση του χώρου. Επίσης σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι το κόστος.

Συχνά δεν δίνεται σημασία στη μελέτη φωτισμού κατά την κατασκευή κάποιου έργου με αποτέλεσμα να επιλέγονται τελικά οι φθηνότερες λύσεις. Τότε η εγκατάσταση φωτισμού είναι πιθανό να καταλήξει να είναι ανεπαρκής. Κακές συνθήκες φωτισμού μπορούν να οδηγήσουν σε κακή απόδοση των υπαλλήλων, σε σφάλματα και κυρίως σε ατυχήματα. Επίσης μπορεί να δημιουργήσουν μόνιμη οικονομική επιβάρυνση.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στις ιδιότητες του φωτός και των διαφόρων πηγών φωτισμού, τη διατύπωση θεμελιωδών αρχών και θα εμβαθύνουμε σε θέματα μελετών και εφαρμογών φωτισμού.

2.1. Βασικές Αρχές για την Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία και το Φως.

2.1.1. Το Φάσμα του Ορατού Φωτός.

Ο μηχανισμός παραγωγής του φωτός απασχόλησε τον άνθρωπο από τα αρχαία χρόνια έως σήμερα. Πολλές θεωρίες αναπτύχθηκαν ανά τους αιώνες με πιο χαρακτηριστικές του **Εμπεδοκλή** που δέχθηκε ότι το φως είναι σωματιδιακή κίνηση πολύ μεγάλης ταχύτητας που απορρέει από το φωτίζον σώμα, των φυσικών φιλοσόφων **Λεύκιππου** και **Δημόκριτου** που υποστήριζαν τη σωματιδιακή φύση του φωτός και του **Maxwell** ο οποίος απέδειξε με τις περίφημες εξισώσεις του ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Το 1900 ο **Max Planck** απέδειξε μαθηματικά ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παράγεται από θερμαινόμενα σώματα, όχι με συνεχή τρόπο, αλλά σε διακριτές μονάδες-πακέτα. Απέδειξε ότι η ενέργεια που παράγεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ανάλογη της συχνότητάς της όπως φαίνεται από την σχέση 1:

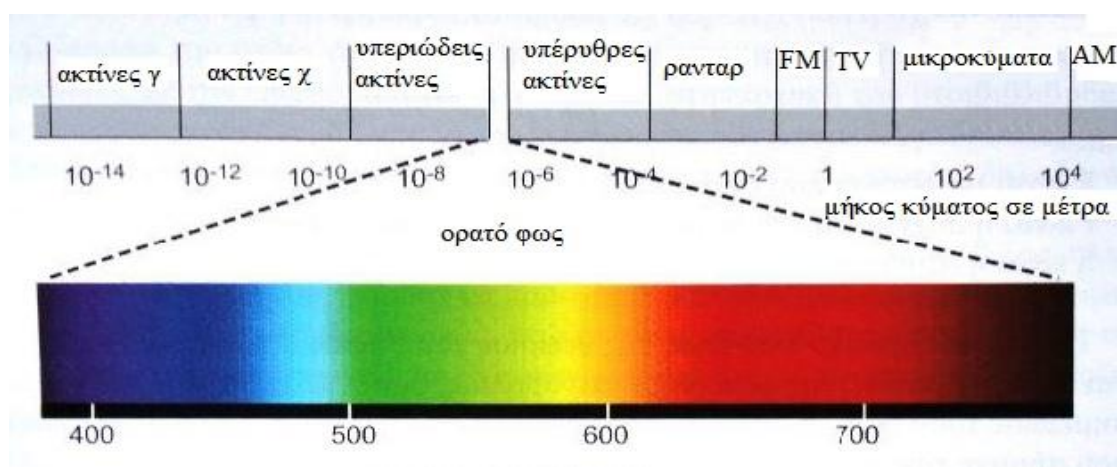
$$E=h*\nu \quad (1)$$

Όπου:

- **E** είναι η ενέργεια που εκλύεται
- **v** είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας σε **Hz (sec⁻¹)**
- **h** είναι η σταθερά **Planck** ίση με **6,626*10⁻³⁴ Js**

Τα διακριτά πακέτα ενέργειας της θεωρίας του Planck ονομάστηκαν κβάντα, και στην περίπτωση της φωτεινής ακτινοβολίας, φωτόνια.

Το ορατό φως από την άλλη είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που γίνεται αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Καλύπτει μικρό μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Είναι η περιοχή ανάμεσα στις υπέρυθρες και τις υπεριώδεις ακτινοβολίες και εκτείνεται από τα 380 nm έως τα 780 nm.



Εικόνα 2: Μήκος κύματος ορατού φωτός. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

2.1.2. Παραγωγή Φωτός, Λαμπτήρες.

Όταν για κάποιο λόγο, πχ κρούση ανάμεσα σε σωματίδια, ένα ηλεκτρόνιο εγκαταλείπει την τροχιά του και μεταβαίνει σε άλλη τροχιά υψηλότερης ενεργειακής στάθμης προσλαμβάνοντας ενέργεια, τότε το άτομο διεγείρεται. Επειδή όμως δεν μπορεί να παραμείνει για πολύ στην κατάσταση αυτή, επιστρέφει στην προηγούμενη σταθερή κατάσταση, ενώ το ηλεκτρόνιο επιστρέφει στην τροχιά του αποδίδοντας στο περιβάλλον την ενέργεια που προσέλαβε. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται με τη μορφή ενός φωτονίου. Τα φωτόνια αυτά συνιστούν αυτό που αντιλαμβανόμαστε ως φως. Ανάλογα με την ενέργεια που αποδίδεται στο φωτόνιο που εκπέμπεται, αυτό αντιστοιχεί σε ορισμένη συχνότητα ή μήκος κύματος. (σχέση 1).

2.1.2.1. Λαμπτήρες Πυράκτωσης

Στους λαμπτήρες πυράκτωσης, η φωτεινή ακτινοβολία εκπέμπεται από ένα νήμα βολφραμίου σε σπειροειδή περιέλιξη. Όταν το νήμα αυτό διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, πυρακτώνεται και ακτινοβολεί. Εξωτερικά περιβάλλεται από ένα γυάλινο κάλυμμα το οποίο μπορεί να περιέχει μίγμα αζώτου με κάποιο αδρανές αέριο, όπως αργό, κρυπτό ή συχνότερα ξένο. Αρκετά είδη λαμπτήρων πυράκτωσης δεν περιέχουν κανένα αέριο στο εσωτερικό τους, αλλά το νήμα βρίσκεται στο κενό.

Οι λαμπτήρες πυράκτωσης χρονολογούνται από το 1879, την εποχή δηλαδή που ο **Thomas Edison** ανακάλυψε τον πρώτο λαμπτήρα με νήμα από άνθρακα. Ο λαμπτήρας αυτός είχε διάρκεια ζωής περίπου 40 ώρες. Σήμερα, οι συνηθέστεροι λαμπτήρες πυράκτωσης έχουν μέσο χρόνο ζωής περίπου 750 με 2000 ώρες.

2.1.2.2. Λαμπτήρες Φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης στους οποίους το φως παράγεται κυρίως από φθορίζουσες επιστρώσεις που ενεργοποιούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία που παράγεται από ένα τόξο υδραργύρου. Ο λαμπτήρας περιέχει ατμούς υδραργύρου σε χαμηλή πίεση με μια μικρή ποσότητα αδρανούς αερίου για έναυση. Όταν εφαρμόζεται η κατάλληλη τιμή τάσης, παράγεται ένα τόξο ρεύματος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια μέσω των ατμών υδραργύρου. Αυτό προκαλεί κάποια ορατή ακτινοβολία, αλλά κυρίως αόρατη υπεριώδη. Στη συνέχεια, η υπεριώδης ακτινοβολία ενεργοποιεί τους φωσφόρους, οι οποίοι παράγουν φως.

Το χρώμα του φωτός που παράγεται από τον λαμπτήρα φθορισμού εξαρτάται από το μίγμα των φθορίζουσών ουσιών που χρησιμοποιούνται σαν κάλυμμα των τοιχωμάτων του σωλήνα.

Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων φθορισμού κυμαίνεται, ανάλογα με τη χρήση τους, περίπου στις 6000 με 9000 ώρες.

2.1.2.3. Λαμπτήρες Επαγωγής

Οι λαμπτήρες επαγωγής είναι λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης όπου η εκκένωση προκαλείται από ένα επαγωγικό πηνίο. Η εκκένωση εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία διεγείρει τις φθορίζουσες επιστρώσεις που βρίσκονται στο εσωτερικό τοίχωμα του λαμπτήρα, αποδίδοντας φως σε θερμοκρασίες 3000-4000° C. Για τη λειτουργία τους απαιτείται γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων (2,2 έως 3 MHz).

Εμφανίζουν πολύ καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης και η φωτεινή τους απόδοση φτάνει τα 70 lm/W.

Μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής (60000-100000 ώρες) η οποία τους καθιστά ιδανικούς για δύσκολα προσβάσιμες εγκαταστάσεις.

Απαιτούν όργανα έναυσης και λειτουργίας, ενώ μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιαδήποτε θέση καύσης. Η ελάχιστη θερμοκρασία έναυσης ανέρχεται στους -20° C.

Λόγω της υψηλής λειτουργίας τους απαιτούν ειδικής κατασκευής φωτιστικά σώματα τα οποία εξουδετερώνουν τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που οφείλονται στη λειτουργία του λαμπτήρα.

Οι σύγχρονοι επαγωγικοί λαμπτήρες είναι εύκολα συντηρήσιμοι και δεν απαιτούν φωτιστικά με ειδική ηλεκτρομαγνητική θωράκιση, ενώ αποδίδουν φωτεινή ροή έως 11000 lm, που σε συνδυασμό με τη συμπαγή κατασκευή της γεννήτριας συχνοτήτων διευρύνει το πεδίο εφαρμογών τους.

Το μειονέκτημά τους είναι το αρκετά υψηλό κόστος κατασκευής και αγοράς.

2.1.2.4. Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι (Light Emitting Diodes L.E.D.)

Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ή κοινώς **LED** είναι συνδυασμός ημιαγωγών **p-n**, όπου όταν εφαρμοστεί τάση στους δύο ημιαγωγούς εκπέμπεται ακτινοβολία. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να είναι είτε υπέρυθρη είτε ορατή. Το φως που εκπέμπεται από τους ημιαγωγούς εκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος, από το χαμηλό όριο ορατής ακτινοβολίας έως πολύ μεγάλα μήκη υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από το συνδυασμό ημιαγωγικών υλικών.

Τα ημιαγωγικά υλικά, τύπου **n** (με περίσσειμα ηλεκτρονίων) και τύπου **p** (με περίσσειμα οπών), που χρησιμοποιούνται, διαχωρίζονται μέσα στο ίδιο κομμάτι σχηματίζοντας ανάμεσά τους μια διεπιφάνεια. Η διεπιφάνεια είναι τις τάξης των **0,25mm²** και δίνει τη δυνατότητα κατασκευής λαμπτήρων πολύ μικρών και λεπτών.

Κατά την εφαρμογή της τάσης στα δύο ηλεκτρόδια, προκαλείται μετακίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών προς τη διεπιφάνεια, όπου κατά την επαφή τους προκαλείται παραγωγή φωτονίων. Η τάση που εφαρμόζεται είναι συνήθως 1-3V dc και το ρεύμα που τη διαρρέει 1-100mA dc.

Οι λυχνίες **LED** μετατρέπουν απευθείας την ηλεκτρική ενέργεια σε φως. Επίσης, ενώ είναι εξαιρετικά μικρού μεγέθους, μπορούν να λειτουργήσουν για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από άλλες φωτεινές πηγές.

2.1.3. Μέλαν Σώμα Και Θερμοκρασία Χρώματος

Μέλαν σώμα είναι το σώμα που απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό για κάθε μήκος κύματος. Το μέλαν σώμα εκπέμπει ακτινοβολία που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκεται το μέλαν σώμα και της χρωματικής εντύπωσης που προκαλείται από την εκπεμπόμενη από αυτό ακτινοβολία εκφράζεται σε βαθμούς της απόλυτης κλίμακας θερμοκρασιών. Μονάδα μέτρησης αυτής είναι το **K (Kelvin)**.

Η θερμοκρασία χρώματος είναι το μέτρο για να περιγράψουμε το χρώμα των φωτεινών πηγών. Εκφράζεται με την ισοδύναμη θερμοκρασία στην οποία όταν βρεθεί το μέλαν σώμα θα παράγει φως του ίδιου χρώματος με την πηγή. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος τόσο ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής.

Πίνακας 3: Σχέση θερμοκρασίας-απόχρωσης χρώματος φωτεινής πηγής. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Θερμοκρασία	Απόχρωση
Κάτω από 3300 K	Ζεστή
3300 K ... 5300 K	Ενδιάμεση
Πάνω από 5300 K	Ψυχρή

Όταν ένας χώρος φωτίζεται με λαμπτήρες πυρακτώσεως δημιουργεί **θερμή** εντύπωση ενώ με λαμπτήρες υδραργύρου δημιουργεί **ψυχρή** εντύπωση. Η θερμή εντύπωση οφείλεται στις ερυθρές ακτινοβολίες του φωτός του λαμπτήρα

πυρακτώσεως, ενώ η ψυχρή από το μεγάλο ποσοστό κυανής και κίτρινης ακτινοβολίας του λαμπτήρα υδραργύρου.

Το ερυθρωπό φως από λαμπτήρα πυρακτώσεως έχει χαμηλή θερμοκρασία χρώματος. Αντίθετα το φως της ημέρας έχει πάρα πολύ υψηλή. Όταν ένα σώμα θερμαίνεται, το φως του μεταβάλλεται από κόκκινο σε πορτοκαλί, κίτρινο, άσπρο, μπλε, καθώς βαίνει προς το θερμότερο.

Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του νήματος λαμπτήρα πυρακτώσεως και του φωτός που εκπέμπει αυτό μπορεί να φανεί με αυξομείωση της τάσης στο λαμπτήρα. Με μείωση της τάσης τροφοδοσίας, μειώνεται το ρεύμα που διαρρέει το νήμα, μειώνεται η προσφερόμενη ενέργεια και το νήμα γίνεται ψυχρότερο. Το χρώμα του φωτός τότε είναι πορτοκαλί και προκαλεί θερμή εντύπωση. Με αύξηση της τάσης μέχρι την ονομαστική το φως γίνεται λευκότερο και η εντύπωση ψυχρή.

Η επίδραση του χρώματος στη συναισθηματική διάθεση είναι σημαντική. Τα συναισθήματα που δημιουργούνται από ένα περιβάλλον με συγκεκριμένη κατηγορία θερμοκρασίας χρώματος συνδέονται με την ένταση φωτισμού. Όσο υψηλότερος ο φωτισμός τόσο πιο άνετα νιώθει ο άνθρωπος με τις ψυχρές θερμοκρασίες χρώματος.

Πίνακας 4: Επίδραση της θερμοκρασίας του χρώματος της φωτεινής πηγής στη διάθεσή μας. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Ένταση φωτισμού (lux)	Χρώμα φωτεινής πηγής		
	ζεστό	ουδέτερο	ψυχρό
	Συναισθηματική αντίδραση		
Κάτω από 500	ευχάριστη	ουδέτερη	ψυχρή
500 ... 1000			
1000 ... 2000	έντονη	ευχάριστη	ουδέτερη
2000 ... 3000			
Πάνω από 3000	μη φυσική	έντονη	ευχάριστη

2.2. Θεμελιώδεις Νόμοι Και Μεγέθη Φωτοτεχνίας

2.2.1. Φωτεινή Ροή Φ

Ως **φωτεινή ροή Φ** ορίζεται η φωτεινή ενέργεια **Q** που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή, τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου, εντός του κώνου αυτού, σε χρόνο **dt** προς το χρόνο αυτό.

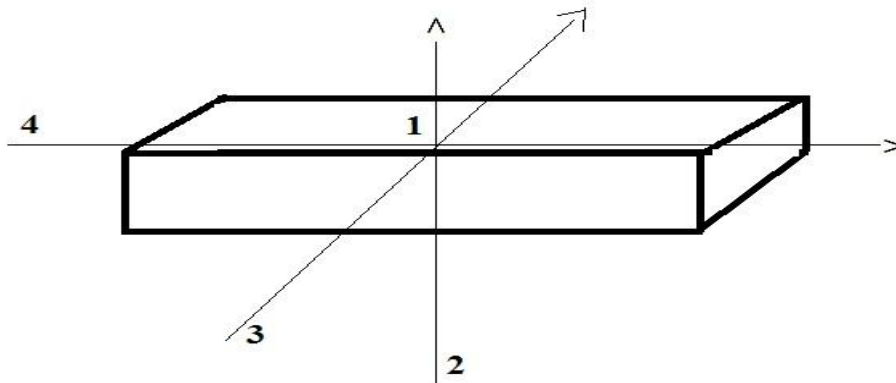
$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

Για να προσδιοριστεί η απαραίτητη **φωτεινή ροή** στο φωτιζόμενο σημείο χρησιμοποιείται η μονάδα **lux** και αντιπροσωπεύει τα **lumens** ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας (**lumen/m²**). Το **lumen (lm)** είναι η μονάδα μέτρησης **SI** (International System) της φωτεινής ροής (**luminous flux**) που παράγει μια φωτεινή πηγή. Μετρά την δύναμη του φωτός όπως γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Εκτιμάται ότι είναι η πιο βασική πληροφορία που πρέπει να γνωρίζει κάποιος για τον λαμπτήρα που πρόκειται να αγοράσει, γιατί αποτελεί τον πιο εύκολο τρόπο αναγνώρισης της πραγματικής φωτεινής ισχύος ενός λαμπτήρα.

2.2.2. Φωτεινή Ένταση

Καντέλα είναι η ένταση φωτεινής πηγής, που σε απόσταση ενός μέτρου από αυτήν παράγει φωτεινότητα ενός lumen/m^2 (δηλ. ενός lux), ή αλλιώς η φωτεινή ένταση.

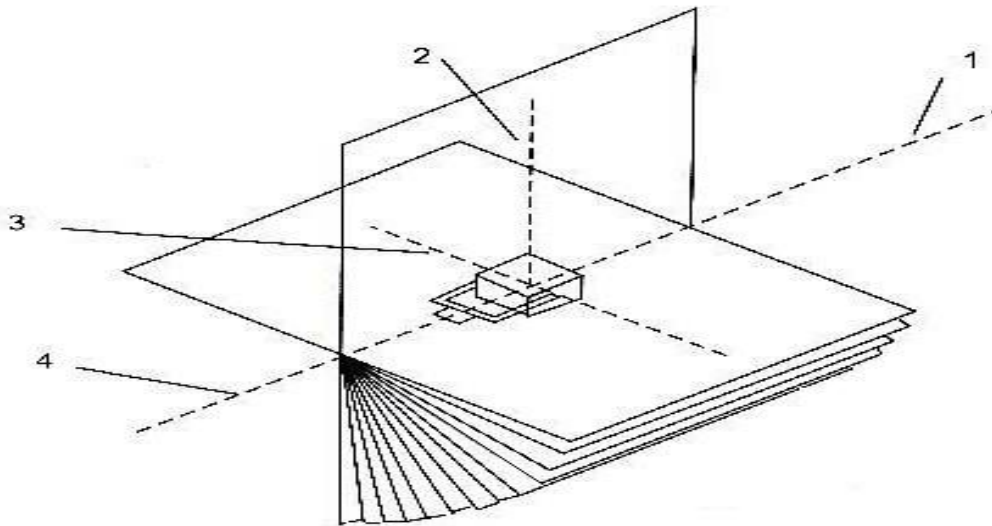
Η φωτεινή ένταση ενός φωτιστικού σώματος μετράται επί ενός συνόλου τυποποιημένων επιπέδων. Έχουν επιλεγεί τρεις ομάδες επιπέδων οι οποίες έχουν καθοριστεί από την **CIE** (**Commission Internationale de l'Éclairage**) ως τα τυποποιημένα επίπεδα μέτρησης της φωτεινής έντασης των φωτιστικών σωμάτων. Για την καλύτερη κατανόηση των επιπέδων αυτών, ορίζεται ένας πρωτεύων και δύο δευτερεύοντες άξονες στο φωτιστικό σώμα όπως βλέπουμε στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Άξονες φωτιστικού σώματος [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

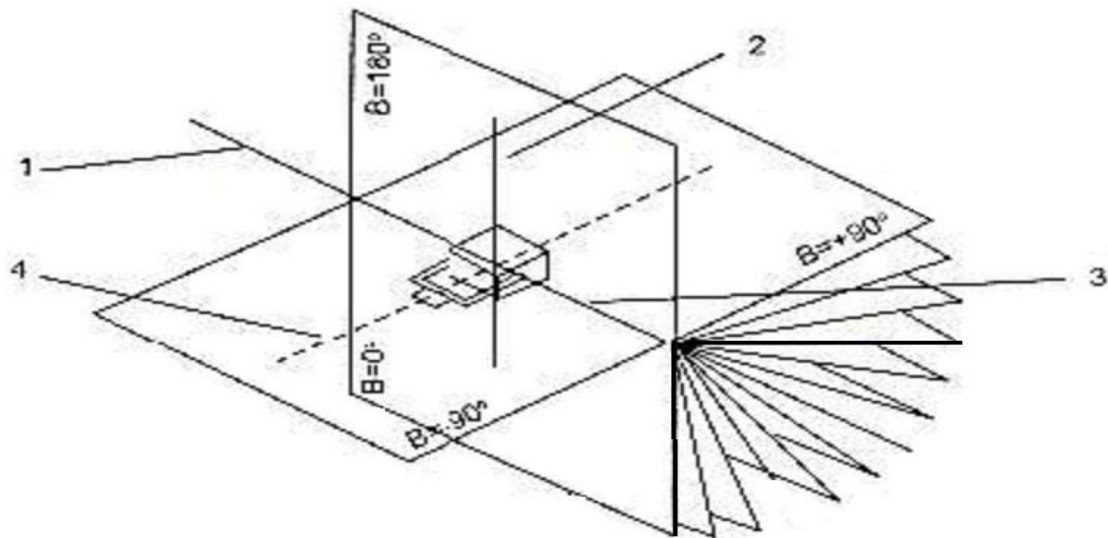
1. Φωτομετρικό κέντρο
2. Πρωτεύων άξονας
3. Δευτερεύων άξονας
4. Τριτεύων άξονας

Τα επίπεδα Α είναι τα επίπεδα των οποίων ο άξονας περιστροφής διέρχεται από το φωτομετρικό κέντρο του φωτιστικού σώματος και είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζεται από τον πρωτεύοντα και το δευτερεύοντα άξονα. Σχήμα 2. Ο άξονας περιστροφής των επιπέδων Α ακολουθεί την κλίση του φωτιστικού σώματος όταν αυτό τοποθετείτε σε κεκλιμένη θέση.



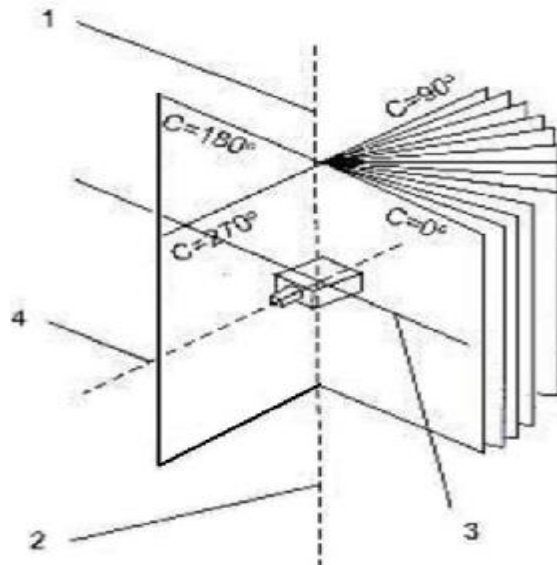
Σχήμα 2: Επίπεδα A κατά CIE [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Τα επίπεδα B είναι τα επίπεδα των οποίων ο άξονας περιστροφής διέρχεται από το φωτομετρικό κέντρο του φωτιστικού σώματος και είναι παράλληλος στο δευτερεύοντα άξονα του φωτιστικού σώματος. Σχήμα 3. Ο άξονας περιστροφής των επιπέδων B ακολουθεί την κλίση του φωτιστικού σώματος όταν αυτό τοποθετείτε σε κεκλιμένη θέση.



Σχήμα 3: Επίπεδα B κατά CIE [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

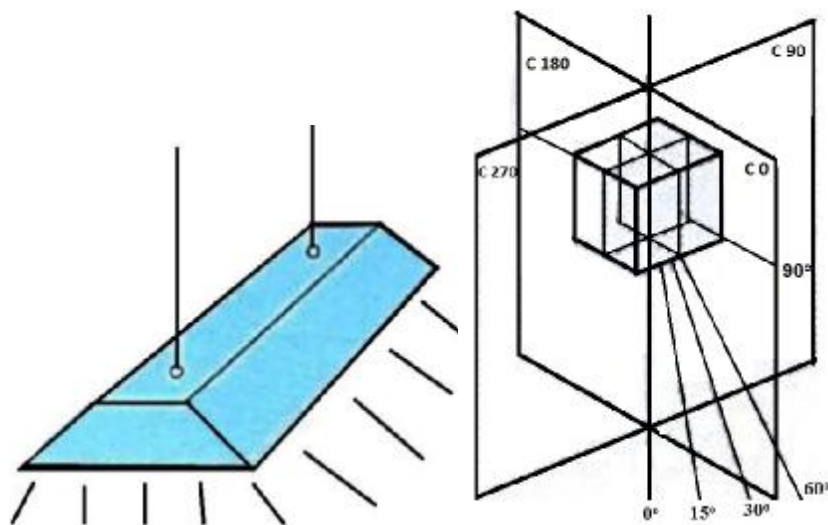
Τα επίπεδα C είναι τα επίπεδα των οποίων ο άξονας περιστροφής διέρχεται από το φωτομετρικό κέντρο του φωτιστικού σώματος και είναι αυστηρά κατακόρυφος και δεν ακολουθεί την κλίση του φωτιστικού σώματος όταν αυτό τοποθετείτε σε κεκλιμένη θέση. Σχήμα 4.



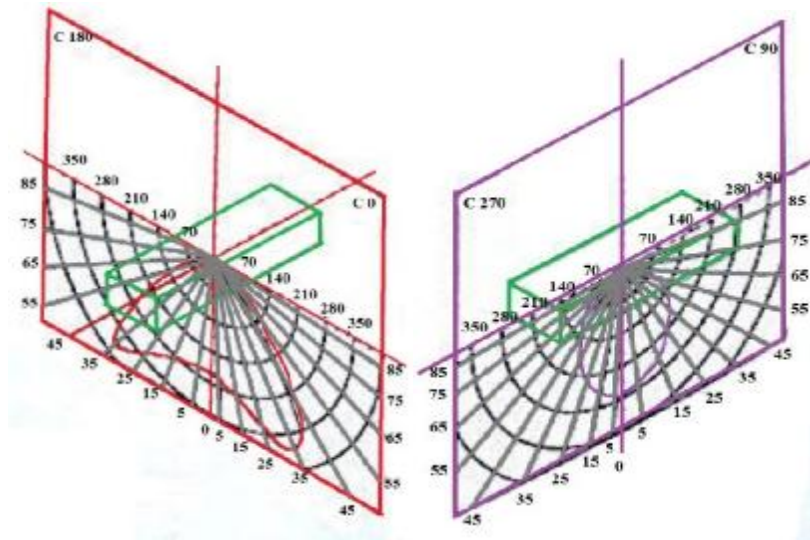
Σχήμα 4: Επίπεδα C κατά CIE [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Τα επίπεδα C είναι εκείνα τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη. Ανάλογα με τον τύπο και τις ιδιαιτερότητες του σώματος επιλέγονται οι γωνίες στις οποίες θα αποτυπωθεί το πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτεινής έντασης. Το διάγραμμα αυτό δίνεται μόνο για ένα ημιεπίπεδο όταν το σώμα παρουσιάζει συμμετρία στην κατανομή της φωτεινής έντασης. Επειδή όμως στην πλειοψηφία των φωτιστικών σωμάτων υπάρχει ασυμμετρία, χρειάζονται περισσότερα επίπεδα. Σε ένα διάμηκες σώμα για παράδειγμα σχήμα 5, η φωτεινή ένταση I δεν παρουσιάζει συμμετρία. Για το σχεδιασμό του πολικού διαγράμματος του φωτιστικού η φωτεινή ένταση αποτυπώνεται σε δύο επίπεδα, το C0 – C180 και το C90 – C270 σχήμα 6.

Τα επίπεδα είναι κατακόρυφα. Το επίπεδο C90 – C270 περιλαμβάνει τον διαμήκη άξονα του φωτιστικού σώματος, ενώ το C0 – C180 είναι κάθετο στο διαμήκη άξονα.

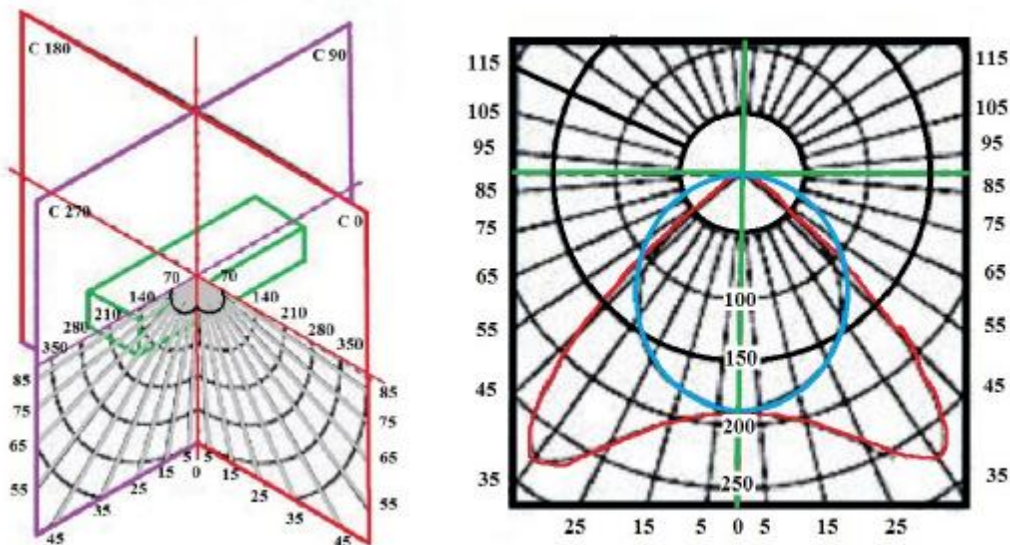


Σχήμα 5: Διαμήκης φωτιστικό σώμα. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]



Σχήμα 6: Τυποποιημένα επίπεδα σε διαμήκης φωτιστικό σώμα. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Στα δύο αυτά επίπεδα σχεδιάζονται τα πολικά διαγράμματα κατανομής της φωτεινής έντασης του φωτιστικού σώματος, σχήμα 7.



