



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ”

“ STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC LIGHTING SYSTEM ”



Υπεύθυνος Καθηγητής: ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

Φοιτητής: ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

**ΑΙΓΑΛΕΩ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ-2018**

Copyright © Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ίδρυματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

ΑΙΓΑΛΕΩ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ-2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η εγκατάσταση ενός αυτόνομου ΦΒ σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, απομονωμένου από το δημόσιο δίκτυο με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε συσσωρευτή προκειμένου να καλυφθούν μικρές ανάγκες ισχύος όπως είναι ο φωτισμός του παραλιακού δρόμου στην Ιτέα που αναπτύσσεται στην διπλωματική.

Θα ήταν παράλειψη η μη αναφορά μας στη συμβολή του εισηγητή και καθηγητή του Μ.Π.Σ. του ΤΕΙ Πειραιά Καραϊσά Πέτρου για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επίσης θα θέλαμε να τον ευχαριστήσουμε για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μας και συναδέλφους μου για τις πολύτιμες συμβουλές τους και επισημάνσεις τους καθώς για την στήριξή τους κατά την διάρκεια της κατασκευής και ολοκλήρωσης αυτής της διπλωματικής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	iii
Περίληψη	x
Executive Summary	xi
Πρόλογος	1
Κεφάλαιο 1	2
ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	2
1.1 Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	2
1.2 Στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων	2
1.3 Λειτουργία των ηλιακών κυττάρων	4
1.4 Κατηγορίες Ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων	7
1.4.1 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο	7
1.4.2 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία	7
1.4.3 Πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία	8
1.4.4 Φ/Β στοιχεία λεπτών υμενίων	9
1.4.5 Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si)	11
1.4.6 Υπολογισμός της ονομαστικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη σε συνθήκες διαφορετικές από τις στάνταρ	12
Κεφάλαιο 2	18
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΟΥ	18
2.1 Μέθοδος της μέσης έντασης φωτισμού	19
2.1.1 Υπολογισμοί	19
2.1.2 Συντελεστής χρησιμοποίησης	20
2.1.3 Επίπεδα έντασης φωτισμού	20
2.1.4 Συντελεστής απωλειών φωτός	22
2.1.5 Ταξινόμηση φωτιστικών δρόμων	23
2.1.5.1 Κατακόρυφη διανομή φωτός	25
2.1.5.2 Πλευρική διανομή φωτός	26
2.1.5.3 Έλεγχος διανομής άνω της μέγιστης φωτεινής ροής.	28
2.1.6 Επιλογή ύψους ανάρτησης	29
2.1.7 Απόσταση φωτιστικών	29
2.2 Μέθοδος της λαμπρότητας	30
2.3. Κριτήρια φωτισμού κατά CIE	33
2.3.1 Μέση λαμπρότητα	33
2.3.2 Ομοιομορφία λαμπρότητας	33
2.3.3 Θάμβωση	34
2.3.3.1 Μέθοδοι υπολογισμού θάμβωσης	35

2.3.3.2 Το σύστημα αξιολόγησης θάμβωσης (Glare Rating).	36
2.3.3.3 Προτεινόμενα όρια θάμβωσης	37
2.3.3.4 Glare Control Mark (GCM) and Threshold Increment (TI)	37
2.3.3.5 Glare Control Mark (GCM)	37
2.3.3.6 Αύξηση κατωφλίου, Threshold Increment (TI).	38
2.3.4 Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου	41
2.3.5 Οπτική καθοδήγηση	41
2.4 Κατηγορίες Φωτισμού	42
2.4.1 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου κατά CIE	42
2.4.2 M- κλάσεις φωτισμού	44
2.4.3 Αμφισβητούμενες περιοχές	45
2.4.4 P- Κλάσεις φωτισμού	47
2.4.5 Κατηγορίες οδοστρώματος	48
2.4.6 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου κατά CEN13201	50
Κεφάλαιο 3	54
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	54
3.1 Αναζήτηση μετρήσεων στο πρόγραμμα Copernicus	54
3.2 Δημιουργία χρονοσειρών	54
3.2.1 Μέτρησή της ηλιακής ακτινοβολίας	55
3.3 Υπολογισμός της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένη τοποθεσία και κλίση συλλέκτη.	57
3.3.1 Η ημερήσια μέση τιμή των συνιστωσών της ακτινοβολίας G_DIFF, G_BEAM, σε κεκλιμένο συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.	58
3.3.2 Εύρεση βέλτιστης κλίσης τοποθέτησης του φωτοβολταϊκού πάνελ.	60
Κεφάλαιο 4	73
ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	73
4.1 Το αυτόνομο σύστημα φωτισμού	73
4.2 Πως λειτουργεί ένα αυτόνομο σύστημα φωτισμού	74
4.3 Φωτοβολταϊκό πάνελ	75
4.4 Συσσωρευτές	77
4.5 Ηλεκτρονικός ρυθμιστής φόρτισης.	79
4.6 Υπολογισμός των αναγκών	81
Κεφάλαιο 5	84
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	84
5.1 Εκτίμηση φορτίου των φωτιστικών	84
5.2 Εκτίμηση του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων	84
5.3 Εκτίμηση της χωρητικότητας των μπαταριών.	87
5.4 Εκτίμηση του κόστους του συστήματος.	88

Κεφάλαιο 6	89
ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΔΡΟΜΟ ΤΗΣ ΙΤΕΑΣ	89
6.1 Ορολογία φωτομετρικών στοιχείων	89
6.2 Πηγές Φωτισμού Δρόμων	92
6.3 Μελέτη σύμφωνα με το Dialux	94
6.3.1 Μελέτη φωτισμού του παραλιακού δρόμου Ιτέας με χρήση αυτόνομων φωτιστικών σωμάτων LED κατανάλωσης 30W.	95
Συμπεράσματα	124
Βιβλιογραφία	125
Παράρτημα Α΄	127
Παράρτημα Β΄	140

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ-ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μία ηλιακή κυψέλη.....	4
Εικόνα 1.2 όπου σημαίνει : 1. Το στρώμα που μειώνει την αντανάκλαση του φωτός,2. Οι ακτίνες φωτός που ανακλώνται , 3 και 4. Ακτίνες φωτός που παράγουν στο κύτταρο ηλεκτρόνια και θετικές οπές , 5. Διαχωριστική ζώνη των φορτισμένων πλευρών, 6. Το ηλεκτρόδιο της πίσω πλευράς.....	5
Εικόνα 1.3 . Τρία κύτταρα στη σειρά συνδεδεμένα.....	6
Εικόνα 1.4 Τρία κύτταρα παράλληλα συνδεδεμένα.....	6
Εικόνα 1.5 Φ/Β πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SC-Si)	7
Εικόνα1.6 Φ/Β πλαίσιο πολύκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)	9
Εικόνα 1.7 Η δομή των υλικών και οι διαστάσεις ενός κλασσικού Φ/Β στοιχείου (τύπου λεπτού υμενίου) που βασίζει την λειτουργία του στην επαφή θειούχου χαλκού / θειούχου καδμίου. Το ενδιάμεσο ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού έχει εύρος $w=0,1\mu\text{m}$. Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από Cu (εμπρόσθια όψη) και Ag (οπίσθια όψη). Η όλη δομή εσωκλείεται σε ανθεκτικό γυαλί που αξιοποιείται ως υπόστρωμα και ως μέσο προστασίας.....	10
Εικόνα 1.8 Φ/Β στοιχείο από άμορφο πυρίτιο.....	12
Εικόνα 1.9 Ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού συλλέκτη για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών και της καμπύλης (U-I).....	14
Εικόνα 4.1 Λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος φωτισμού.....	74
Εικόνα 4.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	76
Εικόνα 4.3 Συνσσωρευτής 100Ah 12Vdc	78
Εικόνα 4.4 Ηλεκτρονικός ρυθμιστής NV-12V010	80
Εικόνα 4.5 Συνδεσμολογία του ρυθμιστή φόρτισης με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ,τη μπαταρία και το φωτιστικό δρόμου.	80

Εικόνα 4.6 Φωτιστικό σώμα παραδοσιακού τύπου	82
Εικόνα 4.7 Φωτιστικό CITOR 30W LED	83
Εικόνα 6.1 Προοπτικό σχέδιο 3διαστάσεων.....	106
Εικόνα 6.2 Λάθος χρώματα προοπτικού σχεδίου	107
Εικόνα 6.3 Αντιστοιχία χρωμάτων με απόδοση lux	107

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ-ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1 Προτεινόμενες τιμές εντάσεως φωτισμού	20
Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση οδοστρωμάτων	21
Πίνακας 2.3 Χρόνος μεταξύ καθαρισμών (έτη).....	23
Πίνακας 2.4 Περιγραφή θάμβωσης.....	36
Πίνακας 2.5 Προτεινόμενα όρια θάμβωσης	37
Πίνακας 2.6 Κλίμακα του GCM	37
Πίνακας 2.7 Επιλογή Μ-κλάσης.....	44
Πίνακας 2.8 Προδιαγραφές της Μ-κλάσης	45
Πίνακας 2.9 Πίνακας C-κλάσης.....	46
Πίνακας 2.10 Προδιαγραφές της C-κλάσης	46
Πίνακας 2.11 Επιλογή Ρ-κλάσης	47
Πίνακας 2.12 Προδιαγραφές Ρ-κλάσης.....	48
Πίνακας 2.13 : Ταξινόμηση ανάκακλασης επιφάνειας οδοστρώματος	49
Πίνακας 2.14: Νέα Ταξινόμηση ανάκακλασης επιφάνειας οδοστρώματος.....	49
Πίνακας 2.15 : ΜΕ-κλάσεις φωτισμού.....	51

Πίνακας 2.16: MEW- κλάσεις φωτισμού.....	52
Πίνακας 2.17 : S-κλάσεις φωτισμού.....	53
Πίνακας 2.18 : CE – κλάσεις φωτισμού.....	53
Πίνακας 5.1 Ώρες ηλιοφάνειας για το μήνα Δεκέμβριο.....	85
Πίνακας 5.2 Μ.Ο. Συνολικής Ηλιακής ακτινοβολίας κάθε ημέρας και Μ.Ο Μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας.....	86
Πίνακας 5.3 Συνολικό κόστος εγκατάστασης ενός ιστού φωτισμού.....	88

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 3.1 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	60
Διάγραμμα 3.2 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	61
Διάγραμμα 3.3 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	62
Διάγραμμα 3.4 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιος σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	63
Διάγραμμα 3.5 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.....	64
Διάγραμμα 3.6 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	65
Διάγραμμα 3.7 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.....	66
Διάγραμμα 3.8 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Αύγουστο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	67

Διάγραμμα 3.9 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.	68
Διάγραμμα 3.10 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.....	69
Διάγραμμα 3.11 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.....	70
Διάγραμμα 3.12 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.....	71
Διάγραμμα 3.13 Συνολική ηλιακή ακτινοβολία έχοντας μετατραπεί η KWh σε KW για τις διάφορες γωνίες του φωτοβολταϊκού πλαισίου.	72

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ-ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.1 Μεταβολή παραγόμενης φωτεινής ροής λαμπτήρα εκφορτίσεως συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας του.....	22
Σχήμα 2.2 Ταξινόμηση φωτιστικών με βάση την κατακόρυφη και πλευρική διανομή φωτός.....	24
Σχήμα 2.3 Κατηγοριοποίηση των φωτιστικών σωμάτων δρόμων με βάση την πλευρική διανομή φωτός.....	28
Σχήμα 2.4 Ο ορισμός του προβλήματος.....	31
Σχήμα 2.5.....	31
Σχήμα 2.6 Διάταξη μέτρησης συντελεστή q.....	32

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έχει γίνει μελέτη για ένα ιστό φωτισμού σε παραλιακό δρόμο που βρίσκεται στην πόλη της Ιτέας και ο σκοπός είναι η μετατροπή σε αυτόνομο σύστημα φωτισμού με φωτιστικό σώμα LED του υπάρχοντος παραδοσιακού φωτιστικού .

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα ,στη λειτουργία των ηλιακών κυττάρων . στα στοιχεία των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και στις κατηγορίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως είναι τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά, τα στοιχεία λεπτών υμενίων και του άμορφου πυριτίου.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή όσο αφορά τις δύο βασικές μεθόδους προσέγγισης για την σχεδίαση του φωτισμού ενός δρόμου: στη μέθοδο της μέσης έντασης φωτισμού και στη μέθοδο της λαμπρότητας ακόμη γίνεται αναφορά στις κατηγορίες φωτισμού και στα κριτήρια φωτισμού κατά CIE.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων που έχουμε συλλέξει από το πρόγραμμα Copernicus για την συνολική ηλιακή ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί χρονοσειρές για τον υπολογισμό της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένη τοποθεσία και κλίση του συλλέκτη.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναλύεται ως προς το τι είναι ένα αυτόνομο σύστημα φωτισμού, γίνεται περαιτέρω ανάλυση του φωτοβολταϊκού πάνελ , των συσσωρευτών του συστήματος καθώς και του ηλεκτρονικού ρυθμιστή φόρτισης. Επιπλέον πραγματοποιείται υπολογισμός των αναγκών του συστήματος.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται εκτίμηση του φορτίου των φωτιστικών , τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα τοποθετηθούν στον ιστό , τη χωρητικότητα του συσσωρευτή καθώς και το κόστος για την αντικατάστασή του.

Στο 6^ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη του παραλιακού δρόμου της Ιτέας χρησιμοποιώντας το λογισμικό σχεδίασης Dialux.

EXECUTIVE SUMMARY

In this diploma thesis, a study has been carried out on a street lighting system in the town of Itea, and the purpose is to convert to an autonomous lighting system with a LED lighting body of the existing traditional luminaire.

The first chapter starts with an introduction to photovoltaic systems, the operation of solar cells. Photovoltaic systems and photovoltaic cells such as monocrystalline, polycrystalline, thin film elements and amorphous silicon.

In Chapter 2 there is an introduction to the two basic approaches to designing street lighting: the average light intensity method and the brightness method also refer to lighting classes and CIE lighting.

In Chapter 3, we process the measurements we have collected from the Copernicus program for total solar radiation. For this reason, time series have been created to calculate the average solar radiation at a specific location and inclination of the collector.

In chapter 4 we analyze what is a stand-alone lighting system, further analysis of the photovoltaic panels, the system accumulators and the electronic load regulator. In addition, the needs of the system are calculated.

In Chapter 5 we estimate the load of luminaires, the number of photovoltaic panels to be placed in the web, the capacity of the accumulator and the cost of replacing it.

In the 6th and final chapter the road study is being done by using the Dialux design software.

Keywords: photovoltaic systems , street lighting, stand-alone lighting system, Copernicus program, photovoltaic cells

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη σημερινή εποχή η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί σημαντικό κομμάτι του επιχειρηματικού κόσμου και όχι μόνο. Για αυτό το λόγο η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας μετατρέπεται σιγά σιγά σε αξιόπιστη λύση και μακροπρόθεσμα σε μία πολύ οικονομική και συμφέρουσα λύση που ελκύει όλο και περισσότερους ανθρώπους. Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η μελέτη ενός αυτόνομου συστήματος φωτισμού σε ένα ιστό φωτισμού τοποθετώντας το στο παραλιακό δρόμο της Ιτέας χρησιμοποιώντας ως αυτόνομη πηγή ενέργειας την ηλιακή ακτινοβολία. Για την ηλιακή ακτινοβολία έχουν βρεθεί μετρήσεις οι οποίες θα αξιοποιηθούν για να λάβουμε ένα συμπέρασμα το κατά πόσο είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί μία τέτοια αλλαγή σε ένα ιστό φωτισμού να αλλαχθεί από συμβατικό τύπου λαμπτήρα σε φωτιστικό LED. Ακόμη θα πραγματοποιηθεί μία ανάλυση κόστους για την τοποθέτηση του συστήματος φωτισμού. Και τέλος θα γίνει μία φωτοτεχνική μελέτη που θα αφορά το δρόμο σύμφωνα με το φωτιστικό που έχουμε διαλέξει.

Λέξεις κλειδιά: Αυτόνομο σύστημα φωτισμού, ηλιακό πάνελ, φωτισμός δρόμου, Φ/Β συστήματα, πρόγραμμα Copernicus

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1 Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Αν και οι ηλιακές κυψέλες είναι διαθέσιμες από τα μέσα της δεκαετίας του >50, η επιστημονική έρευνα για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο άρχισε το 1839, όταν ο Γάλλος επιστήμονας, Henri Becquerel, ανακάλυψε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να παραχθεί από τη λάμψη ενός φωτός επάνω σε ορισμένες χημικές ουσίες.

Η επίδραση παρατηρήθηκε αρχικά σε ένα στερεό υλικό (σε αυτή την περίπτωση το σελήνιο). Αυτό το υλικό χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια στα φωτόμετρα, τα οποία απαιτούσαν πολύ μικρά ποσά ενέργειας.

Μια βαθύτερη κατανόηση των φυσικών αρχών που συνδέονται με το φαινόμενο δόθηκε από τον Einstein το 1905 και τον Schottky το 1930. Αυτές οι ερμηνείες ήταν απαραίτητες για να μπορέσουν να γίνουν πιο αποδοτικές οι ηλιακές κυψέλες. Μια τέτοια κυψέλη πυριτίου που μετέτρεπε το 6% της ηλιακής ενέργειας που έπεφτε επάνω της σε ηλεκτρική ενέργεια αναπτύχθηκε από τους Chapin, Pearson και Fueller το 1954, και χρησιμοποιήθηκε σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως οι διαστημικοί δορυφόροι, από το 1958.

Τα σημερινά εμπορικά διαθέσιμα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν αποδοτικότητες μετατροπής της ενέργειας του ήλιου που πέφτει πάνω τους από 5% έως 25% (ανάλογα με τον τύπο, μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό και άμορφου πυριτίου).[1],[7]

1.2 Στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων

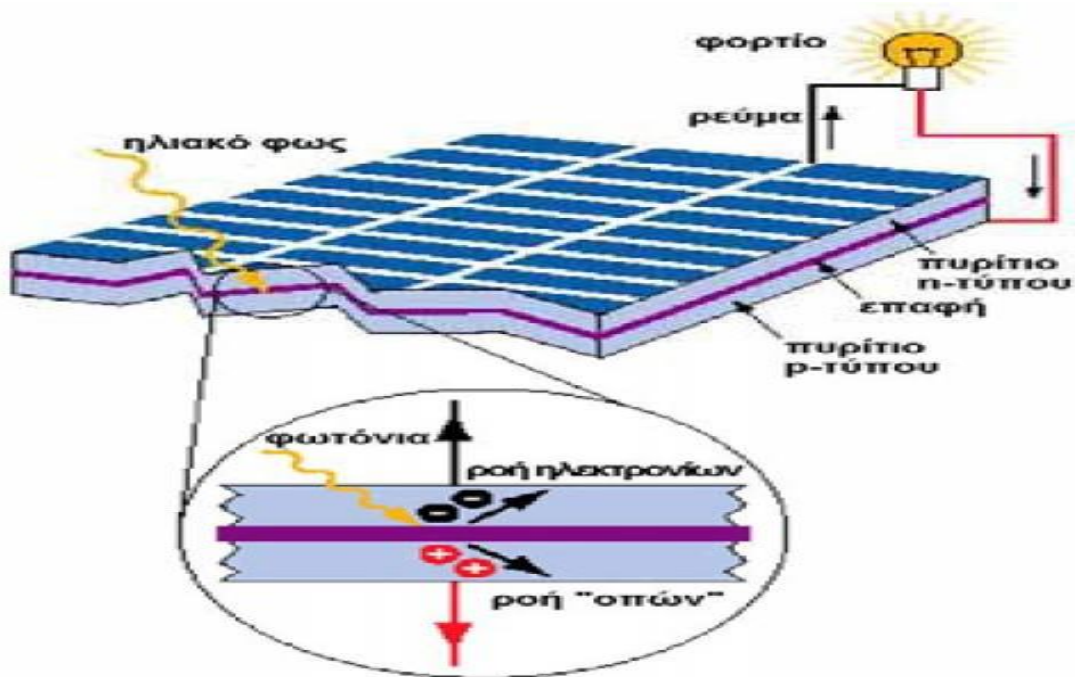
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες ημιαγωγών (δίοδοι p-n) συνήθως πυριτίου Si που βρίσκονται σε επαφή. Η χρήση του Si, ως βασικού υλικού παραγωγής αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της φωτοβολταϊκής μετατροπής διότι το πυρίτιο αφθονεί (-25%) στο φλοιό του πλανήτη μας). Η άνω πλάκα (τύπου n) εμπλουτίζεται με πολύ μικρή ποσότητα (π.χ. 1:106) στοιχείου, το οποίο διαθέτει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο (5 ηλεκτρόνια) στην εξωτερική του στιβάδα, σε σχέση με το

χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις πλάκες τύπου n είναι μόρια αρσενικού (As) ή φωσφόρου (P). Αντίστοιχα η κάτω πλάκα (τύπου p) ενισχύεται με προσμείξεις κατάλληλου στοιχείου, συνήθως Βόριο (B), που διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην εξωτερική του στιβάδα σε σχέση με το υλικό του ημιαγωγού. Η άνω πλάκα με τα επιπλέον ηλεκτρόνια ονομάζεται ημιαγωγός τύπου n (negative - αρνητικό φορτίο), ενώ η κάτω πλάκα με τα λιγότερα ηλεκτρόνια είναι ημιαγωγός τύπου p (positive - θετικό φορτίο).

Κατά την κατασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου, στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών συγκεντρώνονται τα περίσσια ηλεκτρόνια της πλάκας (τύπου n), τα οποία έλκονται από τις κενές θέσεις (οπές) ηλεκτρονίων της πλάκας (τύπου p). Εάν η πλάκα (τύπου n) δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία, τότε τα φωτόνια που διαπερνούν τον ημιαγωγό ενεργοποιούν ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων, τα οποία συσσωρεύονται κοντά στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών. Λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ ομώνυμων φορτίων εκκενώνονται επιπλέον θέσεις ηλεκτρονίων της πλάκας (τύπου p) οπότε και δημιουργούνται επιπλέον κενές θέσεις (οπές). Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται διαφορά τάσεως μεταξύ των δύο πλευρών, που ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος «UOC». Η τιμή της τάσης «UOC» είναι χαμηλή για μικρής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, αλλά παραμένει σχεδόν σταθερή για τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο όριο. Το εν λόγω όριο εξαρτάται από το υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών κυψελών.

Κατά τη διάρκεια έκθεσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώνοντας με κατάλληλο αγωγό τις δύο πλάκες του στοιχείου (p-n) δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, που οδηγεί στην ανάπτυξη κυκλοφορίας των ηλεκτρονίων διαμέσου της επιφάνειας επαφής τους. Στο κλειστό αυτό κύκλωμα (πρακτικά χωρίς φορτίο) η ένταση του ρεύματος είναι σταθερή και ονομάζεται ένταση βραχυκυκλώσεως. Η ένταση βραχυκυκλώσεως μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στην πρακτική εκμετάλλευση αυτού του φαινομένου στηρίζεται η λειτουργία του συνόλου των φωτοβολταϊκών διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.[2]



Εικόνα 1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μία ηλιακή κυψέλη.

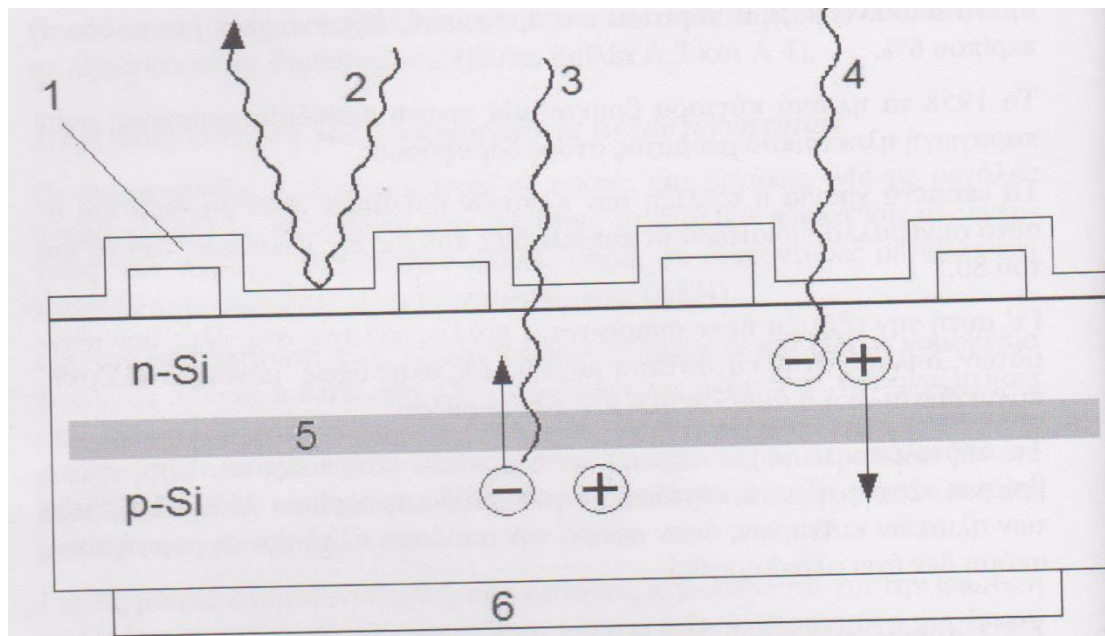
1.3 Λειτουργία των ηλιακών κυττάρων

Τα ηλιακά κύτταρα αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα περίπου 350 μm από κρυσταλλικό πυρίτιο που είναι εμπλουτισμένο με βόριο. Η πλευρά που βλέπει προς τον ήλιο σε ένα βάθος 0,3 μm διαχέεται από φώσφορο, που προκαλεί στο λεπτό στρώμα του πυριτίου πλεονασμό ηλεκτρονίων και συνεπώς η πλευρά αυτή είναι αρνητικά φορτισμένη. Στο υπόλοιπο σώμα του κρυστάλλου αναπτύσσονται ελαττωματικά ηλεκτρόνια ή θετικά φορτισμένες οπές και έτσι η άλλη πλευρά του κυττάρου είναι θετικά φορτισμένη.[21]

Η επάνω πλευρά των κυττάρων καλύπτεται με μεταλλικά δακτυλίδια έτσι ώστε να μένει ελεύθερη αρκετή επιφάνεια πυριτίου, από όπου θα εισέρχονται οι ακτίνες του φωτός, ενώ πάνω από όλη αυτή την επιφάνεια γίνεται επίστρωση ενός συγκεκριμένου λεπτού στρώματος ειδικής ύλης, που μειώνει την αντανάκλαση των ακτίνων. Η πίσω πλευρά του κυττάρου καλύπτεται όλη με ένα λεπτό μεταλλικό στρώμα.

Οι ακτίνες του φωτός που πέφτουν στην επιφάνεια του κυττάρου παράγουν σε όλο το σώμα του κρυστάλλου ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένες οπές. Το πλήθος αυτών των ζευγαριών εξαρτάται από την ένταση και το μήκος κύματος του φωτός. Τα

ηλεκτρόνια διαχέονται προς τα μεταλλικά δακτυλίδια (αρνητικά ηλεκτρόδια) και οι θετικά φορτισμένες σπές προς την πίσω μεταλλική επιφάνεια (θετικά ηλεκτρόδια).