Σχήμα 7: Πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτεινής έντασης. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Σε περιπτώσεις που τα φωτιστικά σώματα εμφανίζουν μεγαλύτερη ασυμμετρία και τα επίπεδα C0-180 και C90-270 δεν επαρκούν για να δοθεί μια αντιπροσωπευτική εικόνα για την φωτεινή ένταση, τότε μπορεί να σχεδιαστεί και ένα τρίτο πολικό διάγραμμα. Η καμπύλη αυτή θα αναπαριστά την φωτεινή ένταση για το κατακόρυφο επίπεδο C45-225.

2.2.3. Ένταση Φωτισμού

Τα παραπάνω φωτομετρικά μεγέθη παρέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας των φωτιστικών σωμάτων. Περιγράφονται δηλαδή οι ιδιότητες της φωτεινής πηγής. Ωστόσο, οι ιδιότητες της φωτεινής πηγής δεν μπορούν να καθορίσουν με ακρίβεια το αποτέλεσμα μιας και εξαρτάται και από τον τρόπο εγκατάστασης. Για να εκφράσουμε το αποτέλεσμα των φωτιστικών σωμάτων, θα πρέπει να ορίσουμε ένα άλλο φωτομετρικό μέγεθος, την **ένταση φωτισμού**. Ως ένταση φωτισμού λοιπόν ορίζεται το πηλίκο της **φωτεινής ροής** που προσπίπτει κάθετα σε μία επιφάνεια προς το εμβαδό της επιφάνειας αυτής και την μετράμε σε **lux**.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (3)$$

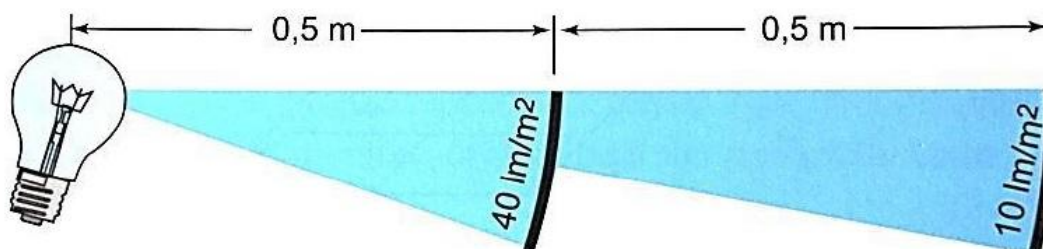
Μια φωτεινή πηγή θεωρείται ότι έχει σταθερή φωτεινή ροή. Αυτό σημαίνει πως η ένταση φωτισμού εξαρτάται από την επιφάνεια, την γωνία πρόσπτωσης και την απόσταση της πηγής από αυτήν.

Για τον υπολογισμό της έντασης σε διάφορες αποστάσεις χρησιμοποιούμε τον νόμο του αντίστροφου τετραγώνου.

$$E_1 * d_1^2 = E_2 * d_2^2 \quad (4)$$

Στην εικόνα 3 βλέπουμε την ένταση φωτισμού σε δύο διαφορετικά σημεία σε απόσταση $d_1=0.5\text{m}$ και $d_2=1\text{m}$ με ένταση φωτισμού E_1 και E_2 αντίστοιχα. Αν είναι γνωστή η ένταση φωτισμού στο ένα σημείο, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση και στο άλλο σημείο. Αν για παράδειγμα $E_1=40 \text{ lm/m}^2$ τότε θα έχουμε:

$$E_2 = E_1 * \frac{d_1^2}{d_2^2} = 10 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \quad (5)$$



Εικόνα 3: Ένταση φωτισμού σχετικά με την απόσταση του σημείου από την πηγή. [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Ο νόμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την προϋπόθεση ότι η φωτεινή πηγή μπορεί να θεωρηθεί σημειακή. Αν η απόσταση από μια φωτεινή πηγή είναι μεγαλύτερη από το πενταπλάσιο της μεγαλύτερης διάστασης της πηγής, τότε η πηγή μπορεί να θεωρηθεί σημειακή. Για έναν κοινό διάφανο λαμπτήρα πυρακτώσεως ως μέγιστη διάσταση μπορεί να θεωρηθεί το μήκος του νήματος, ενώ για έναν γαλακτώδη η διάμετρος του.

Αν η επιφάνεια πρόσπτωσης δεν είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της φωτεινής ροής τότε η παραπάνω σχέση (5) θα πρέπει να τροποποιηθεί. Ο υπολογισμός της έντασης γίνεται με τη βοήθεια μια άλλης επιφάνειας S_0 κάθετης προς την κατεύθυνση της ροής, η οποία είναι η προβολή της S στο επίπεδο και φωτίζεται με την ίδια

φωτεινή ροή που φωτίζεται η S , εικόνα 3. Το εμβαδό της S_0 υπολογίζεται από τη σχέση:

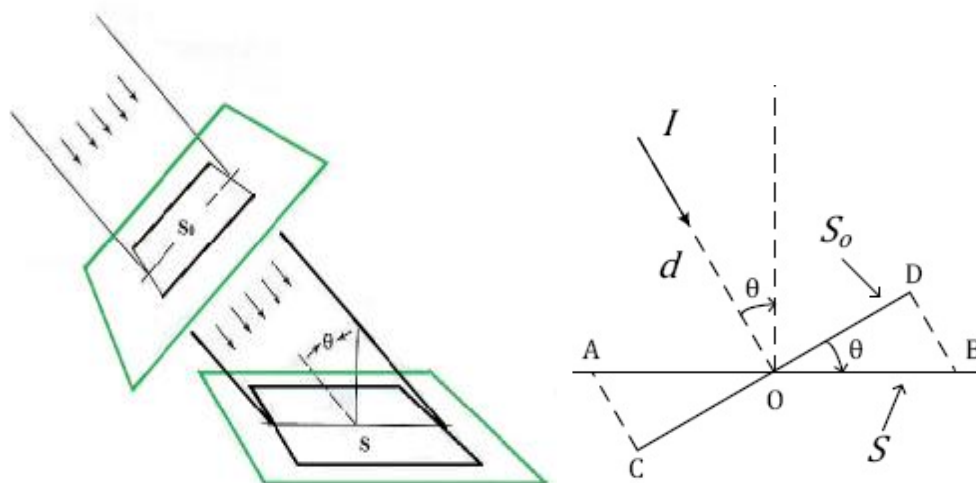
$$S_0 = S * \cos\theta \quad (5a)$$

Οι επιφάνειες S και S_0 δέχονται ένταση φωτισμού E και E_0 αντίστοιχα.

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ και } E_0 = \frac{\Phi}{S_0} \quad (6)$$

Σε συνδυασμό με την (5a) και διαιρώντας κατά μέρους προκύπτει:

$$E = E_0 * \cos\theta \quad (7)$$



Εικόνα 4: Ένταση φωτισμού επιφάνειας S μη κάθετης προς τη φωτεινή ροή [Φωτοτεχνία 2^η έκδοση Τοπάλης, Οικονόμου, Κουρτέση]

Η παραπάνω σχέση αποτελεί το **νόμο του συνημιτόνου** και εκφράζει την μείωση της φωτεινής έντασης όταν αυξάνεται η γωνία θ υπό την οποία η φωτεινή ροή προσπίπτει στην επιφάνεια. Επίσης από τις σχέσεις:

$$E = \frac{I}{d^2} \text{ και } E = E_0 * \cos\theta \quad \text{προκύπτει}$$

$$E = \frac{I}{d^2} * \cos\theta \quad (8)$$

Ο φωτομετρικός νόμος των αποστάσεων και ο νόμος του συνημιτόνου είναι από τους βασικότερους και πιο χρήσιμους για την εκπόνηση φωτοτεχνικών μελετών και υπολογισμών.

Το **DiaLux**, το λογισμικό με το οποίο θα κάνουμε την μελέτη μας, χρησιμοποιεί αυτούς τους νόμους και υπολογίζει για εμάς όλα τα φωτομετρικά μεγέθη για να μας δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Κεφάλαιο 3^ο Μελέτη Φωτισμού Εσωτερικών Και Εξωτερικών Χώρων

3.1. Λογισμικό DiaLux

Το λογισμικό είναι προϊόν ανοιχτού κώδικα (δωρεάν) της εταιρίας DIAL GmbH οποία κυκλοφόρησε την πρώτη έκδοσή του το 1994 οραματιζόμενη την ανάπτυξη και προώθηση ενός εργαλείου φωτισμού που θα εξυπηρετεί τις συνεχώς αυξανόμενες εξελίξεις στο χώρο του φωτισμού.

Με το DiaLux μπορούν να πραγματοποιηθούν μελέτες φυσικού και τεχνητού φωτισμού εσωτερικών, εξωτερικών χώρων και δρόμων. Το πρόγραμμα, στις προσομοιώσεις που πραγματοποιεί, χρησιμοποιεί διεθνή αναγνωρισμένα πρότυπα φωτισμού καθώς και ένα μεγάλο κατάλογο προϊόντων φωτισμού διαφορετικών κατασκευαστών.

Το πρόγραμμα παρέχει δωρεάν ηλεκτρονική υποστήριξη στους χρήστες μέσω του μενού βοήθειας που διαθέτει.

Το λογισμικό DiaLux έχει την δυνατότητα συνεργασίας με το σχεδιαστικό λογισμικό AutoCAD και άλλα σχεδιαστικά λογισμικά. Το γεγονός αυτό βοηθάει το χρήστη να εισάγει έτοιμα σχέδια μιας μελέτης αλλά μπορεί επίσης να σχεδιάσει τον δικό του χώρο. Είναι ένα άρτιο λογισμικό σχεδιασμού γεωμετρίας στην αρχή σε δύο διαστάσεις και στην συνέχεια σε τρεις διαστάσεις.

Σήμερα το λογισμικό έχει αναπτύξει μια πλειάδα εργαλείων για την κατασκευή γεωμετρίας καθώς και εργαλεία που ασχολούνται με την αυτόματη αναπαραγωγή φωτιστικών ή αντικειμένων σε καθορισμένη διαδρομή καθώς και τη σύνθεση των αντικειμένων.

Να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα, έχει καταχωρημένες από μόνο του τις ελάχιστες παραμέτρους αθλητικών χώρων όπως αυτές ορίζονται απ' τις αθλητικές ομοσπονδίες.

Το **DiaLux** δεν περιέχει με την εγκατάστασή δεδομένα για τα φωτιστικά σώματα και τους λαμπτήρες, αλλά μπορούμε εύκολα να τα ανασύρουμε από τις ιστοσελίδες των συνεργατών της Dial. Τα δεδομένα αυτά είναι γνωστά ως **Plugins**. Μέσω της επιλογής **Online update**, το πρόγραμμα συνδέεται με το διαδίκτυο και πραγματοποιεί τη λήψη ενημερώσεων.

Το πρόγραμμα έχει επίσης την δυνατότητα χρησιμοποίησης **Online** καταλόγων φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων. Η χρησιμοποίηση των online καταλόγων πλεονεκτεί διότι μπορούν να εισαχθούν φωτιστικά σώματα και λαμπτήρες σε κάθε περίπτωση και σχέδιο ξεχωριστά, χωρίς να χρειάζεται η εγκατάσταση των Plugins στον υπολογιστή.

3.2. Φωτισμός Γηπέδου Καλαθοσφαίρισης

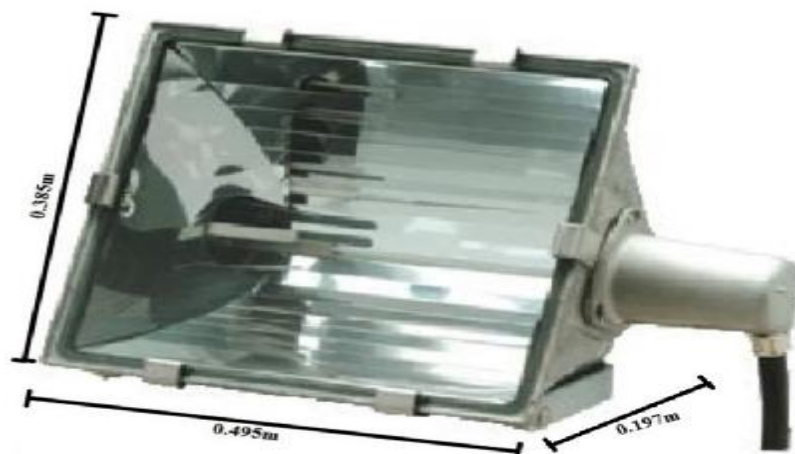
Αρχίζουμε τη μελέτη μας με το DiaLux. Το πρόγραμμα μας επιτρέπει επίσης να χωρίσουμε το χώρο μας σε φωτεινές σκηνές με την δική τους **ομάδα ελέγχου** των φωτιστικών. Αυτό μας βοηθάει να υπολογίσουμε τον φωτισμό και των τριών γηπέδων σε μία μελέτη αλλά και να μπορούμε να δούμε και το κάθε ένα ξεχωριστά. Έτσι έχουμε ορίσει το κάθε γήπεδο ως μια **φωτεινή σκηνή**.

Δίνουμε στο πρόγραμμα την εντολή “εισαγωγή γηπέδου καλαθοσφαίρισης”. Αυτομάτως το πρόγραμμα μας εμφανίζει το γήπεδο καλαθοσφαίρισης και υπολογίζει το σύνολο των φωτιστικών σωμάτων και τη διάταξή τους στο χώρο.

Για ένα γήπεδο καλαθοσφαίρισης, έχει καταχωρημένες διαστάσεις **28m** μήκος και **15m** πλάτος. Ως κατώτερο σημείο απ’ την οροφή είναι ορισμένο στα **6m** έτσι σ’ αυτό το ύψος θα είναι και τα φωτιστικά σώματα. Το γήπεδο χρειάζεται φωτεινότητα στην επιφάνεια εργασίας, ορισμένη και για τηλεοπτική κάλυψη, ίση με **1000lux**. Οι διαστάσεις και ο φωτισμός που απαιτείται ορίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες της **FIBA** και της **ΕΟΚ**. [https://en.wikipedia.org/wiki/Basketball_court]

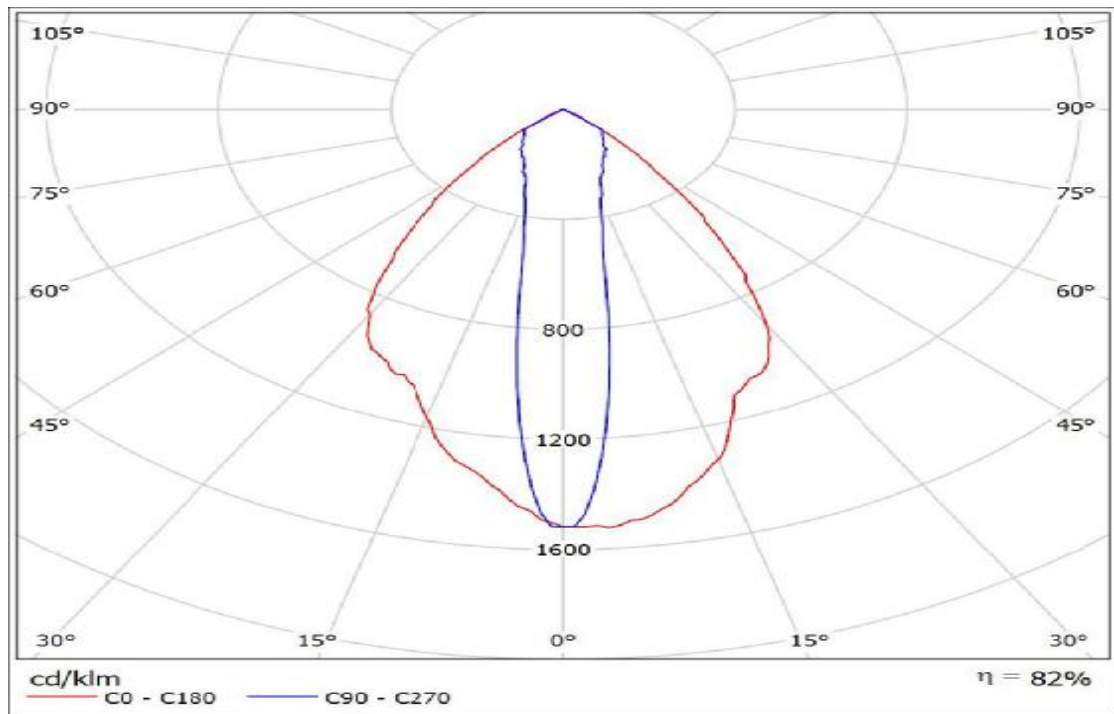
Στην εικόνα 5 βλέπουμε τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων που θα τοποθετήσουμε στους πυλώνες. το οποίο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 106600 lm
- Ισχύς φωτιστικού: 1020.0 W
- Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 100
- Κωδικός ροής CIE: 80 98 100 100 82
- Εξοπλισμός: 1 x SON-T1000W (Συντελεστής διόρθωσης 1.000)



Εικόνα 5: Φωτιστικό σώμα γηπέδου τύπου PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB

Στο διάγραμμα 4 βλέπουμε το διάγραμμα πολικής κατανομής της έντασης του προβολέα. Η κόκκινη γραμμή μας δίνει το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=0^{\circ} \text{ à } 180^{\circ}$ η οποία είναι περίπου 90° . Ενώ η μπλε γραμμή το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=90^{\circ} \text{ à } 270^{\circ}$ η οποία είναι περίπου 30° . Ο βαθμός απόδοσης του προβολέα είναι $\eta=82\%$. Βλέπουμε επίσης την φωτεινή ένταση της πηγής που είναι περίπου **1500cd** (candela).



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης του προβολέα.

Παρακάτω βλέπουμε τους πίνακες κατανομής των φωτιστικών των δύο γηπέδων καλαθοσφαίρισης όπως αυτοί προέκυψαν από τους υπολογισμούς του DiaLux.

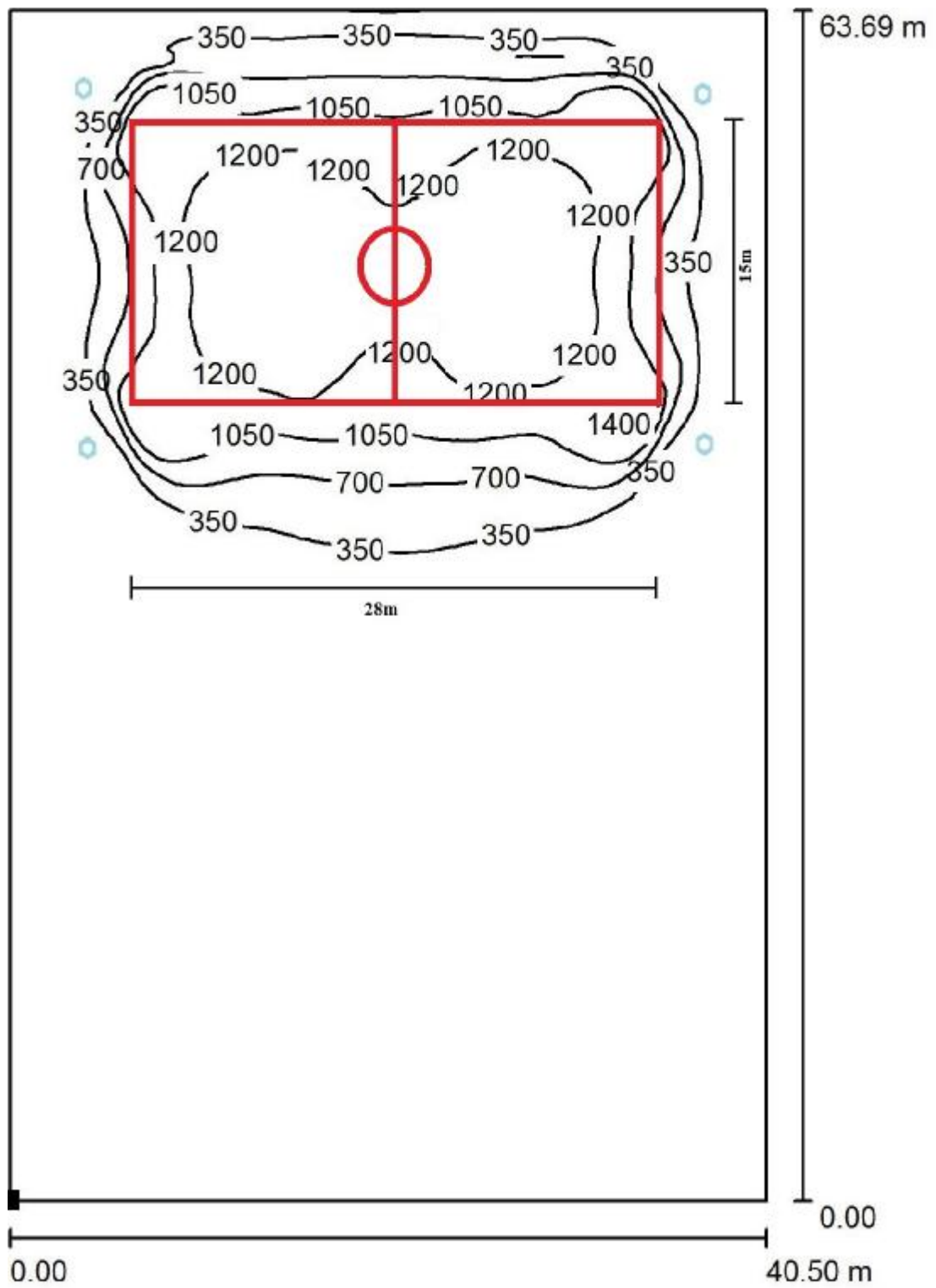
Πίνακας 5: Πίνακας κατανομής των φωτιστικών στο πρώτο γήπεδο καλαθοσφαίρισης.

Φωτιστικό	ομάδα ελέγχου 1	Θέση (m)			Περιστροφή (°)		
		x	y	z	α	β	γ
1	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,35	6,00	71,60	0,00	-59,3
2	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,35	6,00	63,90	0,00	-39,7
3	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,35	6,00	68,90	0,00	-53,1
4	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,35	6,00	69,10	0,00	-82,9
5	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,35	6,00	71,60	0,00	59,3
6	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,35	6,00	63,90	0,00	39,7
7	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,35	6,00	68,90	0,00	53,1
8	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,35	6,00	69,10	0,00	82,9
9	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	59,35	6,00	71,60	0,00	-120,7
10	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	59,35	6,00	63,90	0,00	-140,3
11	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	59,35	6,00	68,90	0,00	-126,9
12	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	59,35	6,00	69,10	0,00	-97,1
13	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	59,35	6,00	71,60	0,00	120,7
14	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	59,35	6,00	63,90	0,00	140,3
15	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	59,35	6,00	68,90	0,00	126,9
16	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	59,35	6,00	69,10	0,00	97,1

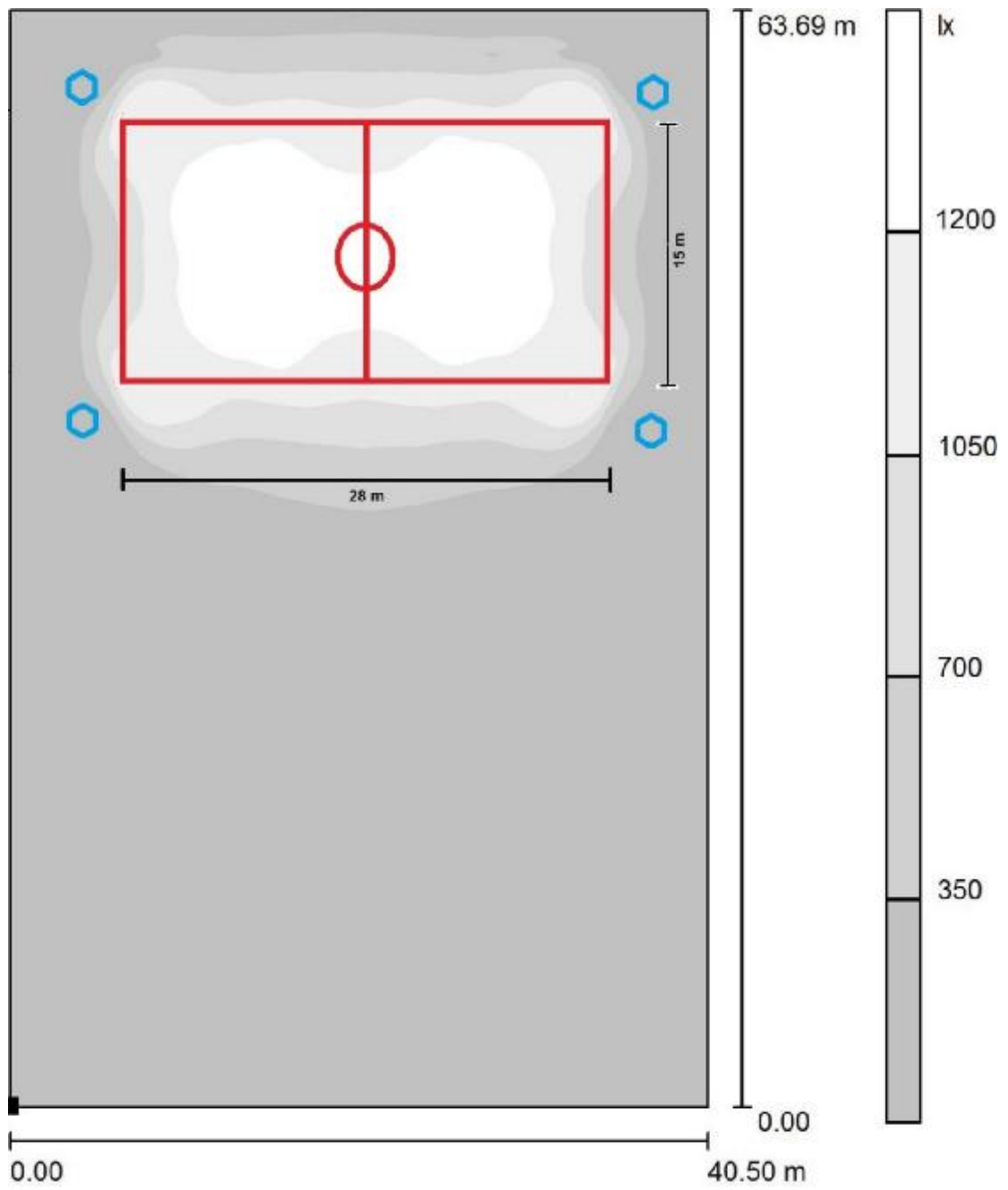
Πίνακας 6: Πίνακας κατανομής των φωτιστικών στο δεύτερο γήπεδο καλαθοσφαίρισης.

	ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ	Θέση (m)			περιστροφή (°)		
		x	y	z	α	β	γ
	ομάδα ελέγχου 2						
1	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	20,85	6,00	71,80	0,00	-58,1
2	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	20,85	6,00	69,30	0,00	-51,5
3	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	20,85	6,00	69,20	0,00	-81,2
4	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	20,85	6,00	64,10	0,00	-38,9
5	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	20,85	6,00	71,80	0,00	58,1
6	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	20,85	6,00	69,30	0,00	51,5
7	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	20,85	6,00	69,20	0,00	81,2
8	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	20,85	6,00	64,10	0,00	38,9
9	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,78	6,00	71,80	0,00	-121,9
10	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,78	6,00	69,30	0,00	-128,5
11	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,78	6,00	69,20	0,00	-98,8
12	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	4,05	40,78	6,00	64,10	0,00	-141,1
13	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,78	6,00	71,80	0,00	121,9
14	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,78	6,00	69,30	0,00	128,5
15	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,78	6,00	69,20	0,00	98,8
16	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	36,05	40,78	6,00	64,10	0,00	141,1

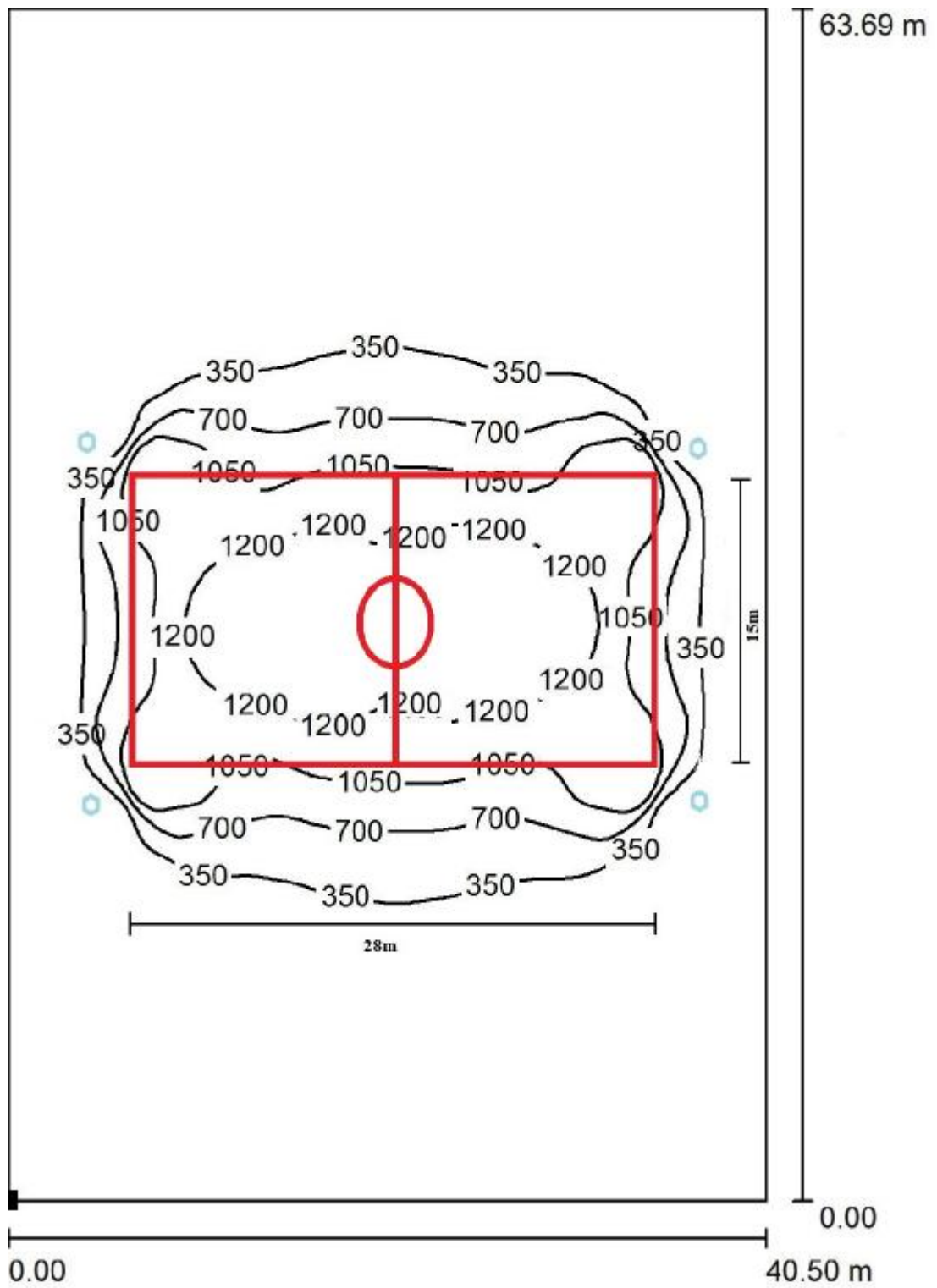
Το πρόγραμμα υπολογίζει την ένταση φωτισμού της κάθε σκηνής και μας την απεικονίζει μέσω των καμπυλών **Isolux** αλλά και σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι όπως βλέπουμε στις παρακάτω εικόνες.



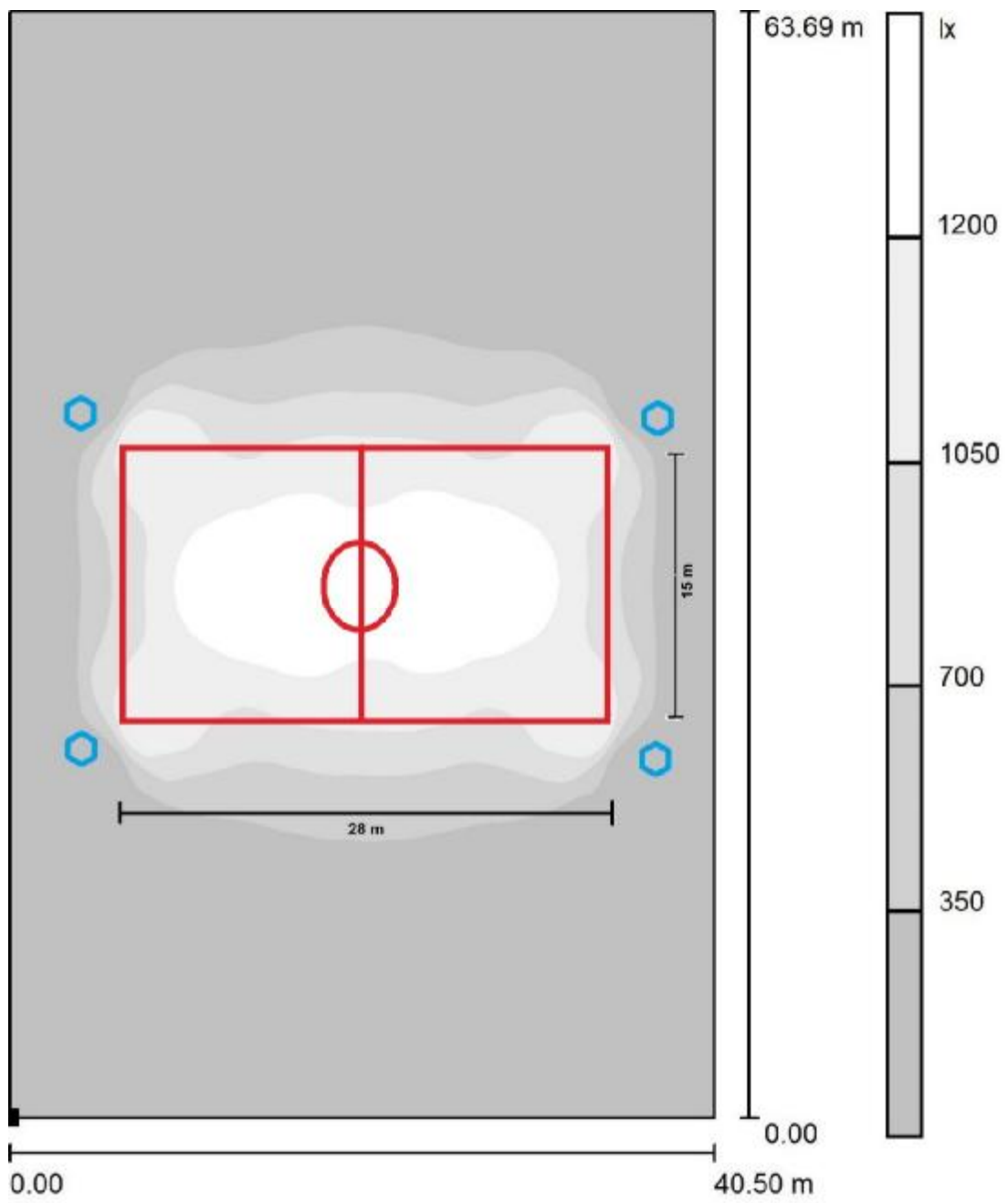
Εικόνα 6: Καμπύλες Isolux στο γήπεδο καλαθοσφαίρισης 1.



Εικόνα 7: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο γήπεδο καλαθοσφαίρισης 1.



Εικόνα 8: Καμπύλες Isolux στο γήπεδο καλαθοσφαίρισης 2.



Εικόνα 9: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο γήπεδο καλαθοσφαίρισης 2.

3.3. Φωτισμός Γηπέδου Πετοσφαίρισης

Ομοίως πράττουμε και για το γήπεδο πετοσφαίρισης.

Για ένα γήπεδο πετοσφαίρισης, έχει καταχωρημένες διαστάσεις **18m** μήκος και **9m** πλάτος. Ως κατώτερο σημείο απ' την οροφή είναι ορισμένο στα **6m** έτσι σ' αυτό το ύψος θα είναι και τα φωτιστικά σώματα. Το γήπεδο χρειάζεται φωτεινότητα στην επιφάνεια εργασίας, ορισμένη και για τηλεοπτική κάλυψη, ίση με **1000lux**. Οι διαστάσεις και οι ανάγκες φωτισμού του γηπέδου ορίζονται με βάση τις οδηγίες της παγκόσμιας και της ελληνικής ομοσπονδίας πετοσφαίρισης, [<https://en.wikipedia.org/wiki/Volleyball>]

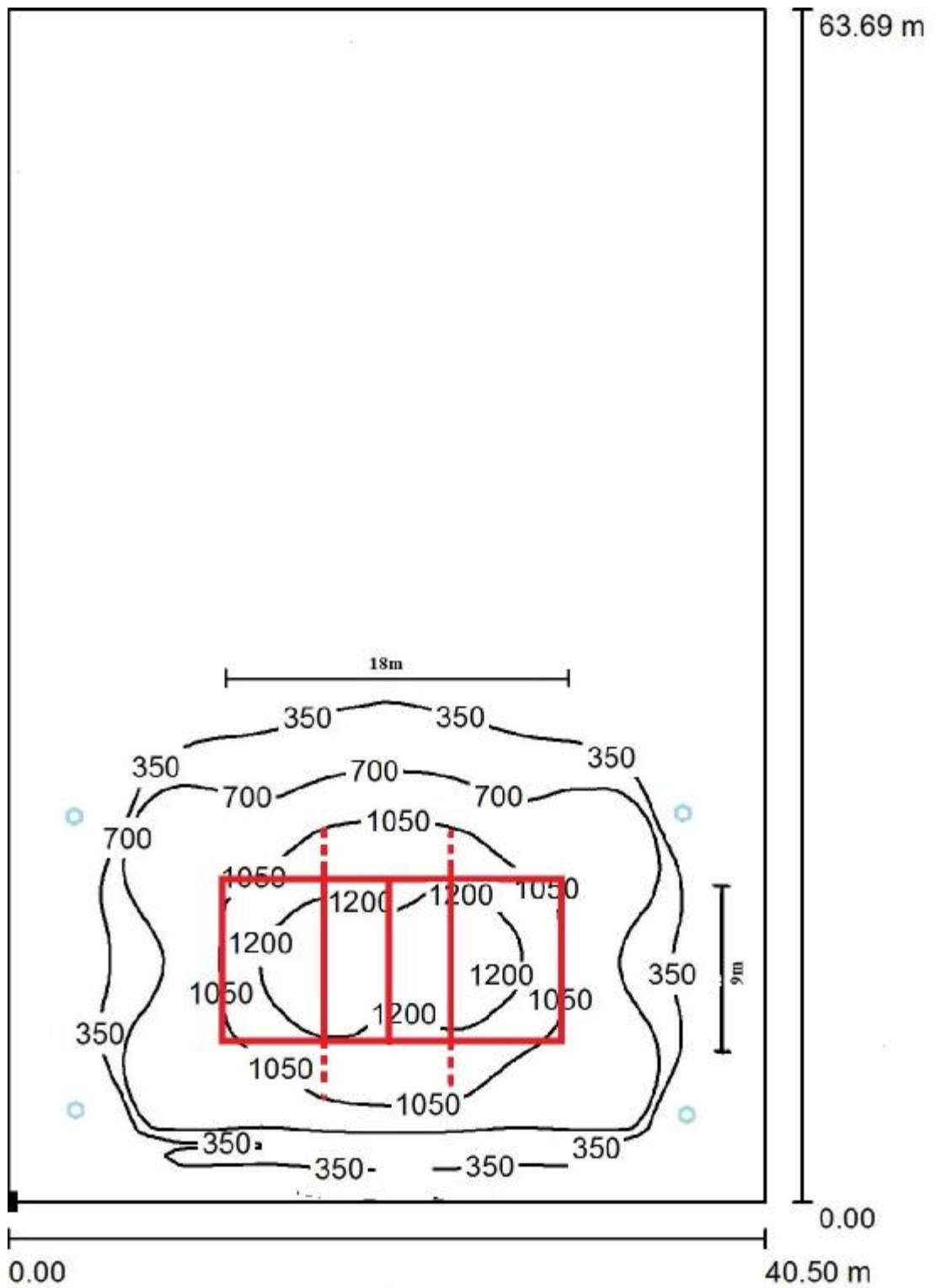
Παρακάτω βλέπουμε τον πίνακα κατανομής των φωτιστικών του γηπέδου πετοσφαίρισης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του DiaLux.

Πίνακας 7: Πίνακας κατανομής των φωτιστικών στο γήπεδο πετοσφαίρισης.

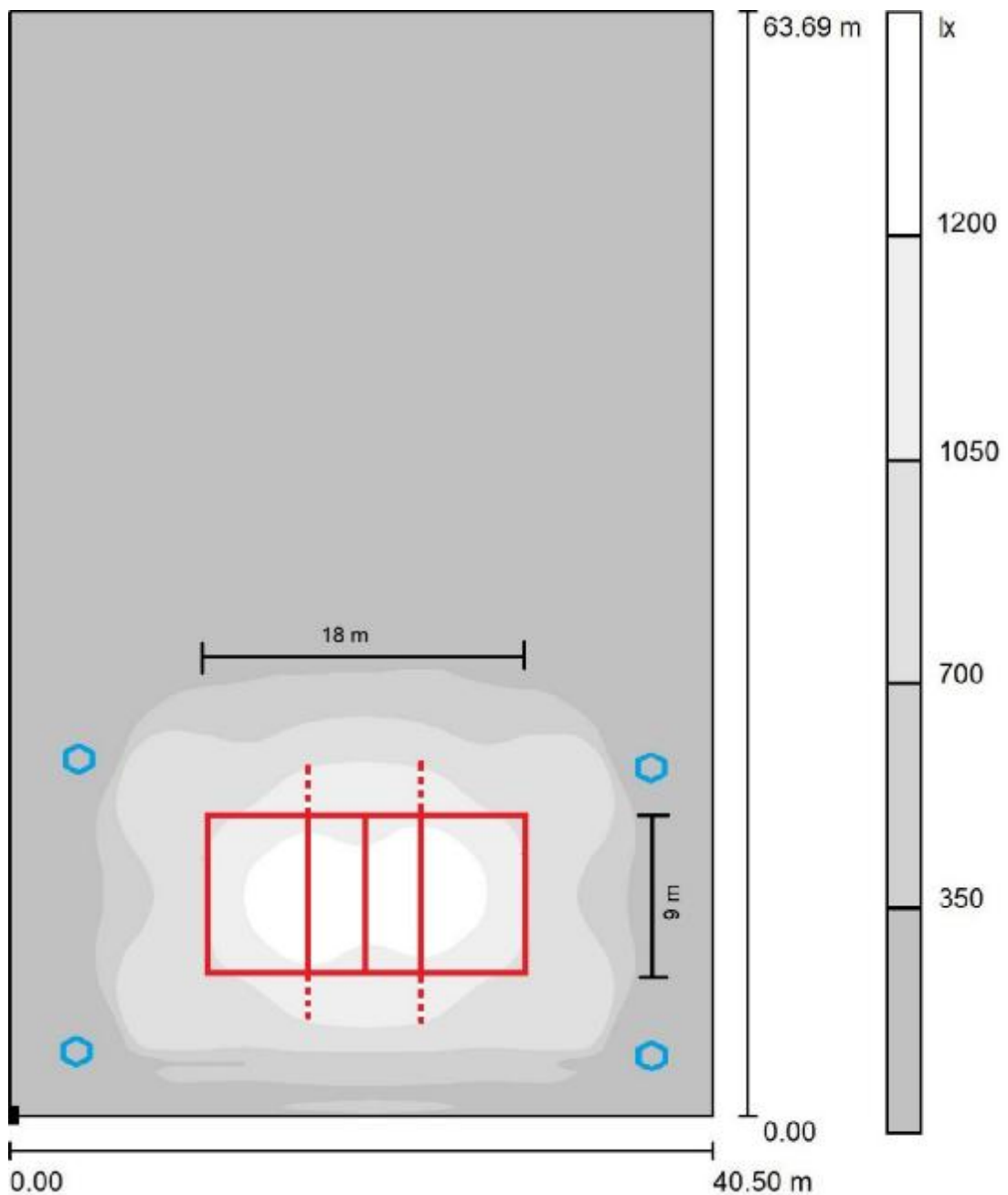
	Φωτιστικό ομάδα ελέγχου 3	Θέση (m)			περιστροφή (°)		
		x	y	z	α	β	γ
1	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	6,37	4,85	6,00	67,2	0,00	-69,4
2	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	6,37	4,85	6,00	62,4	0,00	-47,4
3	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	33,72	4,85	6,00	67,2	0,00	69,4
4	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	33,72	4,85	6,00	62,4	0,00	47,4
5	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	6,37	20,69	6,00	67,2	0,00	-110,6
6	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	6,37	20,69	6,00	62,4	0,00	-132,6
7	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	33,72	20,69	6,00	67,2	0,00	110,6
8	PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	33,72	20,69	6,00	62,4	0,00	132,6

Απ' τους πίνακες μπορούμε να δούμε ότι το πρόγραμμα καθορίζει από μόνο του τα σημεία όπου θα τοποθετηθούν τα φωτιστικά (την θέση τους **x**, **y** στο χώρο και **z** το ύψος συναρμολόγησης) και την γωνία περιστροφής που θα έχουν ώστε να έχουμε τον απαιτούμενο φωτισμό.

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε και για το γήπεδο πετοσφαίρισης την ένταση φωτισμού να απεικονίζεται μέσω των καμπυλών Isolux αλλά και σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι.



Εικόνα 10: Καμπύλες Isolux στο γήπεδο πετοσφαίρισης.



Εικόνα 11: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο γήπεδο πετοσφαίρισης.

Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος βλέπουμε ότι συνολικά θα χρειαστούμε **40 προβολείς PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB** (16 για το κάθε γήπεδο καλαθοσφαίρισης και 8 για το γήπεδο πετοσφαίρισης), με συνολική ισχύ **40,8kW** (16,32kW για το κάθε γήπεδο καλαθοσφαίρισης και **8,16W** για το γήπεδο πετοσφαίρισης) και συνολική απόδοση **4264klm** (1705,6klm για το κάθε γήπεδο καλαθοσφαίρισης και **852,8klm** για το γήπεδο πετοσφαίρισης).

3.4. Φωτισμός Χώρου Στάθμευσης

Συνεχίζουμε την μελέτη μας στο DiaLux δίνοντας τώρα τις παραμέτρους του χώρου στάθμευσης οι οποίες είναι: 30m μήκος επί 30m πλάτος και οι πυλώνες φωτισμού θα έχουν 3m ύψος. Στο χώρο στάθμευσης χρειαζόμαστε, σύμφωνα με τις οδηγίες του **TOTEE** για τον φωτισμό δρόμων και εξωτερικών χώρων στάθμευσης, φωτεινότητα **90-100lux**. Με αυτές της παραμέτρους το πρόγραμμα μας δίνει τα αποτελέσματα:

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/scientific_work/totee_p]



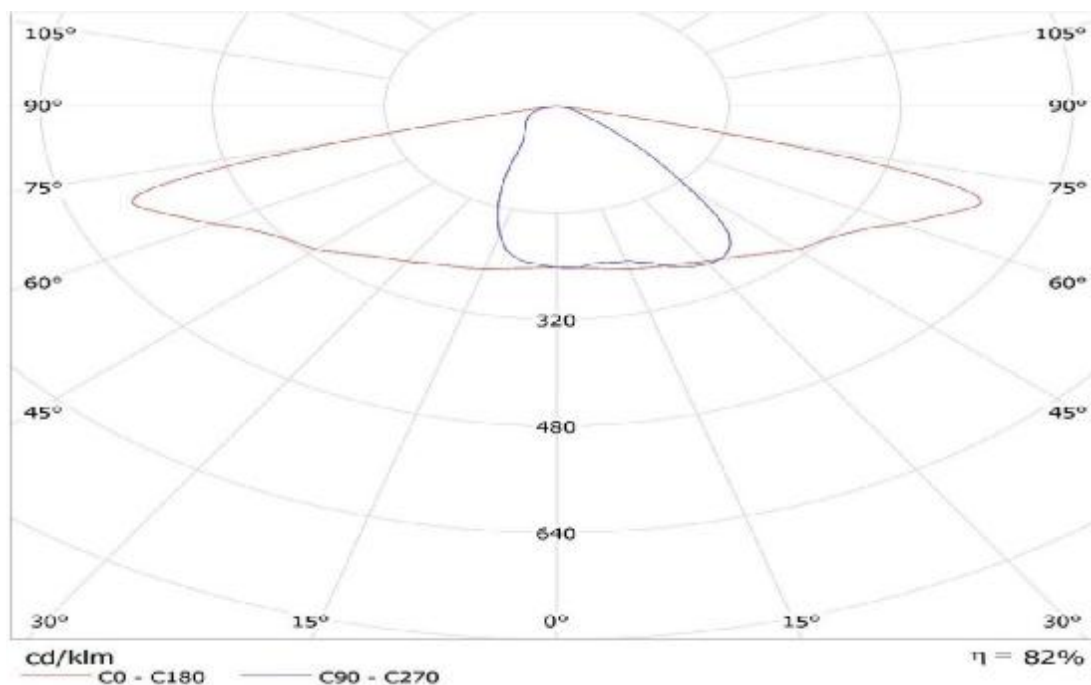
Εικόνα 12: Φωτιστικό σώμα χώρου στάθμευσης τύπου **PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM**

Στην εικόνα 12 βλέπουμε το φωτιστικό σώμα που θα χρησιμοποιήσουμε στο χώρο στάθμευσης με τα παρακάτω στοιχεία:

PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM

- Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 10250 lm
- Φωτεινή ροή (Λάμπες): 12500 lm
- Ισχύς φωτιστικού: 108.0 W
- Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 100
- Κωδικός ροής CIE: 42 76 97 100 82
- Εξοπλισμός: 1 x LED122-3S/740 (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).

Στο διάγραμμα 5 βλέπουμε το διάγραμμα πολικής κατανομής της έντασης του προβολέα. Η κόκκινη γραμμή μας δίνει το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=0^{\circ}$ à 180° η οποία είναι περίπου 150° . Ενώ η μπλε γραμμή το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=90^{\circ}$ à 270° η οποία είναι περίπου 35° . Ο βαθμός απόδοσης του προβολέα είναι $\eta=82\%$. Η φωτεινή ένταση είναι περίπου **180cd**.



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης του προβολέα **PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM**

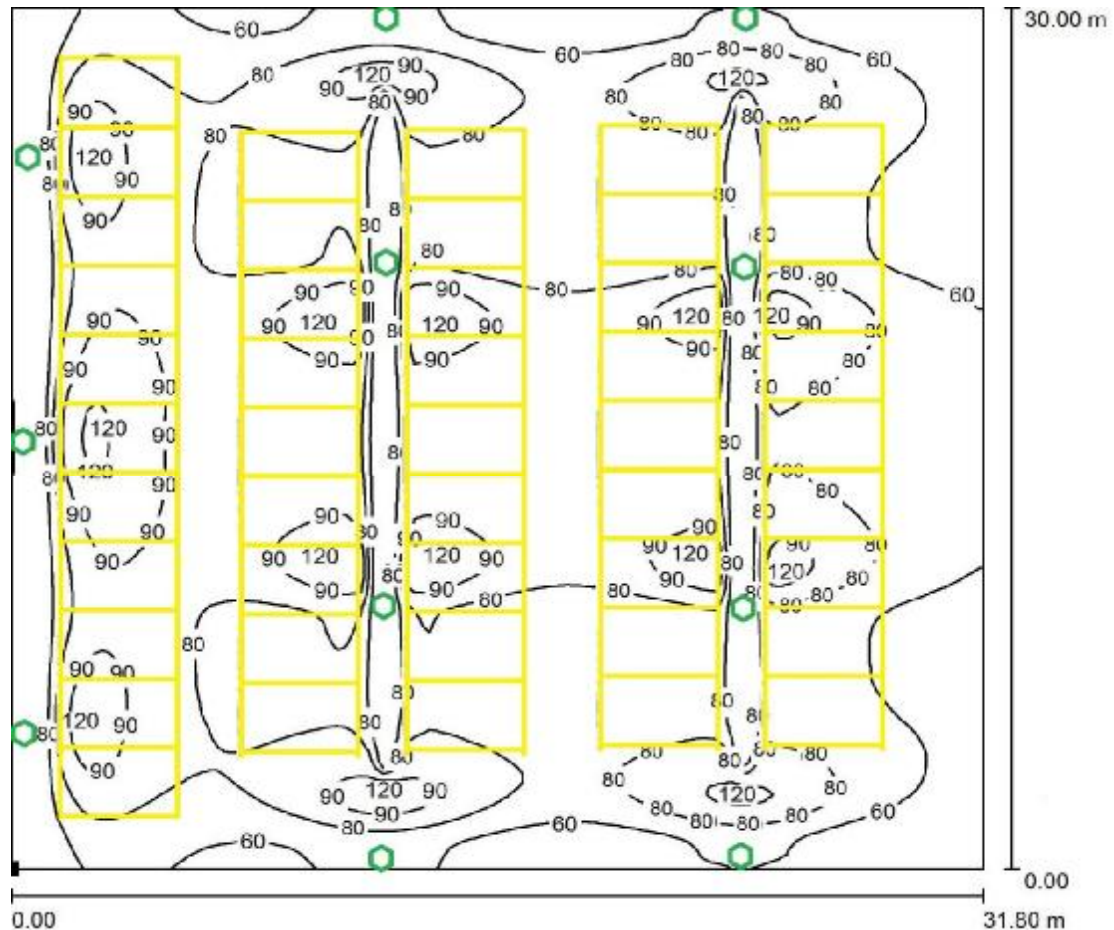
Από τα αποτελέσματα του προγράμματος έχουμε παρακάτω τον πίνακα κατανομής των φωτιστικών.

Πίνακας 8: Πίνακας κατανομής των φωτιστικών σωμάτων στο χώρο στάθμευσης.

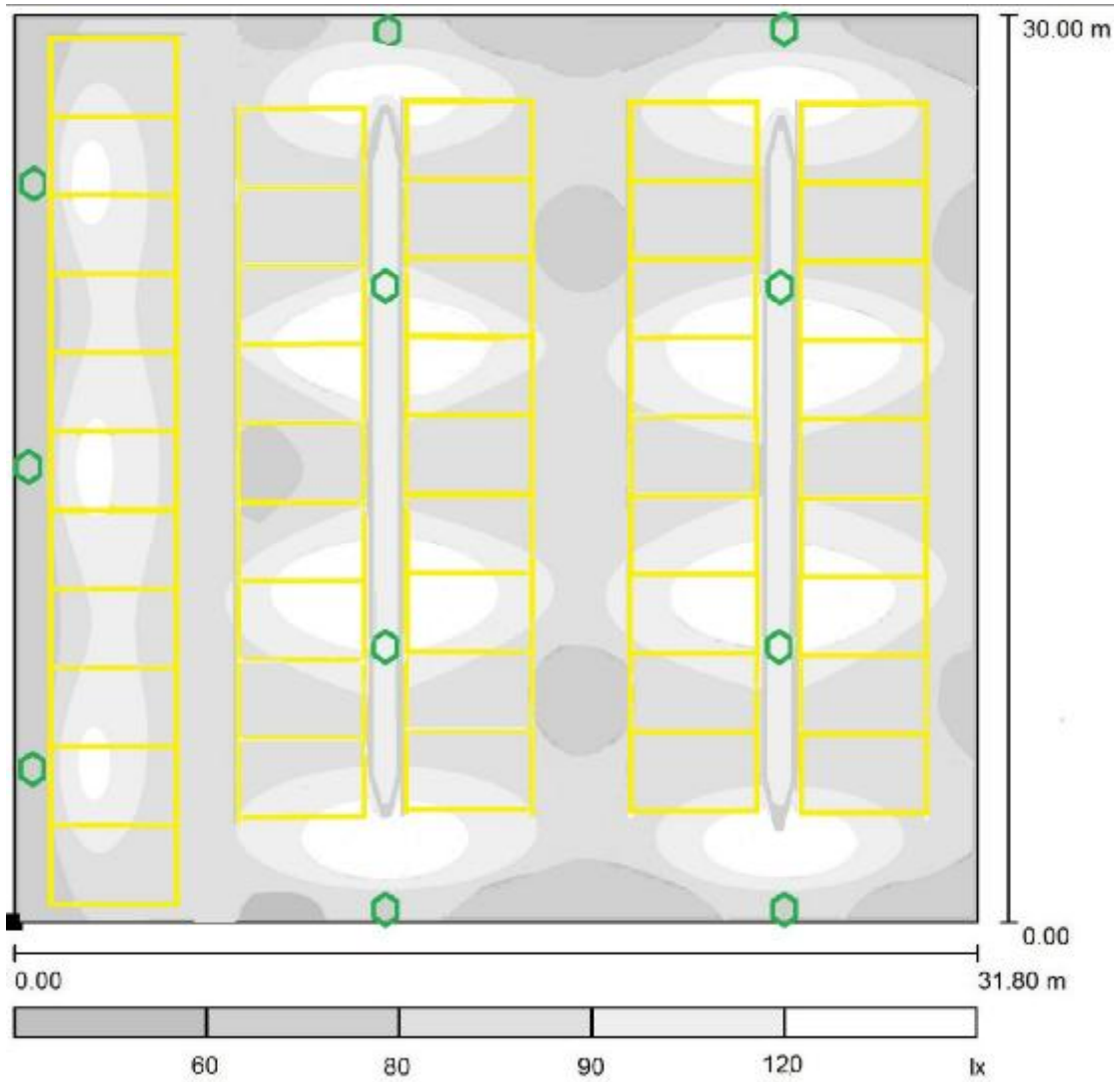
Φωτιστικό		Θέση (m)			Περιστροφή (°)		
ομάδα ελέγχου 1		x	y	z	α	β	γ
1	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	24,00	0,10	3	45	0	0
2	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	24,00	8,00	3	45	0	0
3	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	24,00	22,00	3	45	0	180
4	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	24,00	30,00	3	45	0	180
ομάδα ελέγχου 2		x	y	z	α	β	γ
1	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	12,21	0,10	3	45	0	0
2	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	12,21	8,00	3	45	0	0
3	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	12,21	22,00	3	45	0	180
4	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	12,21	30,00	3	45	0	180
ομάδα ελέγχου 3		x	y	z	α	β	γ
1	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	0,10	5,08	3	45	0	-90
2	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	0,10	15,05	3	45	0	-90
3	PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	0,10	25,02	3	45	0	-90

Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος βλέπουμε ότι συνολικά θα χρειαστούμε **11 φωτιστικά σώματα PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM** (χωρισμένα σε 4-4-3 για την κάθε φωτεινή σκηνή), με συνολική ισχύ **1188 W** και απόδοση **112,75klm**.

Παρακάτω βλέπουμε την απεικόνιση της έντασης φωτισμού στο χώρο στάθμευσης μέσω των καμπυλών Isolux αλλά και σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι.



Εικόνα 13: Διάταξη των πυλώνων φωτισμού και η καμπύλες **Isolux** στο χώρο στάθμευσης.



Εικόνα 14: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο χώρο στάθμευσης.