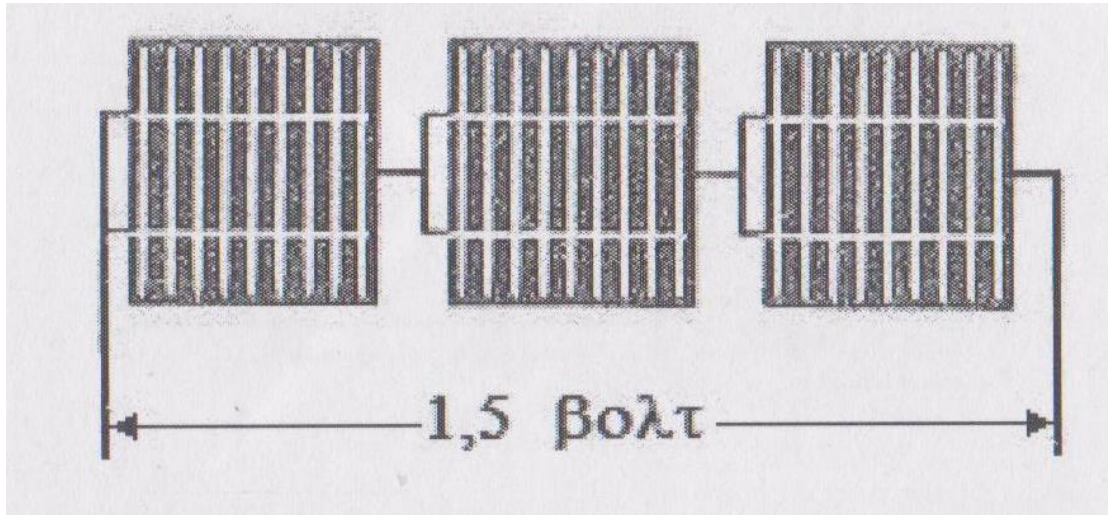
Εικόνα 1.2 όπου σημαίνει : 1. Το στρώμα που μειώνει την αντανάκλαση του φωτός, 2. Οι ακτίνες φωτός που ανακλώνται , 3 και 4. Ακτίνες φωτός που παράγουν στο κύτταρο ηλεκτρόνια και θετικές σπές , 5. Διαχωριστική ζώνη των φορτισμένων πλευρών, 6. Το ηλεκτρόδιο της πίσω πλευράς.

Εάν ενώσουμε με ένα μεταλλικό αγωγό τα μεταλλικά δακτυλίδια και τη μεταλλική πίσω πλευρά του κυττάρου , δηλαδή το αρνητικό και θετικό ηλεκτρόδιο , τότε ρέει ηλεκτρικό ρεύμα το ονομαζόμενο ρεύμα του βραχυκυκλώματος. Αυτό το ρεύμα το παρήγαγε φως και αυξάνεται με την ένταση του.

Η τάση στα ηλεκτρόδια του κυττάρου είναι 0,5 βολτ. Ενώνοντας πολλά κύτταρα στη σειρά (θετικό με αρνητικό έτσι ώστε η σειρά να έχει στα άκρα ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο) μπορούμε να σχηματίσουμε οποιαδήποτε τάση. Στην εικόνα 1.3, είναι τρία κύτταρα στη σειρά συνδεδεμένα και έχουν την τάση 1,5 βολτ.

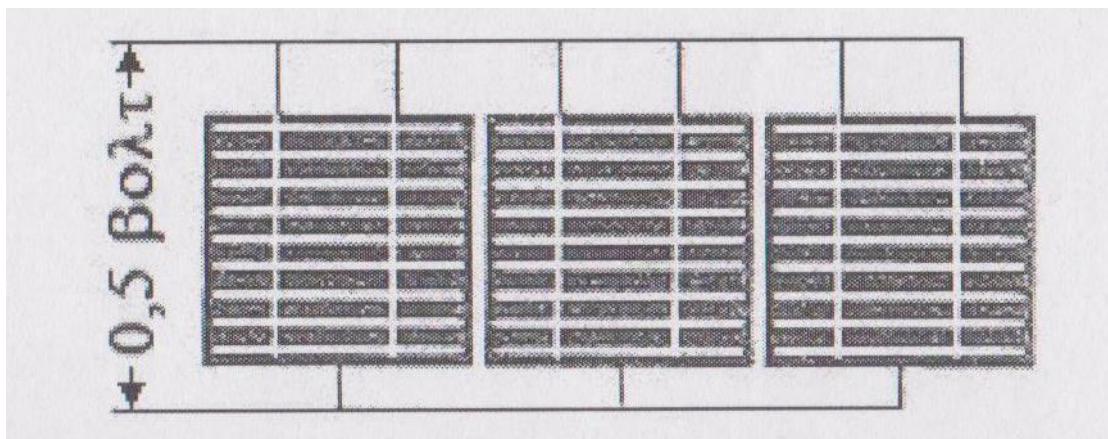
Στην εικόνα 1.3 , είναι τρία κύτταρα παράλληλα συνδεδεμένα και έχουν την τάση από 0,5 βολτ, δηλαδή την τάση ενός κυττάρου. Κατ' αυτό τον τρόπο 24 κύτταρα στη σειρά συνδεδεμένα έχουν την τάση των 12 βολτ, που είναι και η τάση μίας

μπαταρίας. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να σχηματίσουμε και ένα πολλαπλάσιο της τάσης της μπαταρίας που είναι 24 ή 48 βολτ.



Εικόνα 1.3 . Τρία κύτταρα στη σειρά συνδεδεμένα.

Ενώνοντας παράλληλα τις σειρές των 12 ή των 24 βολτ κλπ. Σχηματίζεται μία πλάκα με 12 ή 24 ή 48 βολτ και ανάλογα με το πλήθος των παράλληλων σειρών σχηματίζεται μία πλάκα με την οποία μπορεί με την ηλιακή ακτινοβολία να παραχθεί ρεύμα κάθε ισχύος όπως 30,80,110,160 βατ κ.α.



Εικόνα 1.4 Τρία κύτταρα παράλληλα συνδεδεμένα.

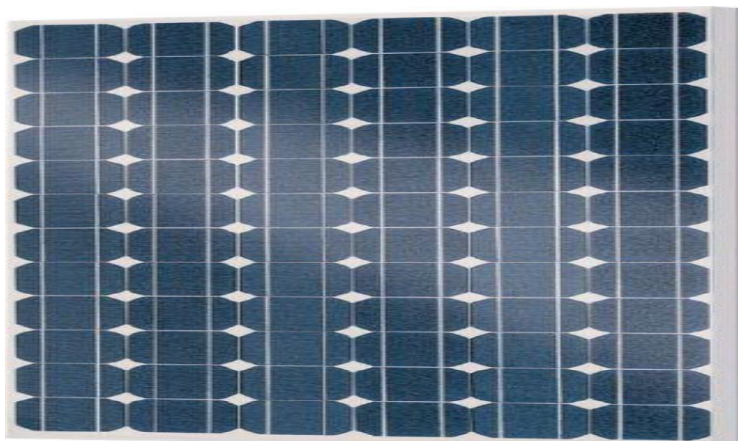
1.4 Κατηγορίες Ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων

1.4.1 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο (λέγεται επίσης και φωτοβολταϊκή κυψέλη) αποτελεί την ελάχιστη δομική μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη φωτεινή ακτινοβολία. Ο αντίστοιχος αγγλικός όρος {cell} παραπέμπει στη λατινική λέξη {cella}, που σημαίνει θάλαμος. Τα συνήθη εμπορικά Φ/Β στοιχεία αποτελούνται από διόδους επαφής p-n και έχουν εμβαδόν φωτιζόμενης επιφάνειας που ποικίλει από λίγα cm^2 μέχρι περίπου $180cm^2$. Τα Φ/Β στοιχεία κατατάσσονται, ανάλογα με το υλικό της κατασκευής τους, σε Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου, λεπτών υμενίων και άμορφου πυριτίου.[1],[2]

1.4.2 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 mm. Η απόδοσή τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-19% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης ανά επιφάνεια ή «ενεργειακής πυκνότητας». Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυ-κρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό, φωτοβολώντας με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι τα μοντέλα X-Series Solar Panels της SunPower με απόδοση πλαισίου 21,5%.



Εικόνα 1.5 Φ/Β πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SC-Si)

1.4.3 Πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 mm. Η μέθοδος παραγωγής του είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 11 έως και 16% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Σε μία κατασκευαστική τεχνική μικρο-κρύσταλλοι πυριτίου τοποθετούνται σε λεπτό επίπεδο ορθογώνιο καλούπι, στο οποίο θερμαίνονται και συντήκονται στα όρια των κόκκων τους, και με διεργασία πυροσυσσωμάτωσης διευρύνουν το μεγεθός τους, κατασκευάζοντας απευθείας το {wafer}.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που προδιαγράφουν την ποιότητα των παραγόμενων πολυκρυσταλλικών δίσκων πυριτίου (wafers) προσδιορίζονται:

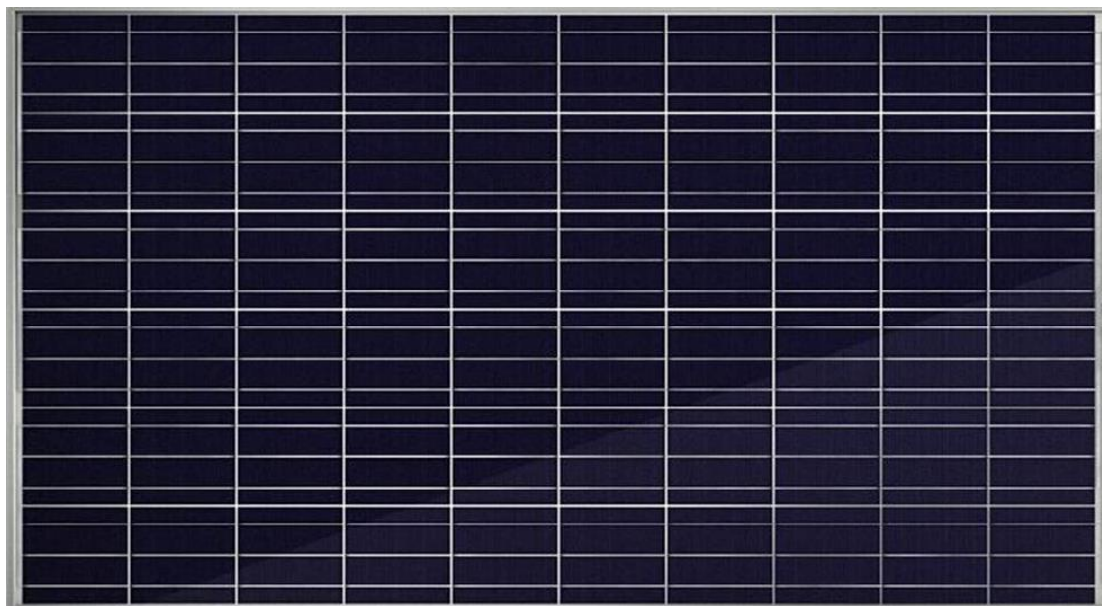
A) από τη λαμβανόμενη ομοιομορφία στο αρχικό ποσοστό συγκέντρωσης των προσμείξεων (είτε ως προς το βάθος από την επιφάνεια, είτε ως προς τις διαφορετικές θέσεις πάνω στην επιφάνεια),

B) από το μέγεθος των σχηματιζόμενων μονοκρυσταλλικών τμημάτων, και

Γ) από την κοινή περιοχή μεταξύ των διαδοχικά εφαιπτόμενων μονοκρυσταλλικών περιοχών(διεπιφάνειες).

Η ποιότητα των δίσκων πολυκρυσταλλικού πυριτίου προκαθορίζει τα μήκη διάχυσης των φορέων μειονότητας, τα οποία στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο ποικίλει από 50 μm- 280μm (σε αντιδιαστολή με τα 300μm που αναλογούν για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο). Επίσης η ποιότητα του πολυκρυσταλλικού πυριτίου καθορίζει το χρόνο ζωής των φορέων μειονότητας και κατ' επέκταση τον αναπτυσσόμενο ρυθμό επανασύνδεσης μεταξύ οπών – ηλεκτρονίων. Το ανώτερης ποιότητας poly -Si προσφέρει μεγάλα μήκη διάχυσης, σε συνδυασμό με χαμηλούς ρυθμούς

επανασύνδεσης. Τα μεγάλα μήκη διάχυσης και ο χαμηλός ρυθμός επανασύνδεσης αποτελούν καθοριστικές παραμέτρους του υλικού, οι οποίες μεγιστοποιούν την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.



Εικόνα 1.6 Φ/Β πλαίσιο πολύκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)

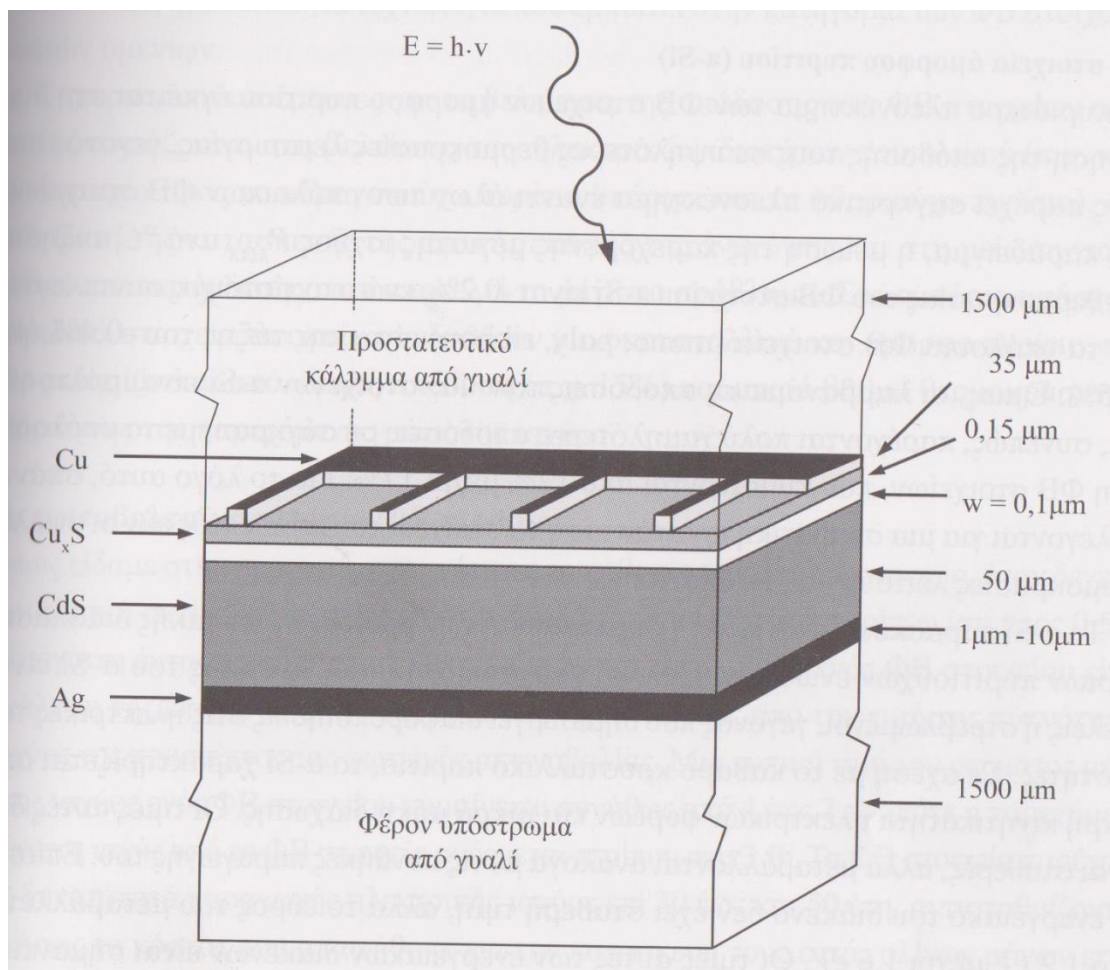
1.4.4 Φ/Β στοιχεία λεπτών υμενίων

Τα Φ/Β στοιχεία λεπτών υμενίων καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα της αγοράς και βασίζουν την κατασκευή τους σε συμφέρουσες βιομηχανικές τεχνικές, που μπορούν να εφαρμοστούν σε παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Τέτοιες τεχνικές είναι η επιταξία υγρής φάσης «Liquid Phase Epitaxy» (LPE), και η επιταξία αερίου φάσης, «Chemical Vapour Deposition» (CVD).

Τα Φ/Β στοιχεία λεπτών υμενίων κατασκευάζονται από την εναπόθεση τουλάχιστον δύο λεπτών ημιαγωγών υμενίων (πάχους = 1μm) πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα. Το υπόστρωμα ενδεικνύεται να είναι υάλινη επιφάνεια, ή μεταλλική, ή κρύσταλλος διαφορετικού ημιαγωγού. Τα ημιαγωγικά υμενία (ημιαγωγός τύπου n και ημιαγωγός τύπου p) τοποθετούνται στην άνω όψη, η οποία δέχεται το φωτισμό, και εγκαθιστούν

το ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού που απαιτείται για τη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Όταν το κάθε υμένιο αποτελείται από διαφορετικό ημιαγώγιμο υλικό που παρουσιάζει διαφορετική τιμή ενεργειακού διακένου, τότε η δημιουργούμενη επαφή p-n χαρακτηρίζεται ως ετεροεπαφή (heterojunction). Σε αντίθετη περίπτωση, χαρακτηρίζεται ως ομοεπαφή (homojunction).

Για τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου δεν υφίσταται καμία απολύτως ανησυχία ή/και κανένας προβληματισμός ως προς τις ενδεχόμενες επιπτώσεις των χρησιμοποιούμενων υλικών στην υγεία των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται κοντά σε αυτά. Όμως, στην τεχνολογία Φ/Β λεπτών υμενίων ενδεχομένως να υπάρχουν ορισμένα τοξικά υλικά κατασκευής, λόγω των οποίων θα πρέπει να εκτιμηθεί η καταλληλότητα των πλαισίων στην κάθε εφαρμογή, πριν από την τελική επιλογή και χρήση.



Εικόνα 1.7 Η δομή των υλικών και οι διαστάσεις ενός κλασσικού Φ/Β στοιχείου (τύπου λεπτού υμενίου) που βασίζει την λειτουργία του στην επαφή θειούχου χαλκού / θειούχου καδμίου. Το ενδιάμεσο ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού έχει εύρος $w=0,1\mu\text{m}$. Τα ηλεκτρόδια

αποτελούνται από Cu (εμπρόσθια όψη) και Ag (οπίσθια όψη). Η όλη δομή εσωκλείεται σε ανθεκτικό γυαλί που αξιοποιείται ως υπόστρωμα και ως μέσο προστασίας.

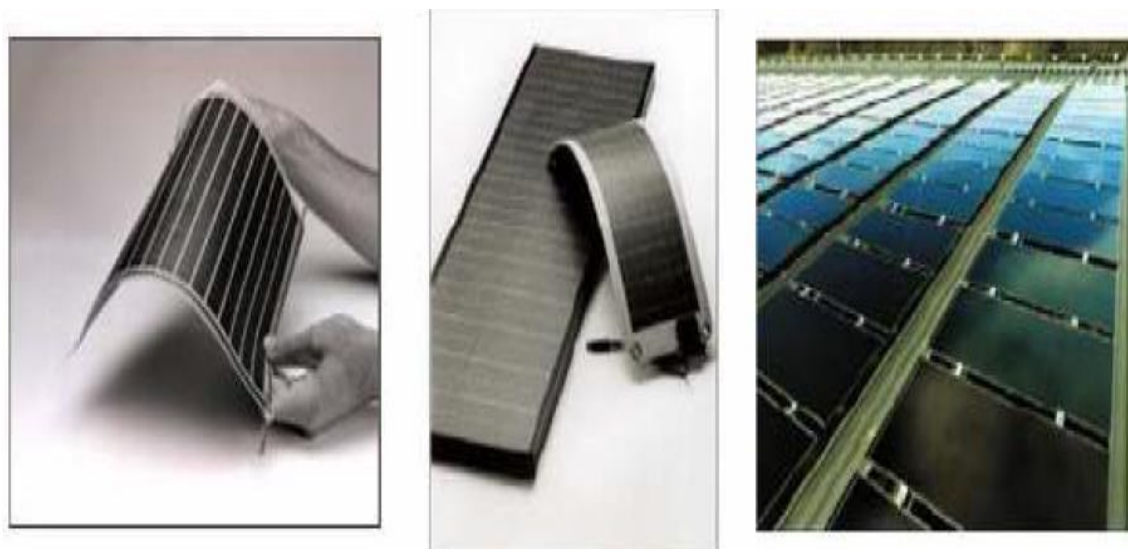
1.4.5 Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si)

Το κυριότερο πλεονέκτημα των Φ/Β στοιχείων άμορφου πυριτίου έγκειται στη διατήρηση της απόδοσης τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, γεγονός που τους παρέχει συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι όλων των υπόλοιπων Φ/Β στοιχείων. Το a-Si παρασκευάζεται από τη συμπύκνωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης αέριων πυριτιούχων ενώσεων. Πολλοί από τους χημικούς δεσμούς του a-Si είναι ατελείς ή στρεβλωμένοι, γεγονός που δημιουργεί διαφοροποιήσεις στις ηλεκτρικές του ιδιότητες. Σε σχέση με το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο , το a-Si χαρακτηρίζεται μικρή κινητικότητα ηλεκτρικών φορέων και μικρά μήκη διάχυσης. Οι τιμές αυτές δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής του. Επίσης το ενεργειακό του διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή , αλλά το εύρος του μεταβάλλεται από 1,2eV μέχρι 1,6eV . Οι τιμές αυτές των ενεργειακών διακένων είναι σημαντικά μεγαλύτερες από την τιμή που αντιστοιχεί για το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (1,1eV), με αποτέλεσμα το a-Si να συμπεριφέρεται καλύτερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες και να ανταποκρίνεται καλύτερα στη Φ/Β μετατροπή, δεδομένου ότι η ιδανική τιμή του ενεργειακού διακένου που διασφαλίζει τη μέγιστη απορρόφηση στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το 1,45 eV. Ο συντελεστής απορρόφησης του a-Si είναι μεγαλύτερος του αντίστοιχου συλλέκτη του κρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το a-Si να χαρακτηρίζεται από συμπεριφορά ανάλογη με τα υλικά που έχουν άμεσο ενεργειακό διάκενο. Το γεγονός αυτό προσδίδει πλεονεκτήματα στη φωτοβολταϊκή μετατροπή, αφού επιτυγχάνει την πλήρη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε βάθος της τάξης του 1μm από την επιφάνειά του.[1]

Οι Φ/Β διατάξεις που κατασκευάζονται από a-Si βασίζουν τη λειτουργία τους σε φράγματα δυναμικού διόδων Schottky και συνήθως ένα λεπτό στρώμα a-Si πάχους περίπου 1μm εναποτίθενται σε ένα φύλλο ανοξειδώτου χάλυβα , που αποτελεί το υπόστρωμα και αρκεί για να σχηματίσει τη δίοδο και συγχρόνως την οπίσθια ωμική

επαφή. Ουσιαστικά, πρόκειται για τεχνολογία που εμπίπτει στην κατηγορία Φ/Β στοιχείων λεπτών υμενίων.

Σήμερα γίνονται έρευνες για τη βελτίωση της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων a-Si. Αυτές εστιάζονται στη βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υλικού (π.χ. κατ' αντιστοιχία προς τον υδρογονούχο πυρίτιο υπάρχει και το φθοριούχο πυρίτιο), στη βελτίωση της κατασκευής της ωμικής επαφής της άνως όψης και στη μείωση για το ρυθμό επανασύνδεσης, που αποτελεί το μέγιστο πρόβλημα. Στο εμπόριο υπάρχουν υβριδικά στοιχεία τα οποία συνδυάζουν μονοκρυσταλλικό και άμορφο πυρίτιο, που χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (π.χ. 15%) και μικρό βαθμό θερμοκρασιακής εξάρτησης της παρεχόμενης μέγιστης ισχύος.



Εικόνα 1.8 Φ/Β στοιχείο από άμορφο πυρίτιο

1.4.6 Υπολογισμός της ονομαστικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη σε συνθήκες διαφορετικές από τις στάνταρ

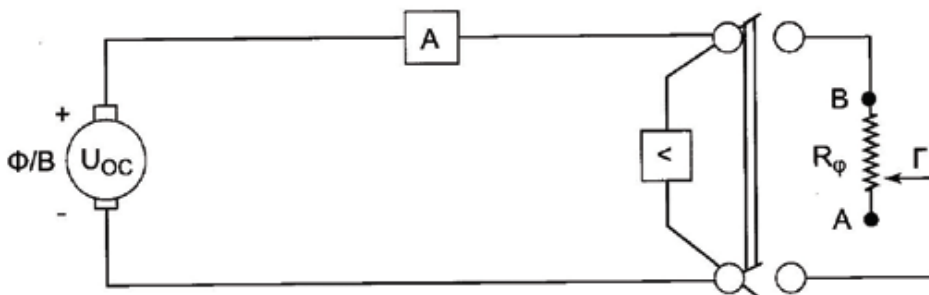
Για να υπολογίσουμε την ισχύ με την οποία ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου μας δίνει ενέργεια κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, θα πρέπει να γνωρίζουμε

α) τα χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη του κατασκευαστή καθώς και τη χαρακτηριστική καμπύλη (U-I), τα οποία προσδιορίστηκαν σε συνθήκες (STC) όπου:

- Ένταση φωτισμού $E = 1.000 \text{ W/m}^2$
- Θερμοκρασία κυψελών συλλέκτη $T_c = 250^\circ\text{C}$
- Πυκνότητα αέρα AM 1,5.

Τα χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη είναι:

- Τάση ανοιχτού κυκλώματος συλλέκτη U_{oc} σε βόλτ (V). Είναι η τάση που μετράμε στις άκρες των πόλων του συλλέκτη χωρίς να έχουμε συνδεδεμένο φορτίο.
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης συλλέκτη I_{sc} σε αμπέρ (A). Είναι ρεύμα που έχουμε στο κύκλωμα του συλλέκτη με βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες του.
- Μέγιστη ισχύς P_m του συλλέκτη σε βατ (W). Είναι η μεγαλύτερη ισχύς που μας δίνει ο συλλέκτης με συνδυασμένο φορτίο στους ακροδέκτες του.
- Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε βολτ (V). Είναι η τάση του συλλέκτη που αντιστοιχεί στο σημείο όπου έχουμε τη μέγιστη ισχύ.
- Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος I_m σε αμπέρ (A). Είναι η ένταση του ρεύματος του συλλέκτη που αντιστοιχεί στο σημείο όπου έχουμε τη μέγιστη ισχύ. Ο προσδιορισμός των τιμών τάσης και έντασης, η αποτύπωση της χαρακτηριστικής καμπύλης (U-I) και η αποτύπωση του σημείου μέγιστης ισχύος (M_{pp}), γίνονται πειραματικά με τη σύνδεση μεταβαλλόμενου φορτίου στους ακροδέκτες του κυκλώματος του φωτοβολταϊκού συλλέκτη όπως στην εικόνα 1.9. Ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να δέχεται κάθετα τις ακτίνες του ηλιακού φωτός.



Εικόνα 1.9 Ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού συλλέκτη για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών και της καμπύλης (U-I).

- Διακόπτης Ανοιχτός: Το βολτόμετρο μας δείχνει την τάση ανοιχτού κυκλώματος U_{oc} .
- Διακόπτης Δ κλειστός και επαφή Γ στο σημείο Β: Το αμπερόμετρο μας δείχνει την ένταση βραχυκύκλωσης I_{sc} .
- Διακόπτης Δ κλειστός και επαφή Γ σε διάφορα σημεία της μεταβαλλόμενης αντίστασης: Το βολτόμετρο και το αμπερόμετρο μας δίνουν τιμές τάσης και έντασης (ζεύγη τιμών) για την αποτύπωση της χαρακτηριστικής καμπύλης (U-I).

β) Τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συλλέκτη και συγκεκριμένα:

- Ένταση φωτισμού E σε W/m^2 ή kW/m^2
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου °C
- Πυκνότητα αέρα AM 1,5
- Ταχύτητα αέρα (να είναι >1Msec)
- Τοποθέτηση του συλλέκτη έτσι ώστε να δέχεται κάθετα τις ακτίνες του ηλιακού φωτός

γ) Παραδοχές

1.γ Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} , καθώς και η ένταση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος, είναι ανάλογη της έντασης ακτινοβολίας E, που προσπίπτει κάθετα στο συλλέκτη. Επομένως, θεωρούμε ότι κατά προσέγγιση ισχύει:

$$I'_{sc} = I_{sc} * E \text{ η } I'_m = I_m * E$$

όπου :

I_{SC} = ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε (A) σε συνθήκες (STC)

I'_{SC} = ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης σε (A) σε πραγματικές συνθήκες

E = ένταση φωτισμού σε KW/ m^2

I_m = ένταση στο σημείο μέγιστος ισχύος σε (A) συνθήκες (STC)

I'_m = ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε (A) σε πραγματικές συνθήκες

2.γ Η τάση ανοιχτού κυκλώματος U_{OC} , καθώς και η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος U_m μεταβάλλεται γραμμικά με τη θερμοκρασία των κυψελών του συλλέκτη T_C .

Επομένως, θεωρούμε ότι κατά προσέγγιση ισχύει:

$$T_C = T_a + n_1 * E \text{ όπου}$$

T_C = θερμοκρασία κυψελών του συλλέκτη σε 0C

T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος σε 0C

n_1 = συντελεστής που για τους συλλέκτες πυριτίου είναι περίπου

$$0.03 * \frac{m^2 * ^\circ C}{w}$$

E = ένταση φωτισμού που προσπίπτει κάθετα στο συλλέκτη σε KW/ m^2

$$U'_{OC} = U_{OC} - \nu\sigma * n_2 * (T'_C - T_C)$$

$$U'_m = U_m - \nu\sigma * n_2 * (T'_C - T_C)$$

όπου

U' = τάση ανοιχτού κυκλώματος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών T'_C (πραγματικές συνθήκες)

U'_m = τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών T'_c (πραγματικές συνθήκες)

U_{oc} = τάση ανοιχτού κυκλώματος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών 250°C (συνθήκες STC).

U_m = τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών 250°C (συνθήκες STC)

n_s = αριθμός των κυψελών (στοιχείων) του συλλέκτη που είναι συνδεδεμένες σε σειρά

n_2 = συντελεστής που για τους συλλέκτες πυριτίου είναι περίπου 0,0023V/ 0C για κάθε στοιχείο

T'_c = θερμοκρασία κυψελών του συλλέκτη σε 0C σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

T_c = θερμοκρασία κυψελών του συλλέκτη σε 0C σε συνθήκες (STC) που είναι 250C

3.γ Η μέγιστη ισχύς P'_m σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P'_m = U'_m * I'_m$$

όπου:

P'_m = μέγιστη ισχύς σε (W) σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

U'_m = τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε (V) που υπολογίστηκε από τη σχέση

$$U'_m = U_m - n_s * n_2 * (T'_c - T_c)$$

I'_m = ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε (A) που υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$I'_{sc} = I_{sc} * E / I'_m = I_m * E$$

3.δ Ορίζουμε ως συντελεστή πλήρωσης ενός συλλέκτη (n_4) το λόγο της μέγιστης ισχύος P_m προς την ιδανική ισχύ P.

όπου: $n_4 = \frac{P_m}{P}$

$$P = U_{OC} * I_{OC} \text{ σε (W)}$$

$$P_m = U_{OC} * I_m \text{ σε (W)}$$

3.ε Ορίζουμε ως θεωρητικό βαθμό απόδοσης n_θ τη μέγιστη ισχύ που μας δίνει ο συλλέκτης σε συνθήκες (STC) προς την ισχύ που δέχεται από το ηλιακό φως σε συνθήκες (STC)

όπου :

$$n_\theta = \frac{P_m}{P_C}$$

P_m = μέγιστη ισχύς που μας δίνει ο συλλέκτης σε (W) σε συνθήκες (STC)

P_C = η ισχύς σε (W) που δέχεται ο συλλέκτης σε συνθήκες (STC)

3.στ. Ορίζουμε ως πραγματικό βαθμό απόδοσης n_π , τη μέγιστη ισχύ που μας δίνει ο συλλέκτης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, προς την ισχύ που δέχεται από το ηλιακό φως σε συνθήκες (STC) $n_\pi = P_M / P_C$

3.ζ Θεωρούμε ότι η τάση που μας δίνει ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης όταν λειτουργεί γύρω από το σημείο μέγιστης ισχύος (Mpp), είναι περίπου το 80% της τάσης ανοιχτού κυκλώματος κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας του. Επομένως θα έχουμε:

- Για συνθήκες (STC) $U_M = 0,8 * U_{OC}$

- Για πραγματικές συνθήκες $U'M = 0,8 * U'_{OC}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

Ο βασικός σκοπός του οδικού φωτισμού είναι η παροχή ασφαλείας στους οδηγούς που κινούνται στους δρόμους αφού η οδήγηση ,ειδικά τη νύχτα, κρύβει πολλούς κινδύνους και πολλές παγίδες. Η συνεχώς αυξανόμενη κίνηση στο οδικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της νύχτας έχει οδηγήσει στον τριπλασιασμό των ατυχημάτων συγκριτικά με εκείνων που σημειώνονται την ημέρα . Ο βασικός λόγος αυτής της αρνητικής εξέλιξης είναι η μειωμένη ορατότητα καθώς και η κόπωση , οδηγών και πεζών, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αντανακλαστικών τους, με αποτέλεσμα να δυσκολεύονται να αντιληφθούν τα εμπόδια και τους κινδύνους του οδοστρώματος. Επίσης η πρόοδος της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στη κατασκευή πολύ γρήγορων οχημάτων με αποτέλεσμα η ασφάλεια των επιβατών τους να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αντίδραση του οδηγού. Συνεπώς πρέπει να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός τεχνητός φωτισμός, έτσι ο οδηγός να είναι σε θέση να διακρίνει έγκαιρα τα τυχόν εμπόδια που θα εμφανιστούν στην πορεία του και θα έχει τον απαραίτητο χρόνο να αντιδράσει με σωστό και αποτελεσματικό τρόπο.[6],[8],[17],[23]

Γενικά υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι προσέγγισης για την σχεδίαση του φωτισμού ενός δρόμου:

- Η μέθοδος της έντασης φωτισμού και
- Η μέθοδος της λαμπρότητας

Η πρώτη μέθοδος η οποία είναι επικρατούσα στις ΗΠΑ, στηρίζεται στην υπόθεση ότι παρέχοντας ένα συγκεκριμένο επίπεδο έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα και κατάλληλη ομοιομορφία, μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική ορατότητα.

Η δεύτερη μέθοδος η οποία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ευρώπη, στηρίζεται στη υπόθεση ότι η ορατότητα συνδέεται με τη λαμπρότητα του οδοστρώματος και των αντικειμένων πάνω στο οδόστρωμα.

2.1 Μέθοδος της μέσης έντασης φωτισμού

Η σχεδίαση του φωτισμού δρόμου που στηρίζεται στην μέθοδο της έντασης φωτισμού στηρίζεται στην ποσότητα της φωτεινής ροής που φθάνει στο οδόστρωμα και στην ομοιομορφία του φωτισμού πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Κατά τη σχεδίαση του φωτισμού ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

- 1) Επιλογή της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον τύπο του δρόμου που πρόκειται να φωτιστεί.
- 2) Επιλογή της κατηγορίας τύπου της φωτεινής πηγής.
- 3) Επιλογή του μεγέθους της φωτεινής πηγής και του ύψους ανάρτησης.
- 4) Επιλογή του τύπου του φωτιστικού
- 5) Προσδιορισμός της διάταξης των φωτιστικών καθώς και της απόστασης μεταξύ τους.
- 6) Έλεγχος της επάρκειας της σχεδίασης

2.1.1 Υπολογισμοί

Ο υπολογισμός της μέσης οριζόντιας έντασης φωτισμού η οποία παράγεται από ένα σύστημα φωτισμού είναι κατ' ουσία μία επαναληπτική διαδικασία. Όπου :

$$E_{av} = \frac{\Phi_{\lambda} * CU * LLF}{S * W}$$

Φ_{λ} : αρχική φωτεινή ροή του λαμπτήρα

CU : συντελεστής χρησιμοποίησης

LLF : συντελεστής απωλειών φωτός ή συντελεστής συντήρησης

S : απόσταση των φωτιστικών

W : πλάτος δρόμου

2.1.2 Συντελεστής χρησιμοποίησης

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ροής που φθάνει στην επιφάνεια του δρόμου προς την αρχικώς παραγόμενη φωτεινή ροή του λαμπτήρα του φωτιστικού. Ο συντελεστής αυτός διαφέρει για κάθε τύπο φωτιστικού και εξαρτάται από το ύψος ανάρτησης, το πλάτος του δρόμου και την προεξοχή του φωτιστικού πάνω στο οδόστρωμα.

2.1.3 Επίπεδα έντασης φωτισμού

Η ένταση φωτισμού είναι το βασικό μέγεθος της ποσότητας του φωτός στο δρόμο. Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται προτεινόμενες τιμές εντάσεως φωτισμού για ποικίλες κλάσεις δρόμων και τύπους οδοστρώματος.

Ταξινόμηση δρόμου	Ταξινόμηση περιοχών	Μέση ένταση φωτισμού E_{av} (lx)	Ομοιομορφία E_{av}/E_{min}
Αρτηρίες (Δευτερεύουσες & Κύριες)	Εμπορική	12	3:1
	Ενδιάμεση	9	
	Αστική	6	
	Εμπορική	8	4:1
	Ενδιάμεση	6	
	Αστική	4	
Τοπικοί δρόμοι	Εμπορική	6	6:1
	Ενδιάμεση	5	
	Αστική	3	
Μικροί δρόμοι (σοκάκια)	Εμπορική	4	6:1
	Ενδιάμεση	3	
	Αστική	2	
Πεζοδρόμια (κράσπεδα)	Εμπορική	3	3:1
	Ενδιάμεση	6	4:1
	Αστική	2	6:1
Πεζοδρόμοι & λωρίδες ποδηλάτων		15	3:1

Πίνακας 2.1 Προτεινόμενες τιμές εντάσεως φωτισμού

Ταξινόμηση δρόμου	Ταξινόμηση περιοχών	Μέση ένταση φωτισμού E_{av} (lx)		
		Ταξινόμηση οδοστρωμάτων		
		R_1	R_2, R_3	R_4
Δρόμοι εκτός πόλεων	Εμπορική	6	9	8
	Ενδιάμεση	4	6	5
	Αστική	—	—	—
Κύριες αρτηρίες	Εμπορική	10	14	13
	Ενδιάμεση	8	12	10
	Αστική	6	9	8
Λεωφόροι μεγάλης κυκλοφορίας	Εμπορική	12	17	15
	Ενδιάμεση	9	13	11
	Αστική	6	9	8
Τοπική δρόμοι πόλεων	Εμπορική	6	9	8
	Ενδιάμεση	5	7	6
	Αστική	3	4	4

Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση οδοστρωμάτων

Ως γενικό λόγο ομοιομορφίας θεωρούμε τον λόγο $E_{av}/E_{min} < 3$.

Για τον έλεγχο της ομοιομορφίας υπολογίζεται ο λόγος της μέσης έντασης φωτισμού προς την ελάχιστη. Συνεπώς θα πρέπει να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή της έντασης φωτισμού κάτι που γίνεται είτε με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού είτε χρησιμοποιώντας τις καμπύλες ISOLUX του συγκεκριμένου φωτιστικού. Οι τιμές που προκύπτουν από το διάγραμμα ISOLUX είναι κανονικοποιημένες δηλαδή ισχύουν για νέο λαμπτήρα παραγόμενης φωτεινής ροής 1000lm και ύψος ανάρτησης 9m. Στην πράξη θα πρέπει να διορθωθούν με τη βοήθεια κατάλληλου πολλαπλασιαστικού διορθωτικού παράγοντα, ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\Delta\Pi = \frac{\Phi_{\lambda}}{1000} * \frac{9^2}{MH^2} * LLF$$

2.1.4 Συντελεστής απωλειών φωτός

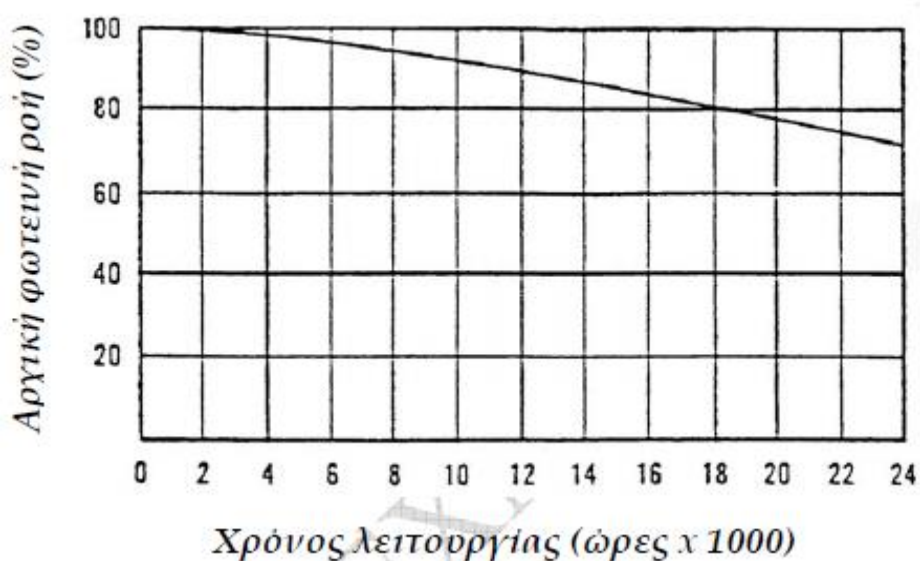
Ο συντελεστής απωλειών φωτός δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$LLF=LDD*LLD$$

Όπου

LLD : παράγοντας υποτιμήςεως φωτεινής ροής (Lamp Lumen Depreciation)

LDD : παράγοντας υποτιμήςεως λόγω ρύπων (Luminaire Dirt Depreciation)



Σχήμα 2.1 Μεταβολή παραγόμενης φωτεινής ροής λαμπτήρα εκφορτίσεως συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας του

Ο LLD δίνεται από τους κατασκευαστές λαμπτήρων και εξαρτάται από το είδος του λαμπτήρα. Μπορεί να ορίσθει ως το πηλίκο της ροής του λαμπτήρα στο 70% του χρόνου ζωής του προς την αρχικά παραγόμενη φωτεινή ροή του. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία από τον κατασκευαστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα του σχήματος 3.1 για την εκτίμηση του μεγέθους αυτού. Για τον υπολογισμό του LDD θα χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω πίνακας. Στο πίνακα αυτό λαμβάνεται υπόψιν η καθαρότητα του περιβάλλοντος αλλά και ο χρόνος (σε έτη) μεταξύ διαδοχικών καθαρισμών.

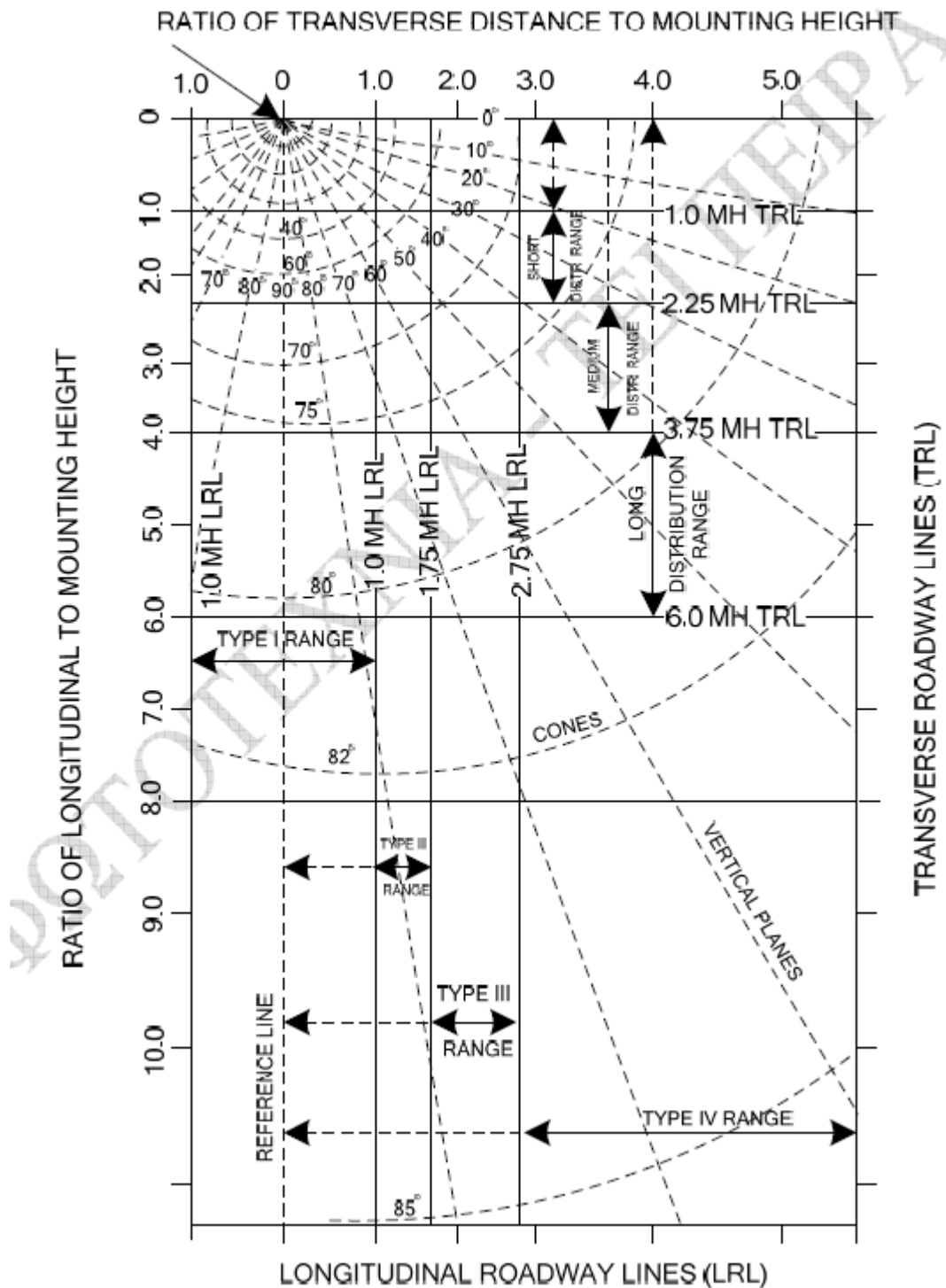
Περιβάλλον	Χρόνος μεταξύ καθαρισμών (έτη)		
	1	2	3
Πολύ καθαρό	0,98	0,94	0,93
Καθαρό	0,95	0,92	0,90
Μέτριο	0,92	0,87	0,84
Ακάθαρτο	0,87	0,81	0,75
Πολύ ακάθαρτο	0,72	0,63	0,57

Πίνακας 2.3 Χρόνος μεταξύ καθαρισμών (έτη).

2.1.5 Ταξινόμηση φωτιστικών δρόμων

Ένα φωτιστικό αποτελείται από μία πηγή φωτός, έναν ανακλαστήρα, και συνήθως ένα γυάλινο ή ένα πλαστικό φακό ή ένα διαθλαστικό φακό. Ο ρόλος του ανακλαστήρα και του διαθλαστικού φακού είναι να συλλέξει το φως από την πηγή, να το κατευθύνει προς το οδόστρωμα, και να το μορφοποιήσει με συγκεκριμένο τρόπο στο οδόστρωμα. Η κατάλληλη διαδρομή της φωτεινής ροής από το φωτιστικό είναι ένας από τους ουσιαστικούς παράγοντες που συμβάλει στο καλό φωτισμό οδοστρωμάτων. Οι φωτεινές διανομές των φωτιστικών ταξινομούνται σύμφωνα με μορφή της κατακόρυφης και της πλευρικής διανομής τους αλλά και με βάση τον έλεγχο φωτός στο άνω τμήμα της δέσμης τους. Προστασία έναντι θάμβωσης μπορεί να απαιτηθεί για να μειωθούν οι υπερβολικές εκπομπές φωτός προς τα παρακείμενα κτίρια ή περιοχές.

Για λόγους τυποποίησης οι φωτεινές διανομές έχουν ταξινομηθεί βάσει των εξής: 1) κατακόρυφη διανομή φωτός, 2) πλευρική διανομή φωτός και 3) έλεγχος διανομής άνω της μέγιστης φωτεινής ροής.



Σχήμα 2.2 Ταξινόμηση φωτιστικών με βάση την κατακόρυφη και πλευρική διανομή φωτός.

Η ταξινόμηση των φωτεινών διανομών γίνεται με τη βοήθεια ενός πλάνου του οδοστρώματος πάνω στον οποίο έχουν σχεδιαστεί μία σειρά γραμμών παράλληλων με το οδόστρωμα και μία άλλη σειρά εγκάρσια στο οδόστρωμα. Αυτές οι γραμμές οι οποίες χωρίζονται κατά διαστήματα σε πολλαπλάσια και τμήματα του ύψους

ανάρτησης (Mounting Height, MH), αναφέρονται ως διαμήκεις γραμμές οδοστρώματος (Longitudinal Roadway Lines LRL) και εγκάρσιες γραμμές οδοστρώματων (Transverse Roadway Lines TRL)

2.1.5.1 Κατακόρυφη διανομή φωτός

Οι κατακόρυφες φωτεινές διανομές διαιρούνται σε τρεις ομάδες : κοντή, μέση και μακριά. Η ταξινόμηση γίνεται βάση της απόστασης του φωτιστικού από τη θέση μέγιστης φωτεινής έντασης στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Οι ταξινομήσεις ορίζονται ως εξής:

- Κοντή διανομή : η δέσμη μέγιστης φωτεινής έντασης εντοπίζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος μεταξύ των 1.0 και 2.25 MH TRL από το φωτιστικό
- Μέση διανομή : η δέσμη μέγιστης φωτεινής έντασης εντοπίζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος μεταξύ των 2.25 και 3.75 MH TRL από το φωτιστικό.
- Μακριά διανομή : η δέσμη μέγιστης φωτεινής έντασης εντοπίζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος μεταξύ των 3.75 και 6.0 MH TRL από το φωτιστικό

Βάσει της κατακόρυφης φωτεινής διανομής , το θεωρητικό μέγιστο διάστημα μεταξύ των φωτιστικών είναι τέτοιο που οι δέσμες μέγιστης φωτεινής έντασης από τα παρακείμενα φωτιστικά να ενώνονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Με αυτή την υπόθεση , οι μέγιστες αποστάσεις μεταξύ των φωτιστικών

- 4.5 ύψη ανάρτησης (MH) για φωτιστικό κοντής διανομής.
- 7.5 ύψη ανάρτησης (MH) για φωτιστικό μέσης διανομής.
- 12.0 ύψη ανάρτησης (MH) για φωτιστικό μακριάς διανομής

Στην πράξη , η μέση διανομή είναι αυτή που κυρίως χρησιμοποιείται και η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών συνήθως δεν υπερβαίνει τα πέντε έως 6 MH. Τα φωτιστικά με κοντή διανομή δεν χρησιμοποιούνται εκτενώς για λόγους οικονομίας επειδή απαιτούνται ιδιαίτερα μικρές αποστάσεις. Από την άλλη πλευρά η μακριά διανομή δεν χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση επειδή οι δέσμες μέγιστης φωτεινής έντασης σε υψηλές γωνίες δημιουργούν συχνά προβλήματα θάμβωσης.

2.1.5.2 Πλευρική διανομή φωτός

Έχουν καθιερωθεί μία σειρά πλευρικών διανομών φωτός οι οποίες είναι γνωστές ως Τύποι I,II,III,IV και V.

Ο Τύπος I είναι μίας διπλής κατεύθυνσης πλευρική διανομή η οποία χαρακτηρίζεται από ένα πλευρικό εύρος 15° στον κώνο μέγιστης φωτεινής έντασης . Οι δύο κύριες συγκεντρώσεις φωτός εντοπίζονται σε αντίθετες κατευθύνσεις κατά μήκος του οδοστρώματος . Αυτός ο τύπος εφαρμόζεται στην περίπτωση που τα φωτιστικά τοποθετούνται κοντά στο μέσο ενός οδοστρώματος, όπου το ύψος ανάρτησης είναι περίπου ίσο με το πλάτος του οδοστρώματος.

Ο Τύπος I τεσσάρων- δρόμων είναι μία διανομή που έχει τέσσερις κύριες συγκεντρώσεις στις πλευρικές γωνίες περίπου των 90° η μία σε σχέση με την άλλη. Αυτή η διανομή εφαρμόζεται στη περίπτωση που τα φωτιστικά βρίσκονται πάνω ή κοντά στο κέντρο διασταύρωσης 90° .

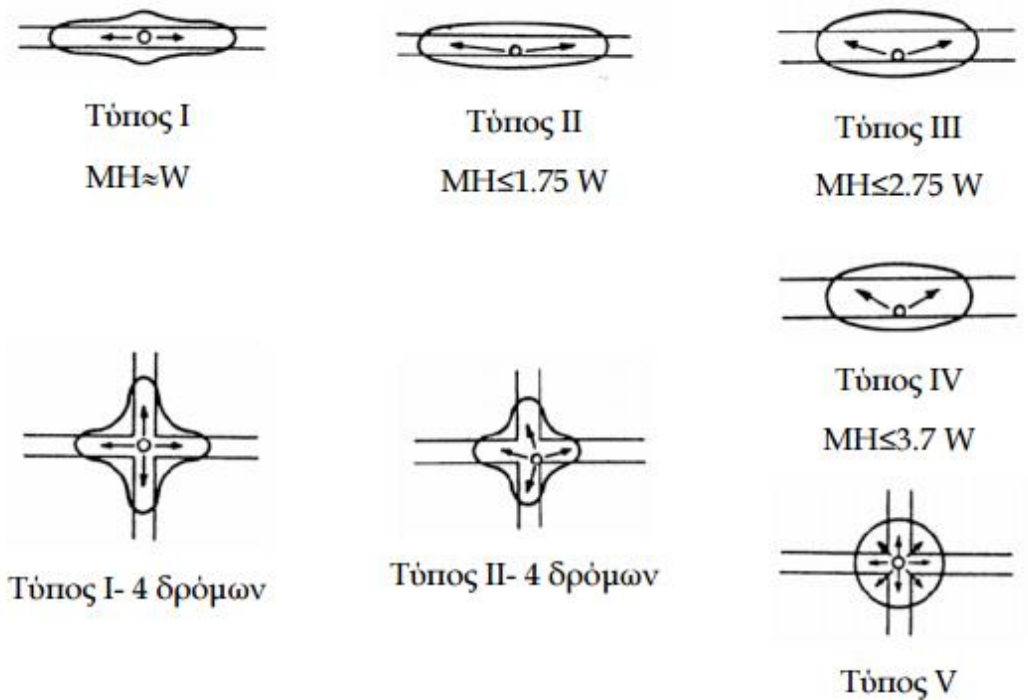
Ο Τύπος II χαρακτηρίζεται από πλευρικό εύρος 25° .Γενικά χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου τα φωτιστικά βρίσκονται κοντά ή στην πλευρά σχετικά στενού οδοστρώματος, όπου το πλάτος του δεν υπερβαίνει 1.75 το ύψος της ανάρτησης.