3.5. Φωτισμός Χώρου Αποδυτηρίων

Ο χώρος των αποδυτηρίων έχει διαστάσεις **10m** μήκος, **3m** πλάτος και **2,5m** ύψος. Ο χώρος αποτελείται από 10 ντουζιέρες **1m*1m*1,8m** με συντελεστή ανάκλασης **48%**, 15 φωριαμούς **0,5m*0,5m*2m** με συντελεστή ανάκλασης **50%**, 4 πάγκους **2m*0,5m*0,5m** με συντελεστή ανάκλασης **16%**. Η πόρτα εισόδου έχει διαστάσεις **2m** ύψος επί **1m** πλάτος και βαθμό ανάκλασης **84%**. Στο χώρο υπάρχει και ένα παράθυρο με διαστάσεις **1,3m** πλάτος και **0,5m** ύψος, έχει **90%** διαφάνεια και συντελεστή ανάκλασης **10%**. Η φωτεινότητα που χρειαζόμαστε στο επίπεδο εργασίας, με βάση τις οδηγίες του **TOTEE** για το φωτισμό εσωτερικών χώρων, είναι περίπου **500-700lux**. Εδώ έχουμε φωτισμό εσωτερικού χώρου οπότε στις παραμέτρους του πρέπει να προσθέσουμε και τους συντελεστές ανάκλασης των τοίχων, του δαπέδου και της οροφής. Στον πίνακα 9 βλέπουμε τους συντελεστές ανάκλασης και τις τιμές φωτισμού στις επιφάνειες. [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/scientific_work/totee_p]

Πίνακας 9: Συντελεστές ανάκλασης και τιμές φωτισμού στο χώρο αποδυτηρίων.

Επιφάνεια	Συντ. ανάκλασης %	Μέση ένταση φωτισμού [lx]			Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας cd/m ²
		Άμεσα	Έμμεσα	Συνολικά	
Επ. εργασίας	/	594	104	698	/
Δάπεδο	20	179	58	237	15
Οροφή	70	0	135	135	30
Τοίχος 1	50	23	45	67	11
Τοίχος 2	50	111	88	202	32
Τοίχος 3	50	73	127	202	32
Τοίχος 4	50	119	110	229	36

Στην εικόνα 15 βλέπουμε το φωτιστικό σώμα που θα χρησιμοποιήσουμε με τα παρακάτω στοιχεία:

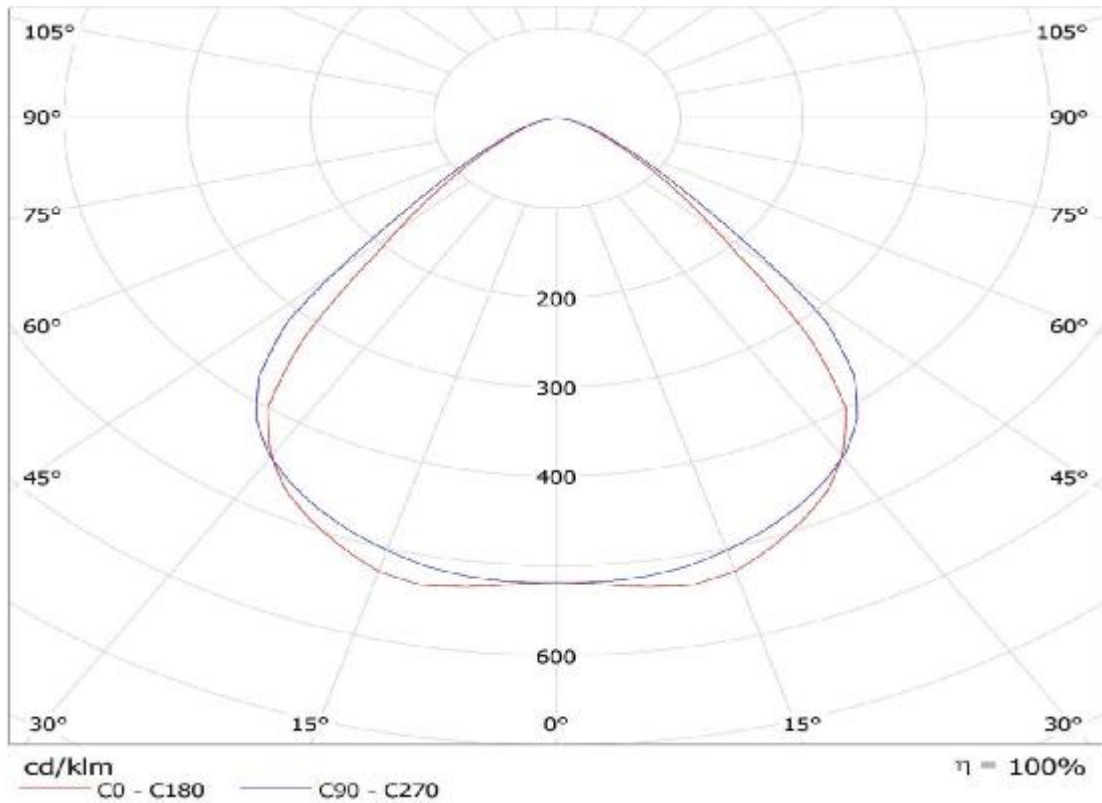
PHILIPS CR434B W30L120 1xLED88/940 ACMLO

- Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 6300 lm
- Ισχύς φωτιστικού: 73.0 W
- Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 100
- Κωδικός ροής CIE: 70 94 99 100 100
- Εξοπλισμός: 1 x LED88/940/- (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).



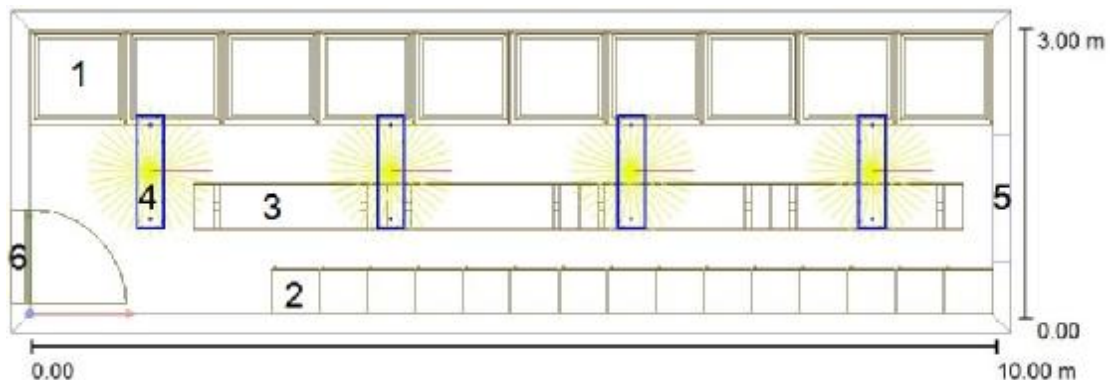
Εικόνα 15: Φωτιστικό σώμα του χώρου αποδυτηρίων τύπου **PHILIPS CR434B W30L120 1xLED88/940 ACMLO**

Στο διάγραμμα 6 βλέπουμε το διάγραμμα πολικής κατανομής της έντασης του προβολέα. Η κόκκινη γραμμή μας δίνει το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=0^{\circ}\text{à}180^{\circ}$ η οποία είναι περίπου 80° . Ενώ η μπλε γραμμή το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=90^{\circ}\text{à}270^{\circ}$ η οποία είναι περίπου 90° . Ο βαθμός απόδοσης του φωτιστικού είναι $\eta=100\%$. Ενώ η φωτεινή ένταση είναι περίπου **520cd**.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης του φωτιστικού **PHILIPS CR434B W30L120 1xLED88/940 ACMLO**

Παρακάτω βλέπουμε την διάταξη των φωτιστικών στον χώρο των αποδυτηρίων.

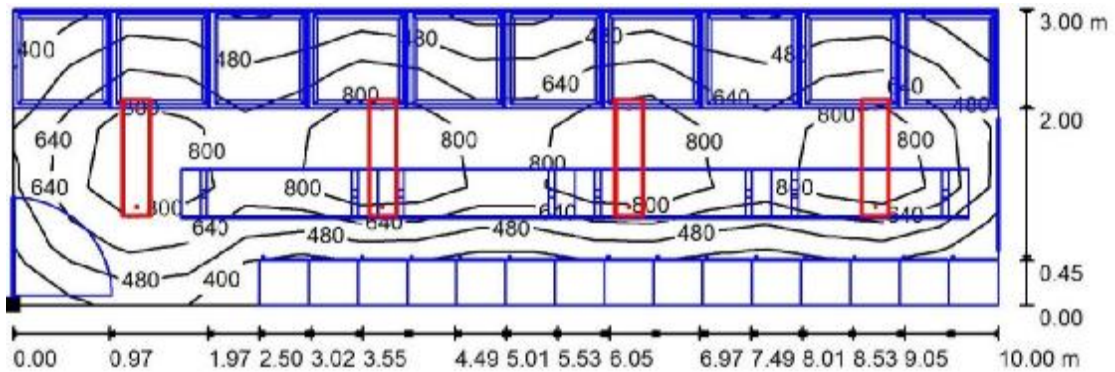


Εικόνα 16: Χώρος αποδυτηρίων αποτελούμενος από

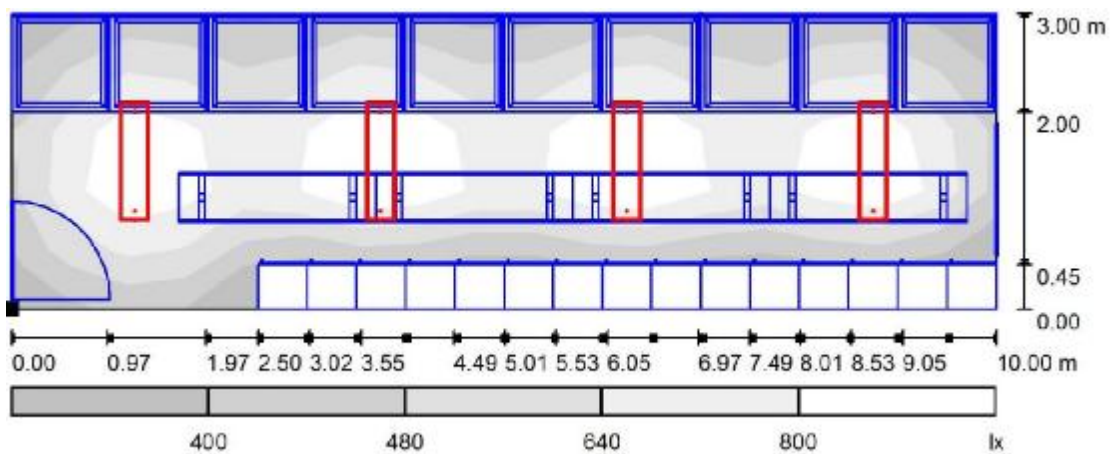
- | | |
|------------------|----------------|
| 1. 10 ντουζιέρες | 4. 4 φωτιστικά |
| 2. 15 φοριαμούς | 5. 1 παράθυρο |
| 3. 4 πάγκους | 6. 1 πόρτα |

Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος, θα χρειαστούμε 4 φωτιστικά **PHILIPS CR434B W30L120 1xLED88/940 ACML0** με συνολική ισχύ **292 W**.

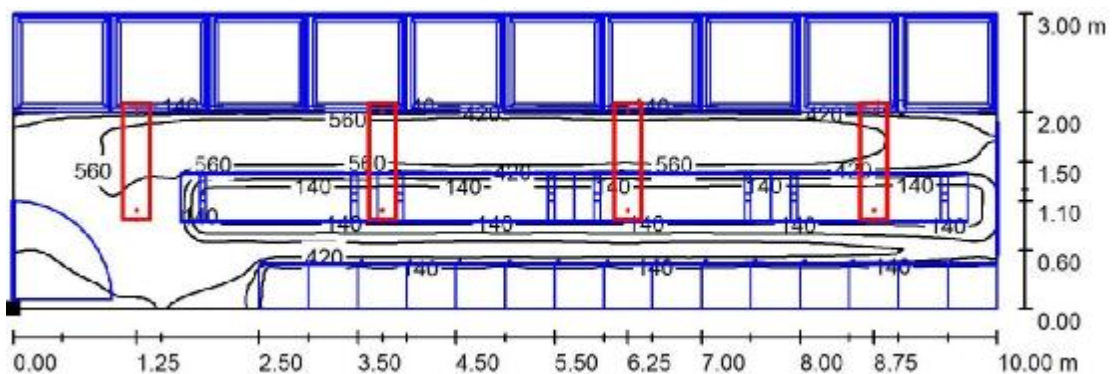
Παρακάτω βλέπουμε την απεικόνιση της έντασης φωτισμού στο χώρο των αποδυτηρίων για όλες τις επιφάνειες μέσω των καμπυλών Isolux αλλά και σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι. Οι τιμές είναι σε Lux.



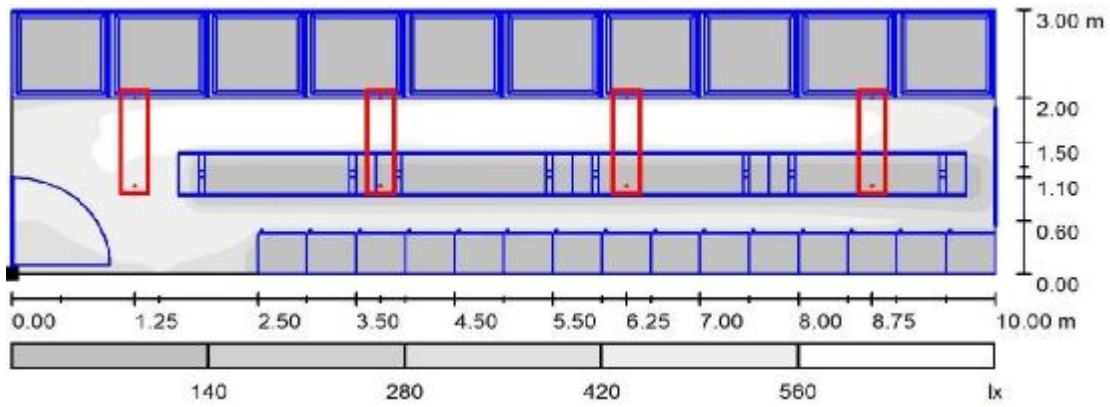
Εικόνα 17: Καμπύλες **Isolux** στο επίπεδο εργασίας



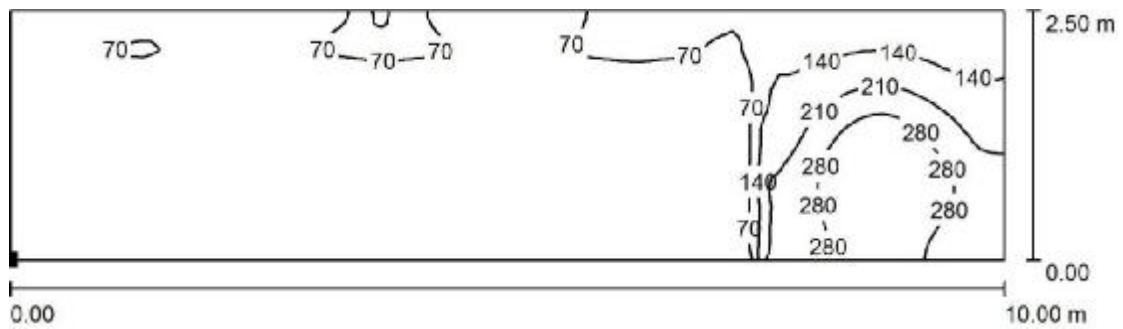
Εικόνα 18: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο επίπεδο εργασίας



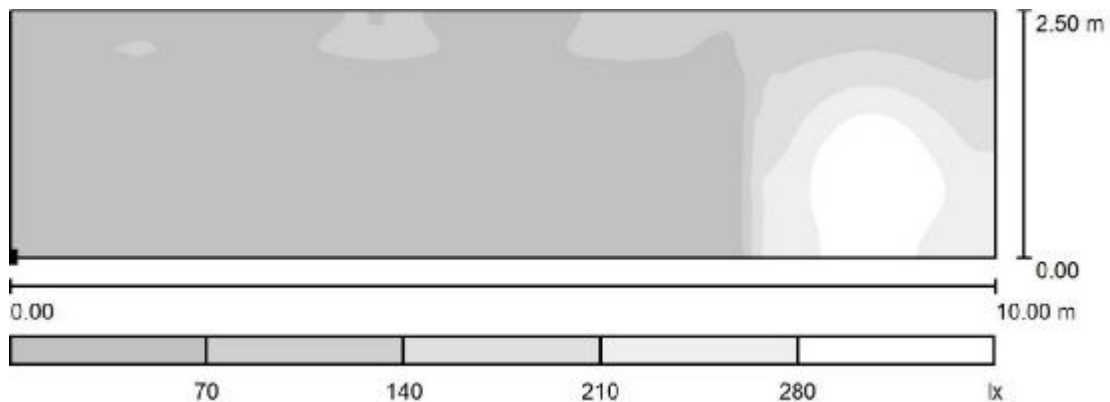
Εικόνα 19: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στο δάπεδο



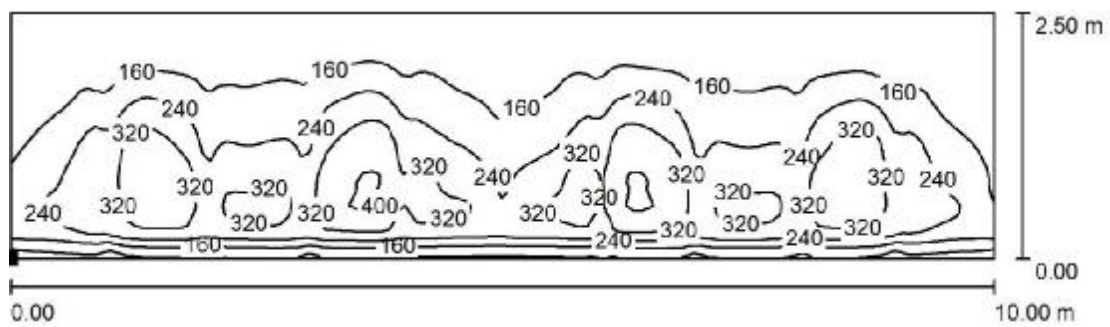
Εικόνα 20: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο δάπεδο.



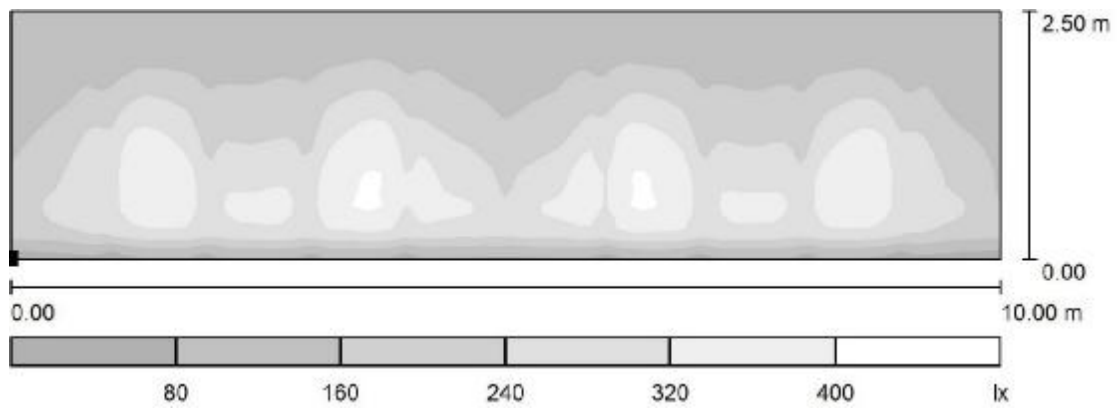
Εικόνα 21: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 1.



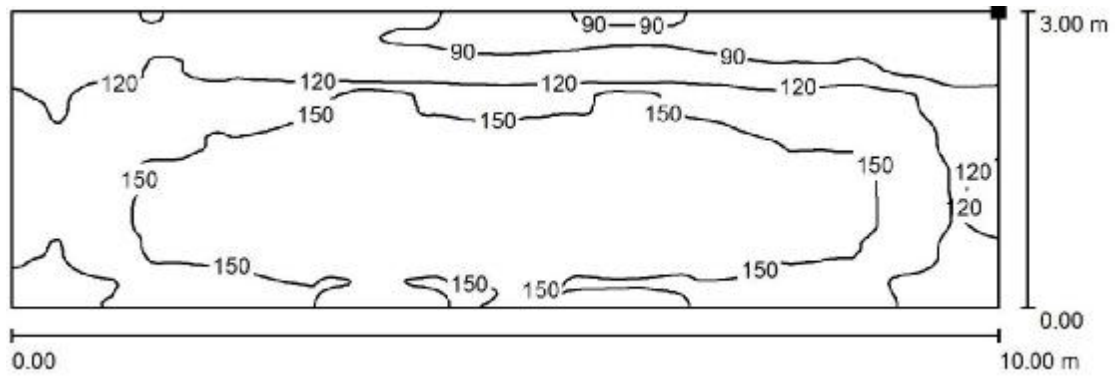
Εικόνα 22: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 1.



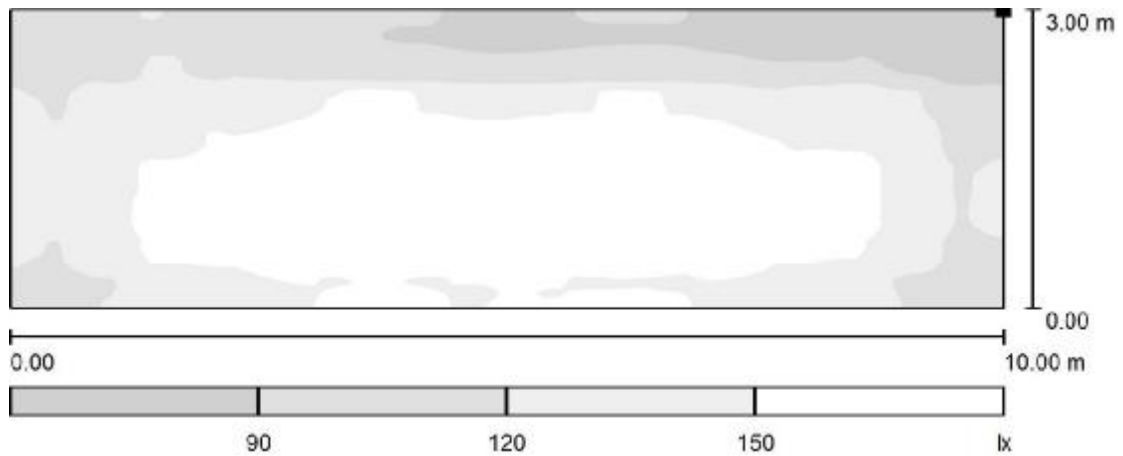
Εικόνα 23: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 3



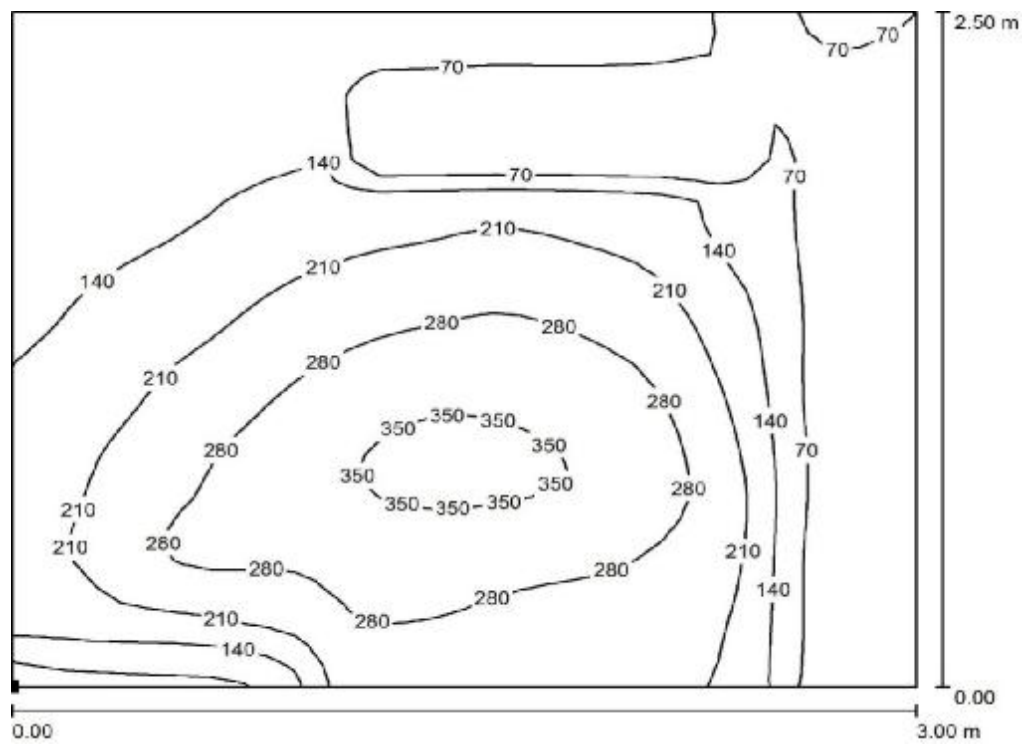
Εικόνα 24: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 3.



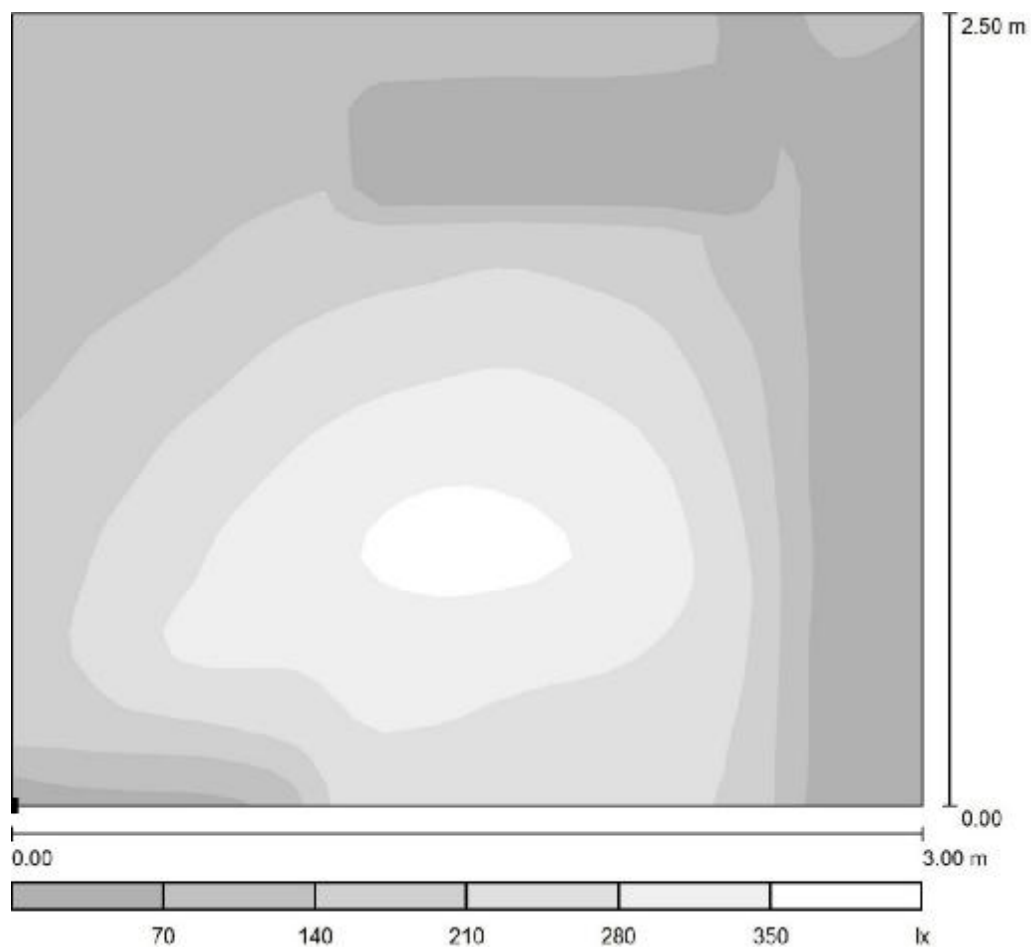
Εικόνα 25: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στην οροφή.



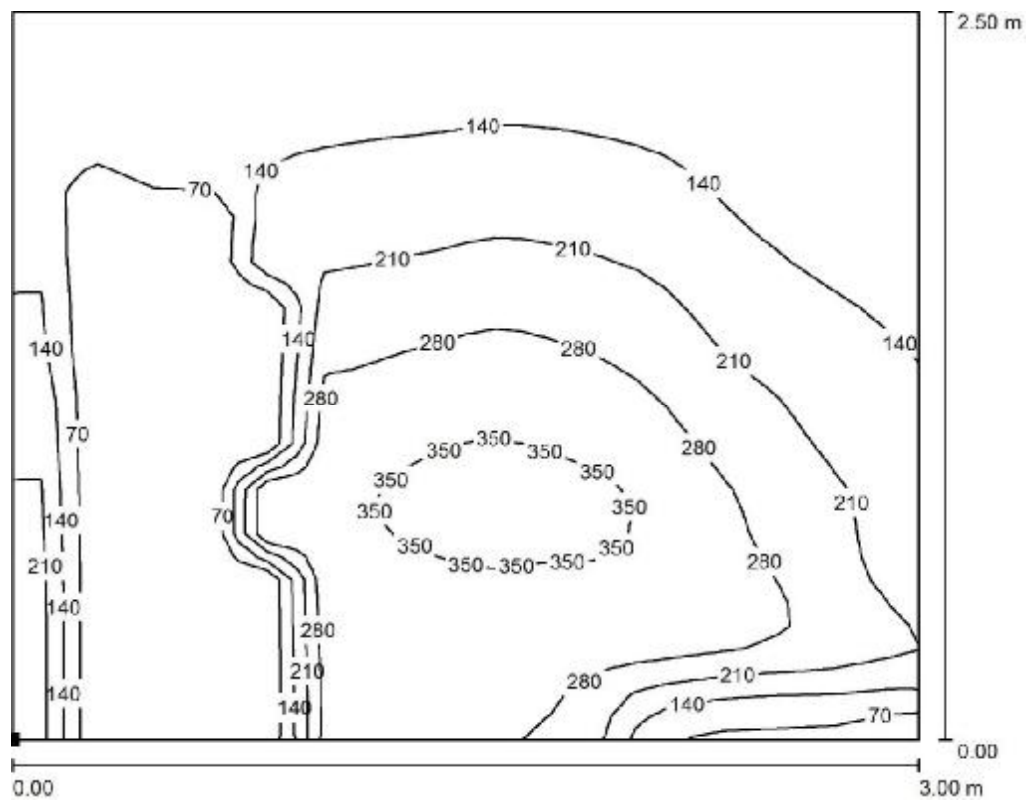
Εικόνα 26: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στην οροφή.



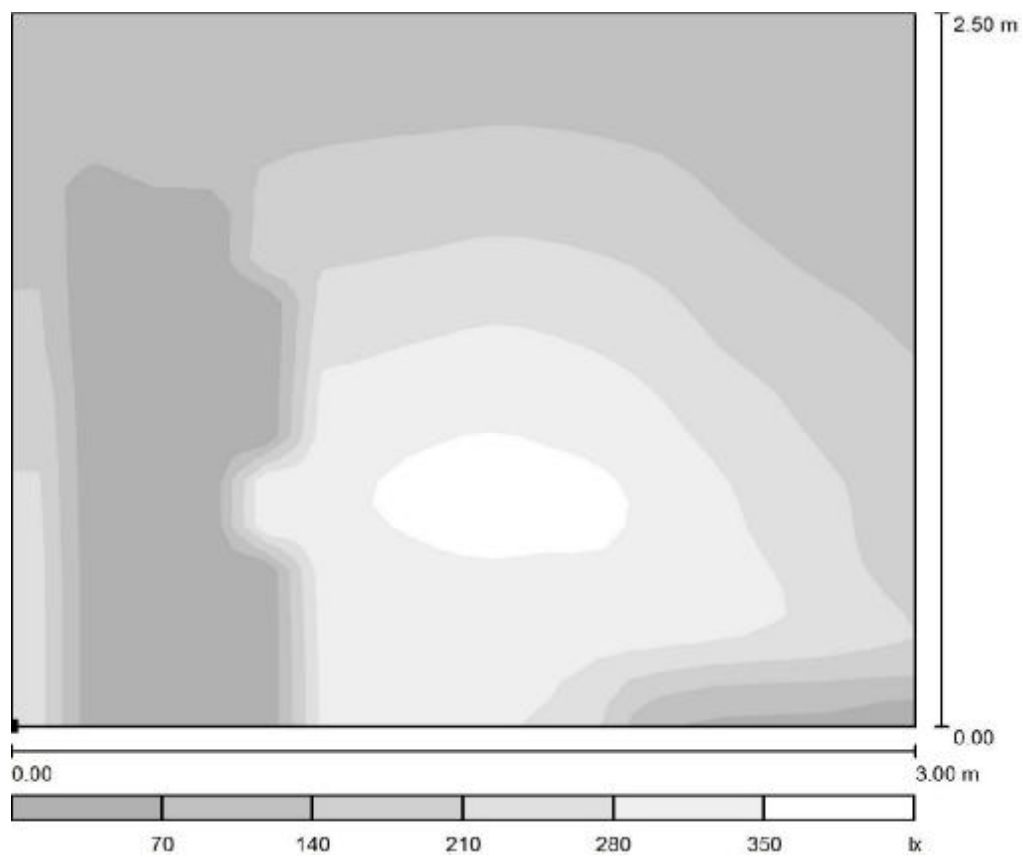
Εικόνα 27: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 2



Εικόνα 28: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 2.



Εικόνα 29: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 4



Εικόνα 30: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 4.

3.6. Φωτισμός του Χώρου του Κυλικείου

Ο χώρος του κυλικείου έχει διαστάσεις 3m μήκος, 2,5m πλάτος και 2,5m ύψος. Ο χώρος αποτελείται από ένα ψυγείο αναψυκτικών 0,9m*1m*2m με συντελεστή ανάκλασης περίπου 50% και κατανάλωση 0,73kWh, μία βιτρίνα-ψυγείο 1m*2m*0,98m με συντελεστή ανάκλασης περίπου 50% και κατανάλωση 0.18kWh, από τη μηχανή του καφέ με διαστάσεις 0,4m*0,8m*0,5m με συντελεστή ανάκλασης περίπου 55% και κατανάλωση 3,3kWh τοποθετημένη πάνω σε πάγκο με διαστάσεις 0,8m*1m*0,9m και συντελεστή ανάκλασης περίπου 46%, την τοστιέρα 0,3m*0,5m*0,15m με συντελεστή ανάκλασης περίπου 60% και κατανάλωση 1,8kWh, και την ταμειακή μηχανή 0,3m*0,25*0,1m με συντελεστή ανάκλασης περίπου 55% τοποθετημένες πάνω σε πάγκο 0,6m*1m*0.75m με συντελεστή ανάκλασης περίπου 48%. Η πόρτα εισόδου έχει διαστάσεις 2m ύψος επί 1m πλάτος και βαθμό ανάκλασης 80%. Ο χώρος έχει και ένα παράθυρο εξυπηρέτησης με διαστάσεις 3m πλάτος και 1,25m ύψος, έχει 90% διαφάνεια και συντελεστή ανάκλασης 6%. Η φωτεινότητα που χρειαζόμαστε στο επίπεδο εργασίας, με βάση τις οδηγίες του TOTEE για το φωτισμό χώρων συνεστίασης, είναι περίπου 600-800lux. Εδώ έχουμε φωτισμό εσωτερικού χώρου οπότε στις παραμέτρους του πρέπει να προσθέσουμε και τους συντελεστές ανάκλασης των τοίχων, του δαπέδου και της οροφής. Στον πίνακα 10 βλέπουμε τους συντελεστές ανάκλασης και τις τιμές φωτισμού στις επιφάνειες. [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/scientific_work/tottee_p]

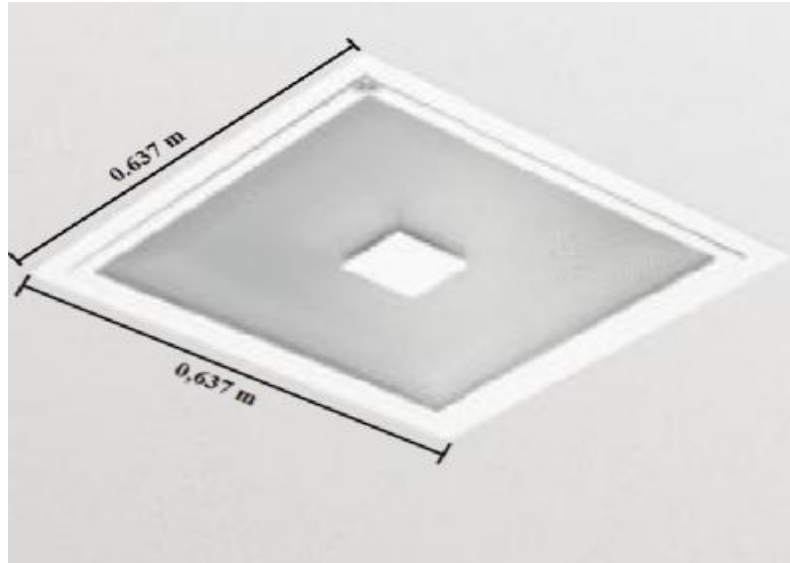
Πίνακας 10: Συντελεστές ανάκλασης και τιμές φωτισμού στο χώρο του κυλικείου.

Επιφάνεια	Συντελεστής ανάκλασης %	Μέση ένταση φωτισμού [lx]			Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας cd/m ²
		Άμεσα	Έμμεσα	Συνολικά	
Επ. εργασίας	/	526	85	611	/
Δάπεδο	20	154	46	200	13
Οροφή	70	0	107	107	24
Τοίχος 1	50	57	64	121	19
Τοίχος 2	50	119	76	196	31
Τοίχος 3	50	53	62	115	18
Τοίχος 4	50	104	70	174	28

Στην εικόνα 31 βλέπουμε το φωτιστικό σώμα που θα χρησιμοποιήσουμε με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

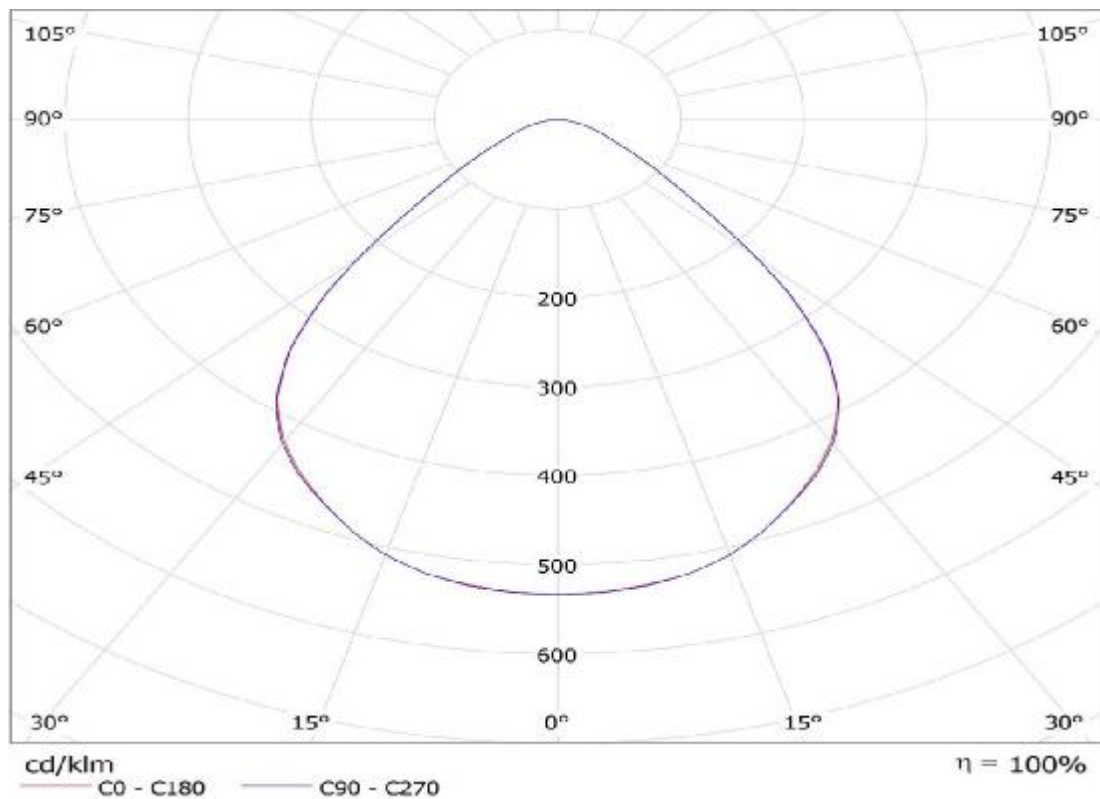
PHILIPS CR446B W62L62 1xLED48/830 ACMLO

- Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 3600 lm
- Φωτεινή ροή (Λάμπες): 3600 lm
- Ισχύς φωτιστικού: 39.5 W
- Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 100
- Κωδικός ροής CIE: 68 93 99 100 100
- Εξοπλισμός: 1 x LED48/830/- (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).



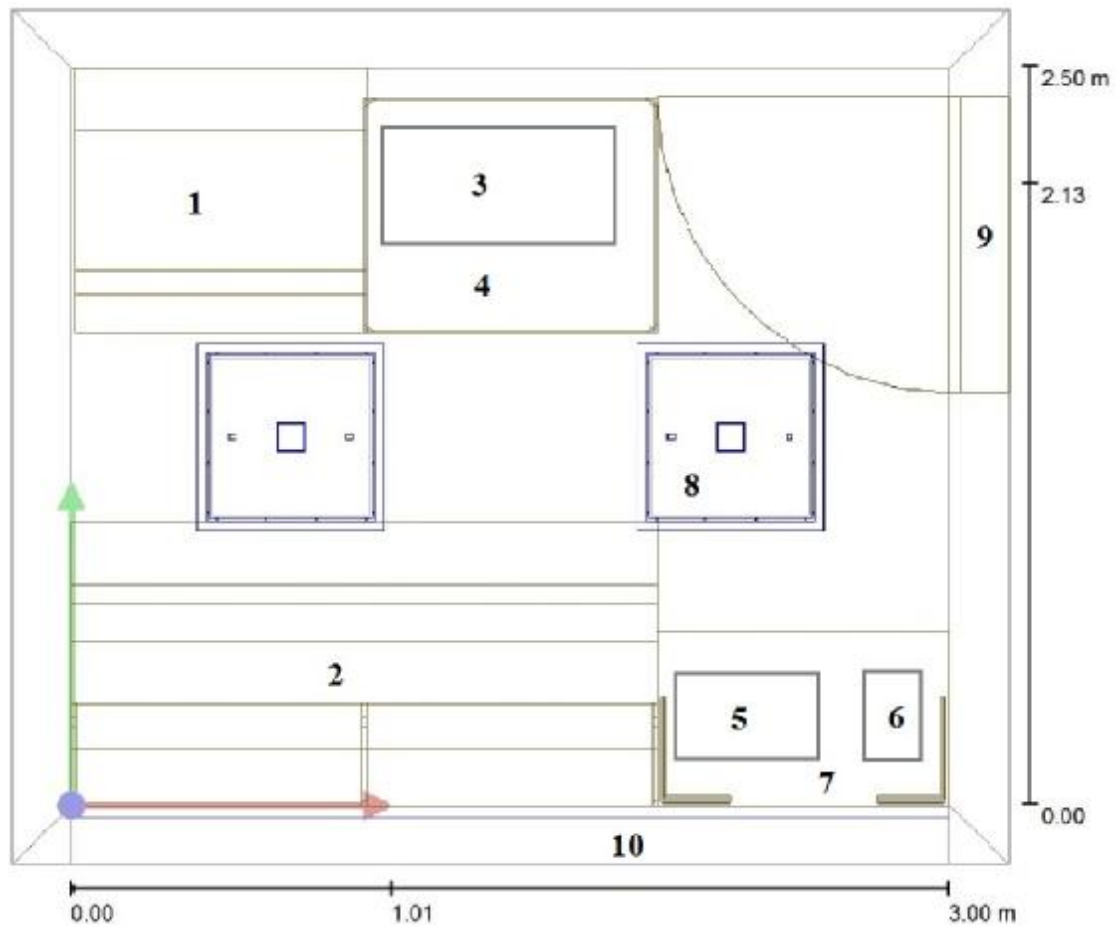
Εικόνα 31: Φωτιστικό σώμα του χώρου του κυλικείου τύπου **PHILIPS CR446B W62L62 1xLED48/830 ACMLO**

Στο διάγραμμα 7 βλέπουμε το διάγραμμα πολικής κατανομής της έντασης του προβολέα. Η κόκκινη γραμμή μας δίνει το άνοιγμα της γωνίας του φωτός για $C=0^\circ \text{ à } 180^\circ$ η οποία είναι περίπου 90° . Εδώ η κόκκινη και η μπλε γραμμή συμπίπτουν μιας και το φωτιστικό μας σώμα είναι τετράγωνο και μας δίνουν το ίδιο άνοιγμα της γωνίας του φωτός. Ο βαθμός απόδοσης του φωτιστικού είναι $\eta=100\%$. Η φωτεινή ένταση να είναι περίπου **530cd**.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης του φωτιστικού **PHILIPS CR446B W62L62 1xLED48/830 ACMLO**

Στην εικόνα 32 βλέπουμε την διάταξη των φωτιστικών στο χώρο του κυλικείου.

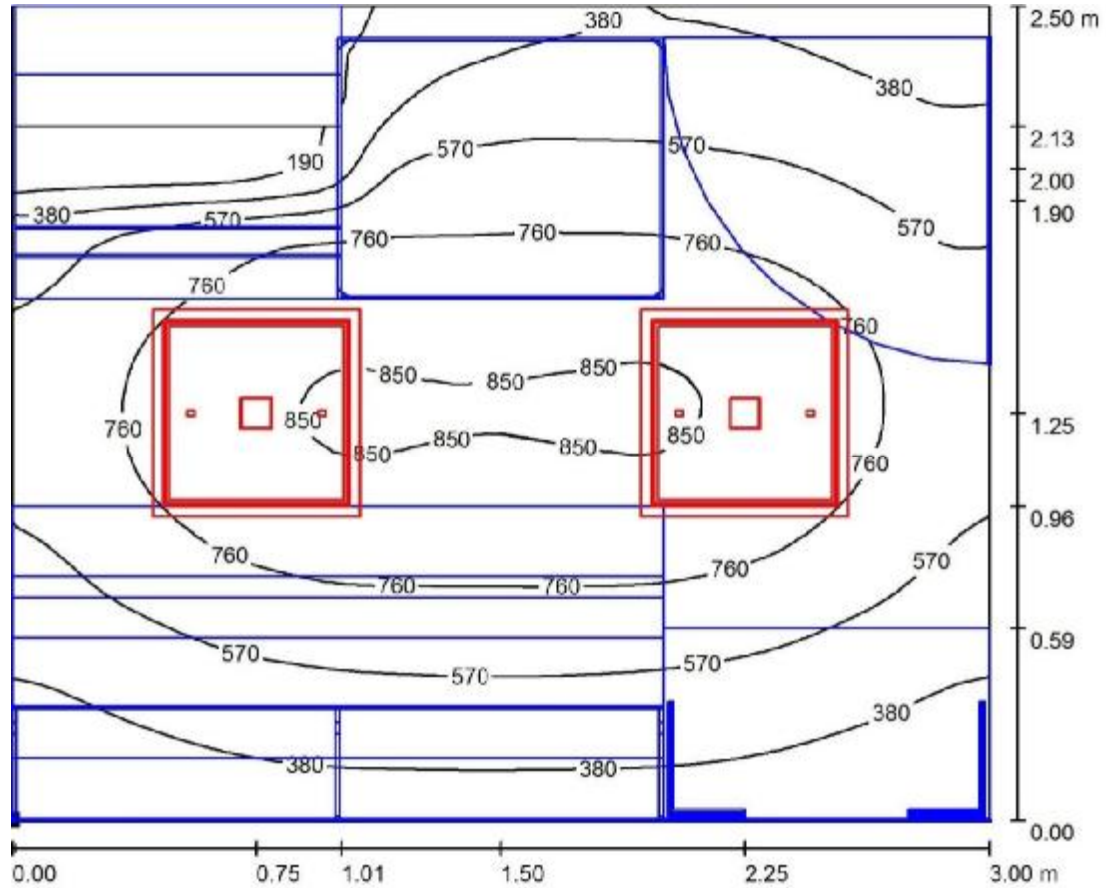


Εικόνα 32: Χώρος κυλικείου αποτελούμενος από

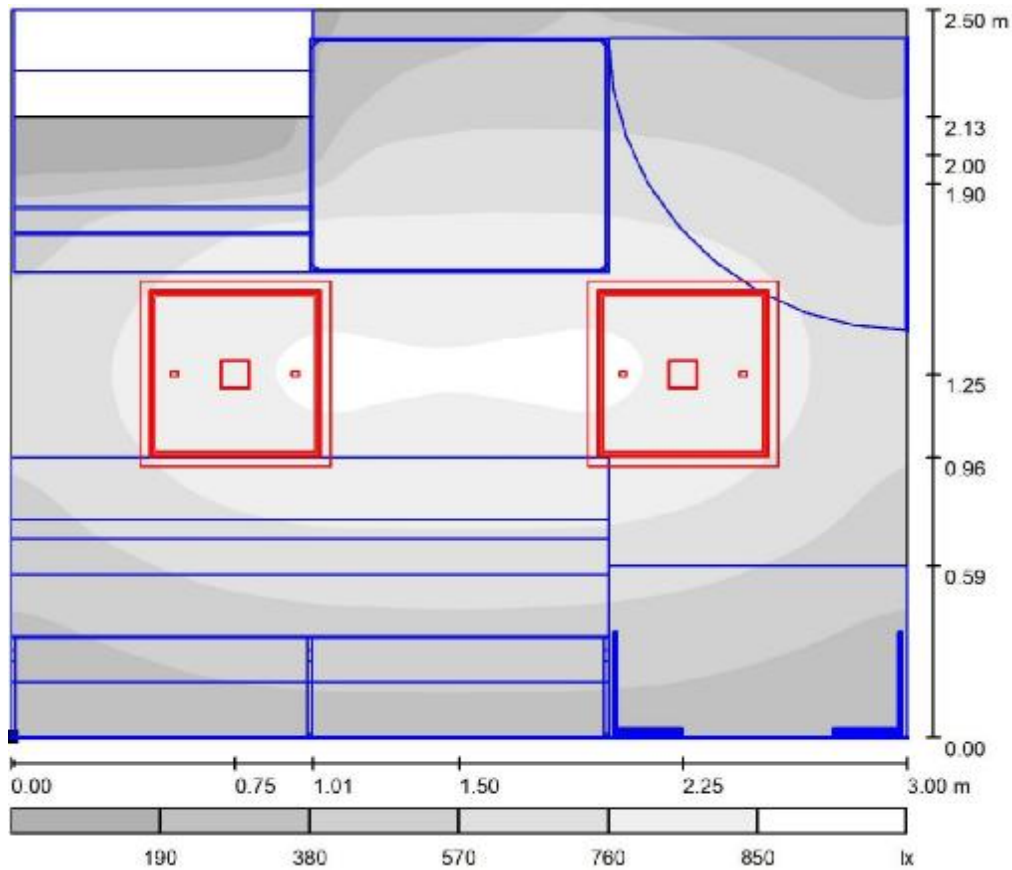
- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. 1 Ψυγείο αναψυκτικών | 6. 1 Ταμειακή μηχανή |
| 2. 1 Βιτρίνα-ψυγείο | 7. 1 Πάγκος |
| 3. 1 Μηχανή καφέ | 8. 2 Φωτιστικά σώματα |
| 4. 1 Πάγκος μηχανής | 9. 1 Πόρτα εισόδου |
| 5. 1 Τοστιέρα | 10. 1 Παράθυρο εξυπηρέτησης |

Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος, θα χρειαστούμε 2 φωτιστικά **PHILIPS CR446B W62L62 1xLED48/830 ACML0** με συνολική ισχύ **79 W**.

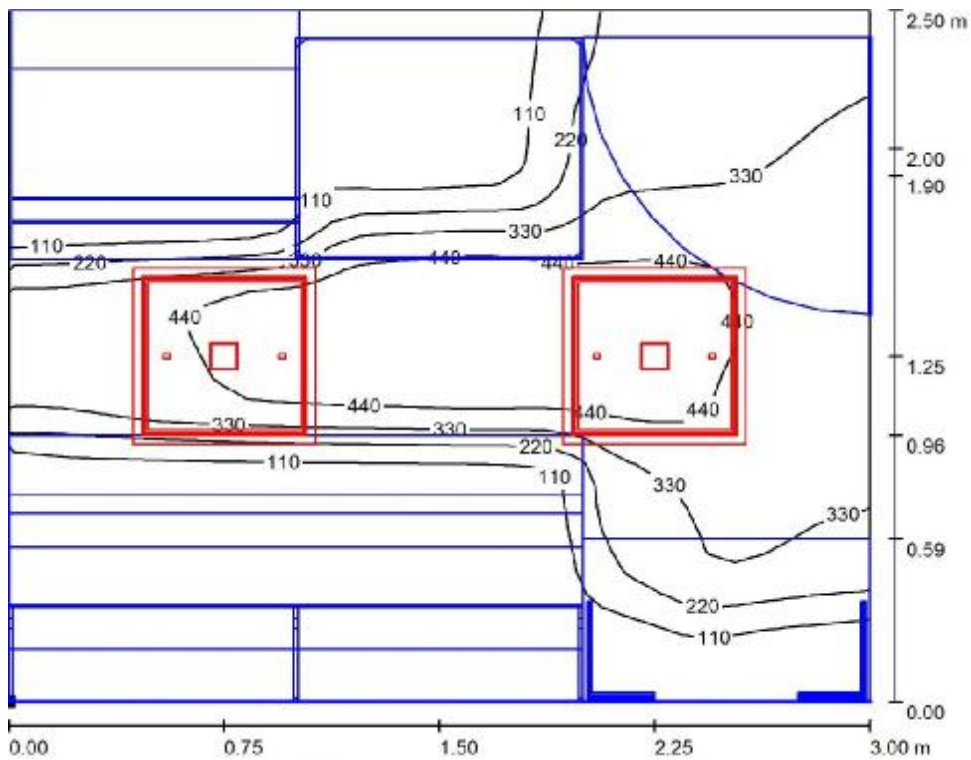
Παρακάτω βλέπουμε την ένταση φωτισμού μέσω των καμπυλών **Isolux** και σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο χώρο του κυλικείου για όλες τις επιφάνειες. Οι τιμές είναι σε Lux.



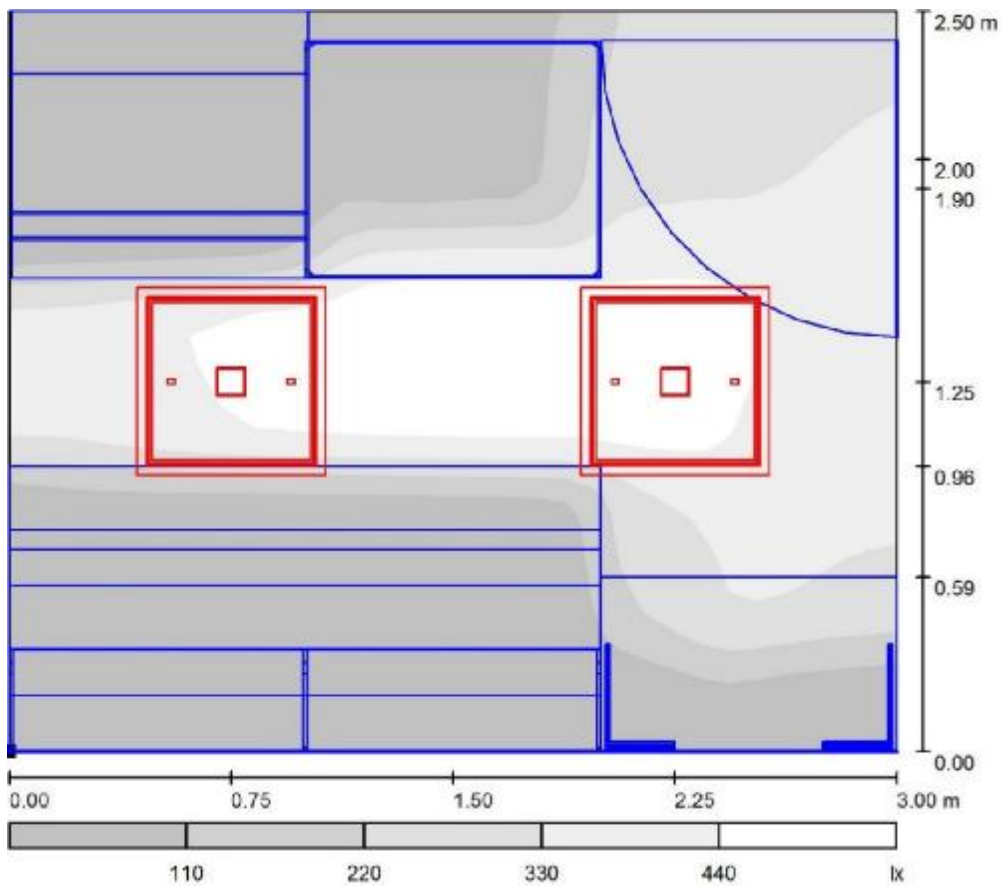
Εικόνα 33: Καμπύλες **Isolux** στο επίπεδο εργασίας.



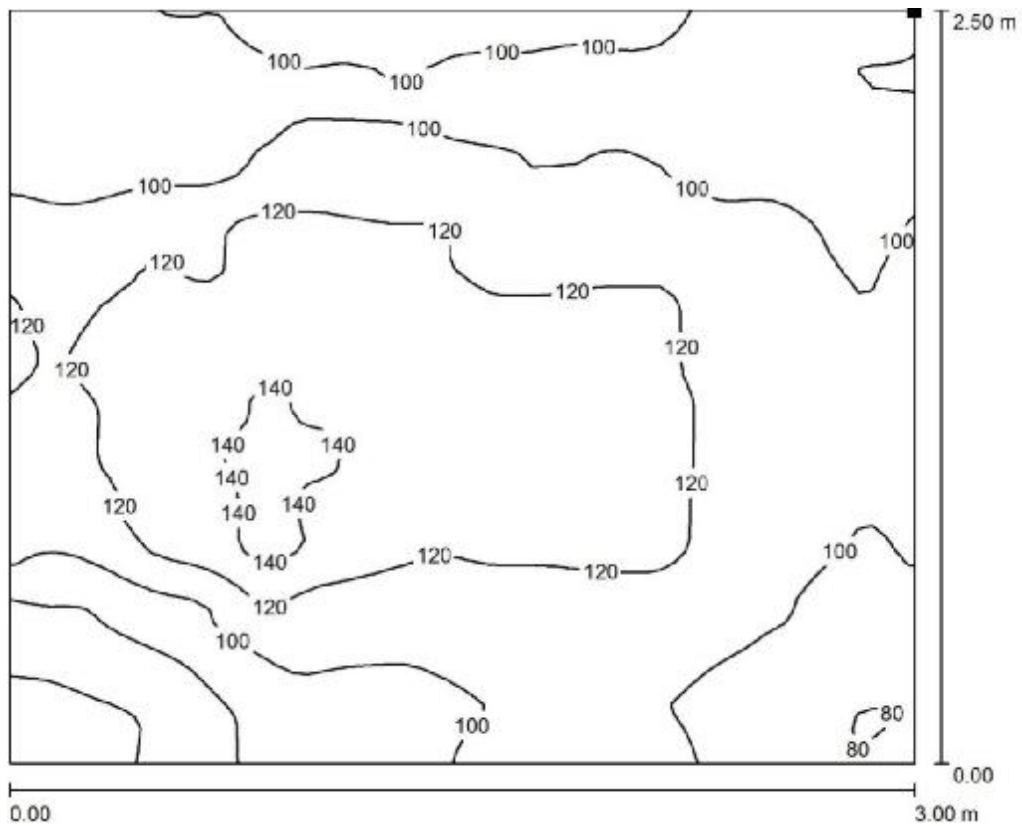
Εικόνα 34: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο επίπεδο εργασίας.