Ο Τύπος II τεσσάρων-δρόμων είναι μία διαδρομή που έχει τέσσερις κύριες συγκεντρώσεις στις πλευρικές γωνίες, κάθε μία πλάτους 25° . Αυτή η διαδρομή χρησιμοποιείται στην περίπτωση φωτιστικών που βρίσκονται κοντά σε μία ορθή γωνία της διασταύρωσης.

Ο Τύπος III φωτεινής διανομής έχει πλευρικό πλάτος 40° . Αυτή η διανομή προορίζεται για φωτιστικά που τοποθετούνται κοντά ή στην πλευρά των οδοστρώματων μέσου πλάτους, όπου το πλάτος του οδοστρώματος δεν υπερβαίνει 2.75 το ύψος ανάρτησης.

Ο Τύπος IV φωτεινής διανομής έχει πλευρικό πλάτος 60° . Αυτή η διανομή προορίζεται για πλευρική τοποθέτηση και χρησιμοποιείται γενικά στα πλατιά οδοστρώματα , όπου το πλάτος τους δεν υπερβαίνει 3.7 το ύψος ανάρτησης.

Ο Τύπος V φωτεινής διανομής εμφανίζει κυκλική συμμετρία στην φωτεινή ένταση, η οποία είναι ουσιαστικά ίδια σε όλες τις πλευρικές γωνίες. Αυτός ο τύπος προορίζεται για φωτιστικά που τοποθετούνται κοντά ή στο κέντρο των οδοστρωμάτων, σε κεντρικές νησίδες χώρων στάθμευσης, και σε διασταυρώσεις.



Σχήμα 2.3 Κατηγοριοποίηση των φωτιστικών σωμάτων δρόμων με βάση την πλευρική διανομή φωτός

2.1.5.3 Έλεγχος διανομής άνω της μέγιστης φωτεινής ροής.

Η φυσιολογική και η ψυχολογική θάμβωση είναι κατά ένα μεγάλο μέρος αποτέλεσμα της εκπομπής φωτός προς τον οφθαλμό του οδηγού. Για σχεδιαστικούς λόγους, είναι απαραίτητο τα φωτιστικά να ταξινομούνται σύμφωνα με την θάμβωση που προκαλούν. Έτσι, τα φωτιστικά διακρίνονται σε αντιθαμβωτικά, ημι-θαμβωτικά και θαμβωτικά.

Αντιθαμβωτικά: Ένα φωτιστικό χαρακτηρίζεται ως αντιθαμβωτικό όταν η φωτεινή ένταση του δεν υπερβαίνει τις 25cd/1000lm σε μια γωνία 900 πάνω από το ναδίρ του φωτιστικού (ένας κατακόρυφος άξονας δια μέσω της πηγής φωτός), και 100cd/1000lm σε μια γωνία 800 πάνω από το ναδίρ του φωτιστικού.

Ημι-θαμβωτικά: Ένα φωτιστικό χαρακτηρίζεται ως ημι-θαμβωτικό όταν η φωτεινή ένταση του δεν υπερβαίνει τις 50cd/1000lm σε μια γωνία 900 πάνω από το ναδίρ του φωτιστικού (ένας κατακόρυφος άξονας δια μέσω της πηγής φωτός), και 200cd/1000lm σε μια γωνία 800 πάνω από το ναδίρ του φωτιστικού.

Θαμβωτικό: Ένα φωτιστικό χαρακτηρίζεται ως θαμβωτικό όταν δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην φωτεινή ένταση του στην ζώνη πάνω από την μέγιστη φωτεινή ένταση.

Στην πράξη τα ημι-θαμβωτικά φωτιστικά είναι αυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται. Με αυτά μπορεί να επιτευχθεί επαρκής έλεγχος της θάμβωσης χωρίς σημαντικά να περιοριστεί η απόσταση μεταξύ των ιστών των φωτιστικών.

2.1.6 Επιλογή ύψους ανάρτησης

Η απόσταση που ο λαμπτήρας τοποθετείται πάνω από το οδόστρωμα θα επηρεάσει την ένταση φωτισμού, την ομοιομορφία του φωτισμού, την περιοχή που καλύπτεται, και την σχετική θάμβωση της μονάδας. Οι μονάδες (φωτιστικά) που τοποθετούνται ψηλά θα παράσχουν μεγαλύτερη κάλυψη, περισσότερη ομοιομορφία, και μείωση της θάμβωσης, αλλά όμως θα οδηγήσουν σε χαμηλότερο επίπεδο έντασης φωτισμού. Επομένως, είναι απαραίτητο να σταθμιστούν τα αποτελέσματα από την χρήση μεγαλύτερων λαμπτήρων συγκριτικά με την περίπτωση της χρήσης ενός μεγαλύτερου αριθμού μικρότερων μονάδων τοποθετημένων σε μικρότερα ύψη ανάρτησης τα οποία θα οδηγήσουν πιθανότατα σε μεγαλύτερη θάμβωση. Το ύψος των φωτιστικών πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος ποικίλλει από 4,5m έως 30m. Ο συμβατικός φωτισμός οδοστρώματος χρησιμοποιεί ύψη ανάρτησης από 7,5m έως 15m. Τα χαμηλότερα ύψη ανάρτησης απαιτούν τη χρήση αντιθαμβωτικών και ημι-θαμβωτικών φωτιστικών για να ελαχιστοποιηθεί η θάμβωση.

2.1.7 Απόσταση φωτιστικών

Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών καθορίζεται συχνά από τη θέση των ιστών, των κατευθύνσεων οδήγησης, των ορίων ιδιοκτησίας, το μήκος των οικοδομικών τετραγώνων, ή της μορφολογίας μιας περιοχής. Είναι γενικά πιο οικονομικό να χρησιμοποιηθούν λαμπτήρες υψηλής φωτεινής ροής (lumens), σε λογικές αποστάσεις και ύψη ανάρτησης από ότι να χρησιμοποιηθούν λαμπτήρες χαμηλότερης φωτεινής ροής σε μικρότερα διαστήματα με χαμηλότερα ύψη ανάρτησης.

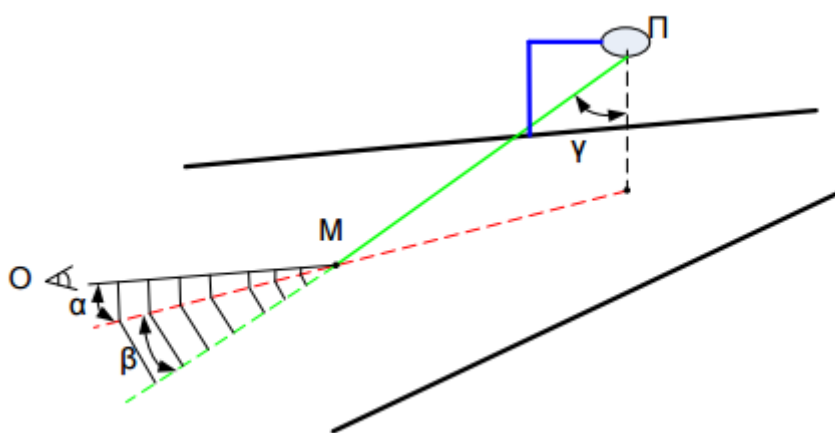
Στο σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού, η μεγιστοποίηση του διαστήματος μεταξύ των φωτιστικών η οποία οδηγεί στην κατάλληλη ένταση φωτισμού, πρέπει να ακολουθείται. Από τη σκοπιά της οικονομίας και της ασφάλειας, ο ελάχιστος αριθμός φωτιστικών και ιστών θα πρέπει να χρησιμοποιείται, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τα κριτήρια ποσότητας και ποιότητας του φωτισμού.

2.2 Μέθοδος της λαμπρότητας

Για έναν παρατηρητή, η ορατότητα του οδοστρώματος δεν καθορίζεται από την ένταση φωτισμού του, αλλά από την λαμπρότητα του. Το μέγεθος αυτό εξαρτάται από την ένταση φωτισμού, από την κατεύθυνση παρατηρήσεως, από το χρώμα και την ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος και από το εάν αυτό είναι υγρό.

- Ένα νέο και μη λείο οδόστρωμα διαχέει ομοιόμορφα το φως.
- Ένα οδόστρωμα λείο διαχέει το φως αλλά όχι ομοιόμορφα.
- Τέλος σε ένα πολύ υγρό οδόστρωμα γίνεται σχεδόν κατοπτρική ανάκλαση του φωτός και επομένως η λαμπρότητά του εξαρτάται πολύ περισσότερο από την λαμπρότητα της πηγής από ότι από την ένταση φωτισμού στο συγκεκριμένο σημείο.

Γενικά: η λαμπρότητα σε ένα σημείο του οδοστρώματος εξαρτάται από την ποιότητα της επιφάνειας του καθώς και από τις κατευθύνσεις παρατηρήσεως και προσπτώσεως του φωτός.



Σχημα 2.4 Ο ορισμός του προβλήματος

Θεωρούμε σημείο M πάνω στο οδόστρωμα το οποίο φωτίζεται από την πηγή Π και το βλέπει ο οδηγός O με λαμπρότητα L_M (Σχήμα 6). Η L_M είναι ανάλογη της εντάσεως φωτισμού E_M στο σημείο M και αυτή η αναλογία εκφράζεται με την παρακάτω εξίσωση:

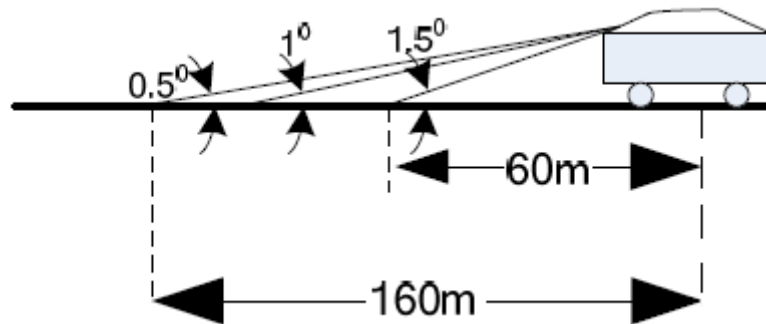
$$L_M = q * E_M$$

Ο συντελεστής q εξαρτάται από τις γωνίες α , β , και γ όπου:

γ : η γωνία προσπτώσεως του φωτός

α : η γωνία παρατηρήσεως από το οριζόντιο επίπεδο (που μετράται στο κατακόρυφο επίπεδο)

β : η γωνία μεταξύ των δύο κατακόρυφων επιπέδων (προσπτώσεως και παρατηρήσεως)

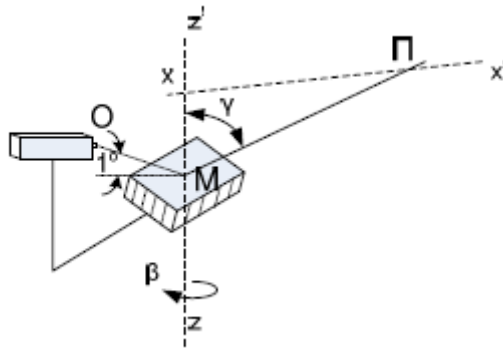


Σχήμα 2.5

Ο οδηγός (Σχήμα 2.5) παρατηρεί το τμήμα του δρόμου που βρίσκεται σε απόσταση 60 έως 160m μπροστά από το αυτοκίνητο του σε ύψος από 1m έως 2m. Υπό αυτές τις συνθήκες η γωνία παρατηρήσεως είναι: $0.5^\circ \leq \alpha \leq 1.5^\circ$

Μεταξύ των δύο γωνιών (0.5° και 1.5°) στην πράξη ο συντελεστής q είναι ανεξάρτητος της γωνίας παρατηρήσεως, που μπορεί, επομένως, να θεωρηθεί σταθερή και ίση με 1° .

Ο συντελεστής q μπορεί να μετρηθεί στο εργαστήριο με την διάταξη που φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 2.6 Διάταξη μέτρησης συντελεστή q

Το δείγμα περιστρέφεται με το στήριγμα του γύρω από τον κατακόρυφο άξονα zz' . Ο μετρητής λαμπρότητας (συνδεδεμένος με το στήριγμα του δείγματος) σκοπεύει το δείγμα υπό σταθερή γωνία 1α . Η σημειακή πηγή Π μετατοπίζεται σε σιδηροτροχιά, που είναι στερεωμένη στη οροφή. Η στροφή του δείγματος και του μετρητή λαμπρότητας επιτρέπει την μεταβολή της γωνίας β ενώ η μετατόπιση της πηγής την μεταβολή της γωνίας γ .

Η μέτρηση των L και E επιτρέπει τον υπολογισμό του q . Στην πράξη αποφεύγουμε να παραστήσουμε το q συναρτήσει των β και γ , γιατί για τιμές της γ που πλησιάζουν τις 90° , η ένταση φωτισμού είναι μικρή και ο λόγος q προσδιορίζεται με μικρή ακρίβεια.

2.3. Κριτήρια φωτισμού κατά CIE

Ο οδικός φωτισμός πρέπει να παρέχει ασφάλεια και άνεση σε κάθε χρήστη του δρόμου. Ο οδηγός πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσει το σχεδιάγραμμα και τη μορφή του δρόμου και να μπορεί να δει και να αναγνωρίσει έγκαιρα και με ακρίβεια όλες τις προειδοποιητικές πινακίδες αλλά και τυχόν εμπόδια που θα εμφανιστούν. Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (CIE) καθόρισε ποιοτικά κριτήρια για τη ορθή μελέτη του φωτισμού ενός δρόμου, τα οποία είναι :

- η μέση λαμπρότητα
- η ομοιομορφία λαμπρότητας
- ο περιορισμός της θάμβωσης
- ο φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου
- η οπτική καθοδήγηση

2.3.1 Μέση λαμπρότητα

Το επίπεδο λαμπρότητας που περιγράφεται από τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου καθορίζει ως ένα μεγάλο βαθμό την ευκολία προσαρμογής του οφθαλμού του χρήστη. Επομένως, το μέγεθος αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ικανότητα του οδηγού να δει με άνεση το δρόμο και να κινηθεί σε αυτόν με ασφάλεια.

2.3.2 Ομοιομορφία λαμπρότητας

Η ομοιομορφία λαμπρότητας βρίσκεται σε άμεση σχέση τόσο με την ασφαλή κυκλοφορία στο δρόμο όσο και με τις συνθήκες άνεσης που παρέχονται στους οδηγούς, αφού σε περίπτωση απουσίας ενός ομοιόμορφου φωτισμού θα εμφανιζόταν κίνδυνοι όπως:

- Σκοτεινά σημεία στο οδόστρωμα στα οποία μπορεί να υπάρχουν εμπόδια
- Η επανάληψη φωτεινών και σκοτεινών περιοχών (κατάσταση γνωστή ως δέρμα της λεοπάρδαλης) προκαλεί συνεχές εναλλαγές στην προσαρμογή του οφθαλμού του οδηγού με αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαδιών κόπωσης του οδηγού.

Με σκοπό τον έλεγχο της ομοιομορφίας λαμπρότητας δρόμου χρησιμοποιούνται τρεις επιμέρους συντελεστές:

1. Ο γενικός συντελεστής ομοιομορφίας, ο οποίος ορίζεται ως :

$$U_0 = L_{min}/L_{av}$$

Όπου

L_{min} : η ελάχιστη λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας

L_{av} : μέση λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας

2. Ο συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας U_I , ο οποίος ορίζεται ως :

$$U_I = \min(L_{min}/L_{max})$$

Όπου

L_{min} : η ελάχιστη λαμπρότητα σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

L_{max} : η μέγιστη λαμπρότητα σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

3. Ο συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας U_V , ο οποίος ορίζεται ως :

$$U_V = \min(L_{min}/L_{max})$$

Όπου

L_{min} : η ελάχιστη λαμπρότητα σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

L_{max} : η μέγιστη λαμπρότητα σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

2.3.3 Θάμβωση

Η θάμβωση μπορεί να πάρει δύο μορφές, οι οποίες κάποιες φορές συμβαίνουν ξεχωριστά και κάποιες άλλες ταυτόχρονα. Η πρώτη μορφή είναι γνωστή ως φυσιολογική θάμβωση (disability glare) και η οποία έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη οπτική εκτέλεση πράξεων και οπτική ικανότητα. Η δεύτερη μορφή είναι γνωστή ως ψυχολογική θάμβωση (discomfort glare) η οποία δημιουργεί αίσθημα δυσφορίας αλλά δεν μειώνει την οπτική ικανότητα απαραίτητως. Ανεξάρτητα από την μορφή της, η θάμβωση μπορεί να είναι άμεση ή ανακλώμενη. Η άμεση θάμβωση μπορεί να προκληθεί από ένα « ιδιαιτέρως φωτεινό » φωτιστικό το οποίο θα βρεθεί εντός του οπτικού πεδίου ενός παρατηρητή.

Η θάμβωση εμφανίζεται συχνά σε εξωτερικούς χώρους και κυρίως με την μορφή της φυσιολογικής θάμβωσης περισσότερο από ότι με την μορφή της ψυχολογικής

θάμβωσης. Ωστόσο, σε εξωτερικούς χώρους εργασίας η ψυχολογική θάμβωση μπορεί να εμφανιστεί σε ανθρώπους που εργάζονται εκεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

2.3.3.1 Μέθοδοι υπολογισμού θάμβωσης

Για την εκτίμηση της θάμβωσης στην περίπτωση φωτισμού δρόμου χρησιμοποιούνται κυρίως η μέθοδος της « αύξησης κατωφλίου » (Threshold Increment, TI) και του Glare Control Mark (GCM), οι οποίες δεν θεωρούνται δόκιμες προς εφαρμογή στις περιπτώσεις φωτισμού περιοχών (π.χ. ανοικτά γήπεδα). Ο λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιούνται είναι ότι η κατεύθυνση θέασης του παρατηρητή είναι μεταβλητή και όχι σταθερή. Επιπροσθέτως, οι φωτεινές πηγές συνήθως δεν τοποθετούνται με τακτικό, συγκεκριμένο και γραμμικό τρόπο, ενώ τα ύψη ανάρτησης και οι εντάσεις φωτισμού απέχουν σημαντικά από τα αντίστοιχα μεγέθη που εμφανίζονται στον φωτισμό δρόμου.

Το σύστημα αξιολόγησης της θάμβωσης (Glare Rating, GR) βασίζεται στην υπόθεση ότι οι διευθύνσεις θέασης είναι συνήθως κάτω από το επίπεδο του οφθαλμού. Είναι μάλλον προφανές και καθολικά αποδεκτό ότι η θάμβωση του παρατηρητή που θα κοιτάζει απ' ευθείας τα φωτιστικά είναι ισχυρή και μη ανεκτή. Συνεπώς, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται τα μέγιστα δυνατά ύψη και ο λόγος της απόστασης προς το ύψος ιστού δε θα πρέπει να ξεπερνά το 5:1. Επίσης, ο μηχανικός φωτισμού πρέπει να προσέξει ιδιαίτερα την σκόπευση και την τοποθέτηση των φωτιστικών σε σχέση με τις κύριες κατευθύνσεις θέασης. Τα προηγούμενα είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε περιοχές όπως αποβάθρες εμπορευματοκιβωτίων και χώρους αποθήκευσης, όπου πεζοί και μέσα μεταφοράς μοιράζονται μια κοινή διαδρομή κυκλοφορίας.

2.3.3.2 Το σύστημα αξιολόγησης θάμβωσης (Glare Rating).

Το σύστημα αυτό περιγράφεται στο έγγραφο της CIE No.112. Στο σύστημα αυτό η κλίμακα του GR παίρνει τιμές από 10 έως 90, οι οποίες έχουν την παρακάτω αντιστοίχιση.

Περιγραφή Θάμβωσης	GR
Μη ανεκτή	90
	80
Ενοχλητική	70
	60
Οριακά αποδεκτή	50
	40
Παρατηρήσιμη	30
	20
Μη παρατηρήσιμη	10

Πίνακας 2.4 Περιγραφή θάμβωσης

Η παραπάνω κλίμακα δεν καθορίζει όρια περιορισμού της θάμβωσης αλλά προσφέρει ένα τρόπο σύγκρισης εκτιμήσεων θάμβωσης.

Στον επόμενο πίνακα προτεινόμενων ορίων του μεγέθους GR τα παρουσιαζόμενα όρια θα πρέπει να θεωρούνται ως μέγιστες (max) τιμές και όχι μέσες (average).

Για σημαντικές ή δύσκολες οπτικές εργασίες σε έναν εξωτερικό χώρο προτείνεται η max τιμή του GR που θα χρησιμοποιηθεί να είναι 5 μονάδες χαμηλότερα από αυτές που παρουσιάζονται στον πίνακα.

2.3.3.3 Προτεινόμενα όρια θάμβωσης

Εφαρμογή φωτισμού	Παράγοντας ρίσκου	GR max
Ασφάλεια και προστασία	Χαμηλό ρίσκο	55
	Μεσαίο ρίσκο	50
	Υψηλό ρίσκο	45
Κίνηση και ασφάλεια	Μόνο πεζοί	55
	Κίνηση χαμηλής ταχύτητας	50
	Κίνηση φυσιολογικής ταχύτητας	45
Εργασία	Πολύ σκληρή	55
	Μέτρια σκληρή	50
	Κανονική	45

Πίνακας 2.5 Προτεινόμενα όρια θάμβωσης

2.3.3.4 Glare Control Mark (GCM) and Threshold Increment (TI)

Οι GCM και TI παράμετροι χρησιμοποιούνται σε σταθερές εγκαταστάσεις φωτισμού δρόμου για την ποσοτικοποίηση της θάμβωσης. Η GCM (G) είναι μέθοδος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ψυχολογικής θάμβωσης (discomfort glare), ενώ η Threshold Increment (TI) είναι μέθοδος για τον υπολογισμό της φυσιολογικής θάμβωσης (disability glare).

2.3.3.5 Glare Control Mark (GCM)

Η κλίμακα του Glare Control Mark χρησιμοποιεί την ίδια περιγραφή με το σύστημα αξιολόγησης θάμβωσης (GR) δίνοντας τιμές με την ανάποδη σειρά.

G=1	Μη ανεκτή θάμβωση
G=3	Ενοχλητική θάμβωση
G=5	Οριακά ανεκτή θάμβωση
G=7	Ικανοποιητική θάμβωση
G=9	Μη παρατηρήσιμη θάμβωση

Πίνακας 2.6 Κλίμακα του GCM

Η μέθοδος υπολογισμού του G περιγράφεται πλήρως στην δημοσίευση της CIE No31-1976 “Glare and Uniformity in Road Lighting Installations”. Το μοντέλο GCM χρησιμοποιεί τις φωτεινές εντάσεις του φωτιστικού προς τον χρήστη (σε υψηλές γωνίες ως προς την κατακόρυφο) και τον αριθμό των φωτιστικών ανά χιλιόμετρο για τον υπολογισμό της φαινόμενης θάμβωσης. Παρακάτω δίνεται η σχέση υπολογισμού του G :

$$G=13,84-3,31*\log I_{80}+1,3\left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0.5}-0,008*\log I_{80}I_{88}+1,29\log F+0,97\log L_b+4,41\log h'-1,45\log p$$

όπου

I_{80} : η φωτεινή ένταση του φωτιστικού στις 80° κατακόρυφα

I_{88} : η φωτεινή ένταση του φωτιστικού στις 88° κατακόρυφα

F : η φωτεινή επιφάνεια του φωτιστικού όπως αυτή φαίνεται από τις 80° κατακόρυφα

L_b : η λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου

h' : προσαρμοσμένο ύψος φωτιστικού (κατακόρυφη απόσταση μεταξύ οφθαλμών και φωτιστικού)

p : ο αριθμός φωτιστικών / km

Η σχέση υπολογισμού του G μπορεί να εφαρμοστεί σε ευθύγραμμα τμήματα δρόμου στα οποία τα φωτιστικά είναι ομοιόμορφα τοποθετημένα

2.3.3.6 Αύξηση κατωφλίου, *Threshold Increment (TI)*.

Η « αύξηση κατωφλίου » (*Threshold Increment, TI*) αποτελεί μια άλλη μέθοδο έκφρασης της επίδρασης της θάμβωσης. Γενικά μιλώντας, οι τιμές του TI θα πρέπει να συνδεθούν με την ασφάλεια στο δρόμο. Ενώ η σχέση μεταξύ TI και ασφάλειας δρόμου είναι άγνωστη, υπάρχει μια γνωστή σχέση μεταξύ της ικανότητας οπτικής εκτέλεσης και της ασφάλειας δρόμου.

Ένα αντικείμενο το οποίο είναι οριακά ορατό (στο κατώφλι της ορατότητας) όταν δεν υπάρχει φυσιολογική θάμβωση (disability glare), θα πάψει να είναι ορατό (θα ενσωματωθεί στο περιβάλλον) όταν θα εμφανιστεί φυσιολογική θάμβωση.

Το ποσοστό στο οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα περιβάλλοντος για να γίνει ξανά ορατό το αντικείμενο είναι γνωστό ως « αύξηση κατωφλίου », (Threshold Increment, TI).

Η τιμή του TI εξαρτάται από:

- την διανομή του φωτός από το φωτιστικό μεταξύ 70° και 90° στο κατακόρυφο επίπεδο
- την λαμπρότητα του δρόμου
- την διάταξη των φωτιστικών
- το ύψος ανάρτησης
- την θέση του παρατηρητή

Η τιμή του TI δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$TI=65\frac{L_v}{L_{av}^{0,8}} \quad / \quad TI=0,625\frac{L_v}{L_{av}^{0,862}}$$

όπου,

L_v : ισοδύναμη λαμπρότητα “πέπλου” (Veiling luminance) σε cd/m^2 για

ένα παρατηρητή ο οποίος βλέπει σε ευθεία παράλληλη προς τον

διαμήκη άξονα του δρόμου και 1° κάτω από το οριζόντιο επίπεδο.

L_{av} : η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου (cd/m^2)

Η λαμπρότητα L_v υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$L_v=k*\frac{E_{gl}}{\theta n}$$

όπου

k : παράγοντας ο οποίος εξαρτάται από την ηλικία του παρατηρητή. Για παρατηρητή 25 ετών $k=9,2$

E_{gl} : η ένταση φωτισμού στο επίπεδο του οφθαλμού του παρατηρητή προερχόμενη από την πηγή θάμβωσης

θ : η γωνία μεταξύ της γραμμής θέασης του παρατηρητή και της πηγής που προκαλεί θάμβωση

n : σταθερά η οποία εξαρτάται από την γωνία θ

$$n=2,3-0,07\log\theta \quad \text{για } 0,2^\circ < \theta \leq 2^\circ$$

$$n=2 \quad \text{για } \theta > 2^\circ$$

Η σταθερά k βρέθηκε πειραματικά ότι ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$K=9,05\left[1+\left(\frac{\text{Ηλικία(έτη)}}{66,4}\right)^4\right]$$

Τιμές της τάξης του 10-20% για το μέγεθος TI θεωρούνται γενικά αποδεκτές.

2.3.4 Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου

Για να φωτίζουμε αποτελεσματικά ένα δρόμο θα πρέπει να εξασφαλίσουμε ικανοποιητικό φωτισμό και για τον περιβάλλοντα χώρο. Ο σωστός φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου ελέγχεται προδιαγράφοντας το λόγο της μέσης λαμπρότητας σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων (ή μικρότερες αν δεν επιτρέπει ο χώρος) δίπλα στην άκρη του οδοστρώματος προς τη μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων πάνω στο οδόστρωμα.

$$SR = \frac{L_{street}}{L_{backg}}$$

όπου

L_{street} : η μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων (ή μικρότερες αν δεν επιτρέπει ο χώρος) δίπλα στην άκρη του οδοστρώματος.