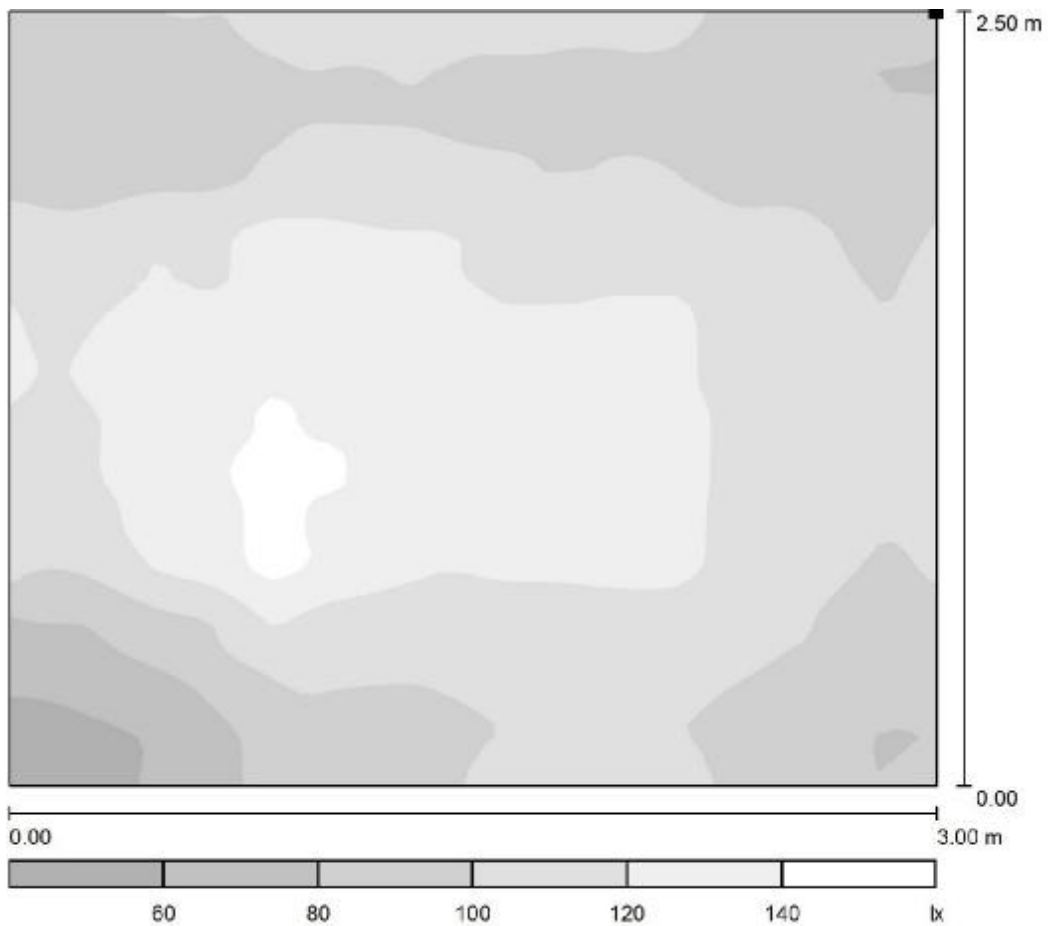
Εικόνα 35: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στο δάπεδο.



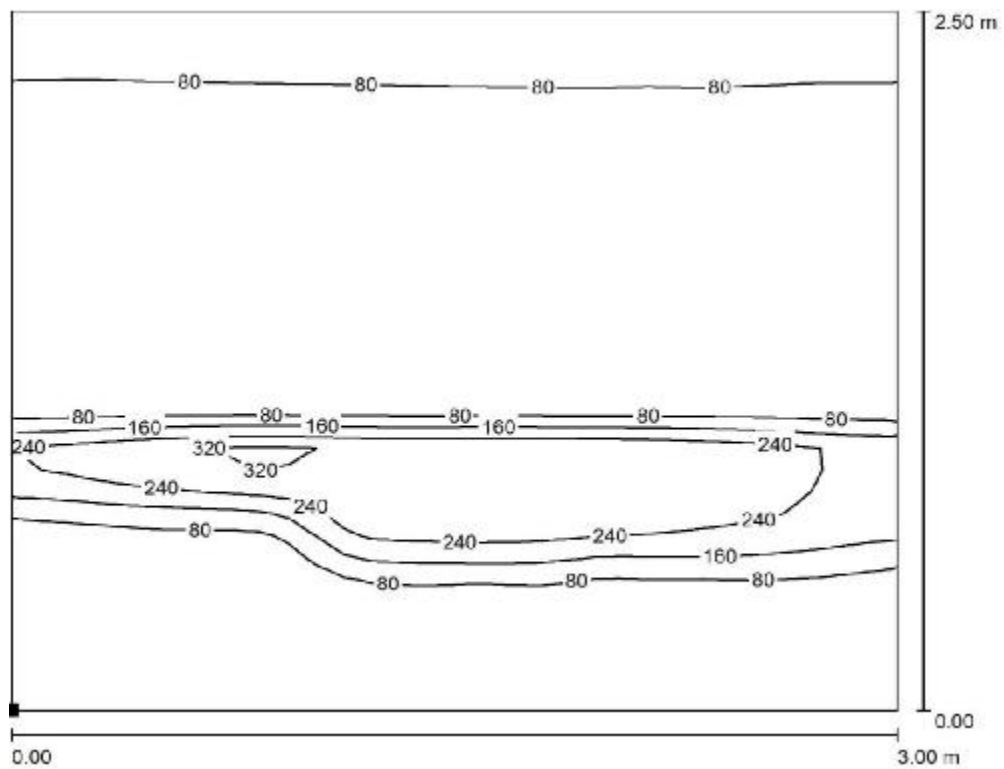
Εικόνα 36: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στο δάπεδο.



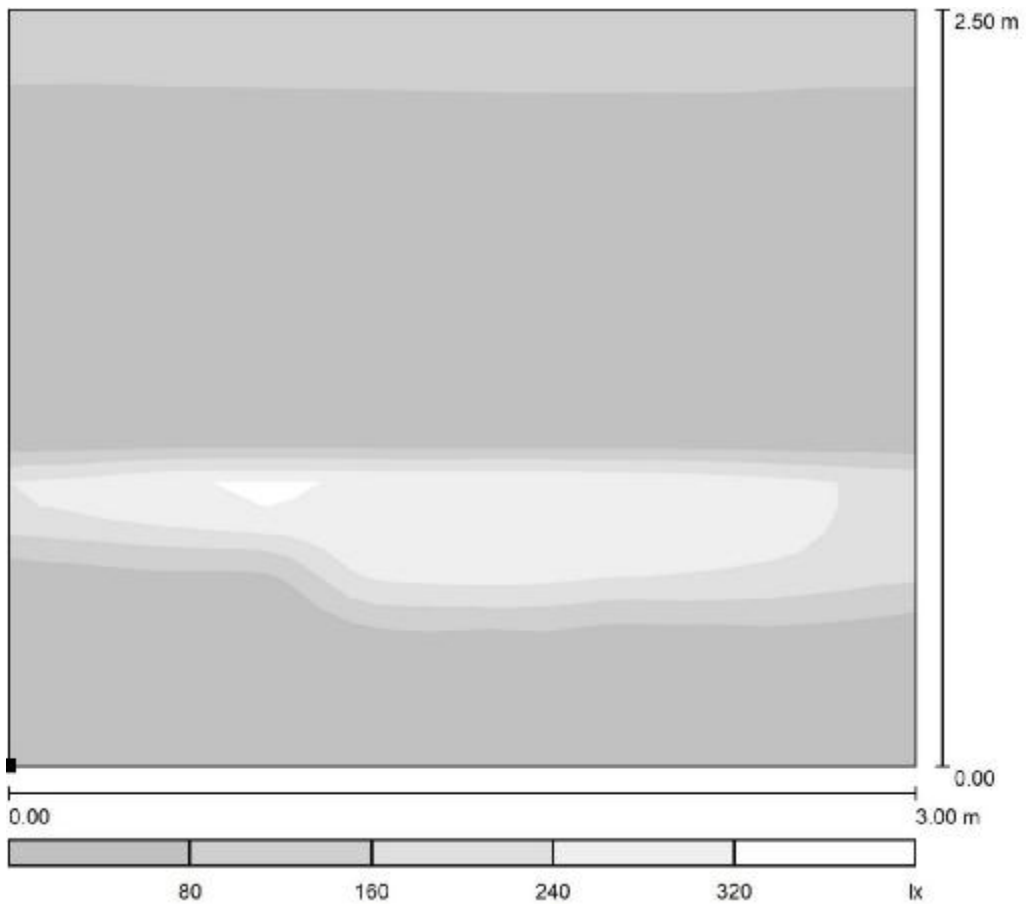
Εικόνα 37: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στην οροφή.



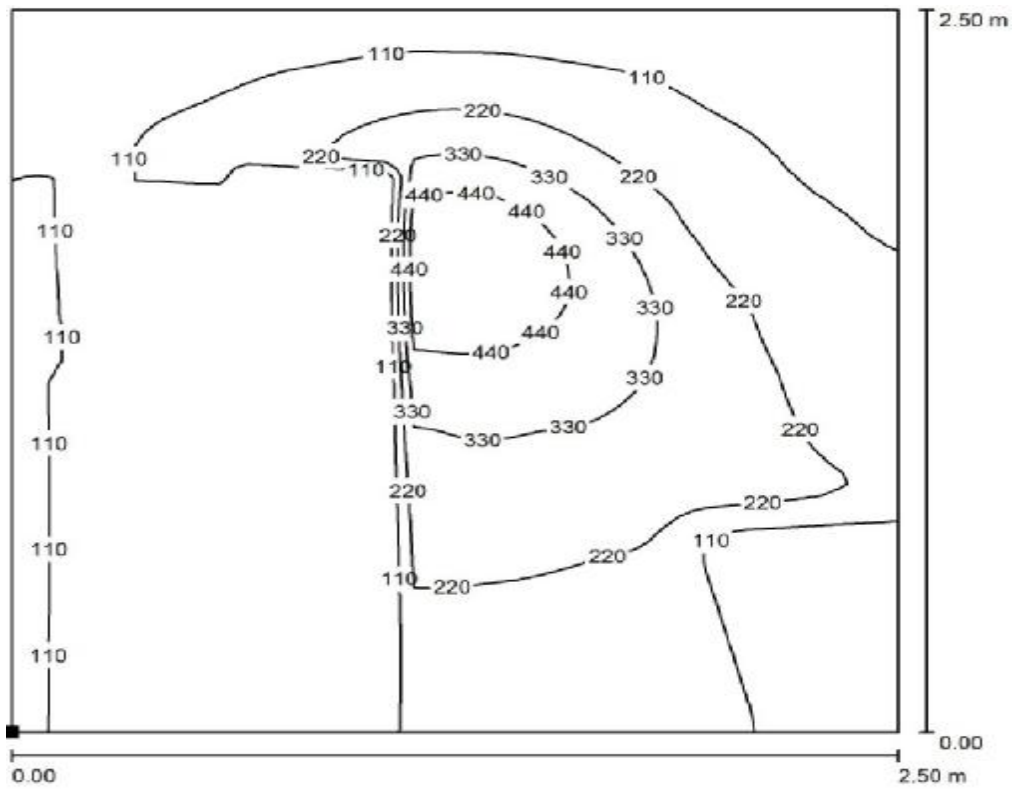
Εικόνα 38: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στην οροφή.



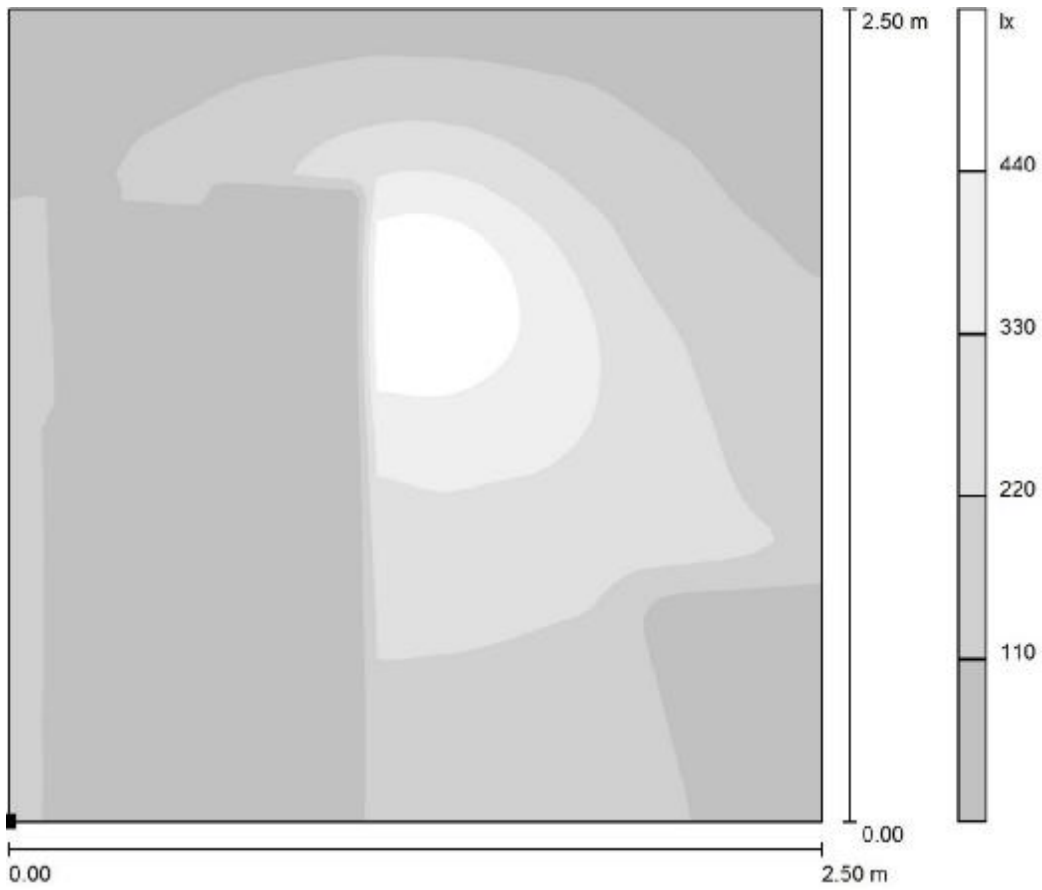
Εικόνα 39: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 1.



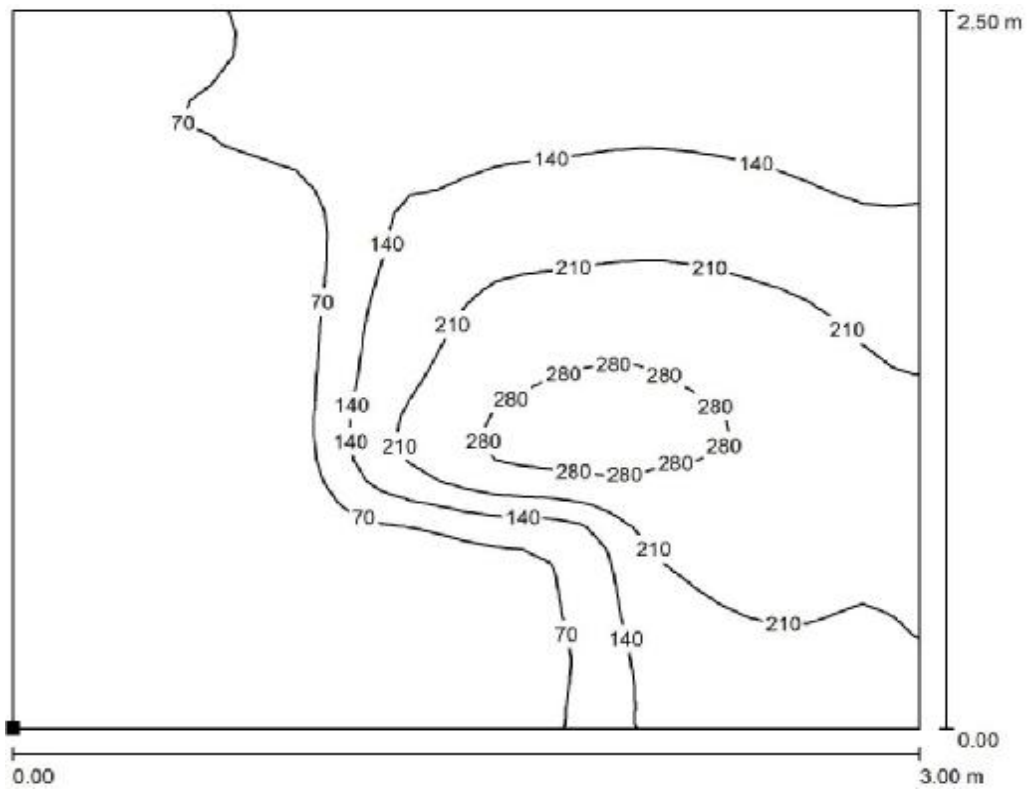
Εικόνα 40: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 1.



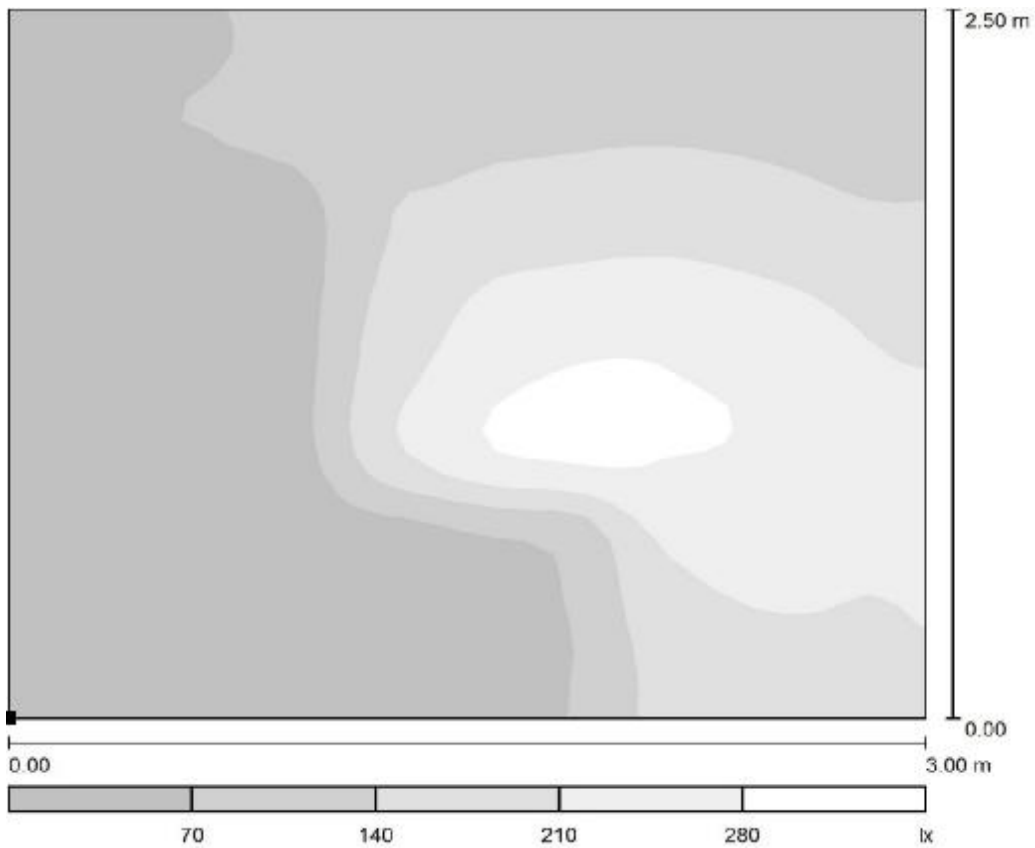
Εικόνα 41: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 2



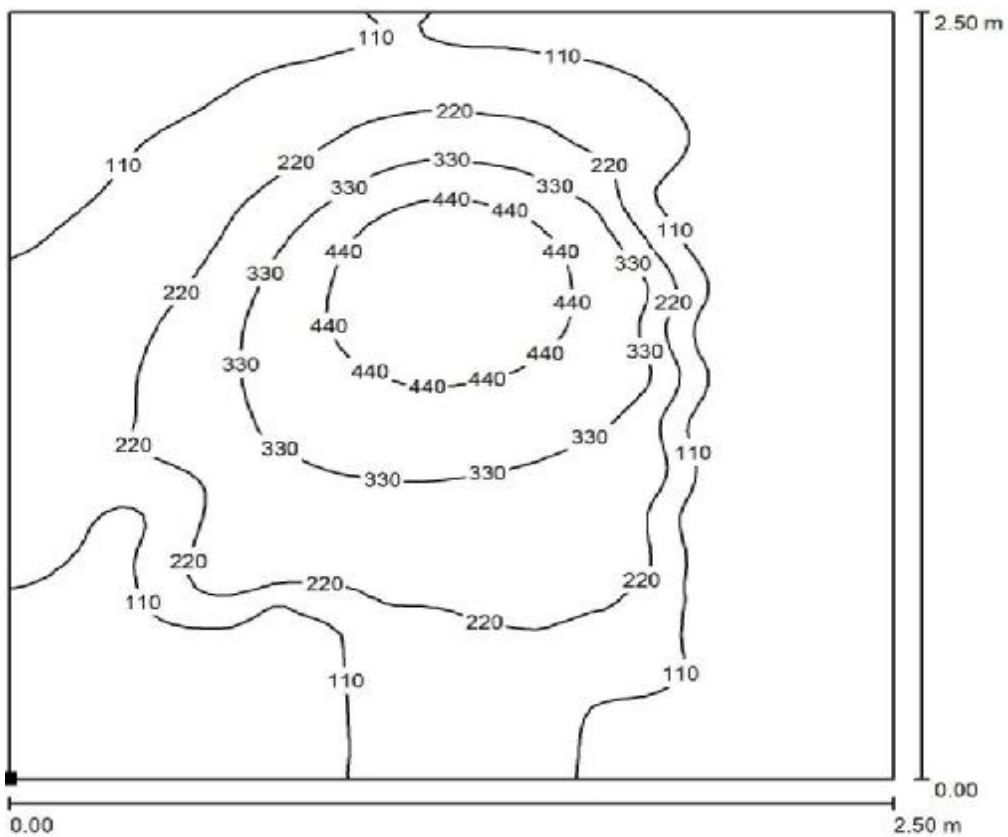
Εικόνα 42: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 2.



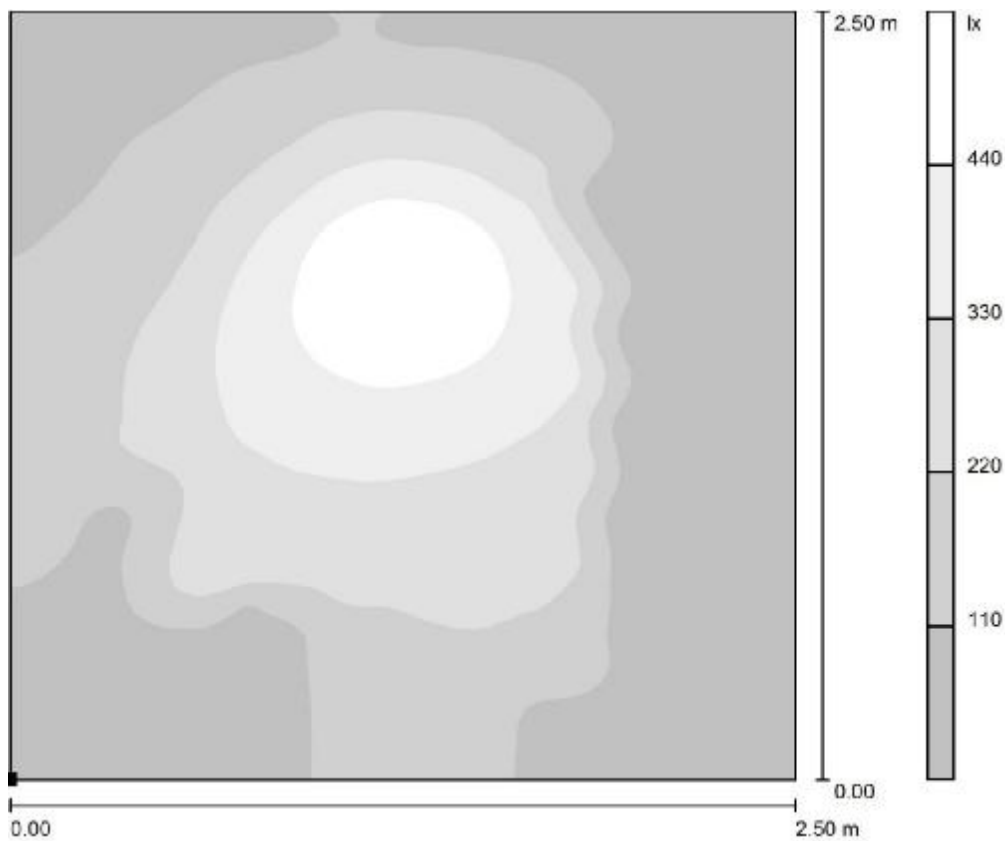
Εικόνα 43: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 3.



Εικόνα 44: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 3.



Εικόνα 45: Καμπύλες **Isolux** του άμεσου φωτός στον τοίχο 4.



Εικόνα 46: Ένταση φωτισμού σε βαθμίδες απόχρωσης του γκρι στον τοίχο 4.

3.7. Αποτελέσματα Μελέτης Φωτισμού

Από την μελέτη που κάναμε μέσω του λογισμικού DiaLux παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα μελέτης φωτισμού.

Χώρος	Φωτιστικά Σώματα	Ισχύς
Γήπεδο 1	16 PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	16 kW
Γήπεδο 2	16 PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	16 kW
Γήπεδο 3	8 PHILIPS HNF901 C 1xSON-T1000W NB	8 kW
Χώρος σταθ.	11 PHILIPS BGP303 1xLED122-3S/740 DM	1.188 kW
Αποδυτήρια	4 PHILIPS CR434B W30L120 1xLED88/940	0.292 kW
Κυλικείο	2 PHILIPS CR446B W62L62 1xLED48/830	0.079 kW
Σύνολο		41.559 kW

Κεφάλαιο 4^ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

4.1. Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται (πηγάζει) από τον ήλιο. Ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία νοείται η εκπομπή υπό μορφή κύματος ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μεταδίδεται με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία αποτελούνται από την ταυτόχρονη μετάδοση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου τα οποία ταλαντώνονται κάθετα μεταξύ τους και μεταδίδονται κάθετα στην διεύθυνση μετάδοσης.

Χαρακτηριστικά μεγέθη της ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

4.1.1. Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία (direct radiation)

Συμβολίζεται με H_b και εκφράζει την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση. Η μέτρηση της πραγματοποιείται με πυρανόμετρο όπως φαίνεται στην εικόνα 47. Υπολογίζεται σε συνάρτηση με την γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο συλλέκτη λαμβάνοντας υπόψη και τον προσανατολισμό του συλλέκτη, το ύψος και την αζιμούθια γωνία του ήλιου στην δεδομένη στιγμή της μέτρησης.



Εικόνα 47: Πυρανόμετρο μέτρησης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. [Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας ΤΕΙ Πάτρας]

4.1.2. Διάχυτη Ηλιακή Ακτινοβολία (diffuse radiation)

Η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα είναι η διάχυτη ακτινοβολία και μπορεί να διαχυθεί από σωματίδια και υγρασία ή και να ανακλαστεί από τα σύννεφα. Ένα μέρος της ανακλάται από το έδαφος στον ουρανό και από εκεί διαχέεται ξανά προς τα πίσω. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι πολύ περισσότερο δύσκολο να υπολογιστεί από ότι η άμεση και μετριέται με πυρανόμετρο όπως αυτό της εικόνας 48.



Εικόνα 48: Πυρανόμετρο μέτρησης της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας. [Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας ΤΕΙ Πάτρας]

4.1.3. Ανακλώμενη Ηλιακή Ακτινοβολία

Προκύπτει από την ανάκλαση του φωτός σε κοντινές επιφάνειες στο συλλέκτη. Η ανακλώμενη συνιστώσα μπορεί να προσφέρει μια σημαντική αύξηση της απόδοσης σε περίπτωση που κοντά στο συλλέκτη υπάρχουν επιφάνειες με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης όπως χιόνι ή νερό, αλλά σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι αμελητέα.

4.1.4. Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία

Αποτελεί το άθροισμα όλων των επιμέρους ηλιακών ακτινοβολιών με μονάδα μέτρησης MJoule/m^2 ενώ οι τιμές της είναι χαρακτηριστικές για κάθε ζώνη της χώρας ανά μήνα παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο και των μέσο όρο της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανά περιοχή. Στον πίνακα 12 βλέπουμε τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της Πάτρας σε κεκλιμένο επίπεδο 30° .

Πίνακας 12: Τιμές ακτινοβολίας σε επίπεδο με κλίση $\beta=30^\circ$. Τιμή του PSH ανά μήνα και θερμοκρασία περιβάλλοντος για την Πάτρα. [Ήπιες Μορφές Ενέργειας 3^{ος} Τόμος Σ. Καπλάνης]

Μήνας	\bar{R} για 30°	Ημέρες d	H για 0° (MJ/m ²)	H _T kWh/day για 30°	PSH h/day	T°C/μήνα
Ι	1,51	31	220	2.98	2.98	11
Φ	1,32	28	259	3.39	3.39	12
Μ	1,17	31	400	4.19	4.19	13
Α	1,03	30	493	4.7	4.7	16
Μ	0,94	31	684	5.76	5.76	20
Ι	0,9	30	745	6.21	6.21	25
Ι	0,92	31	781	6.44	6.44	27
Α	1	31	713	6.39	6.39	27
Σ	1,13	30	526	5.5	5.5	24
Ο	1,3	31	367	4.28	4.28	20
Ν	1,48	30	241	3.3	3.3	16
Δ	1,55	31	187	2.6	2.6	13
ΜΟ Ετ.				4.64	4.64	19

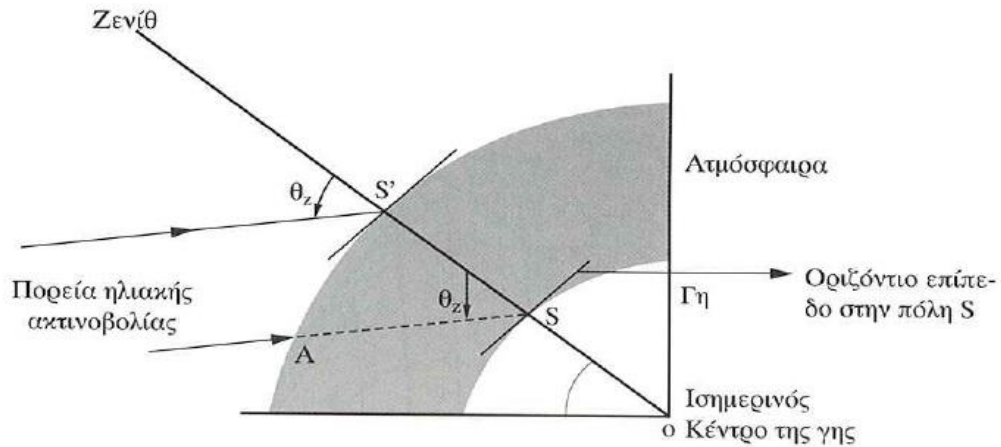
4.2. Ηλιακή Ενέργεια

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας κρίνεται απαραίτητη διότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών μετασχηματίζοντας την σε άλλες μορφές ενέργειας.

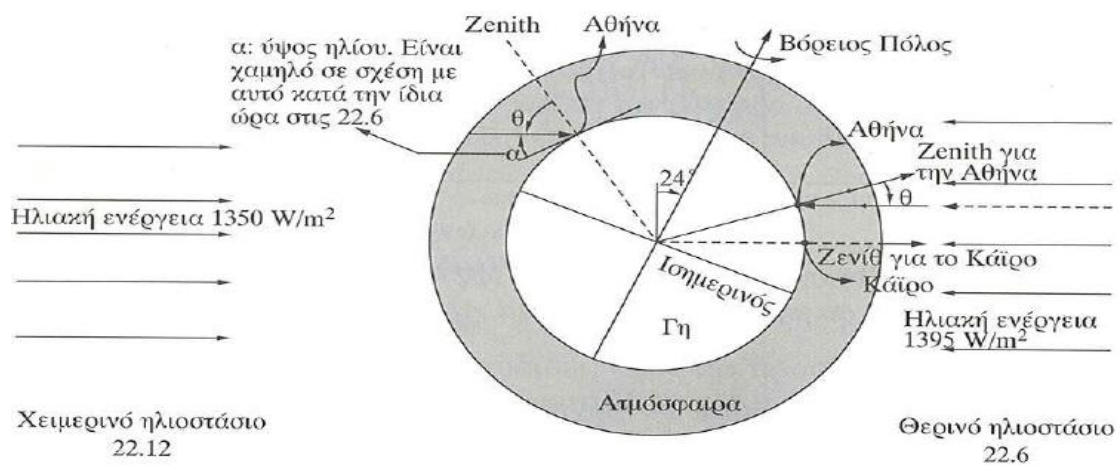
Στις μέρες μας η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται με πολλούς τρόπους με τον πιο δημοφιλή την θέρμανση νερού για οικιακές χρήσεις. Η συλλογή του ηλιακού φωτός πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι χωρίζονται δύο κύριες κατηγορίες: τους συγκεντρωτικούς και τους μη συγκεντρωτικούς. Ειδικότερα, οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες, οι οποίοι θεωρούνται και η απλούστερη μορφή συλλέκτη, έχουν κοινή την περιοχή που προσπίπτει το φως με αυτήν που το απορροφά. Αντίθετα, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής από την επιφάνεια απορρόφησης και μάλιστα πολλές φορές αυτή η διαφορά μπορεί να είναι και εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη. Στις εφαρμογές που απαιτούνται θερμοκρασίες κάτω των 100°C, όπως για παράδειγμα στην θέρμανση χώρων, χρησιμοποιούνται, γενικά, οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας. Η ποσότητα της ενέργειας η οποία θα καταλήξει στην επιφάνεια της γης μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σε άμεση εξάρτηση από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Το υψόμετρο
2. Την γεωγραφική θέση
3. Την υγρασία
4. Μετεωρολογικές συνθήκες
5. Τη θέση του ηλίου

Ένας ακόμη πολύ σημαντικός παράγοντας για την ηλιακή ακτινοβολία είναι η διαδρομή που θα διανύσει μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας. Η διαδρομή αυτή φέρει την ονομασία μάζα αέρα και αποτελεί έναν αριθμό που μας δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που διένυσε η ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με την με την ιδανική και άρα μικρότερη διαδρομή που είναι η κάθετη στην επιφάνεια της γης ή αλλιώς ζενίθ.



Σχήμα 8: Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα τόπο S . Φαίνεται η ζενίθια γωνία θ_z και το οριζόντιο επίπεδο στον τόπο S . Είναι φανερό ότι η διέλευση των ακτίνων κατά (AS) διατρέχει μεγαλύτερη πορεία και άρα εξασθενίζει περισσότερο από αυτήν κατά $(S'S)$, όπου η ακτινοβολία θα προσέπιπτε κάθετα στον τόπο S . [Ήπιες Μορφές Ενέργειας 3^{ος} Τόμος Σ. Καπλάνης]



Σχήμα 9: Γραφιστική προσέγγιση για τις τιμές του AM για την Αθήνα για τις 22 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και για τις 22 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). [Ήπιες Μορφές Ενέργειας 3^{ος} Τόμος Σ. Καπλάνης]

Παρατηρούμε εδώ ότι:

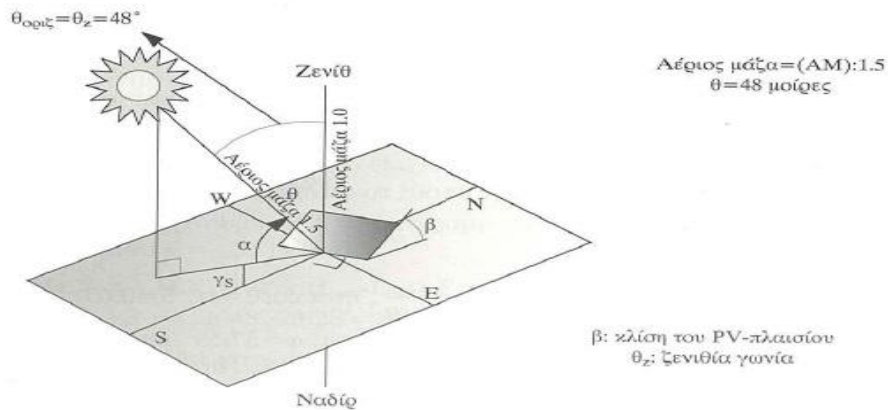
- Στο Κάιρο, ο ήλιος την ημέρα αυτή φθάνει στο ζενίθ.
- Η διαδρομή των ακτίνων κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο είναι μεγαλύτερη απ' την αντίστοιχη του θερινού.

Όταν ο ήλιος βρίσκεται στο Ζενίθ, θεωρούμε ότι η ακτινοβολία διασχίζει αέριο μάζα $m = 1$. Τότε, το φάσμα του φωτός που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, το

συμβολίζουμε με **AM1**, καθώς και η γωνία πρόσπτωσης είναι $\theta = 0$ και προφανώς $\cos\theta=1$ (περίπτωση Κάιρου). Για τις χώρες με γεωγραφικά πλάτη $\varphi < -23,5^\circ$ και $\varphi > +23,5^\circ$, ο ήλιος δεν φτάνει ποτέ στο Ζενίθ. Γενικά, η αέριος μάζα **m**, ορίζεται από τη σχέση:

$$m=1/\cos\theta \quad (9)$$

όπου θ είναι η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα 10: Προσπίπτουσα ακτινοβολία του ηλίου στο οριζόντιο και στο κεκλιμένο Φ/Β-πλαίσιο, με σημείωση των διαφορών γωνιών που είναι χρήσιμες: θ = ζενιθία γωνία, α = ύψος του ηλίου, γ_s = αζιμουθιακή γωνία του ηλίου, β = γωνία κλίσης του Φ/Β-πλακιδίου ως προς το οριζόντιο. [Ήπιες Μορφές Ενέργειας 3^{ος} Τόμος Σ. Καπλάνης]

Η μέση τιμή της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης είναι περίπου 600W/m^2 , όμως η πραγματική της τιμή εξαρτάται σημαντικά από τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Τα πρώτα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης δέχονται συνολικά **174PW** (petawatts, δηλαδή 17^{10} W) ηλιακής ακτινοβολίας. Όπου, το **30%** της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανακλάται πάλι προς το διάστημα, ενώ η υπόλοιπη απορροφάται από τα σύννεφα, τους ωκεανούς και το έδαφος της γης.

Το φάσμα του ηλιακού φωτός προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου **5800 K**, δηλαδή όση είναι κατά μέσο όρο η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του ήλιου. Η διαμόρφωση του φάσματος είναι επαρκής για τη εξήγηση θερμικών εφαρμογών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως π.χ. η θέρμανση νερού στους ηλιακούς θερμοσίφωνες όμως δεν συμβαίνει το ίδιο και για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο διότι, αυτή καθορίζεται από τη φωτονική σύσταση της ακτινοβολίας. Το ηλιακό φως εμφανίζει μια πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, γεγονός που οφείλεται σε επιλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει. Ενδεικτικά να αναφερθεί για την επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από το υψόμετρο της τοποθεσίας στην Γη που δέχεται την ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα, έχει μετρηθεί ότι στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει περίπου τα **950-1000 W/m²**, ενώ η τιμή αυτή αυξάνεται κατά περίπου **7.5W/m²** για κάθε **100 m** υψομετρικής διαφοράς της τοποθεσίας, διότι μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

Τέλος, από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, μόλις το **60%** είναι άμεση, δηλαδή, σε δέσμη ακτίνων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οπτικές εφαρμογές π.χ. να εστιαστούν με κάτοπτρα ή φακούς. Η υπόλοιπη χαρακτηρίζεται ως διάχυτη, διότι πριν φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους έχει προηγουμένως πολλαπλώς σκεδαστεί και ανακλαστεί από τις επιφάνειες των διαφόρων σωματιδίων και σταγονιδίων που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και την απόσταση που διένυσε η ακτινοβολία μέσα σε αυτήν.

4.3. Συλλογή και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

Όπως προαναφέραμε, την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να την αξιοποιήσουμε μέσω διάφορων συλλεκτών. Εδώ και πολλά χρόνια αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό με τους συλλέκτες θερμότητας και τους ηλιακούς θερμοσίφωνες.



Εικόνα 49: Ηλιακός θερμοσίφωνας με συλλεκτική επιφάνεια από επιλεκτικό χαλκό. Επικαλυμμένος χαλκός με μαύρο χρώμα πάνω σε ειδικό υπόστρωμα νικελίου, κολλημένο στους σωλήνες χαλκού με τεχνολογία υπερήχων. [<http://www.maltezospireas.gr/>]

Μια ακόμη πολύ δημοφιλής εφαρμογή η οποία συνεχώς αναπτύσσεται και η αξιοποίησή της συμβάλει στην επίλυση του ενεργειακού προβλήματος του πλανήτη είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με την βοήθεια των ιδιοτήτων των ημιαγωγών οι οποίοι αποτελούν μια κατηγορία υλικών με ξεχωριστές ηλεκτρικές ιδιότητες.

4.3.1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Τα Φ/Β-πλαίσια είναι ειδικά κατασκευασμένα πλαίσια τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Με τις κατάλληλες διατάξεις και

συνδεσμολογίες μπορούν να τροφοδοτήσουν από έναν απλό λαμπτήρα έως και μέρος της κατανάλωσης του δικτύου.

Τα **Φ/Β** ξεκίνησαν να κάνουν την εμφάνιση τους σχετικά νωρίς, παράλληλα με τη χρήση άλλων **ΑΠΕ**, αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των **Φ/Β** συνεχώς βελτιωνόταν. Βασικός πελάτης των **Φ/Β** τα χρόνια που ακολούθησαν, είναι η **NASA**. Το υψηλό κόστος εγκατάστασης **Φ/Β** είναι ο πιο σημαντικός λόγος της μη ένθερμης αποδοχής από την αγορά. Για παράδειγμα, η τιμή των **Φ/Β** ξεκίνησε από τα **500\$** ανά εγκατεστημένο **Watt** το **1956**, ενώ, μετά από 14 χρόνια, το 1970 έφτασε τα **100\$/Watt**. Το 1973, οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής έφεραν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα **50\$/Watt**.

Η πρώτη εγκατάσταση **Φ/Β** που φτάνει στα επίπεδα του **1MW** έγινε το 1980 στην Καλιφόρνια, από την εταιρεία **ARCO Solar**, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων. Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή **Φ/Β** έφτασε τα **22MW** και ο συνολικός τζίρος τα **250.000.000\$**. [<http://www.solarworld-usa.com/about-solarworld/history-of-solar>]

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1999, η εταιρία **Spectrolab** συνεργαζόμενη με το εργαστήριο **National Renewable Energy Laboratory (NREL)** των Η.Π.Α. αναπτύσσει ένα **Φ/Β** στοιχείο με απόδοση **32.3%**. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των **Thin Films** φτάνει στο **18.8%**. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των **Φ/Β** πλαισίων φτάνει συνολικά τα **200 MW**. [<http://www.nrel.gov/>]

Από το 2004 και μετά, η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των **Φ/Β** φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων στα **6.5 €/Wp**. Η Γερμανία και η Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή **Φ/Β** πλαισίων και σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν να υιοθετούν τις τεχνολογίες των **Φ/Β** και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα **1.200 MW** ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα **6.500.000.000\$**.

Στη σημερινή εποχή, με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά, κυρίως, υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών έχει αυξηθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Από το 1982 τα **Φ/Β** συστήματα παρουσιάζουν μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης **15%**. Ο μεγάλος αυτός ρυθμός ανάπτυξης που καταγράφεται προκύπτει από τη μείωση του κόστους και τις τεχνικές κατασκευαστικές βελτιώσεις στη σχεδίαση, τα υλικά και στην κατασκευή των ηλιακών στοιχείων που έχουν αυξήσει την απόδοση της λειτουργίας τους και έχουν μειώσει το κόστος. Είναι γεγονός ότι από την πρώτη τους εμφάνιση τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν παρουσιάσει είκοσι φορές πτώση τους κόστους τους, ενώ αναμένεται αυτό να μειωθεί ακόμα περισσότερο και να φτάσει το **1,3 ευρώ ανά watt**, μέχρι το 2030.

Τα συστήματα αυτά εάν καλύπτουν μεγάλη έκταση μπορούν να λειτουργήσουν είτε αυτόνομα τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια μία συγκεκριμένη μονάδα εξασφαλίζοντας το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία της είτε ως διασυνδεδεμένα συστήματα με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή

τροφοδοτούν το δίκτυο με την παραγόμενη από αυτά ηλεκτρική ενέργεια για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού.

Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ και είναι η πιο γνωστή μορφή στο ευρύ κοινό. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα τα οποία αναφέρονται παρακάτω. Ξεκινώντας από τα μειονεκτήματα, βασικό μειονέκτημα μιας Φ/Β εγκατάστασης είναι η ανάγκη κάλυψης μεγάλων εκτάσεων γης για την παραγωγή αξιόλογου ποσού ενέργειας. Αυτή η αλλαγή χρήσης της γης κοστίζει τόσο στο περιβάλλον όσο και στην γεωργία αφού περιορίζεται η παραγωγή τροφίμων. Επίσης, το κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

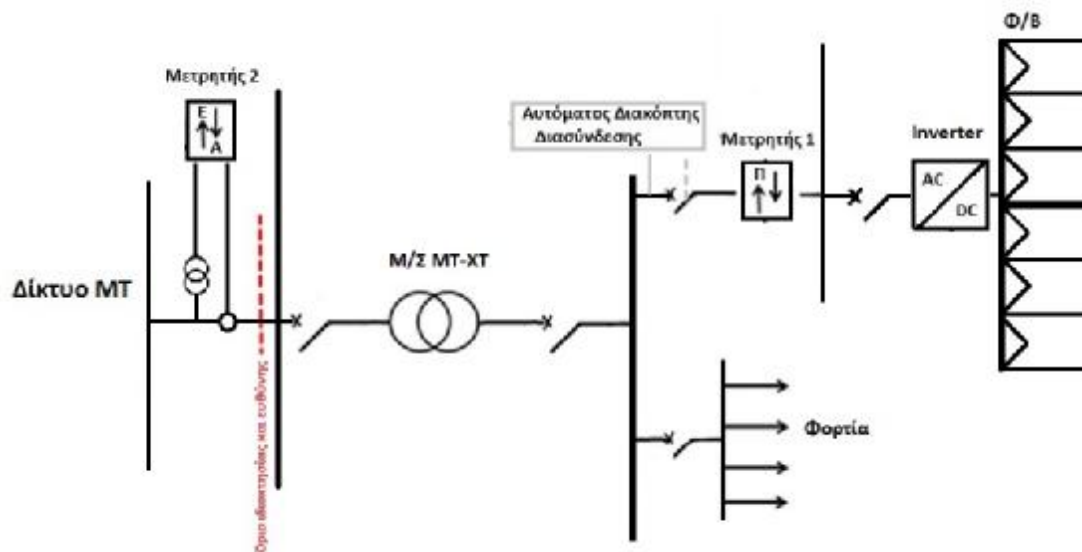
Παρόλα αυτά όμως, τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή τους αποτελούν σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξή τους. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους είναι μηδενικό αφού δεν προκαλούν θόρυβο, ούτε ρυπαίνουν. Ταυτόχρονα, μετά την εγκατάστασή τους δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση και απολαμβάνουν μεγάλη διάρκεια ζωής που μπορεί να ξεπεράσει τα είκοσι χρόνια. Τέλος, αποτελούν μια αξιόπιστη λύση ενεργειακής επάρκειας για περιοχές απομακρυσμένες και μη διασυνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Πιο συγκεκριμένα, για τα θερμικά ηλιακά συστήματα ακόμα και αν υπάρχει σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, η λειτουργία τους εξομαλύνει τις αιχμές φορτίου με αποτέλεσμα την αποφυγή πτώσης του. Αν υποθέσουμε ότι η παραγωγή και η κατανάλωση σε ένα τέτοιο ηλιακό σύστημα γίνεται τοπικά, αποφεύγονται οι απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, κάτι που αντιστοιχεί στην κατά **10%** εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου.

Κεφάλαιο 5^ο Διαστασιολόγηση Φ/Β γεννήτριας

5.1. Διαστασιολόγηση Φ/Β γεννήτριας χειροποίητα με τους τύπους που έχουμε διδαχτεί.

Βλέπουμε απ' τον πίνακα 2 ότι η μέγιστη ημερήσια ενέργεια που χρειαζόμαστε σε αγώνα είναι $E_A=69,662\text{kWh/d}$ και σε ημέρα προπόνησης είναι $E_{Π}=102,973\text{kWh/d}$. Μετρώντας τις ημέρες αγώνα και προπόνησης για όλη την χρονιά, θα έχουμε **79** ημέρες αγώνα και **81** προπόνηση. Έτσι υπολογίζουμε την ετήσια κατανάλωση ενέργειας του χώρου. $E=79 \cdot E_A + 81 \cdot E_{Π} = 13844,111\text{kWh/y}$

Από την Φ/Β γεννήτρια μέχρι το φορτίο μας παρεμβάλλονται διάφορες συσκευές και καλωδιώσεις, όπως βλέπουμε και στην διάταξη.



Σχήμα 11: Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτρικής εγκατάστασης του χώρου.

Για το λόγο αυτό θα πρέπει να κάνουμε κάποιες διορθώσεις στις τιμές των φορτίων λόγω των απωλειών της διάταξης. Ο αντιστροφέας έχει απόδοση **95%** δηλαδή θα έχουμε απώλεια **5%** της ενέργειας. Έτσι το σύνολο της ενέργειας που χρειαζόμαστε θα είναι:

$$E_{\text{τελ}} = E \cdot 1,05 = 13844,1\text{kWh} \cdot 1,05$$

$$E_{\text{τελ}} = 14536,31\text{kWh}$$

Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαϊσίων θα γίνει σε κλίση **30^ο** και θα βλέπουν νότια. Για να κάνουμε την διαστασιολόγηση, θα πρέπει να υπολογίσουμε την μέση ετήσια ισχύ αιχμής.

Από τη σχέση: $\sum_{m=1}^{12} (P_m \cdot PSH_m) = E_{\text{τελ}}$ και με βάση τα στοιχεία του πίνακα 12, λύνουμε ως προς P_m και βρίσκουμε:

$$P_m = 22,58\text{kW}_p.$$

Στον πίνακα 13 βλέπουμε τα χαρακτηριστικά μια σειράς Φ/Β πλαϊσίων της **Silcio Solar Technologies**.

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων της σειράς SE της Silcio Solar Technologies. [<http://www.silcio.gr/>]

Τύπος πλαισίου		SE215	SE220	SE225	SE230	SE235	SE240
Ονομαστική ισχύς P_m	W	215,00	220,00	225,00	230,00	235,00	240,00
Ονομαστική τάση U_{mpp}	V	28,79	29,12	29,41	29,72	29,90	30,10
Ονομαστική ένταση I_{mpp}	A	7,47	7,56	7,65	7,74	7,86	7,98
Τάση ανοικτού κυκλώματος U_{oc}	V	36,81	36,94	37,07	37,17	37,26	37,30
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}	A	8,10	8,12	8,14	8,16	8,18	8,19
Βαθμός αποδόσεως	%	13,10	13,40	13,70	14,00	14,30	14,60
Θερμοκρασία NOCT		39.95°C					

Οι ανωτέρω τιμές δίδονται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου **STC** ηλιακή ακτινοβολία $I_T=1kW/m^2$, $AM=1,5$ και θερμοκρασία κυττάρων του πλαισίου **25° C**.

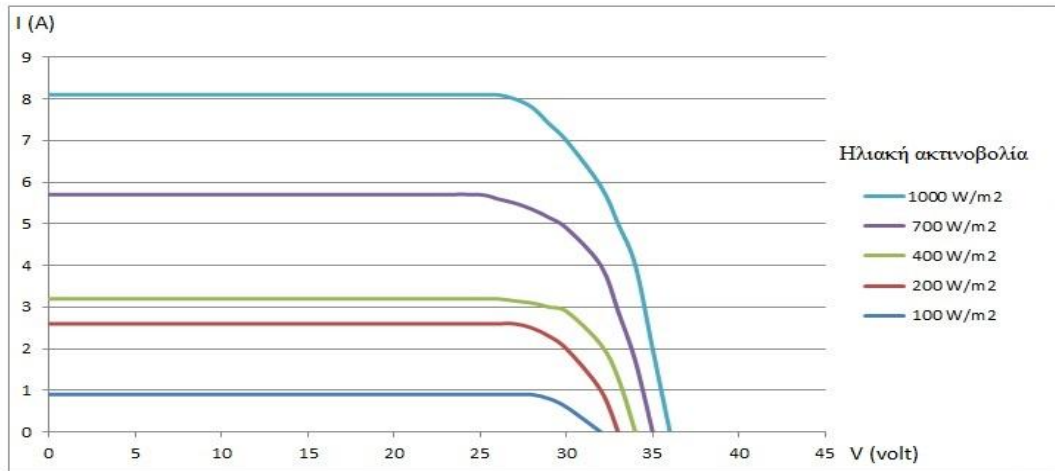
Πίνακας 14: Προδιαγραφές των Φ/Β πλαισίων της σειράς SE της Silcio Solar Technologies. [<http://www.silcio.gr/>]

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	
Μήκος	1654 mm
Πλάτος	993 mm
Πάχος	40 mm
Βάρος	≈ 22kg
Κυτίο συνδέσεως	Αεριζόμενο με 3 ενσωματωμένες διόδους παρακάμψεως
Καλώδιο	ΦΒ καλώδιο 950 mm, 4mm ²
Εμπρός επιφάνεια	Υψηλής αντοχής ΦΒ γυαλί πάχους 3,2 mm
Πίσω επιφάνεια	Σύνθετο φιλμ
ΦΒ κύτταρα	60 πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si 156 x 156 mm
Πλαστικοποίηση	EVA
Πλαίσιο	Προφίλ ανοδιωμένου αλουμινίου
Μέγιστη τάση συστήματος	1000 V

Ο τύπος του πλαισίου που θα επιλέξουμε είναι ο **SE 235** με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- $P_{mpp}= 235W$
- $U_{mpp}=29,9Volt$
- $I_{mpp}=7,86A$
- $U_{oc}=37,26Volt$
- $I_{sc}=8,18A$
- $n=14,3\%$

Στο διάγραμμα 8 βλέπουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες του πλαισίου σε συνάρτηση με την ακτινοβολία.



Διάγραμμα 8: Χαρακτηριστικές καμπύλες του ΦΒ πλαισίου. [<http://www.silcio.gr/>]

Ωστόσο θα πρέπει να κάνουμε διόρθωση στην ισχύ που θα αποδίδει η Φ/Β γεννήτρια επειδή θα λειτουργούν υπό υψηλότερη θερμοκρασία. Για τα Φ/Β πλαίσια που επιλέξαμε, ο κατασκευαστής μας δίνει $NOCT = 39.95^{\circ}C$ για $I_T = 0.8 kW/m^2$, $AM = 1.5$, θερμοκρασία περιβάλλοντος $20^{\circ}C$ και ταχύτητα ανέμου $1m/sec$. Από τον πίνακα 11 έχουμε μέγιστη θερμοκρασία $T_a = 27^{\circ}C$ τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Η T_c θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20^{\circ}C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} * I_T \frac{kW}{m^2} \quad (10)$$

$$T_c = 51.9^{\circ}C$$

Για την θερμοκρασία αυτή υπολογίζουμε τα μεγέθη I_{sc} , U_{oc} , FF και τελικά την ισχύ $P_{m\Phi B}$ που αποδίδουν τα Φ/Β πλαίσια υπό τις νέες συνθήκες. Το I_{sc} δεν επηρεάζεται και μένει σταθερό. Η τάση U_{oc} επηρεάζεται και η τιμή της υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_{oc} = U_{oc}(STC) + \frac{dU_{oc}}{dT} * (T_c - 25^{\circ}C) \quad (11)$$

$$\text{Όπου: } \frac{dU_{oc}}{dT} = -2,3 * 10^{-3} * n_c \frac{Volt}{^{\circ}C} \quad (12)$$

Το ΦΒ πλαίσιο αποτελείται από $n_c = 60$ ΦΒ κυψελίδες σε σειρά και έχει ισχύ $235W$ άρα:

$$U_{oc} = 33,55 Volt$$

Ο συντελεστής πλήρωσης FF υπολογίζεται από τη σχέση:

$$FF = \frac{I_m * U_m}{I_{sc} * U_{oc}} = \frac{235,014}{274,414} \quad (13)$$

$$FF = 0.85$$

Και η νέα τιμή της $P_{m\Phi B}$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{m\Phi B} = I_{sc} * U_{oc} * FF = 8,18A * 33,55 Volt * 0,85 \quad (14)$$

$$P_{m\Phi B} = 233,27W$$

Ο συνολικός αριθμός των ΦΒ πλαισίων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{\Phi B} = \frac{P_m}{P_{\Phi B}} = \frac{22,58kW}{233,27W} \approx 96,79 \quad (15)$$

Λαμβάνοντας τον πιο κοντινό ακέραιο αριθμό προς τα πάνω, θα χρειαστούμε:

$$N_{\Phi B} = 97$$

Επειδή η απώλειες λόγω μεταφοράς θα πρέπει να παραμείνουν μικρές, για ισχύ αιχμής πάνω από $5kW_p$, συνιστάται η τάση μεταφοράς από την Φ/Β-γεννήτρια στον αντιστροφέα να είναι $120V_{olt}$. Έτσι ο αριθμός $N_{\Phi B,\Sigma}$ των ΦΒ πλαισίων που θα συνδέσουμε σε σειρά υπολογίζονται από τη σχέση:

$$N_{\Phi B,\Sigma} = \frac{V}{V_m} = \frac{120V_{olt}}{29,9V_{olt}} \approx 4,01 \quad (16)$$

Άρα ο αριθμός των συνδεδεμένων εν σειρά πλαισίων θα είναι $N_{\Phi B,\Sigma}=4$.

Έτσι ο αριθμός των παράλληλων σειρών $N_{\Phi B,\Pi}$ υπολογίζεται:

$$N_{\Phi B,\Pi} = \frac{N_{\Phi B}}{N_{\Phi B,\Sigma}} = \frac{97}{4} \approx 24,25 \quad (17)$$

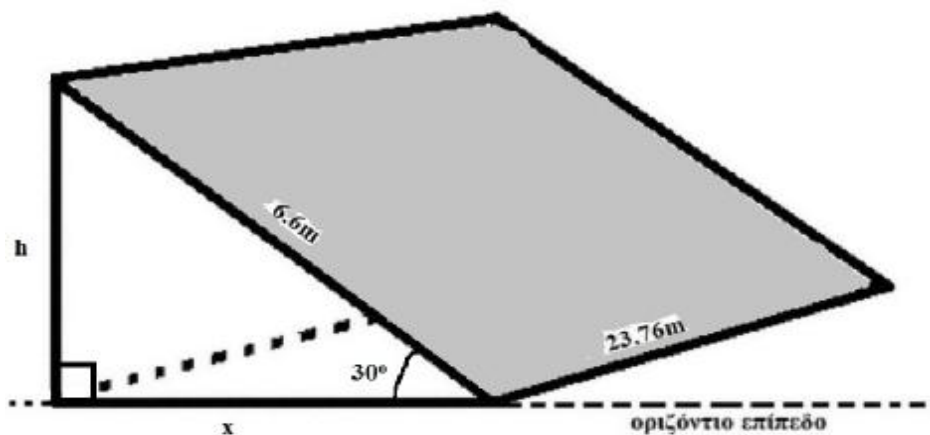
Και θα είναι: $N_{\Phi B,\Pi}=24$. Οπότε ο συνολικός αριθμός των πλαισίων θα είναι $N_{\Phi B}=96$ ΦΒ πλαίσια.

Η ΦΒ συστοιχία θα τοποθετηθεί στην ταράτσα του κτιρίου και θα έχει επιφάνεια $(24*0,99m)*(4*1,65m)=23,76m*6,6m=156,8m^2$.

Επειδή όμως θα τοποθετηθεί σε γωνία 30° , θα καταλαμβάνει μικρότερη επιφάνεια την οποία θα υπολογίσουμε παρακάτω.