L_{backg} : η μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων πάνω στο οδόστρωμα.

Με τη χρήση της αναλογίας αυτής γίνεται ορθός και ο φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου του δρόμου, με σκοπό τα ψηλά αντικείμενα που βρίσκονται στο χώρο αυτό να γίνονται ορατά από τους οδηγούς.

2.3.5 Οπτική καθοδήγηση

Η οπτική καθοδήγηση είναι ένα σημαντικό ποιοτικό κριτήριο στον φωτισμό ενός δρόμου γιατί σχετίζεται άμεσα με την οδική ασφάλεια. Η καλή οπτική καθοδήγηση επιτυγχάνεται όταν η διάταξη των φωτιστικών σωμάτων δίνει μια σαφή και μη παραπλανητική ένδειξη της πορείας του δρόμου. Γενικά είναι δύσκολο να δοθεί κάποιος κανόνας βασισμένος σε τεχνικά μεγέθη για το σχεδιασμό του φωτισμού ενός δρόμου, ο οποίος θα παρέχει σωστή οπτική καθοδήγηση. Η χρήση προοπτικών σχεδίων σε κατάλληλη κλίμακα μπορεί να αποκαλύψει πιθανά προβλήματα. Είναι κοινά αποδεκτό ότι η κακή οπτική καθοδήγηση σε ένα δρόμο μπορεί να αποβεί επικίνδυνη.

2.4 Κατηγορίες Φωτισμού

Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (*Commission Internationale De L'Eclairage, CIE*) αλλά και η ευρωπαϊκή ένωση με την νόρμα CEN13201 έχουν διακρίνει τους δρόμους σε κλάσεις ανάλογα με την χρήση τους.[8],[12]

2.4.1 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου κατά CIE

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω η διεθνής Επιτροπή Φωτισμού έχει διακρίνει τους δρόμους σε κλάσεις ανάλογα με τη χρήση τους και οι οποίες φαίνονται στον πίνακα :

Η πολυπλοκότητα της μορφής του δρόμου αναφέρεται στην υποδομή, στην επιτρεπόμενη κίνηση κυκλοφορίας και στον ορατό από το δρόμο περιβάλλοντα χώρο. Οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

- ο αριθμός των λωρίδων, η κλίση του δρόμου
- τα σήματα και η σηματοδότηση
- οι ράμπες εισόδου και εξόδου

Ο έλεγχος της κυκλοφορίας αναφέρεται στην ύπαρξη σήμανσης και σηματοδότησης και στην ύπαρξη γενικότερα κανόνων. Μέθοδοι ελέγχου είναι τα φανάρια, οι κανόνες προτεραιότητας, η σήμανση και η διαγράμμιση. Όπου τα παραπάνω είναι παρόντα ο έλεγχος της κυκλοφορίας θεωρείται καλός ενώ αν αυτά παρουσιάζουν ή είναι αραιά θεωρείται φτωχός. Ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει είτε με συγκεκριμένη διαγράμμιση είτε με την απαγόρευση της χρήσης της οδού από συγκεκριμένους τύπους χρηστών. Όταν υπάρχει αυτός ο διαχωρισμός η οδός μπορεί να υποβιβαστεί σε χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού. Όταν μιλάμε για διαφορετικούς τύπους χρηστών αναφερόμαστε πχ σε αυτοκίνητα, φορτηγά, οχήματα χαμηλής ταχύτητας, λεωφορεία, ποδηλάτες και πεζούς.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές ομάδες (σετ) κατηγοριών (κλάσεων) φωτισμού στην δημοσίευση της CIE 115:200X από την οποία τα κατάλληλα κριτήρια ποιότητας ή απαιτήσεις φωτισμού μπορούν να επιλεγθούν:

- **M-κλάσεις** φωτισμού για μηχανοκίνητη κυκλοφορία (motorized traffic)
- **C-κλάσεις** φωτισμού για αμφισβητούμενες περιοχές (conflict areas)
- **P-κλάσεις** φωτισμού για πεζούς και κυκλοφορία χαμηλής ταχύτητας (pedestrian and low speed traffic areas)

Οι παράγοντες που εν γένη επηρεάζουν τις προδιαγραφές φωτισμού που πρέπει να τηρηθούν σε ένα δρόμο είναι:

- Η ταχύτητα των χρηστών που χρησιμοποιούν τον δρόμο
- Η γεωμετρία του δρόμου όπως: ο διαχωρισμός των οδοστρωμάτων, ο τύπος των κόμβων, η πυκνότητα των διασταυρώσεων, οι αμφισβητούμενες περιοχές.
- Κυκλοφοριακή χρήση: κίνηση οχημάτων, δικύκλων, πεζών, σταθμευμένων οχημάτων, πιθανότητα εγκληματικών πράξεων, δυνατότητα αναγνώρισης προσώπων και δυσκολία οπτικής καθοδήγησης.
- Επιδράσεις του περιβάλλοντος: πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου, λαμπρότητα περιβάλλοντος, τύπος καιρού, χρωματική απόδοση.
- Οπτική καθοδήγηση και έλεγχος κυκλοφορίας.

2.4.2 M- κλάσεις φωτισμού

Η επιλογή της M-κλάσης μπορεί να γίνει με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα:

Παράμετρος	Επιλογές	Συντελεστής βαρύτητας	Επιλεγμένος συντελεστής βαρύτητας
Ταχύτητα	Υψηλή	1	
	Μέτρια	0	
Όγκος κίνησης-κυκλοφορίας	Πολύ υψηλός	1	
	Υψηλός	0,5	
	Μέτριος	0	
	Χαμηλός	-0,5	
	Πολύ χαμηλός	-1	
Σύνθεση κίνησης-κυκλοφορίας	Ανάμικτη, κυρίως μη μηχανοκίνητη	1	
	Ανάμικτη	0,5	
	Μόνο μηχανοκίνητη	0	
Διαχωρισμός οδοστρωμάτων	Όχι	1	
	Ναι	0	
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	
	Μέτρια	0	
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα	1	
	Μη παρόντα	0	
Λαμπρότητα περιβάλλοντος	Πολύ υψηλή	1	
	Υψηλή	0,5	
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-0,5	
	Πολύ χαμηλή	-1	
Οπτική καθοδήγηση, έλεγχος κυκλοφορίας	Φτωχή	0,5	
	Καλή	0	
	Πολύ καλή	-0,5	
		Άθροισμα συντελεστών βαρύτητας	ΑΣΒ

Πίνακας 2.7 Επιλογή M-κλάσης

Στο πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε μια κλάση αυτής της ομάδας.

Κλάση φωτισμού	Ξηρό			Υγρό	ΤΙ(%)	SR
	L_{av} cd/m ²	U_0	U_I	U_0		
M1	2.0	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M2	1.5	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M3	1.0	0.40	0.60	0.15	10	0.5
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.5
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.5

Πίνακας 2.8 Προδιαγραφές της M-κλάσης

2.4.3 Αμφισβητούμενες περιοχές

Οι αμφισβητούμενες περιοχές εμφανίζονται όποτε ρεύματα κυκλοφορίας οχημάτων κόβουν το ένα το άλλο ή συναντούν περιοχές που εμφανίζονται συχνά πεζοί, ποδηλάτες, ή άλλοι χρήστες δρόμων, ή όταν ο υπάρχων δρόμος συνδέεται με έναν ανοικτό χώρο με γεωμετρία κατώτερη των προτύπων όπως: μειωμένος αριθμός λωρίδων ή λωρίδες ή δρόμος μειωμένου πλάτους.

Για τις αμφισβητούμενες περιοχές, η λαμπρότητα είναι το συνιστώμενο μέγεθος σχεδίασης. Εντούτοις, όπου οι αποστάσεις θέασης είναι μικρές και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση της λαμπρότητας, η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μέρος της αμφισβητούμενης περιοχής, ή ολόκληρης της περιοχής εάν τα κριτήρια λαμπρότητας δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Η επιλογή της C-κλάσης μπορεί να γίνει με την βοήθεια του πίνακα 2.9.

Παράμετρος	Επιλογές	Συντελεστής βαρύτητας	Επιλεγμένος συντελεστής βαρύτητας
Ταχύτητα	Υψηλή	2	
	Μέτρια	1	
	Χαμηλή	0	
Όγκος κίνησης-κυκλοφορίας	Πολύ υψηλός	1	
	Υψηλός	0,5	
	Μέτριος	0	
	Χαμηλός	-0,5	
	Πολύ χαμηλός	-1	
Σύνθεση κίνησης-κυκλοφορίας	Ανάμικτη, κυρίως μη μηχανοκίνητη	1	
	Ανάμικτη	0,5	
	Μόνο μηχανοκίνητη	0	
Διαχωρισμός οδοστρωμάτων	Όχι	1	
	Ναι	0	
Λαμπρότητα περιβάλλοντος	Πολύ υψηλή	1	
	Υψηλή	0,5	
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-0,5	
	Πολύ χαμηλή	-1	
Οπτική καθοδήγηση, έλεγχος κυκλοφορίας	Φτωχή	0,5	
	Καλή	0	
	Πολύ καλή	-0,5	
		Άθροισμα συντελεστών βαρύτητας	ΑΣΒ

Πίνακας 2.9 Πίνακας C-κλάσης

Στο πίνακα 2.10 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε μια κλάση αυτής της ομάδας.

Κλάση φωτισμού	Μέση ένταση φωτισμού σε όλη την επιφάνεια (lx)	Ομοιομορφία έντασης φωτισμού U_0	Κατώφλι αύξησης TI(%)	
			Υψηλή και μέτρια ταχύτητα	χαμηλή και πολύ χαμηλή ταχύτητα
C0	50	0.40	10	15
C1	30	0.40	10	15
C2	20	0.40	10	20
C3	15	0.40	15	20
C4	10	0.40	15	25
C5	7.5	0.40	20	25

Πίνακας 2.10 Προδιαγραφές της C-κλάσης

2.4.4. P- Κλάσεις φωτισμού

Η επιλογή της P-κλάσης μπορεί να γίνει με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα:

Παράμετρος	Επιλογές	Συντελεστής βαρύτητας	Επιλεγμένος συντελεστής βαρύτητας
Ταχύτητα	Χαμηλή	1	
	Πολύ χαμηλή	0	
Όγκος κίνησης-κυκλοφορίας	Πολύ υψηλός	1	
	Υψηλός	0,5	
	Μέτριος	0	
	Χαμηλός	-0,5	
	Πολύ χαμηλός	-1	
Σύνθεση κίνησης-κυκλοφορίας	Πεζοί, δίκυκλα και μηχανοκίνητη κυκλοφορία	1	
	Πεζοί, και μηχανοκίνητη κυκλοφορία	0,5	
	Πεζοί και δίκυκλα	0	
	Δίκυκλα μόνο	-0,5	
	Πεζοί μόνο	1	
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα	0,5	
	Μη παρόντα	0	
Λαμπρότητα περιβάλλοντος	Πολύ υψηλή	1	
	Υψηλή	0,5	
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-0,5	
	Πολύ χαμηλή	-1	
Αναγνώριση προσώπου	Απαραίτητη	Επιπρόσθετες απαιτήσεις	
	Μη απαραίτητη	Χωρίς επιπρόσθετες απαιτήσεις	
		Άθροισμα συντελεστών βαρύτητας	ΑΣΒ

Πίνακας 2.11 Επιλογή P-κλάσης

Στο πίνακα 2.12 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε μια κλάση αυτής της ομάδας.

Κλάση φωτισμού	Μέση οριζόντια ένταση φωτισμού (lx)	Ελάχιστη οριζόντια ένταση φωτισμού $E_{h,min}(lx)$	Κατώφλι αύξησης TI(%)	Εάν η αναγνώριση προσώπου είναι απαραίτητη	
				Ελάχιστη κατακόρυφη ένταση φωτισμού $E_{v,min}(lx)$	Ελάχιστη ημικυλινδρική ένταση φωτισμού $E_{sc,min}(lx)$
P1	15	3,0	20	5,0	3,0
P2	10	2,0	25	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	25	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	30	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	30	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	35	0,6	0,4

Πίνακας 2.12 Προδιαγραφές P-κλάσης

Με σκοπό την επίτευξη ομοιομορφίας η πραγματική τιμή της διατηρούμενης μέσης έντασης φωτισμού δεν πρέπει να ξεπεράσει 1.5 φορές την τιμή που ενδείκνυται για την συγκεκριμένη κλάση 2.

2.4.5 Κατηγορίες οδοστρώματος

Με σκοπό την διευκόλυνση του υπολογισμού όλων των φωτομετρικών μεγεθών κατά τη μελέτη φωτισμού ενός δρόμου η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού καθόρισε ένα σύστημα ταξινόμησης της επιφάνειας του οδοστρώματος ανάλογα με το τρόπο που αυτό ανακλά τις προσπίπτουσες φωτεινές ακτινοβολίες. Έτσι γίνεται εφικτός ο υπολογισμός της λαμπρότητας, της ομοιομορφίας λαμπρότητας και της θάμβωσης για όλες τις στεγνές επιφάνειες του οδοστρώματος.

Το συνιστώμενο σύστημα διακρίνει την επιφάνεια του δρόμου ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή *SI* όπως αυτός ορίζεται σε σχετικές δημοσιεύσεις της CIE. Η ταξινόμηση αυτή παρουσιάζεται στον πίνακα 13 και είναι σχετικά καινούρια. Στην πράξη χρησιμοποιείται ακόμα το σύστημα κατάταξης στεγνών οδοστρωμάτων

R το οποίο και αυτό χρησιμοποιεί για τη διάκριση των δρόμων την τιμή του *S1*, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.13.

Κατηγορία	Πίνακας προτύπων τιμών	Όρια <i>S1</i>	Συνήθης τιμές <i>S1</i>	Κανονικοποιημένες τιμές <i>Qo</i>
CI	C1	$\leq 0,4$	0,24	0,10
CII	C2	$> 0,4$	0,97	0,07

Πίνακας 2.13 : Ταξινόμηση ανάκακλασης επιφάνειας οδοστρώματος

Κατηγορία	Πίνακας προτύπων τιμών	Όρια <i>S1</i>	Συνήθης τιμές <i>S1</i>	Κανονικοποιημένες τιμές <i>Qo</i>	Είδος ανάκλασης
RI	R1	$< 0,42$	0,25	0,10	Διάχυτη
RII	R2	$0,42 \leq S1 < 0,85$	0,58	0,07	Ελαφρώς διάχυτη
RIII	R3	$0,85 \leq S1 < 1,35$	1,11	0,07	Ελαφρώς κανονική
RIV	R4	$\geq 1,35$	1,55	0,08	Κανονική

Πίνακας 2.14: Νέα Ταξινόμηση ανάκακλασης επιφάνειας οδοστρώματος

Για την περιγραφή των κλάσεων R1-R4 πιο αναλυτικά έχουμε:

Κλάση R1: Οδόστρωμα από μπετόν, οδόστρωμα από άσφαλο της οποίας τα συστατικά περιέχουν κατ' ελάχιστο 15% τεχνητές ουσίες στιλπνότητας (brighteners).

Κλάση R2 : Οδόστρωμα από άσφαλο της οποίας τα συστατικά περιέχουν κατ' ελάχιστο 60% χαλίκι (μέγεθος άνω των 10mm), οδόστρωμα από άσφαλο της οποίας τα συστατικά περιέχουν 10-15% τεχνητές ουσίες στιλπνότητας (brighteners).

Κλάση R3: Οδόστρωμα από άσφαλο, η οποία αποτελείται από σκούρα συστατικά, σκληρή σύνθεση μετά από κάποιους μήνες χρήσης.

Κλάση R4: Οδόστρωμα από άσφαλο με πολύ μαλακή σύνθεση.

2.4.6 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου κατά CEN13201

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή φόρμα CEN13201 διακρίνονται οι εξής ομάδες κλάσεων φωτισμού δρόμων: ME, CE και S

_ Οι **ME**-κατηγορίες αφορούν σε δρόμους στους οποίους κινούνται οδηγοί μηχανοκίνητων οχημάτων, και σε μερικές χώρες σε δρόμους κατοικημένων περιοχών, που επιτρέπουν μέσες έως υψηλές ταχύτητες οδήγησης.

_ Οι **CE**-κατηγορίες αφορούν σε δρόμους στους οποίους κινούνται οδηγοί μηχανοκίνητων οχημάτων, αλλά και σε αμφισβητούμενες περιοχές όπως: οδοί αγορών, οδικές διασταυρώσεις κάποιας πολυπλοκότητας, διασταυρώσεις κυκλικής κυκλοφορίας και περιοχές αναμονής. Αυτές οι κατηγορίες ισχύουν επίσης για πεζούς και ποδηλάτες.

_ Οι **S**-κατηγορίες αφορούν σε δρόμους στους οποίους κινούνται πεζοί και ποδηλάτες σε μονοπάτια και πλατείες, σε λωρίδες έκτακτης ανάγκης και άλλες οδικές περιοχές που βρίσκονται χωριστά ή κατά μήκος του οδοστρώματος μιας διαδρομής κυκλοφορίας, σε κατοικημένους δρόμους, σε πεζόδρομους, σε περιοχές χώρων στάθμευσης, αυλές σχολείων, κ.λ.π

Απαιτήσεις για τις ΜΕ-κλάσεις φωτισμού:

Class	Λαμπρότητα δρόμου σε συνθήκες ξηρής επιφάνειας οδοστρώματος			Φυσιολογική θάμβωση (Disability glare)	Φωτισμός περιβάλλοντος (Lighting of surroundings)
	L in cd/m^2 [ελάχιστη διατηρούμενη]	U0 [minimum]	U1 [minimum]	TI in % (a)	SR (b)
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b	1.0	0.4	0.6	15	0.5
ME3c	1.0	0.4	0.5	15	0.5
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b	0.75	0.4	0.5	15	0.5
ME5	0.5	0.35	0.5	15	0,5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	Καμία απαίτηση

Πίνακας 2.15 : ΜΕ-κλάσεις φωτισμού

(a) Μια αύξηση 5% στο TI μπορεί να επιτραπεί εκεί όπου πηγές φωτός χαμηλής λαμπρότητας χρησιμοποιούνται.

(b) Αυτό το κριτήριο μπορεί να εφαρμοστεί εκεί όπου δεν υπάρχουν περιοχές κυκλοφορίας με τις δικές τους απαιτήσεις.

Απαιτήσεις για τις MEW-κλάσεις φωτισμού:

Class	Λαμπρότητα δρόμου σε συνθήκες ξηρής και υγρής επιφάνειας οδοστρώματος				Φυσιολογική θάμβωση (Disability glare)	Φωτισμός περιβάλλοντος (Lighting of surroundings)
	Ξηρές συνθήκες			Υγρές συνθήκες	TI in % (b)	SR (c)
	L in cd/m^2 [ελάχιστη διατηρούμενη]	U_0 [Ελάχιστη]	U_1 (a) [Ελάχιστη]	U_0 [Ελάχιστη]		
MEW1	2.0	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW2	1.5	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW3	1.0	0.4	0.6	0.15	15	0.5
MEW4	0.75	0.4	καμία απαίτηση	0.15	15	0.5
MEW5	0.5	0.35	καμία απαίτηση	0.15	15	0.5

Πίνακας 2.16: MEW- κλάσεις φωτισμού

(a) Η εφαρμογή αυτού του κριτηρίου είναι προαιρετική, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί στους αυτοκινητόδρομους.

(b) Μια αύξηση 5% στο TI μπορεί να επιτραπεί εκεί όπου πηγές φωτός χαμηλής λαμπρότητας χρησιμοποιούνται.

(c) Αυτό το κριτήριο μπορεί να εφαρμοστεί εκεί όπου δεν υπάρχουν περιοχές κυκλοφορίας με τις δικές τους απαιτήσεις.

Απαιτήσεις για τις S-κλάσεις φωτισμού:

κλάση	Οριζόντια ένταση φωτισμού	
	E in lx (a) [ελάχιστη διατηρούμενη]	E _{min} in lx [διατηρούμενη]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1
S5	3	0.6
S6	2	0.6
S7	Δεν έχει καθοριστεί	Δεν έχει καθοριστεί

Πίνακας 2.17 : S-κλάσεις φωτισμού

Για να επιτευχθεί η ομοιομορφία, η πραγματική τιμή της διατηρούμενης μέσης έντασης φωτισμού δεν μπορεί να υπερβεί 1.5 φορές την ελάχιστη συνιστώμενη τιμή του E .

Απαιτήσεις για τις CE-κλάσεις φωτισμού:

κλάση	Οριζόντια ένταση φωτισμού	
	E in lx [ελάχιστη διατηρούμενη]	U_0 [Ελάχιστη]
CE0	50	0.4
CE1	30	0.4
CE2	20	0.4
CE3	15	0.4
CE4	10	0.4
CE5	7.5	0.4

Πίνακας 2.18 : CE – κλάσεις φωτισμού

Για την εύρεση της κλάσης φωτισμού που θα πρέπει να επιλεγεί σε μια συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να συμβουλευτούμε την νόρμα CEN13201.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

3.1 Αναζήτηση μετρήσεων στο πρόγραμμα Copernicus

Σκοπός της μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, απομονωμένου από το δημόσιο δίκτυο με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε ένα συσσωρευτή προκειμένου να καλυφθούν μικρές ανάγκες ισχύος. Το συγκεκριμένο σύστημα θα μπορεί να τροφοδοτεί ένα ιστό φωτισμού για το παραλιακό δρόμο της Ιτέας το οποίο θα μετατραπεί σε φωτιστικό τύπου LED . Άρα, για την οποιαδήποτε διαστασιολόγηση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που πρέπει να δημιουργήσουμε είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Οι εμπειρικοί τύποι για τον υπολογισμό της απολαβής από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες, βασίζονται στη ονομαστική ισχύ που δίνεται από τον κατασκευαστή και την μέση ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας της εξεταζόμενης περιοχής, που εξάγονται από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus.[10] Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Copernicus, όπου οι μετρήσεις που λάβαμε, ήταν ανά δεκαπέντε λεπτά της ώρας για εικοσιτέσσερις ώρες ανά ημέρα. Ακόμη πιο συγκεκριμένα, για την άμεση , τη διάχυτη και την συνολική ηλιακή ακτινοβολία για όλο το ημερολογιακό έτος του 2015.[2],[3]

3.2 Δημιουργία χρονοσειρών

Σε αρκετές εφαρμογές είναι χρήσιμο να δημιουργούμε χρονικές σειρές, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες για τη διακύμανση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, αυτό είναι απαραίτητο σε περιπτώσεις που ερευνούμε μεταβατικά φαινόμενα σκίασης σε ένα συλλέκτη, ή όταν υπολογίζουμε το μέγιστο βαθμό εκφόρτισης των συσσωρευτών ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα δεδομένα που χρειάζονται να εισαχθούν στο σύστημα υπολογισμού του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι οι συνιστώσες της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας.[2],[9]

Η πρώτη εκτίμηση της ενέργειας που παρέχει ένας ηλιακός συλλέκτης σε δεδομένο χρονικό διάστημα (π.χ. ενός μήνα), προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τις μέσες τιμές της ακτινοβολίας επί την απόδοση μετατροπής του ηλιακού συλλέκτη. Αυτό παρέχει τη μέση παραγόμενη ενέργεια για το διάστημα του ενός μήνα. Όμως, στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με τη μηνιαία προσέγγιση τιμών, αγνοούνται οι περιστασιακές επιδράσεις της χαμηλής ακτινοβολίας, οι οποίες μπορούν να εντοπιστούν μόνο όταν η ακτινοβολία υπολογίζεται σε ωριαίους μέσους όρους ή και μικρότερους. Ο υπολογισμός της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας που αναλογεί σε δεδομένο χρονικό διάστημα, μπορεί να υπολογιστεί με συγκεκριμένη μεθοδολογία και χρήση δοκιμασμένων μοντέλων.

3.2.1 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται πολλά όργανα και αισθητήρες με διαφορετικά επίπεδα ακριβείας. Τα περισσότερα από αυτά εμπεριέχουν αισθητήρες που αντιδρούν στη μεταβολή της θερμοκρασίας, η οποία επάγεται από την πρόσπτωση της ακτινοβολίας βασίζοντας την λειτουργία τους σε διεργασίες καταγραφής της ροής θερμότητας, όπως συμβαίνει με τα θερμοστοιχεία στους αισθητήρες ροής θερμότητας (thermopiles). Το τυπικό όργανο μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο βασίζει τη λειτουργία του στο παραπάνω τρόπο ανίχνευσης και χρησιμοποιείται ευρέως, είναι το πυρανόμετρο.

Το πυρανόμετρο, μετρά τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία G_{Global} , που δέχεται ένας τόπος, δηλαδή συνεκτιμά το συνδυασμό της άμεσης G_{BEAM} και της διάχυτης G_{DIFF}

συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας. Το διαφορικό πυρανόμετρο είναι ελαφρώς διαφορετικό από το απλό πυρανόμετρο. Περιλαμβάνει μία θερμοηλεκτρική στήλη στην οποία η διαφορά της θερμότητας που παράγει μία μαύρη επιφάνεια (η οποία απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας) από μία λευκή επιφάνεια (που ανακλά το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας) , δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα σε mV. Τυπικά, τα πυρανόμετρα τοποθετούνται σε οριζόντιο προσανατολισμό, παρέχοντας μέγιστη απόκριση όταν ο Ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ του τόπου, και μηδενική απόκριση όταν ο Ήλιος βρίσκεται λίγο κάτω από το οριζόντιο επίπεδο (αυγή- σούρουπο). Η Ιδιότητα αυτή χαρακτηρίζεται ως απόκριση συνημιτόνου. Τα πυρανόμετρα που διαθέτουν αισθητήρες οι οποίοι καταγράφουν τη ροή θερμότητας ,προδιαγράφονται από το πρότυπο ISO-9060 (και βαθμονομούνται σύμφωνα με το πρότυπο ISO-9847) . Να αναφέρουμε, εδώ, ότι έχουν υιοθετηθεί και από τον παγκόσμιο οργανισμό μετεωρολογίας (WMO).

Για τις μετρήσεις μας χρησιμοποιήσαμε από την υπηρεσία παρακολούθησης της ατμόσφαιρας (CAMS) το πρόγραμμα Copernicus, το οποία παρέχει χρονοσειρές παγκόσμιων, άμεσων και διάχυτων ακτινοβολιών σε οριζόντια επιφάνεια,

Από το πρόγραμμα Copernicus, έγινε επιλογή της χρονοσειράς ενός συγκεκριμένου έτους, το οποίο θεωρείται και κανονικό ημερολογιακό έτος. Το έτος αυτό ορίζεται ως 2015 και το θεωρούμε ως βάση για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας, μαζί με την διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Άρα, έχουμε λάβει μετρήσεις κάθε 15 λεπτά της ώρας, οι οποίες μας έχουν αποσταλεί σε μορφή EXCEL.Για μεγαλύτερη ακρίβεια ζητήθηκε η χρονοσειρά καταγραφών από 1η Ιανουαρίου έως 31 Δεκεμβρίου του 2015. Ως βήμα, επιλέχθηκαν τα 15 λεπτά της ώρας για μεγαλύτερη αξιοπιστία των μέσων ημερήσιων τιμών.

3.3 Υπολογισμός της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένη τοποθεσία και κλίση συλλέκτη.