Για να έχουμε καλύτερη στήριξη της συστοιχίας, θα κρατήσουμε οριζόντια την “μεγάλη πλευρά $23,76m$ ” του ορθογωνίου και θα βάλουμε σε κλίση 30° την “μικρή του πλευρά $6,6m$ ”. Έτσι θα σχηματιστεί με το οριζόντιο επίπεδο ένα ορθογώνιο τρίγωνο με υποτείνουσα $6,6m$.

Το ύψος h και το μήκος x είναι τα μεγέθη που θα υπολογίσουμε ώστε να δούμε πόσο θα σηκώσουμε την μία πλευρά και πόση επιφάνεια θα καταλαμβάνει στο χώρο μας.



Εικόνα 50: Σχηματική διάταξη ΦΒ γεννήτριας πάνω στο οριζόντιο επίπεδο.

Το ύψος **h** το υπολογίζουμε από την σχέση:

$$h = 6.6 * \eta\mu 30^0 \rightarrow h = 3.3m \quad (18)$$

Ενώ το μήκος **x** το υπολογίζουμε από την σχέση:

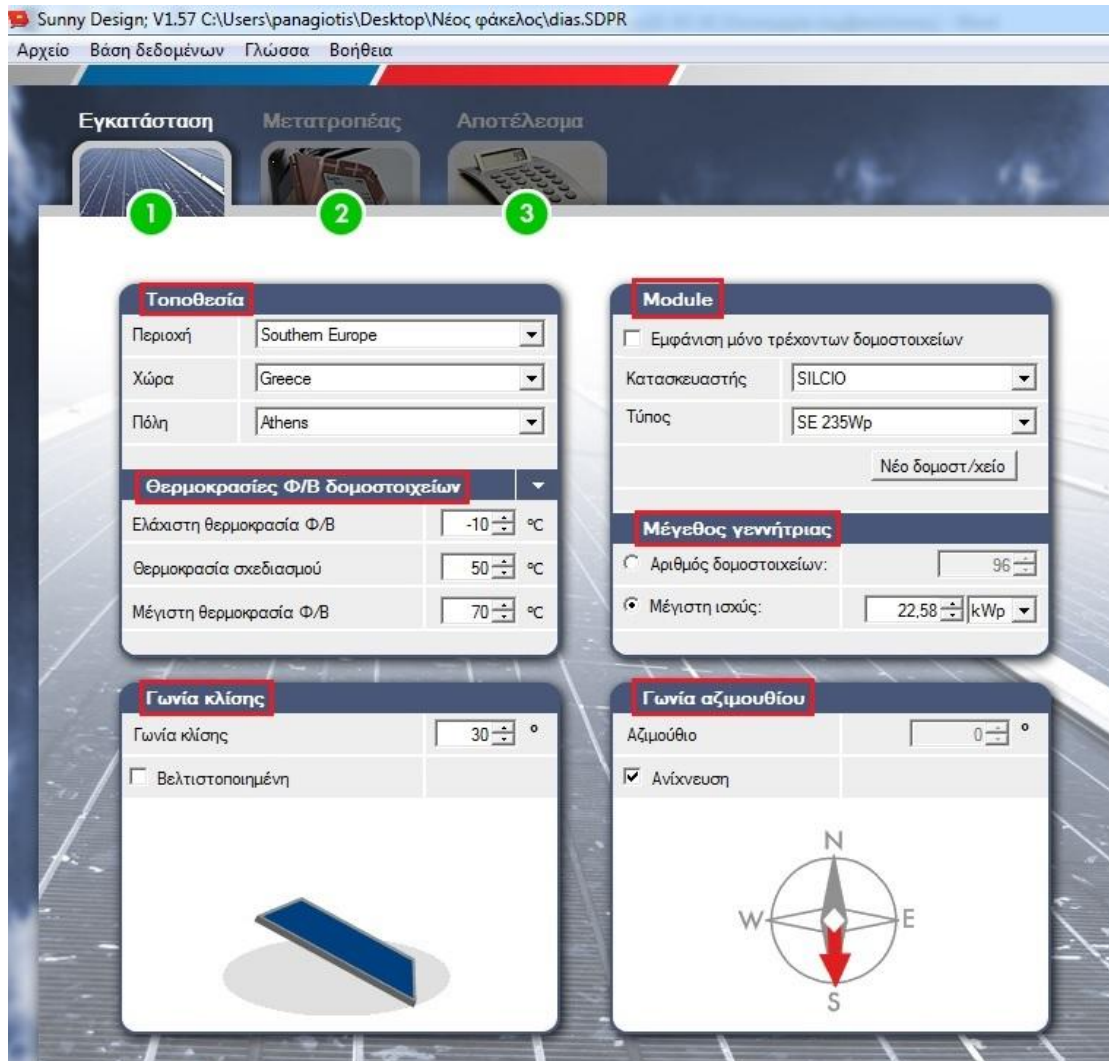
$$x = 6.6 * \sigma\upsilon\nu 30^0 \rightarrow x = 5.72m \quad (19)$$

Η ΦΒ συστοιχία θα καλύπτει επιφάνεια:

$$23,76m * 5.72m = 135.8m^2$$

5.2. Διαστασιολόγηση μέσω του λογισμικού Sunny design

Ένας άλλος τρόπος για να κάνουμε την διαστασιολόγηση της Φ/Β γεννήτριας μαζί με τον αντιστροφέα που χρειαζόμαστε είναι μέσω του λογισμικού **Sunny Design**. Το **Sunny Design** είναι ένα πρόγραμμα το οποίο μας βοηθάει να κάνουμε την διαστασιολόγηση σε τρία βήματα. Είναι δωρεάν και μπορούμε να το κατεβάσουμε ελεύθερα απ' το διαδίκτυο. [<http://sunny-design.software.informer.com/1.5/>]



Εικόνα 51: Πρώτο βήμα καταχώρησης στο **Sunny Design** (επιλογή Φ/Β πλαισίων)

Στο πρώτο βήμα, όπως βλέπουμε στην εικόνα 51, καταχωρούμε την **τοποθεσία** μας. Με βάση αυτή, το πρόγραμμα μας προτείνει αυτόματα τους παραμέτρους για τις θερμοκρασίες των Φ/Β δομοστοιχείων για την περιοχή μας.

Στο παράθυρο **Module**, επιλέγουμε τον κατασκευαστή και τον τύπο των Φ/Β πλαισίων και ορίζουμε την μέγιστη ισχύ που θέλουμε απ' την γεννήτρια μας.

Γωνία κλίσης της γεννήτριας μπορούμε να ορίσουμε εμείς ή να ζητήσουμε απ' το πρόγραμμα να μας βρει την βελτιστοποιημένη.

Για την **Αζιμούθιο γωνία** μπορούμε να κάνουμε το ίδιο.

Στο δεύτερο βήμα, όπως βλέπουμε στην εικόνα 52, επιλέγουμε τον τύπο του αντιστροφέα που θα χρησιμοποιήσουμε. Στο πρόγραμμα υπάρχει καταχωρημένη μια μεγάλη γκάμα από μετατροπείς που κυκλοφορούν στην αγορά. Επιλέγοντας τον τύπο του μετατροπέα, το πρόγραμμα μας υπολογίζει τις παραμέτρους του συστήματος και την συμβατότητα.

The screenshot shows the SMA Sunny Design software interface. At the top, there are three steps: 1. Κατάσταση (Status), 2. Μετατροπείς (Inverters), and 3. Αποτέλεσμα (Result). The 'Μετατροπείς' step is active, showing a dropdown menu with 'Sunny Boy 4000TL-20' selected. Below the dropdown is an image of the inverter and its specifications: Sunny Boy 4000TL-20, Μέγ. ισχύς DC : 4,20 kW, Μέγ. ισχύς AC: 4,00 kW. There is an 'Επιλογή κατηγορίας' (Select category) button.

Below the inverter selection is the 'Παραμετροποίηση συστήματος' (System parameterization) section, which displays the following parameters:

Μέγιστη ισχύς Φ/Β γεννήτριας	22,56 kW
Επιφάνεια Φ/Β γεννήτριας	160,8 m ²
Αριθμός μετατροπέων	6
Μέγ. ισχύς DC	25,20 kW
μεγ. AC-Ενεργός ισχύς	24,00 kW
Τάση δικτύου (δηλ. τάση στο σημείο τροφοδοσίας)	230 V

To the right of the parameterization section is the 'Κατάλογος Φ/Β' (Inverter Catalog) section, titled 'Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΣ' (Compatible Inverter Catalog). It contains a table with the following data:

Συνολικός αριθμός δομοστοιχείων	96		
Λόγος ονομαστικής ισχύος	112 %	✓	
Ισχύς στοιχειοσειράς (είσοδος)	1,88 kW	1,88 kW	
Αναλογία ισχύος (είσοδος)	50 %	50 %	
Τάση σημείου μέγ. ισχύος στοιχειοσ. στο 15°C	244 V	✓	244 V ✓
Τάση σημείου μέγ. ισχύος στοιχειοσ. στο 50°C	209 V	✓	209 V ✓
Τάση σημείου μέγ. ισχύος στοιχειοσ. στο 70°C	188 V	✓	188 V ✓
ελάχ. τάση σημείου μέγ. ισχύος, ρυθμ. τάση εξ.: 230 V	125 V		125 V
Τάση άνευ φορτίου στοιχειοσειράς στο -10°C	331 V	✓	331 V ✓
μεγ. επιτρεπτή τάση DC (Α: Μετατρ., Β: Μετατρ.)	550 V		550 V
Μέγ. ρεύμα Φ/Β γεννήτριας	8,1 A	✓	8,1 A ✓
Μέγ. επιτρεπτό ρεύμα DC	15,0 A		15,0 A
Αριθμός στοιχειοσειρών (Είσοδοι Α: 2, Β: 2)	1		1
Αριθμός δομοστοιχείων ανά στοιχειοσειρά ελαχ.=6; μεγ.=13	8		8

At the bottom of the 'Κατάλογος Φ/Β' section, there is a note: 'Για τη βέλτιστη λειτουργία της πολλαπλής στοιχειοσειράς πρέπει να επιλέξετε το μέγιστο δυνατό αριθμό μονάδων ανά στοιχειοσειρά!' (For the best operation of the multi-string inverter, you must select the maximum possible number of units per string!).

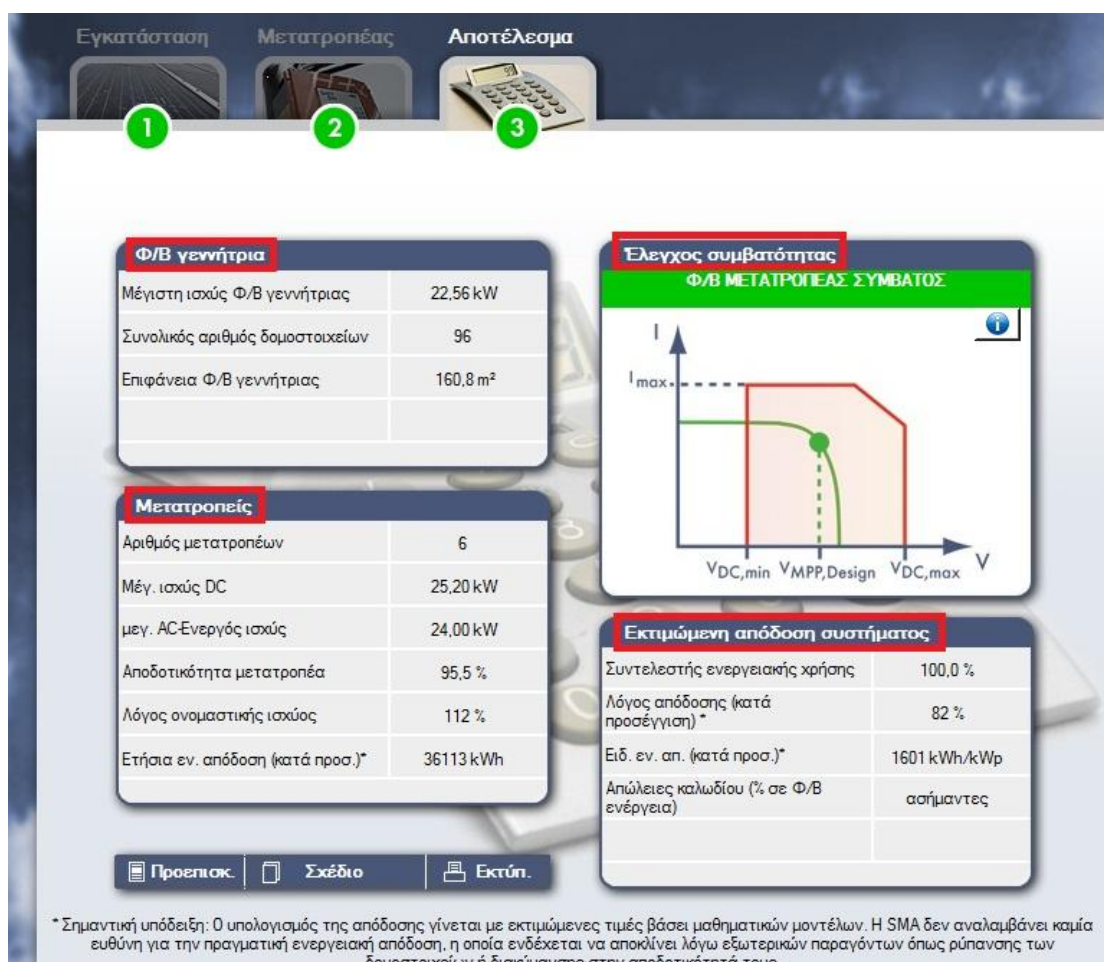
Εικόνα 52: Δεύτερο βήμα καταχώρησης στο Sunny Design (επιλογή αντιστροφέα)

Για να κάνουμε σωστή επιλογή του μετατροπέα, θα κοιτάξουμε έναν-έναν ποιος μας δίνει την μεγαλύτερη **ειδική ενεργειακή απόδοση kWh/kWp** (κατά προσέγγιση) όπως βλέπουμε στην εικόνα 53.

Έχοντας επιλέξει τον πιο συμβατό μετατροπέα για το σύστημά μας (**Sunny Boy 4000TL-20**), το πρόγραμμα κάνει αυτόματα παραμετροποίηση του συστήματος και μας δίνει:

- μέγιστη ισχύ Φ/Β γεννήτριας 22,56 kW
- επιφάνεια Φ/Β γεννήτριας 160,8 m²
- αριθμός μετατροπέων 6
- μέγιστη DC ισχύ 25,20 kW
- μέγιστη AC ενεργό ισχύ 24,00 kW
- και τάση δικτύου 230 V

Στην εικόνα 52 βλέπουμε τον κατάλογο των Φ/Β με βάση τον μετατροπέα μας. Ο συνολικός αριθμός των δομοστοιχείων θα είναι 96. Ο μετατροπέας αυτός έχει δύο εισόδους και στην κάθε μια θα έχουμε από μια στοιχειοσειρά που θα αποτελείται από οκτώ δομοστοιχεία.



Εικόνα 53: Τρίτο βήμα στο **Sunny design** (αποτελέσματα υπολογισμού)

Στην εικόνα 53 βλέπουμε τα τελικά αποτελέσματα υπολογισμού του προγράμματος για το σύστημά μας.

Και τέλος, επιλέγοντας εκτύπωση, έχουμε την επιτήρηση της μελέτης με όλα τα στοιχεία και τα αποτελέσματα που την υπογράφει ο μηχανικός. Εικόνα 54.



Τεχνικά χαρακτηριστικά
Μέγιστη ισχύς Φ/Β γεννήτριας: 22,56 kW
Συνολικός αριθμός δομοστοιχείων: 96
Επιφάνεια Φ/Β γεννήτριας: 160,8 m ²
Αριθμός μετατροπέων: 6
Μέγ. ισχύς DC : 25,20 kW
μεγ. AC-Ενεργός ισχύς : 24,00 kW
Αποδοτικότητα μετατροπέα: 95,5 %

Λόγος ονομαστικής ισχύος: 112 %
Ετήσια εν. απόδοση (κατά προσ.): 36112,7 kWh
Συντελεστής ενεργειακής χρήσης: 100,0 %
Λόγος απόδοσης (κατά προσέγγιση) *: 82 %
Ειδ. εν. απ. (κατά προσ.): 1601 kWh/kWp
Απώλειες καλωδίου (% σε Φ/Β ενέργεια): ασήμαντες

Υπογραφή

Εικόνα 54: Επιτήρηση μελέτης συστήματος.

5.3. Αποτελέσματα διαστασιολογήσεων και σύγκριση

Στον πίνακα 15 βλέπουμε τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης που κάναμε μόνοι μας και τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης μέσω του **Sunny Design**.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα διαστασιολόγησης

	Εμείς	Sunny Design
Μέγιστη ισχύς Φ/Β γεννήτριας	22.58kW _p	22.56kW _p
Συνολικά Φ/Β πλαίσια	96	96
Επιφάνεια Φ/Β γεννήτριας	156.8m ²	160.8m ²

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαστασιολογήσεων βλέπουμε ότι έχουμε βγάλει ίδιες τιμές. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο μέθοδοι είναι σωστές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε μελέτη που θα θέλουμε να κάνουμε.

Για την χειροποίητη διαστασιολόγηση χρειαζόμαστε απλά χαρτί και στυλό αλλά και πολλούς υπολογισμούς που μας καταναλώνουν χρόνο. Ενώ με το Sunny Design οι υπολογισμοί γίνονται αυτόματα απλά εισάγοντας τις παραμέτρους του συστήματος μας.

Κεφάλαιο 6^ο ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος απαιτεί κάποιο κόστος. Μέσω της οικονομοτεχνικής μελέτης, θα υπολογίσουμε τον χρόνο απόσβεσης και θα δούμε αν μας συμφέρει η εγκατάσταση του συστήματος ή να αγοράζουμε την ενέργεια από τον εκάστοτε πάροχο (π.χ. ΔΕΗ).

Η εγκατάσταση απαιτεί την αγορά Φ/Β πλαισίων, του Inverter, της μεταλλικής κατασκευής στήριξης των πλαισίων και των λοιπών αναλώσιμων υλικών (καλώδια, βίδες, σωλήνες PVC κλπ), ακόμη και την παροχή υπηρεσιών του μηχανικού και των εργατών.

Η ενέργεια που παράγει μια Φ/Β γεννήτρια απαιτεί ηλιοφάνεια η οποία δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να την έχουμε όλη την ώρα που την χρειαζόμαστε. Έτσι θα πρέπει κάπου να την αποθηκεύσουμε για να την χρησιμοποιήσουμε την ώρα που θα την χρειαστούμε.

Ένας τρόπος αποθήκευσης είναι η εγκατάσταση **συσσωρευτών ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρίες)**. Η εγκατάσταση αυτή όμως έχει μεγάλο μειονέκτημα στο ότι θα πρέπει κατά την διάρκεια της ημέρας να μπορεί να αποθηκεύσει όλη την ενέργεια που θα χρειαστεί το βράδυ. Αυτό σημαίνει πως θα έχουμε μεγάλη συστοιχία συσσωρευτών. Επειδή όμως δεν έχουμε κάθε μέρα την ίδια ηλιακή ένταση, θα χρειαστούμε και μεγάλη Φ/Β συστοιχία. Άρα και μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι τους θερινούς μήνες που έχουμε και μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, τα γήπεδα δεν θα χρησιμοποιούνται λόγω διακοπών οπότε η ενέργεια πάει χαμένη. Ένας τρόπος εκμετάλλευσης αυτής της ενέργειας είναι η διασύνδεση με το δίκτυο ώστε να την πουλήσουμε στον εκάστοτε πάροχο και να κερδίσουμε και από κει στην απόσβεση του συστήματος.

Πάλι όμως το κόστος εγκατάστασης παραμένει υψηλό που σημαίνει πως θα χρειαστούμε περισσότερο χρόνο για την απόσβεση.

Ένας άλλος πιο οικονομικός τρόπος εγκατάστασης είναι να κάνουμε αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό (**net-metering**). Ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας (γνωστός με τον όρο net-metering) αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ΑΠΕ και εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες, κυρίως για εγκαταστάσεις Φ/Β. Το net-metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος των ιδιοκαταναλώσεών του, ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας.

Ο όρος “net” προκύπτει από το γεγονός ότι η χρέωση/πίστωση του καταναλωτή αφορά στη διαφορά μεταξύ καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μία ορισμένη χρονική περίοδο.

Η ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων από αυτοπαραγωγούς θεσπίστηκε με την ΥΑΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 (ΦΕΚ Β' 3583/31.12.2014) και αφορά στην εγκατάσταση σταθερών Φ/Β συστημάτων για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού.

Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης από το Φ/Β σύστημα ενέργειας με την καταναλισκόμενη στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, ο οποίος διενεργείται σε ετήσια βάση. Στον ενεργειακό συμψηφισμό

η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη.

Στην ουσία ο καταναλωτής, παράγει μέσω των Φ/Β την ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει και χρησιμοποιεί το δίκτυο ως μέσο αποθήκευσης.

Ο ενεργειακός συμψηφισμός εφαρμόζεται σε όλη την χώρα με βάση την συμφωνημένη ισχύ παροχής (ΣΙ) όπως φαίνεται στον πίνακα 16.

Πίνακας 16: Επιτρεπτή ισχύς Φ/Β συστήματος στην ηπειρωτική χώρα και τα διασυνδεδεμένα νησιά.

Διασυνδεδεμένο σύστημα					
Επίπεδο τάσης	Τυποποιημένο μέγεθος παροχής	Συμφωνημένη ισχύς (ΣΙ) παροχής (kVA)	Μέγιστη επιτρεπτή ισχύς Φ/Β συστήματος αυτοπαραγωγής (kWp)		
			Φυσικά ή νομικά πρόσωπα	ΝΠΙΔ ή ΝΠΙΔΔ, κοινωφελούς ή άλλου δημοσίου συμφέροντος σκοπού	
Χαμηλή τάση	1φ	0,3	8	5	5
		0,5	12	5	5
	3φ	1	15	15	15
		2	25	20	25
		3	35	20	35
		4	55	27,5	55
		5	85	42,5	85
		6	135	67,5	100
7	250	100	100		
Μέση τάση	-	-	50%*ΣΙ και μέχρι 500 kWp	100%*ΣΙ και μέχρι 500 kWp	

Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, η ισχύς των Φ/Β συστημάτων μπορεί να ανέρχεται μέχρι 10 kWp και ειδικά στην Κρήτη μέχρι 20 kWp ή μέχρι 50% της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης κατανάλωσης (σε kVA), εφόσον το τελευταίο μέγεθος υπερβαίνει τα 10 kWp ή για την Κρήτη τα 20 kWp.

Η σύμβαση του αυτοπαραγωγού με τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με 25ετή διάρκεια. Η καταμέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του ΦΒ συστήματος, καθώς και της εισερχόμενης και εξερχόμενης από και προς το Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται ταυτόχρονα από το ΔΕΔΔΗΕ, κατά τον υφιστάμενο κύκλο καταμέτρησης που διέπει την εγκατάσταση κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού.

Ο Προμηθευτής πραγματοποιεί τη διαδικασία του ενεργειακού συμψηφισμού στους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς ρεύματος, με βάση τα στοιχεία καταμέτρησης του ΔΕΔΔΗΕ ανάλογα με τον κατά περίπτωση κύκλο καταμέτρησης.

Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται από τον Προμηθευτή με τον οποίο έχει συμβληθεί ο αυτοπαραγωγός, δηλαδή τον Προμηθευτή που εκπροσωπεί την εγκατάσταση κατανάλωσης, με βάση τα πραγματικά δεδομένα καταμέτρησης που παρέχει ο Διαχειριστής του Δικτύου. Επομένως ο ενεργειακός συμψηφισμός

διενεργείται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδει ο Προμηθευτής, με τελική εκκαθάριση στον τελευταίο εκκαθαριστικό λογαριασμό του ετήσιου κύκλου.

Ως χρεωστέα ενέργεια (για το ανταγωνιστικό σκέλος του τιμολογίου) λογίζεται η διαφορά των ποσοτήτων που καταγράφονται από το Μετρητή 2 (σχήμα 11), δηλαδή η διαφορά A (Απορροφώμενη) – E (Εγχεόμενη), εφόσον η διαφορά αυτή είναι θετική. Εάν η διαφορά ισούται με μηδέν δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, ενώ εάν η διαφορά είναι αρνητική επίσης δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, ενώ η διαφορά αυτή πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό ως πρόσθετη εξερχόμενη (εγχεόμενη) ενέργεια. Κατά την ετήσια εκκαθάριση τυχόν πλεόνασμα ενέργειας συμψηφίζεται με την χρεωστέα ενέργεια προηγούμενων περιόδων, για την οποία γίνεται αντιλογισμός. Τυχόν παραμένον μετά τον ετήσιο αντιλογισμό πλεόνασμα δεν πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό. Τα ανωτέρω αποτυπώνονται, υπό μορφή παραδείγματος στον πίνακα που ακολουθεί και αφορά εγκατάσταση καταναλωτή με τετραμηνιαία καταμέτρηση.

Πίνακας 17: Ετήσια εκκαθάριση παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας αυτοπαραγωγού με τετραμηνιαία καταμέτρηση.

Τετράμηνο	Απορροφώμενη (A)	Εγχεόμενη (E)	Συμψηφισμένη N=A-E	Χρεωστέα	Πιστούμενη διαφορά	Παραγόμενη (Π)	Κατανάλωση K=A+Π-E
A	1500	900	600	600	0	1500	2100
B	700	1600	-900	0	900	2300	1400
Γ	1000	800	-700	0	700	1300	1500
Έτος	3200	3300	-100	0	0	5100	5000

Η τελική διαφορά των 100 kWh από τον ετήσιο συμψηφισμό (αφού η συνολική ετήσια παραγωγή του Φ/Β ήταν 5.100 kWh και η συνολική πραγματική κατανάλωση 5.000 kWh) δεν μεταφέρεται περαιτέρω και δεν αποζημιώνεται (χάνεται για τον αυτοπαραγωγό).

Το κόστος, με βάση τα σημερινά δεδομένα της αγοράς, για μια εγκατάσταση ισχύς **25kW_p** ανέρχεται περίπου στα **20.000€**

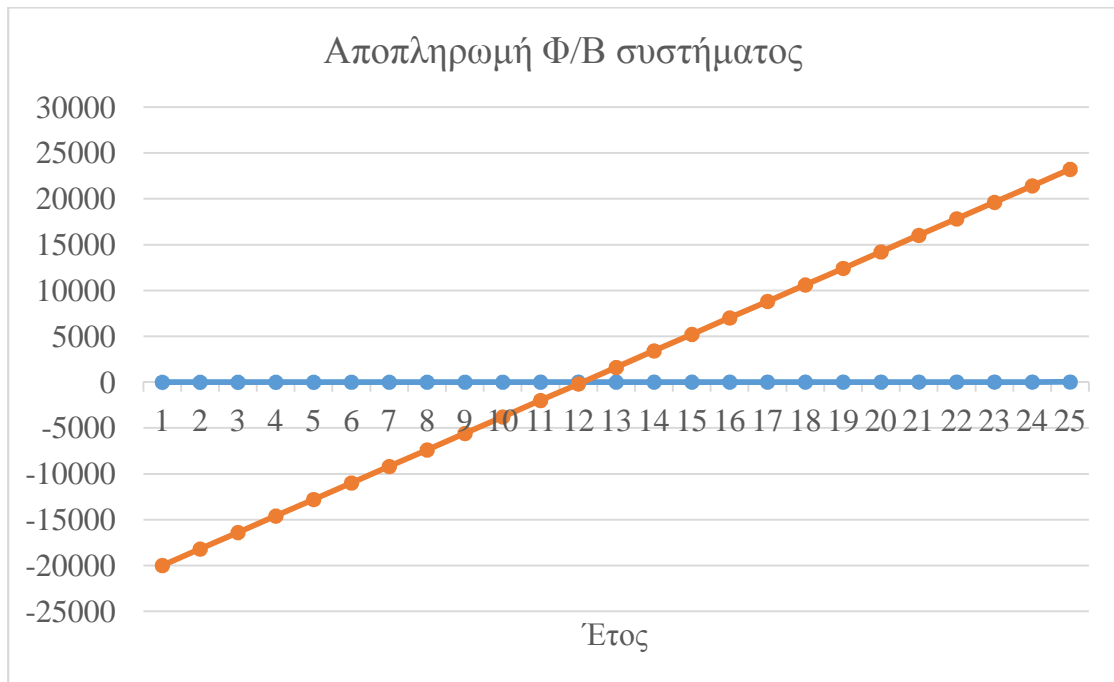
Έχοντας υπολογίσει την ετήσια κατανάλωση του χώρου και ξέροντας ότι **1kWh=0.13€** έχουμε:

$$13844,11\text{kWh/y} * 0,13\text{€kWh} = 1799,73\text{€y}$$

Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε **1800€** το χρόνο για να τροφοδοτήσουμε την αθλητική εγκατάσταση.

Αν όμως παράγουμε αυτή την ενέργεια μέσω της Φ/Β γεννήτριας θα σημαίνει εξοικονόμηση **1800€** το χρόνο το οποίο ποσό θα πηγαίνει στην αποπληρωμή της εγκατάστασης.

Στο διάγραμμα βλέπουμε την εξοικονόμηση που έχουμε κάθε χρόνο από την Φ/Β γεννήτρια, βλέπουμε ότι απόσβεση θα έχουμε μετά από 11 περίπου χρόνια και από κει και πέρα θα έχουμε κέρδος.



Διάγραμμα 9: Αποπληρωμή Φ/Β συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο μέσω Net-metering.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ήπιες Μορφές Ενέργειας Τόμος 3^{ος}

Σωκράτης Καπλάνης

Φωτοτεχνία

Φ. Β. Τοπάλης, Λ. Οικονόμου, Σ. Κουρτέση

<https://www.dial.de/en/dialux/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Basketball_court

<https://en.wikipedia.org/wiki/Volleyball>

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/scientific_work/totee_p

<http://www.solarworld-usa.com/about-solarworld/history-of-solar>

<http://www.nrel.gov/>

<http://www.silcio.gr/>

<http://sunny-design.software.informer.com/1.5/>

<http://www.deddie.gr/el/upiresies/fwtovoltaika-kai-alles-ape/fv-apo-autoparagwgous-me-energeiako-sumpsifismo-ne>