Λόγω των επιδράσεων της ατμόσφαιρας και της μεταβλητότητας της διάχυτης συνιστώσας, είναι γενικά πολύ δύσκολο να προβλέψουμε τη μέση ηλιακή ακτινοβολία σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία για δεδομένο χρονικό διάστημα. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να καταλήξουν σε μαθηματικούς τύπους για την πρόβλεψη της μέσης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου -για ορισμένη ημέρα και διάστημα μίας ώρας ανά ημέρα - και ακολούθως να επεκτείνουν τις προβλέψεις για διαστήματα μηνός ανά έτους. Προς τούτο υπολογίζονται θεωρητικά οι τιμές της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα, μόλις πάνω από την ατμόσφαιρα της Γης. Αυτά τα αποτελέσματα συνδυάζονται με μετεωρολογικά δεδομένα που παρέχονται από μακροχρόνιες καταγραφές μεγεθών παρακείμενων περιοχών του ηλιακού συλλέκτη.[13] Δηλαδή, όταν θέλουμε να προβλέψουμε με αξιόπιστο τρόπο τη μέση ηλιακή ακτινοβολία σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, θα πρέπει αρχικά να καταγράψουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής. Ακολούθως, από τη στιγμή που θα γίνουν γνωστά τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης τοποθεσίας, όλοι οι τύποι που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ακτινοβολίας πρέπει να τροποποιηθούν κατάλληλα.

Τέλος, αφού υπολογιστούν τα προβλεπόμενα μεγέθη της συνολικής, της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο του εδάφους, θα πρέπει να προσαρμοστούν οι τιμές τους για το κεκλιμένο επίπεδο της επιφάνειας του συλλέκτη (γωνία α ως προς το οριζόντιο έδαφος).

Ένας προσεγγιστικός υπολογισμός της μέσης (ωριαίας, ημερήσιας, μηνιαίας, ετήσιας) ηλιακής ακτινοβολίας σε μία τοποθεσία, μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητικά, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση τιμή άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα στο εξεταζόμενο γεωγραφικό πλάτος. Οι τιμές αυτές συνεκτιμώνται με το μακροχρόνιο αρχείο δεδομένων κι έπειτα χρησιμοποιούνται μοντέλα, προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη διόρθωση λόγω της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας. [2],[3],[24]

3.3.1 Η ημερήσια μέση τιμή των συνιστωσών της ακτινοβολίας G_{DIFF} , G_{BEAM} , σε κεκλιμένο συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

Στην περίπτωση κατά την οποία η αζιμούθια γωνία ενός κεκλιμένου συλλέκτη συμπίπτει ακριβώς με το Νότο, η ημερήσια μέση τιμή της άμεσης ακτινοβολίας που δέχεται το επίπεδο του κεκλιμένου συλλέκτη, $G_{BEAM,i,day}$, μπορεί να υπολογιστεί από την άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο έδαφος, $G_{BEAM,h,day}$, χρησιμοποιώντας το συντελεστή μετατροπής της άμεσης ακτινοβολίας, R_{BEAM} , όπως αρχικά προτάθηκε από τους Liu και Jordan [Liu and Jordan, (1977)], [2],[3],[4],[5] με τις γωνίες να υπολογίζονται σε ακτίνια:

$$R_{BEAM} = \frac{\cos(\varphi - \alpha) \cdot \cos\delta \cdot \sin(\omega_0) + \omega_0 \cdot \sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta}$$

Όπου

- ❖ $\omega_0 = \min\{\omega_s, \omega_s'\}$ και
- ❖ $\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan\varphi)$
- ❖ $\omega_s' = \cos^{-1}[-\tan\delta \cdot \tan(\varphi - \alpha)]$

Στην περίπτωση αυτή,

$$G_{BEAM,i} = G_{BEAM,h} \cdot \frac{\cos(\varphi - \alpha) \cdot \cos\delta \cdot \sin(\omega_0) + \omega_0 \cdot \sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_0 + \omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta}$$

Όπου

R_{BEAM} : συντελεστής για την αναγωγή της άμεσης ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο επικλινές επίπεδο $R_{BEAM} = G_{BEAM,i,day} / G_{BEAM,h,day}$

$G_{BEAM,i,day}$: η μέση τιμή της ημερήσιας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας [Wh/m^2] που προσπίπτει στη $\Gamma\eta$, σε επικλινές επίπεδο εμβαδού $1 m^2$.

$G_{BEAM,h,day}$: η μέση ημερήσια τιμή της άμεσης ακτινοβολίας [Wh/m^2] που προσπίπτει στη $\Gamma\eta$, σε οριζόντιο επίπεδο εμβαδού $1 m^2$.

Αναφέρεται ότι όταν η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη γίνεται $\theta \neq 0$ τότε ο συλλέκτης δεν θα είναι ακριβώς προσανατολισμένος στο Νότο , οπότε ο αντίστοιχος συντελεστής αναγωγής , R_{BEAM} , παρέχεται από τη μαθηματική μορφή που έχει προταθεί από τον Klein [Klein,(1977)] και συνιστά μια σχετικά πολύπλοκη εξίσωση.

Στη συνέχεια, θεωρώντας τη διάχυση ως ισοτροπική , υπολογίζεται η μέση ημερήσια τιμή της διάχυτης συνιστώσας της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα επικλινή συλλέκτη , ως εξής

$$G_{DIFF,i,day} = \frac{1}{2} * G_{DIFF,h,day} * (1 + \cos\alpha)$$

Όπου

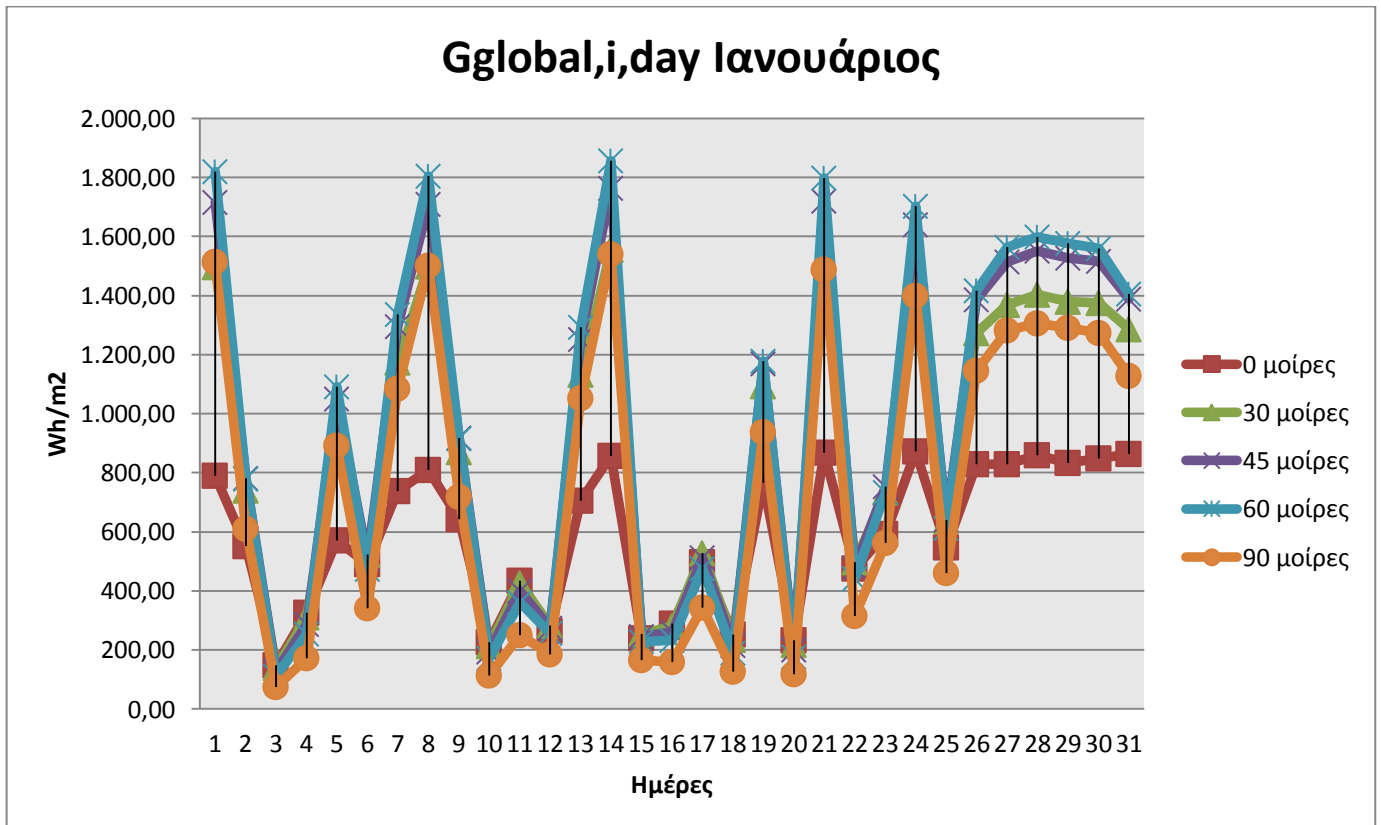
$G_{DIFF,i,day}$: η μέση τιμή της διάχυτης ακτινοβολίας [Wh/m^2] στο δεδομένο χρονικό διάστημα (ημέρα, μήνας ,ώρα) σε κεκλιμένο επίπεδο , εμβαδού $1 m^2$.

$G_{DIFF,i,day}$: η μέση τιμή της διάχυτης ακτινοβολίας [Wh/m^2] στο δεδομένο χρονικό διάστημα (ημέρα, μήνας ,ώρα) σε κεκλιμένο επίπεδο , εμβαδού $1 m^2$.

α : η γωνία κλίσης του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο του εδάφους.

3.3.2 Εύρεση βέλτιστης κλίσης τοποθέτησης του φωτοβολταϊκού πάνελ.

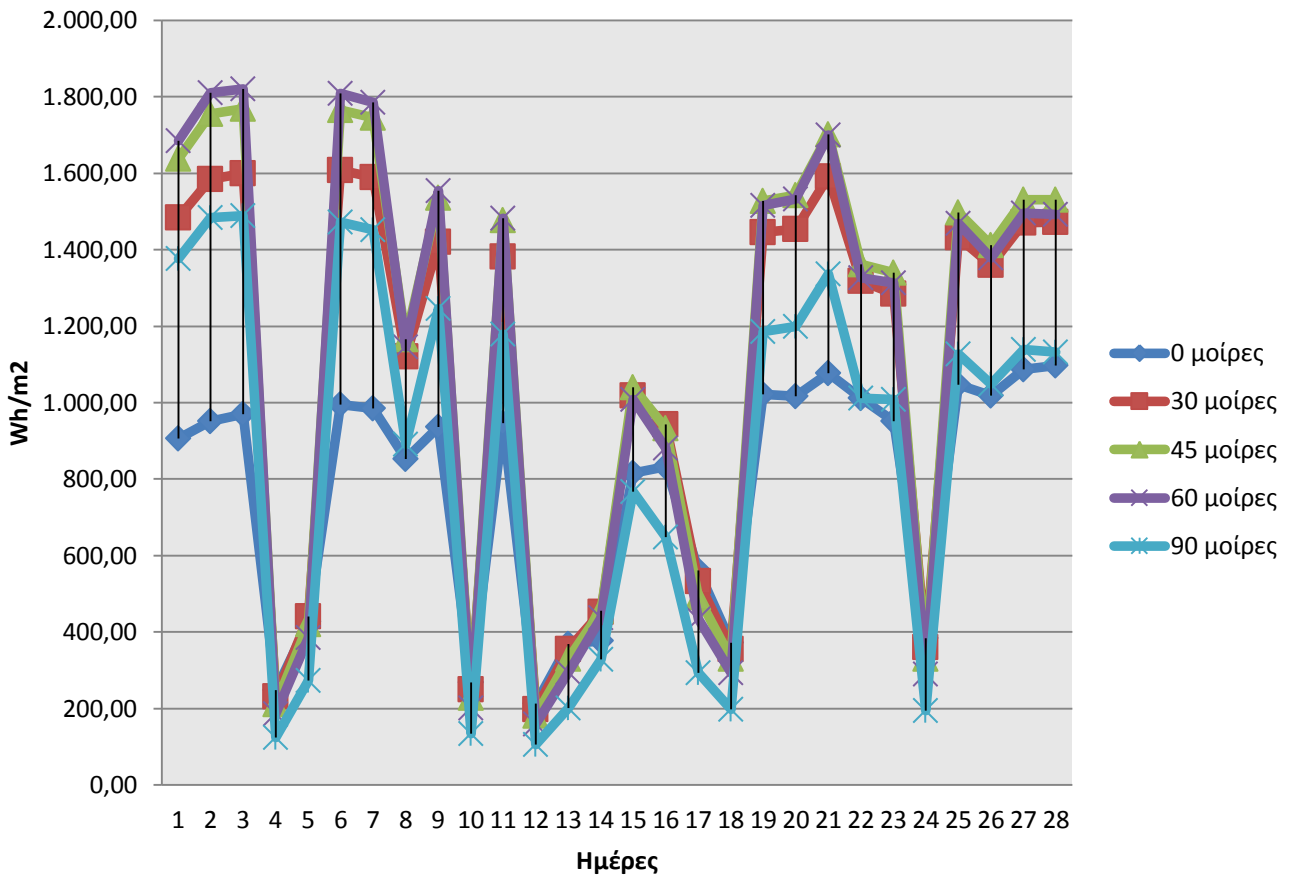
Σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις μας χρησιμοποιώντας το EXCEL για την εύρεση της ηλιακής ακτινοβολίας στις 30°,45°,60°,90°. Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις διάφορες γωνίες για όλους τους μήνες για να βρεθεί η βέλτιστη κλίση που θα τοποθετηθεί το φωτοβολταϊκό πάνελ.



Διάγραμμα 3.1 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Ιανουάριο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 60°. Και έπειτα στις 45° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 60° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

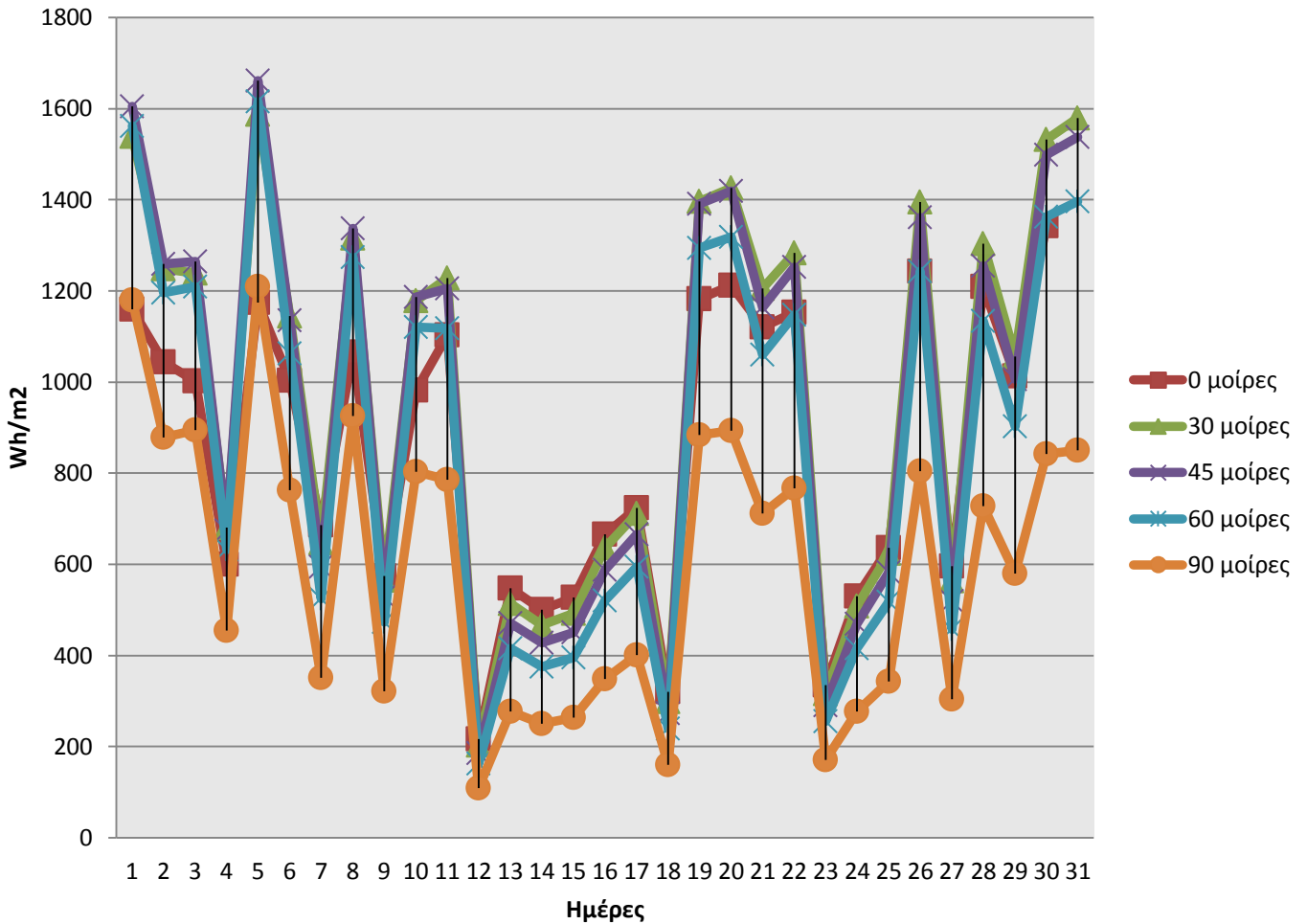
Gglobal,i,day Φεβρουάριος



Διάγραμμα 3.2 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

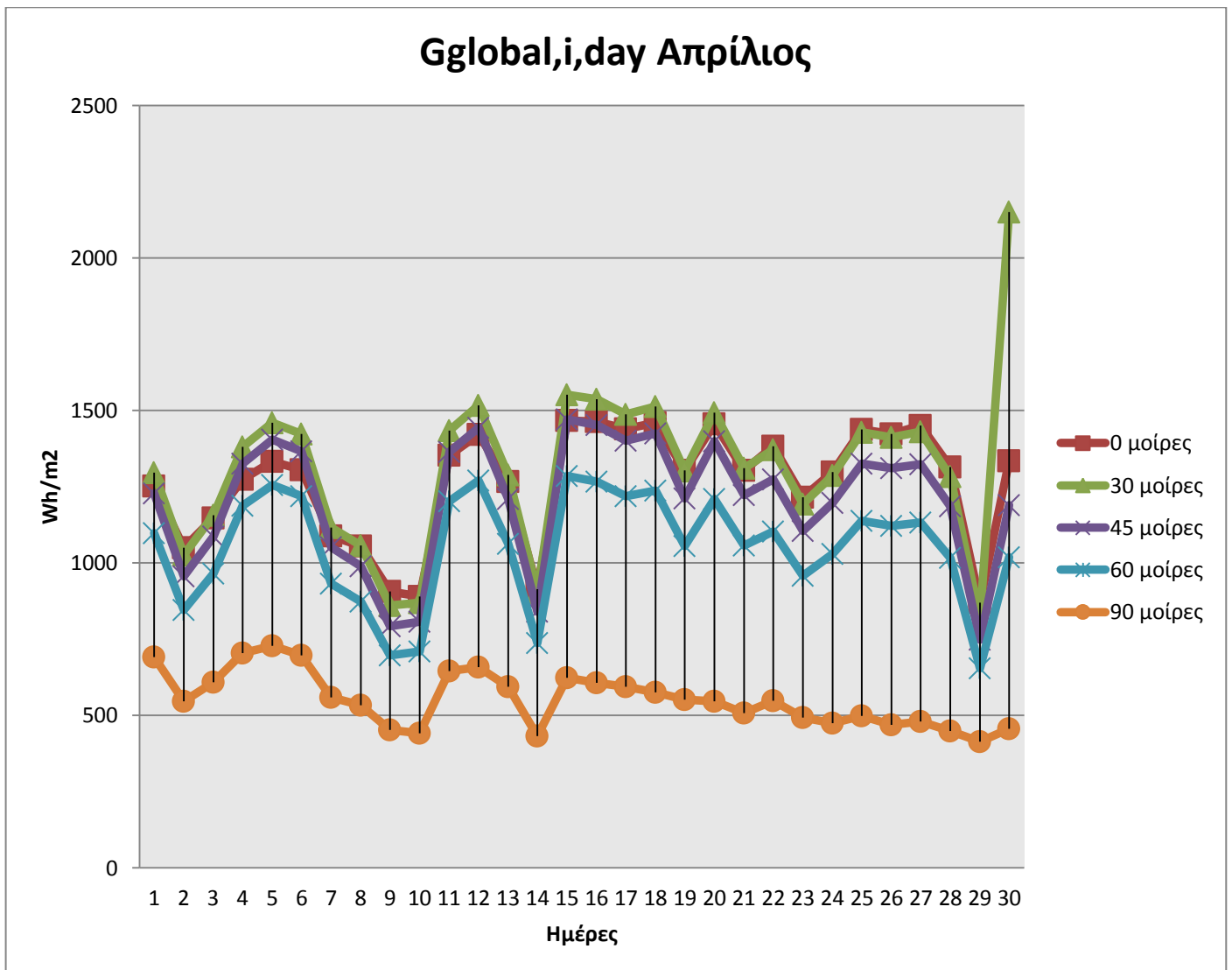
Για τον μήνα Φεβρουάριο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 60°. Και έπειτα στις 45° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 60° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Gglobal,i,day Μάρτιος



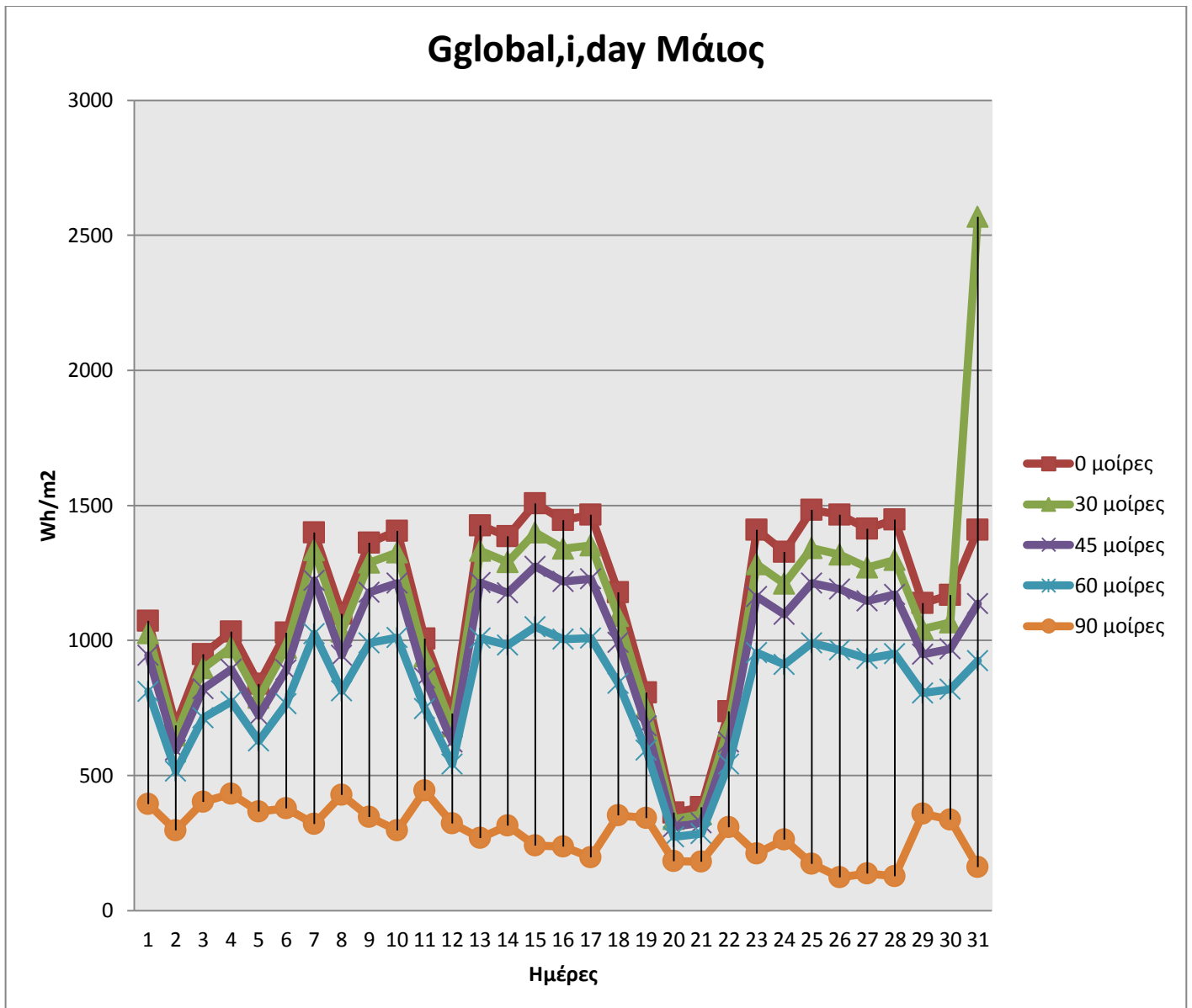
Διάγραμμα 3.3 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Μαρτιο παρατηρούμε ότι τις πρώτες δώδεκα ημέρες την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 60°. Για τις επόμενες έξι ημέρες την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 0°. Για τις επόμενες δεκατρείς ημέρες την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 30°. Άρα ο λόγος που λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 30° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι πάνω από τις μισές ημέρες του μήνα καλύπτει τις ανάγκες του φωτοβολταϊκού συστήματος λόγω γραφήματος.



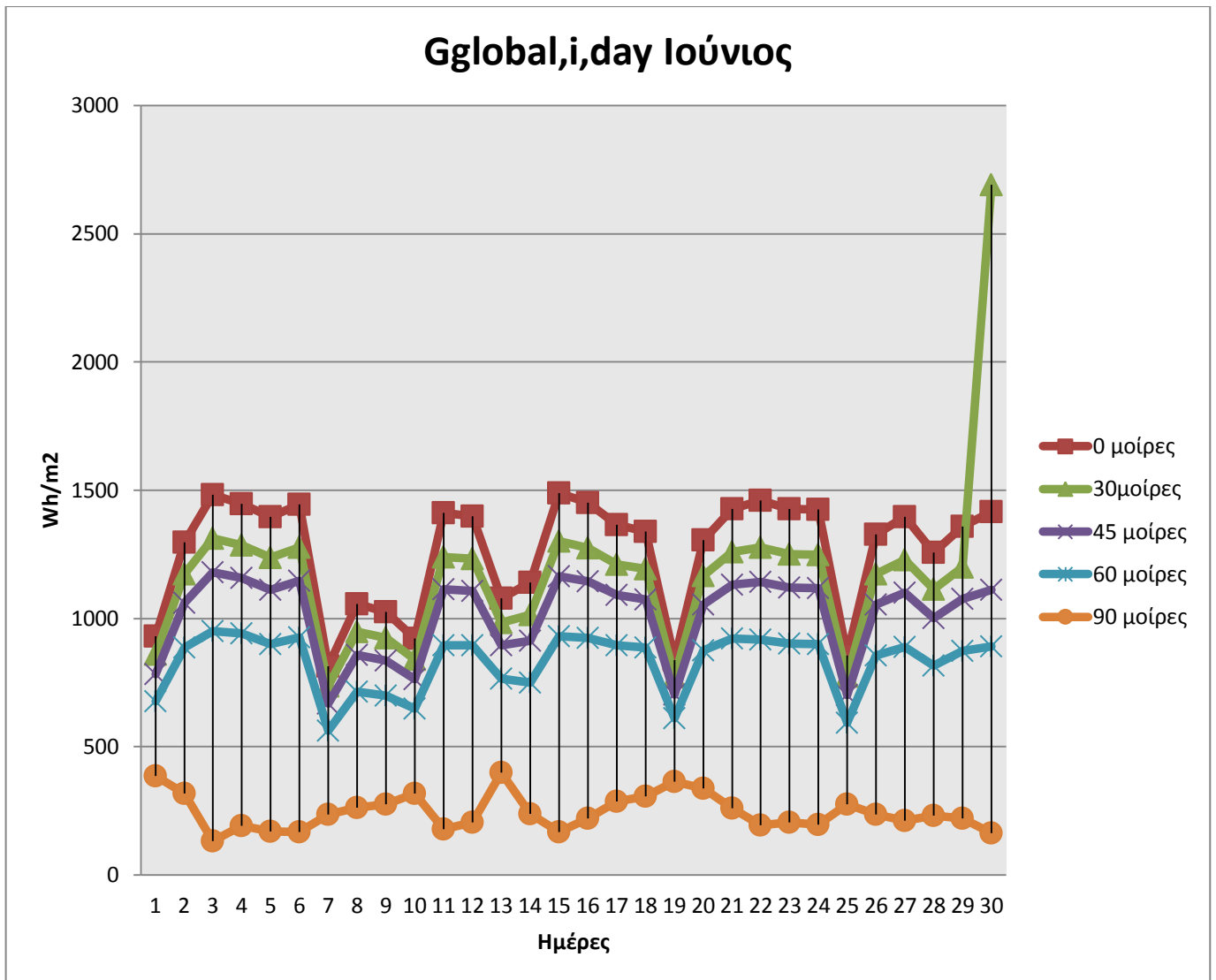
Διάγραμμα 3.4 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιος σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Απρίλιο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 30°. Και έπειτα στις 0° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 30° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Διάγραμμα 3.5 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

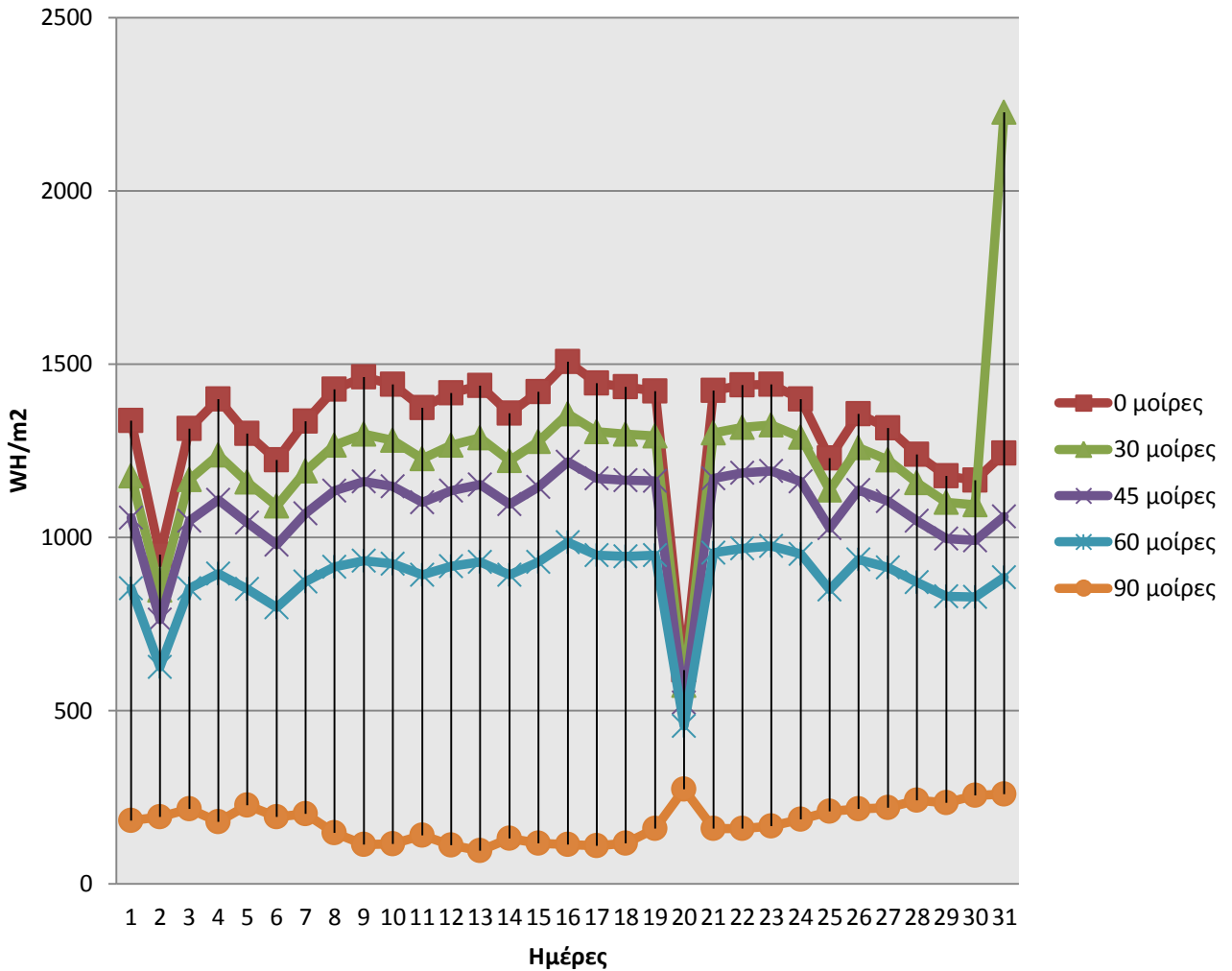
Για τον μήνα Μάιο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 0°. Και έπειτα στις 30° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 0° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Διάγραμμα 3.6 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

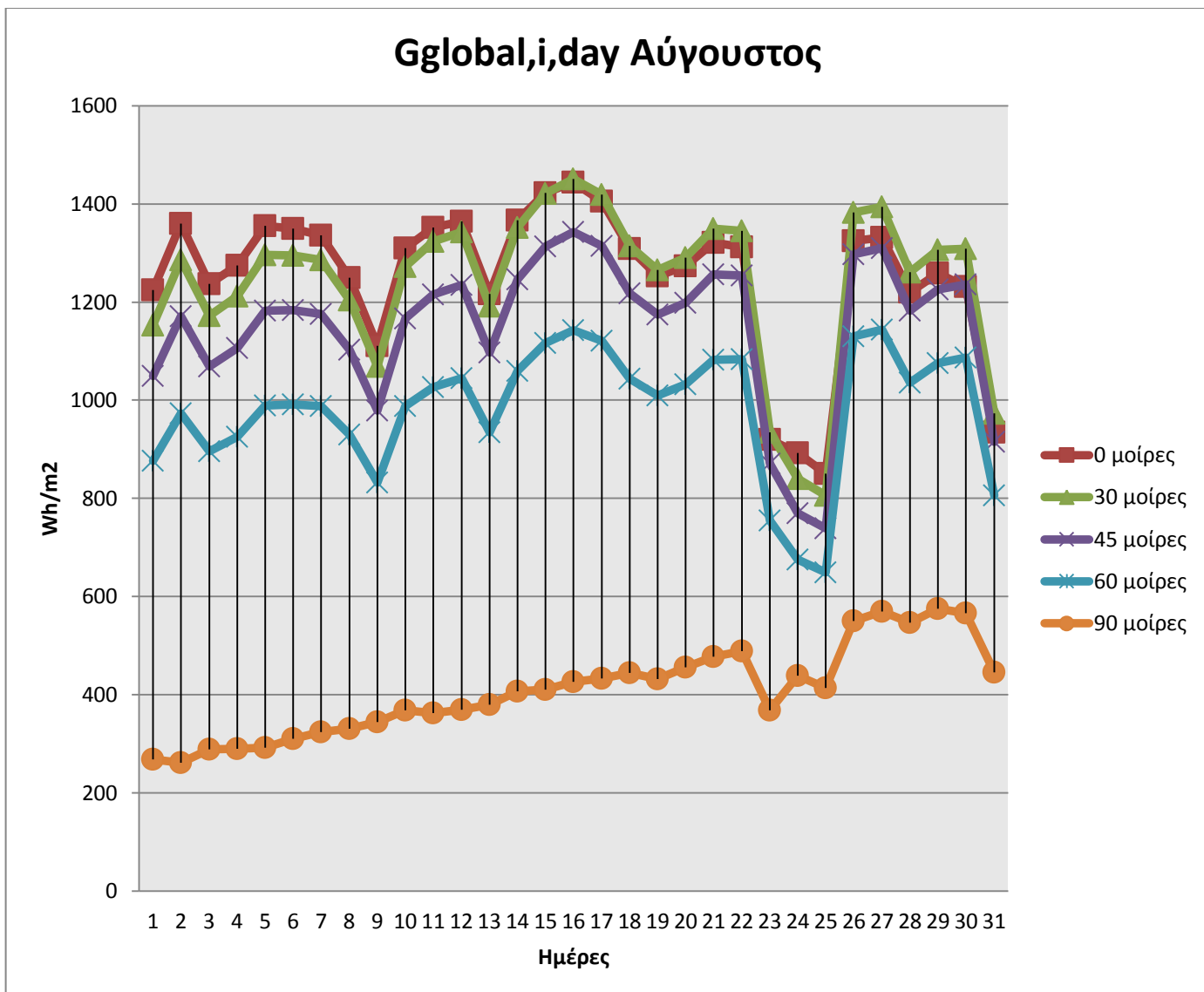
Για τον μήνα Ιούνιο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 0°. Και έπειτα στις 30° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 30° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Gglobal,i,day Ιούλιος



Διάγραμμα 3.7 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

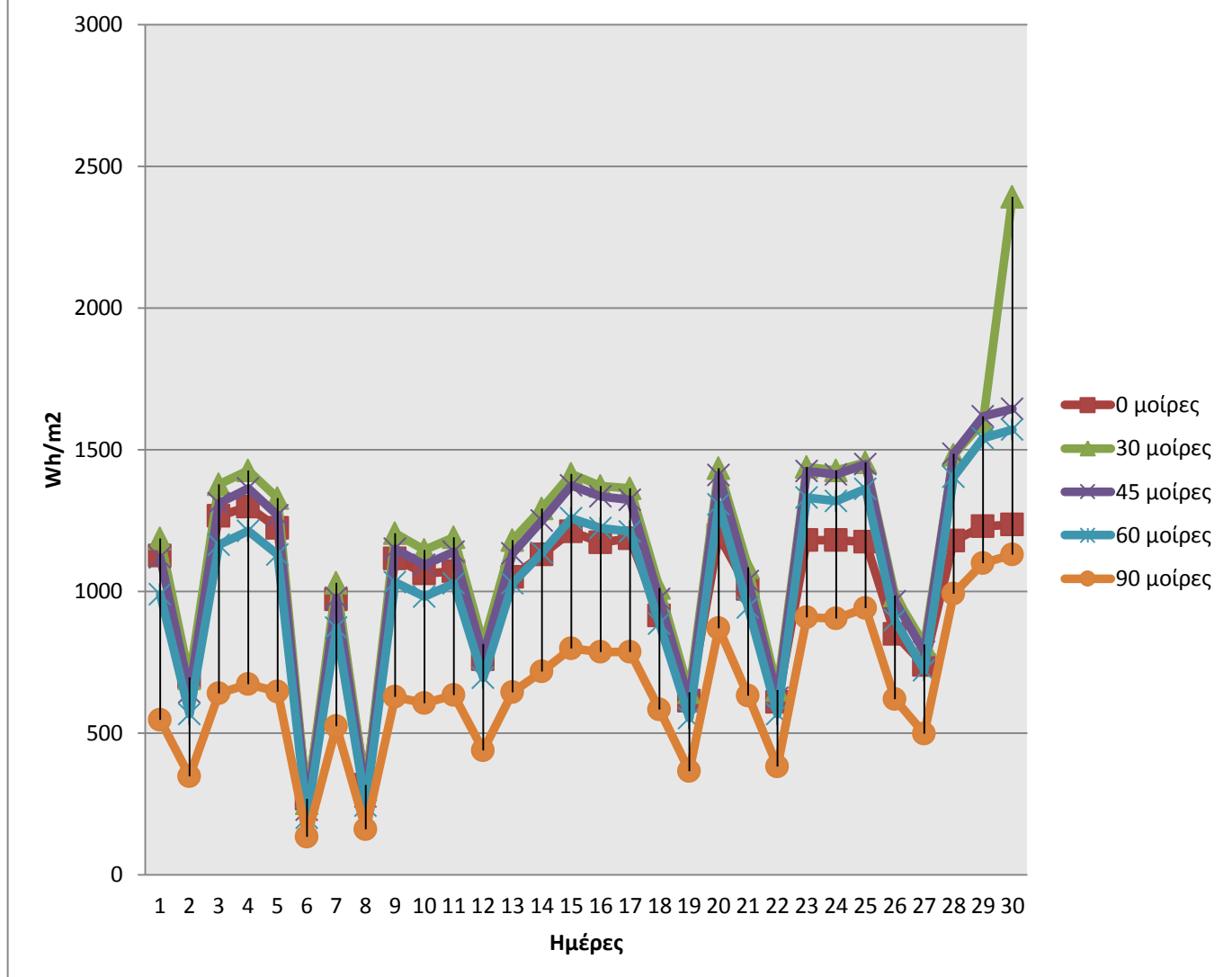
Για τον μήνα Ιούλιο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 00° . Και έπειτα στις 30° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 60° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Διάγραμμα 3.8 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Αύγουστο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Αύγουστο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 0° και 30°, οι δύο διαφορετικές γωνίες έχουν μικρή απόκλιση των τιμών τους, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 30° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

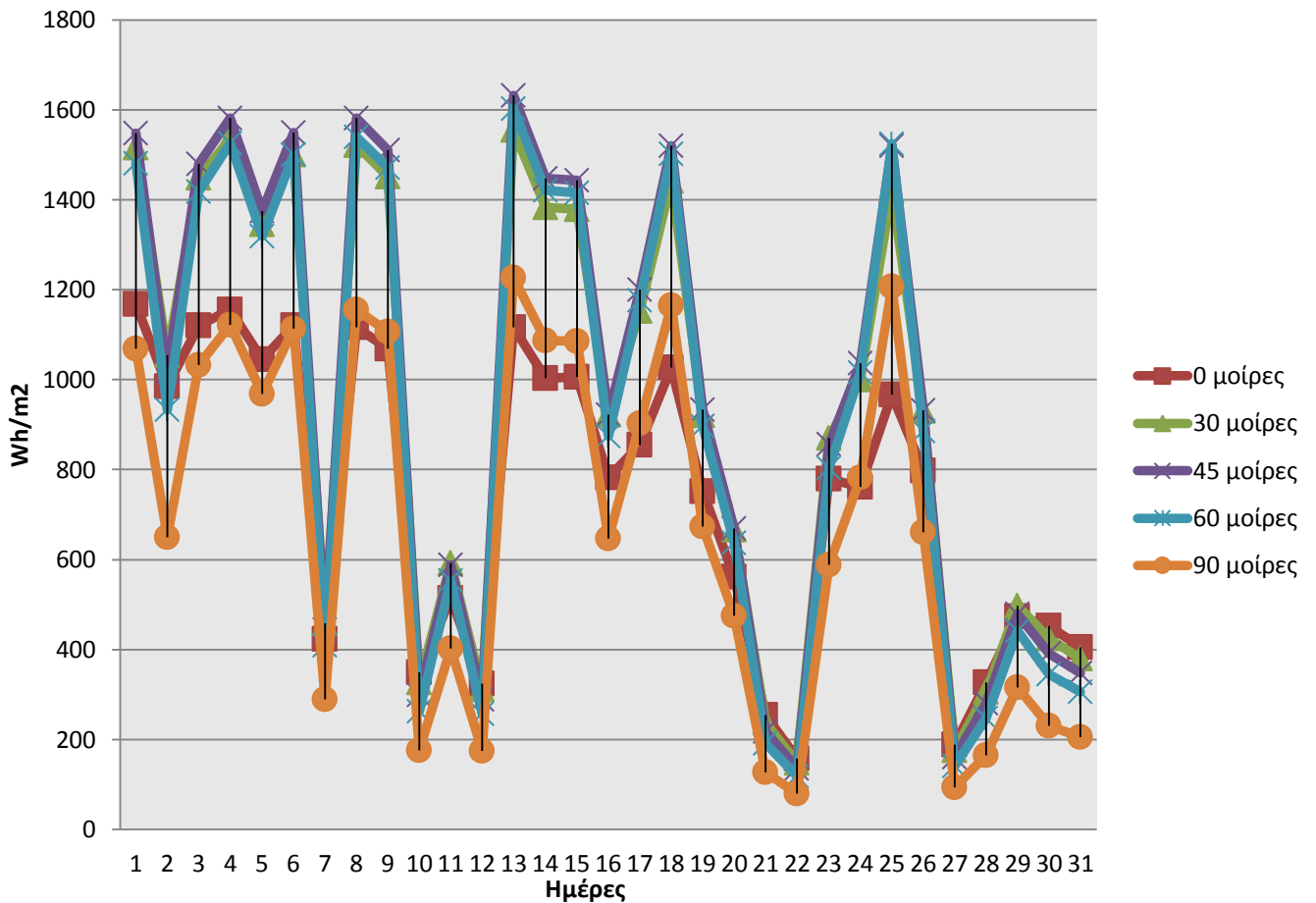
Gglobal,i,day Σεπτέμβριος



Διάγραμμα 3.9 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Σεπτέμβριο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 30°. Και έπειτα στις 45° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 30° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

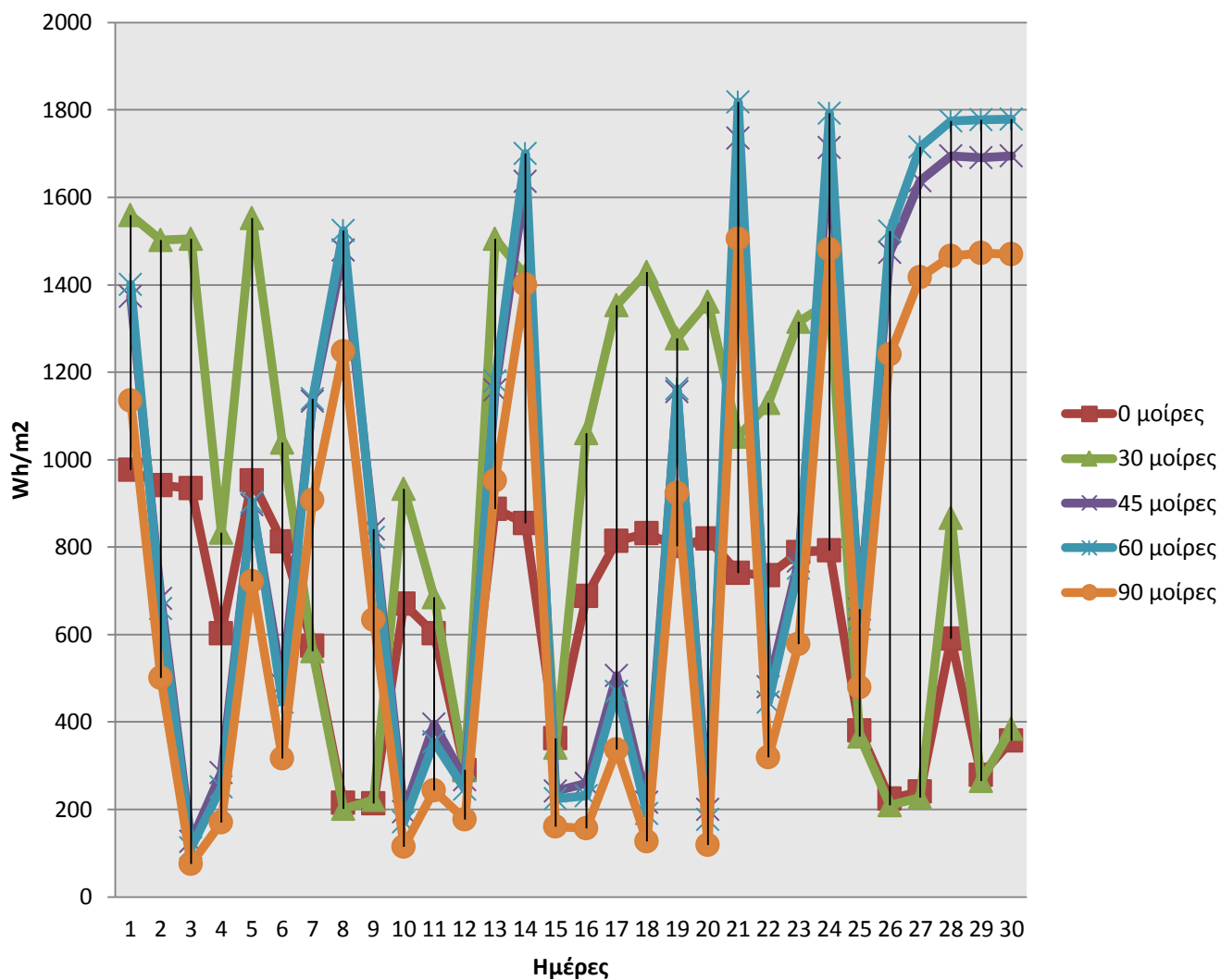
Gglobal,i,day Οκτώβριος



Διάγραμμα 3.10 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Οκτώβριο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 45°. Και έπειτα στις 60° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 45° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

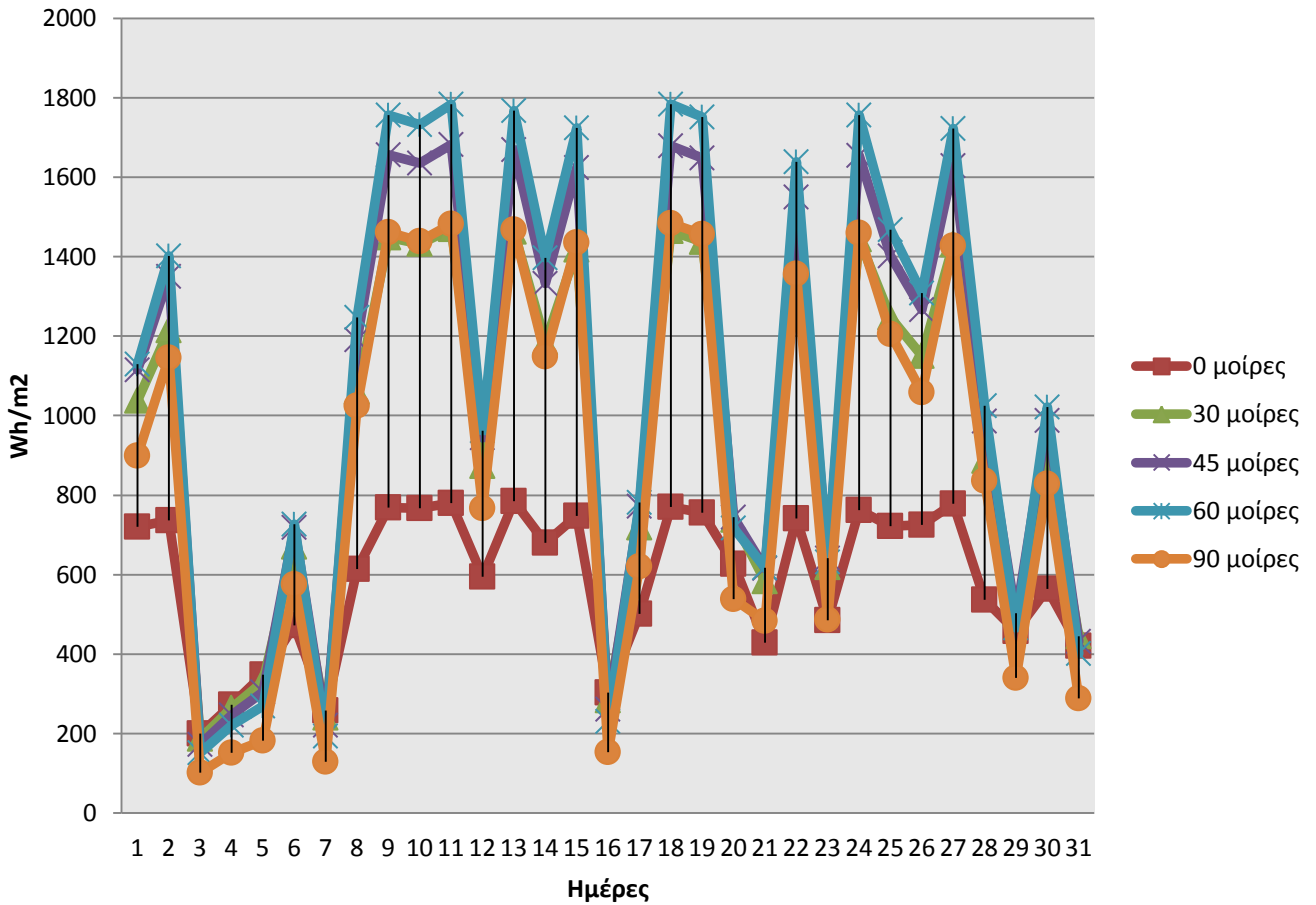
Gglobal,i,day Νοέμβριος



Διάγραμμα 3.11 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Φεβρουάριο παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 60°. Και έπειτα στις 30° η οποία σε ορισμένες ημέρες του μήνα έχει σημαντική απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 60° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

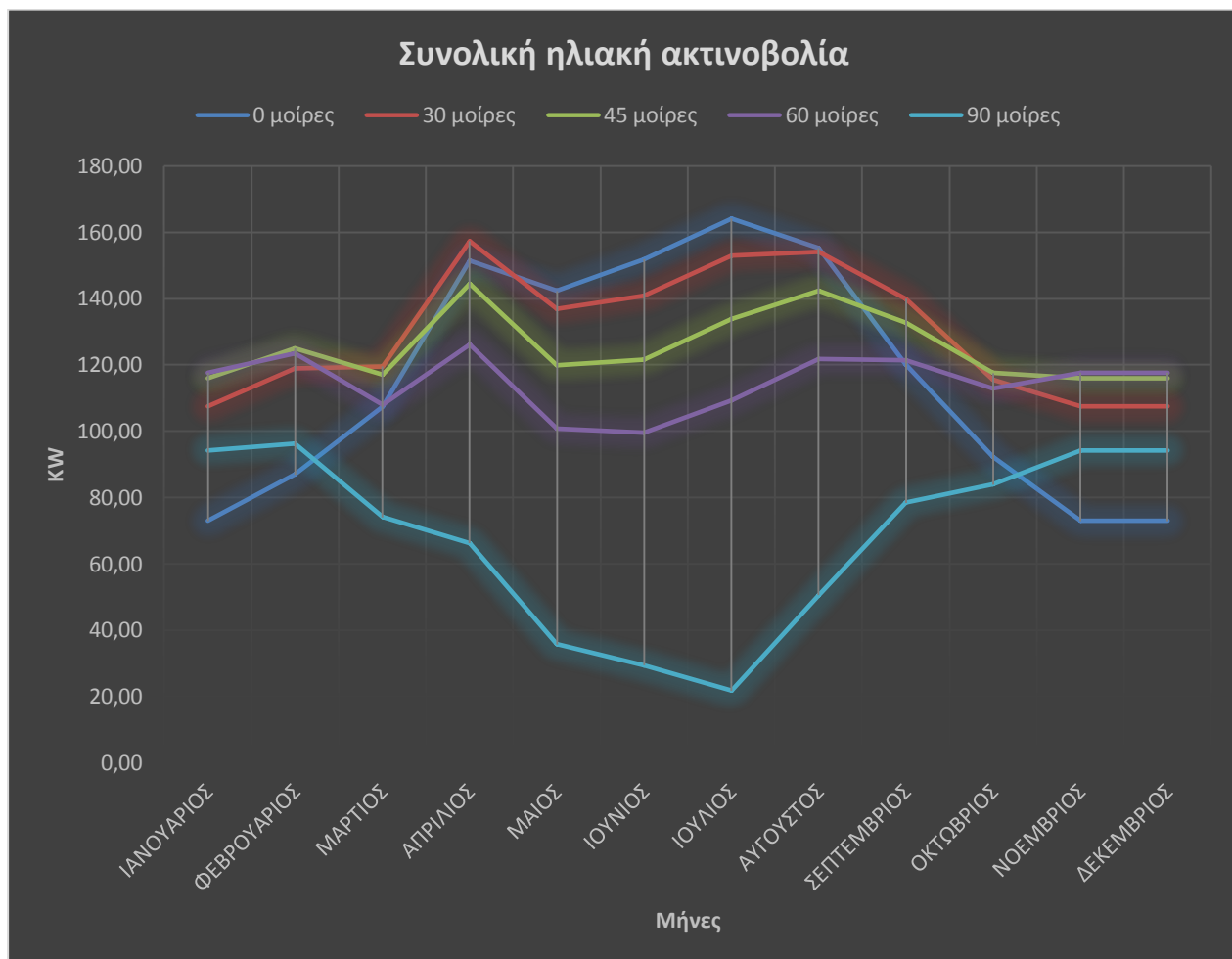
Gglobal,i,day Δεκέμβριος



Διάγραμμα 3.12 Μέση ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο σε διάφορες γωνίες του κεκλιμένου επιπέδου.

Για τον μήνα Δεκέμβριο παρατηρούμε ότι όλη τη διάρκεια του μήνα την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία την λαμβάνουμε όταν το πάνελ βρίσκεται στις 60°. Και έπειτα στις 45° η οποία έχει μικρή απόκλιση των τιμών της, για αυτό το λόγο λαμβάνουμε υπόψη και έχοντας τις παραπάνω μετρήσεις να τοποθετήσουμε το πάνελ στις 60° για την καλύτερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στο διάγραμμα 3.13 έχει γίνει η μετατροπή σε KW για όλους τους μήνες και στις γωνίες που θα μπορούσε να τοποθετηθεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Παρατηρούμε ότι για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο το πλαίσιο θα πρέπει να τοποθετηθεί στις 45°, το μήνα Μάρτιο και Απρίλιο θα πρέπει να τοποθετηθεί στις 30°, το μήνα Μάιο καθώς και Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο θα πρέπει να τοποθετηθεί στις 0°, το μήνα Σεπτέμβριο στις 30°, το μήνα Οκτώβριο στις 45° και το μήνα Νοέμβριο και Δεκέμβριο στις 45°.



Διάγραμμα 3.13 Συνολική ηλιακή ακτινοβολία έχοντας μετατραπεί η KWh σε KW για τις διάφορες γωνίες του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Άρα το φωτοβολταϊκό πάνελ σύμφωνα με τα στοιχεία του διαγράμματος 3.13 θα πρέπει να **τοποθετηθεί** στις **30°** για να έχουμε την απαραίτητη αποδιδόμενη ηλιακή ακτινοβολία η οποία θα αποθηκεύεται στο συσσωρευτή για τη λειτουργία του αυτόνομου συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

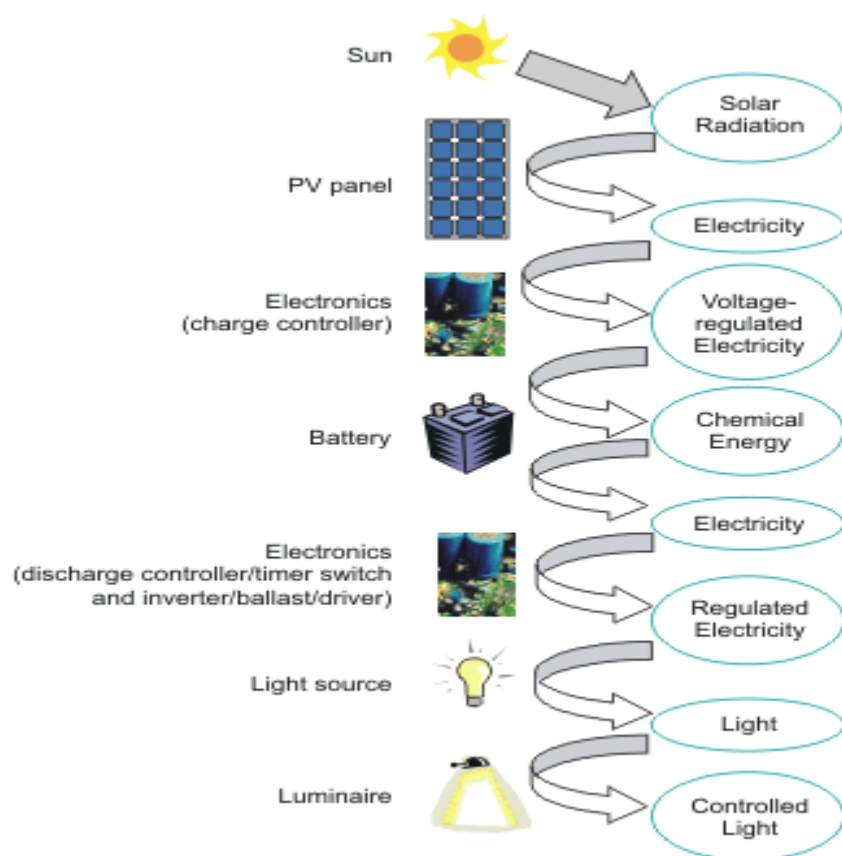
4.1 Το αυτόνομο σύστημα φωτισμού

Το αυτόνομο σύστημα φωτισμού τροφοδοτείται από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ (που ονομάζονται συχνά ηλιακοί συλλέκτες). Ένα δημοφιλές παράδειγμα φωτοβολταϊκού φωτισμού είναι ο φωτισμός δρόμου. Αυτά τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συνήθως εκτός δικτύου και ονομάζονται "αυτόνομα" συστήματα, διότι η μόνη πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια. Τα υβριδικά συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο και τα δίκτυα είναι πιο περίπλοκα, επειδή η ηλιακή ενέργεια συνδυάζεται με άλλες πηγές ενέργειας όπως ένα ηλεκτρικό δίκτυο, γεννήτριες με αιολική ενέργεια ή γεννήτριες με ορυκτά καύσιμα. Αυτές οι απαντήσεις φωτισμού εξετάζουν μόνο τεχνολογίες φωτοβολταϊκών φωτιστικών stand-alone / off-grid που προορίζονται για εφαρμογές φωτισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Ένα αυτόνομο σύστημα φωτισμού συλλέγει ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πάνελ, αποθηκεύει αυτή την ενέργεια σε μια μπαταρία ή μια σειρά μπαταριών και στη συνέχεια απελευθερώνει ενέργεια για να τροφοδοτήσει φωτεινές πηγές τη νύχτα. Τα εξαρτήματα του συστήματος φωτισμού ΦΒ περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά πάνελ, μπαταρίες, ηλεκτρονικά (συμπεριλαμβανομένου ελεγκτή φόρτισης μπαταρίας) και φωτιστικά. Το αρχικό κόστος αγοράς και το κόστος συντήρησης για πολλά από αυτά τα εξαρτήματα είναι υψηλό σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού, τα οποία τροφοδοτούνται από ένα δίκτυο. Αρκετές εφαρμογές φωτοβολταϊκού φωτισμού μπορούν να αναπτυχθούν μέσω προσεκτικά προγραμματισμένης διαδικασίας σχεδιασμού και εκπαιδευμένων επιλογών μεταξύ ισχύος φωτοβολταϊκού και ισχύος δικτύου. Οι εφαρμογές φωτοβολταϊκού φωτισμού είναι γενικά πιο επιτυχείς σε περιπτώσεις κατά τις οποίες τα χαμηλά επίπεδα φωτισμού μαζί με την περιορισμένη ηλεκτρική ισχύ, είναι αποδεκτά, εκεί που η πρόσβαση σε ένα δίκτυο είναι δαπανηρή ή δύσκολη. [14],[15],[16]

4.2 Πως λειτουργεί ένα αυτόνομο σύστημα φωτισμού

Τα Φωτοβολταϊκά πάνελ μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελείται από πολλά φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία δημιουργούνται από συνδέσεις θετικών - αρνητικών ημιαγωγών (pn)



Εικόνα 4.1 Λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος φωτισμού

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορεί να ενεργοποιεί άμεσα τις φωτεινές πηγές (λαμπτήρες) ή να αποθηκεύεται σε μια μπαταρία για μεταγενέστερη χρήση. Το ρεύμα συνεχούς ρεύματος που παράγεται από το φωτοβολταϊκό κύτταρο ή την μπαταρία μπορεί να ρυθμιστεί και να σταθεροποιηθεί με τη χρήση ηλεκτρονικού κυκλώματος για την ενεργοποίηση πηγών φωτισμού συνεχούς ρεύματος. [18],[19]

Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένων των ελεγκτών φορτίου, των διακοπών χρονοδιακόπτη και των στραγγαλιστικών πηνίων για λαμπτήρες φθορισμού (ή οδηγοί για LED ή μετατροπείς για λαμπτήρες ac), παρέχουν ρύθμιση και έλεγχο στην ηλεκτρική ενέργεια. Η πηγή φωτός παρέχει το φως και το φωτιστικό που φιλοξενεί αυτά τα εξαρτήματα, καθώς και προστασία για τα στοιχεία και την οπτική για να κατευθύνει το φως.

Ο φωτισμός από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού, εξαρτάται από την ποσότητα και την αποδοτικότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει, ή την αποτελεσματικότητα των εξαρτημάτων της, συμπεριλαμβανομένου του φωτοβολταϊκού πλαισίου, της μπαταρίας, των ηλεκτρονικών, της φωτεινής πηγής και του φωτιστικού.

4.3 Φωτοβολταϊκό πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι πηγές σταθερού συνεχούς ρεύματος, οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα. Κατάλληλες διατάξεις (φωτοβολταϊκά στοιχεία) αποτελούμενες κυρίως από πυρίτιο διαφορετικών προσμίξεων (δίοδος p-n), εκματαλλευόμενες το φωτοβολταϊκό φαινόμενο "Hall" (πρόσπτωση φωτονίων ηλιακής ακτινοβολίας αναγκάζουν χημικούς δεσμούς της διόδου p-n να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια η κίνηση των οποίων αποτελεί ηλεκτρικό ρεύμα), παράγουν ρεύμα συνεχές ανάλογα με την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Διάφοροι κανόνες (τάση συστοιχίας συσσωρευτών, χαρακτηριστικά ελεγκτή φόρτισης) ορίζουν την τοπολογία σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων (αριθμός εν σειρά πλαισίων και αριθμός εν παραλλήλω κλάδων). Το ρεύμα αυτό μέσω κατάλληλης διάταξης που ονομάζεται ρυθμιστής φόρτισης, φορτίζει τις μπαταρίες του αυτόνομου συστήματος. Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται με το ρυθμιστή φόρτισης.[15]

Στη δική μας περίπτωση, θα αναπτύξουμε ένα αυτόνομο σύστημα φωτισμού σε κάθε ιστό φωτισμού. Θα πρέπει να προσέξουμε, η μελέτη μας να γίνει με ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, έτσι ώστε να μην υπάρχει μεγάλο βάρος στον ιστό και να αποφευχθούν στην στηριξή του μηχανικές καταπονήσεις, λόγω ανέμων και άλλων καιρικών συνθηκών. Άρα, ο κάθε ιστός θα αποτελείται από ένα πλαίσιο και οι υπολογισμοί μας έχουν πραγματοποιηθεί σύμφωνα με αυτό.

Το Φωτοβολταϊκό πάνελ το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε είναι από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, με επιφάνεια περίπου στα $1,2m^2$, μας επιτρέπει να στηριχθεί σχετικά εύκολα στον ιστο. Παρακάτω βλέπουμε τη φωτοβολταϊκή κυψέλη που θα τοποθετηθεί με μέγιστη ισχύ στα 100w και κωδικό YGE 100.



Εικόνα 4.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

4.4 Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές είναι πηγές σταθερής τάσης και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ηλιακής ή αιολικής ενέργειας, ώστε αυτή να μην πηγαίνει χαμένη όταν δεν υπάρχει ζήτηση, αλλά να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει ζήτηση κι όχι προσφορά ηλιακής (νύχτα, συννεφιά) ή αιολικής ενέργειας (άπνοια). Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται σε κατάλληλα διαλύματα ηλεκτρολύτη (πχ μολύβδου - θειικού οξέος) μέσω ηλεκτροδίων και διέπεται από συγκεκριμένες χημικές αντιδράσεις. Η ενέργεια λαμβάνεται πίσω, μέσω των ηλεκτροδίων με αντιστροφή της χημικής διεργασίας. Υπάρχουν μπαταρίες κλειστού τύπου και ανοιχτού τύπου. Χαρακτηρίζονται από την τάση (V), την χωρητικότητα (Ah) και τους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης σε συγκεκριμένες συνθήκες. Το γινόμενο της τάσης και της χωρητικότητας δίνει την αποθηκευμένη ισχύ, ενώ οι κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης, την αναμενόμενη διάρκεια ζωής για συγκεκριμένο ποσοστό εκφόρτισης. Η επιλογή της τάσης της συστοιχίας (12, 24, 48Volts) γίνεται ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος. Η τοπολογία σύνδεσής τους (παράλληλα-σε σειρά) επιλέγεται βάσει του μεγέθους του συστήματος και των διαθέσιμων στοιχείων (2βολτα, 6βολτα, 12βολτα).[21]

Για την κατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος επιλέχθηκε η τοποθέτηση μπαταρίας μολύβδου αυτού του είδους μπαταρίας προσφέρονται στην αγορά ειδικά κατασκευασμένες για αυτά τα συστήματα φωτοβολταϊκών ,δηλαδή , σε σχέση με τις κοινές μπαταρίες του αυτοκινήτου έχουν πολύ ενισχυμένα ηλεκτρόδια και χαρακτηρίζονται από την ελάχιστη αυτοεκφόρτιση.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας δίδεται σε αμπερώρια. Στην αγορά υπάρχει σε πλατύ φάσμα χωρητικότητας για τα φωτοβολταϊκά από 100 Ah και άνω. Η χωρητικότητα που αναγράφεται στις μπαταρίες δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από την ποσότητα του ρεύματος που αντλούμε σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Οι κατασκευαστές των μπαταριών γράφουν σε αναλυτικά φυλλάδια τη χωρητικότητα, σε εξάρτηση με το χρόνο εκφόρτισης π.χ. C_{10} σε δέκα ώρες. Από τα δεδομένα των κατασκευαστών προκύπτει, ότι όσο πιο γρήγορα αντλούμε ρεύμα από τη μπαταρία, τόσο πιο μικρή είναι η χωρητικότητα ενέργειας της μπαταρίας, Αυτό σημαίνει, ότι τα αναγραφόμενα στη μπαταρία 100Ah μπορεί να είναι 95 ή 90 Ah, ανάλογα με το χρόνο άντλησης της μπαταρίας.

Άρα, σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας, θέλουμε για 2*30watt φωτιστικά, περίπου 12 ώρες την ημέρα.



Εικόνα 4.3 Συσσωρευτής 100Ah 12Vdc

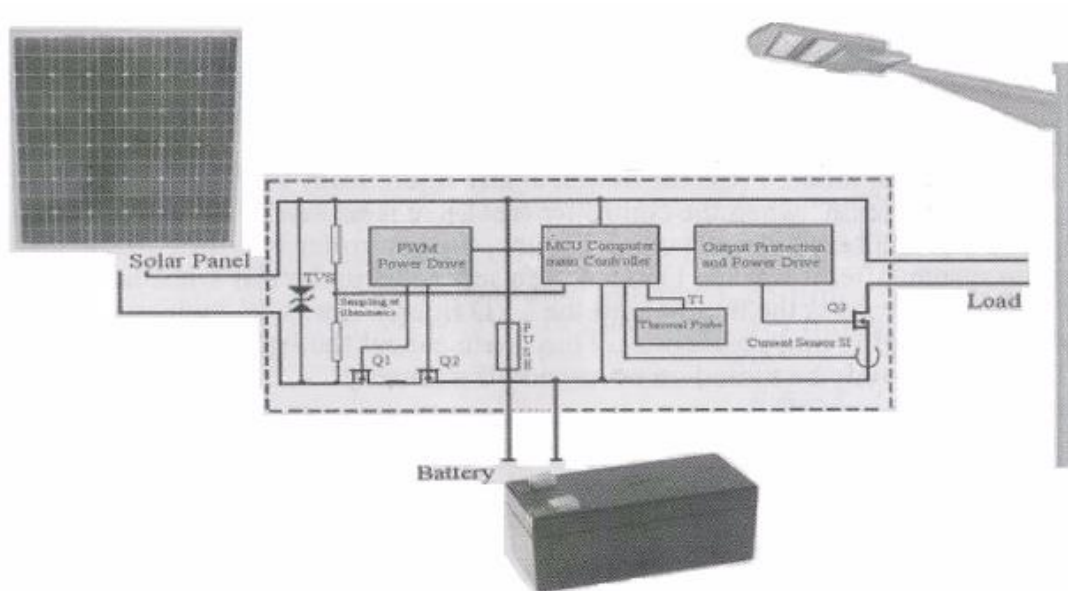
4.5 Ηλεκτρονικός ρυθμιστής φόρτισης.

Ο ελεγκτής φόρτισης είναι η ηλεκτρονική εκείνη συσκευή που αναλαμβάνει τη σωστή διοχέτευση της προσλαμβανόμενης ισχύος από τον ήλιο στις μπαταρίες. Επίσης, αναλαμβάνει την αποσύνδεση των μπαταριών από την πηγή σε περίπτωση υπερφόρτωσης, καθώς και διαδικασίες εξισορρόπησης (equalization). Οι ρυθμιστές μπορεί να είναι "απλοί" (PWM) ή "έξυπνοι" (MPPT). Στη δική μας περίπτωση είναι απλός. Χαρακτηρίζονται από την τάση την οποία μπορούν να ελέγξουν (μπαταρίες) και την ισχύ των πλαισίων που μπορεί να συνδεθεί μαζί τους. Οι ρυθμιστές φόρτισης συνδέονται με τη συστοιχία συσσωρευτών.

Ο ρυθμιστής, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4, έχει σχεδιαστεί για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτόνομα φωτιστικά με φωτοβολταϊκό κτλ. Ο απλός ρυθμιστής, χρησιμοποιώντας ένα ειδικό τσιπ κάνει όλες τις λειτουργίες και τις ρυθμίσεις πατώντας μόνο ένα κουμπί. Διαθέτει αυτόματο κλείσιμο κι επανέναρξη της λειτουργίας, παρέχοντας προστασία έναντι βραχυκυκλώματος, υπερφόρτωσης, υπερφόρτισης και αποφόρτισης. Με φωτεινή ένδειξη LED για την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, το φορτίο και οδηγίες ασφαλείας. Αυτός ο ρυθμιστής λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως η τάση της μπαταρίας, η ένταση, η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το τσιπ, έπειτα από ειδικούς υπολογισμούς, μπορεί να διαμορφώσει την τάξη αποφόρτισης στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας τέλεια, να ισορροπήσει τη θερμοκρασία σε υψηλή απόδοση και ακρίβεια, μέσω της υψηλής απόδοσης κατάσταση φόρτισης, PWM, να εξασφαλίσει τη λειτουργία της μπαταρίας στην βέλτιστη κατάσταση και να επεκτείνει σε μεγάλο βαθμό τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα επιλογής πολλών καταστάσεων λειτουργίας, ικανοποιώντας τις ανάγκες διάφορων πελατών.[2],[21]



Εικόνα 4.4 Ηλεκτρονικός ρυθμιστής NV-12V010



Εικόνα 4.5 Συνδεσμολογία του ρυθμιστή φόρτισης με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, τη μπαταρία και το φωτιστικό δρόμου.

4.6 Υπολογισμός των αναγκών

Όπως θα γίνει και μεγαλύτερη ανάλυση στο παρακάτω κεφάλαιο ένας σχεδιασμός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να γίνει σε τέσσερα βήματα:

- Εκτίμηση φορτίου των φωτιστικών.
- Εκτίμηση του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Εκτίμηση της χωρητικότητας των μπαταριών.
- Εκτίμηση του κόστους του συστήματος.

Βασική προϋπόθεση των υπολογισμών μεγεθών είναι η χρησιμοποίηση και αντικατάσταση των τύπου φωτιστικών σωμάτων από παραδοσιακό με λαμπτήρα 120W σε παραδοσιακό τύπου LED 30W όπως φαίνεται στις δύο παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 4.6 Φωτιστικό σώμα παραδοσιακού τύπου



Εικόνα 4.7 Φωτιστικό CITOR 30W LED

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Εκτίμηση φορτίου των φωτιστικών

Επειδή ο ιστός στον οποίο θα τοποθετηθούν τα φωτιστικά σώματα τύπου LED έχουν δύο λαμπτήρες 125W Hg μαζί με το θόλο θα πρέπει να γίνει η αλλαγή τους με δύο φωτιστικά LED 30W παραδοσιακού τύπου.[11],[25],[26]

Άρα η συνολική απαίτηση ενέργειας του συστήματος θα είναι = αριθμός μονάδων * ισχύς φωτιστικού = $2 * 30W = 60W$

Γνωρίζοντας τη συνολική μας κατανάλωση θα πρέπει να υπολογίσουμε και τις συνολικές Wh λειτουργίας της κατανάλωσή μας έτσι ώστε να τεθεί σε πλήρης λειτουργία το σύστημά μας. Υπολογίζουμε για 12 ώρες ημερήσιας λειτουργίας το χειμώνα θα έχει απαίτηση το σύστημα μας = Συνολικό φορτίο * Ώρες λειτουργίας = **720Wh**.

5.2 Εκτίμηση του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ένας ηλιακός συλλέκτης των **100 W** ονομαστικά (ανά ώρα ηλιοφάνειας) θα δώσει σε ημέρα με εννέα ώρες ηλιοφάνειας (π.χ. τον Δεκέμβριο) 900 W/h θεωρητικά (λόγω απωλειών θα είναι 10% έως 20% λιγότερα). [25],[26]

Άρα για τον μήνα Δεκέμβριο που θεωρούμε ότι θα έχουμε την χειρότερη ηλιοφάνεια έχουμε υπολογίσει ότι οι ώρες ηλιοφάνειας για όλες τις ημέρες του μήνα είναι εννέα ώρες όπως φαίνεται και στο πίνακα.

Δεκέμβριος	Ηλιοφάνεια
1/12/2015	9,5
2/12/2015	9,5
3/12/2015	9,5
4/12/2015	9,25
5/12/2015	9,25
6/12/2015	9,25
7/12/2015	9,5
8/12/2015	9,25
9/12/2015	9,5
10/12/2015	9,5
11/12/2015	9,5
12/12/2015	9,5
13/12/2015	9,25
14/12/2015	9,25
15/12/2015	9,5
16/12/2015	9,25
17/12/2015	9,25
18/12/2015	9,5
19/12/2015	9,5
20/12/2015	9,5
21/12/2015	9,25
22/12/2015	9,25
23/12/2015	9,25
24/12/2015	9,25
25/12/2015	9,5
26/12/2015	9,25
27/12/2015	9
28/12/2015	9,5
29/12/2015	9,5
30/12/2015	9,25
31/12/2015	9,25

Πίνακας 5.1 Ώρες ηλιοφάνειας για το μήνα Δεκέμβριο

Δεκέμβριος	Μ.Ο Συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας (Gglobal,30°)
1/12/2015	1038,29
2/12/2015	1215,08
3/12/2015	187,63
4/12/2015	264,28
5/12/2015	329,99
6/12/2015	671,11
7/12/2015	240,77
8/12/2015	1060,57
9/12/2015	1448,16
10/12/2015	1431,93
11/12/2015	1469,94
12/12/2015	874,00
13/12/2015	1462,46
14/12/2015	1184,13
15/12/2015	1418,31
16/12/2015	284,55
17/12/2015	718,69
18/12/2015	1464,55
19/12/2015	1438,06
20/12/2015	737,82
21/12/2015	583,02
22/12/2015	1361,45
23/12/2015	618,73
24/12/2015	1444,28
25/12/2015	1247,28
26/12/2015	1149,85
27/12/2015	1430,93
28/12/2015	886,16
29/12/2015	502,91
30/12/2015	896,57
31/12/2015	445,31
Μ.Ο.	951,83

Πίνακας 5.2 Μ.Ο. Συνολικής Ηλιακής ακτινοβολίας κάθε ημέρας και Μ.Ο Μηνιαίας ημερήσιας ακτινοβολίας το Δεκέμβριο στις 30°.

Άρα ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για να ικανοποιηθεί το εκτιμώμενο ημερήσιο φορτίο για δώδεκα ώρες ημερήσιας λειτουργίας θα είναι. $720\text{Wh}/9\text{h}=80\text{W}$ κατανάλωση για μία ώρα .Άρα θα χρειαστούμε ένα φωτοβολταϊκό

πάνελ 100W. Δηλαδή το χειμώνα ένα πάνελ των 100W θα παρέχει 100W αξία ενέργειας πίσω στη μπαταρία . ($100W * 9 = 900W$).

5.3 Εκτίμηση της χωρητικότητας των μπαταριών.

Οι συσσωρευτές (μπαταρίες) αναγράφουν τη χωρητικότητά τους σε Ah (αμπέρ ανά ώρα). Έτσι, ένας συσσωρευτής των 12 volt και 100 Ah παρέχει $12 * 100 = 1.200$ watt συνεχούς ρεύματος (DC) για 1 ώρα ή 120 watt για 10 ώρες ή 12 watt για 100 ώρες. Ένας ακόμη σημαντικός δείκτης είναι αυτός που μας παρέχει την πληροφορία σχετικά με τον ρυθμό εκφόρτισης με βάση τον οποίο ο συσσωρευτής μπορεί να δώσει τις αναγραφόμενες Ah. Έτσι, μια μπαταρία που γράφει ότι έχει χωρητικότητα 100 Ah σε C20 σημαίνει ότι οι 100 Ah επιτυγχάνονται όταν η σταδιακή εκφόρτιση διαρκεί 20 ώρες. Για λιγότερες ώρες (π.χ. C10, 10 ώρες) παίρνουμε λιγότερες Ah, ενώ σε σταδιακή εκφόρτιση περισσότερων ωρών (π.χ. C100, 100 ώρες) παίρνουμε σημαντικά περισσότερες Ah.

1. Είναι προτιμότερο κατά τη λειτουργία τους να παρέχουν λίγα watt για περισσότερες ώρες παρά πολλά watt για λίγες, επειδή στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται δραστικά ο χρόνος ζωής τους.
2. Ποτέ δεν εκφορτίζουμε τελείως τους συσσωρευτές γιατί αυτό μπορεί να τους καταστρέψει.
3. Υπάρχουν συσσωρευτές διαφόρων τύπων με διαφορετικό βαθμό επιτρεπόμενης εκφόρτισης. Ο γενικός κανόνας είναι κατά τη συνηθισμένη χρήση να μην επιτρέπουμε εκφόρτιση πάνω από 50% περίπου και μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις ανάγκης να φθάνουμε το 80%.

Άρα, όταν αγοράζουμε συσσωρευτές (μπαταρίες) για το φωτοβολταϊκό σύστημα, επιλέγουμε χωρητικότητα τουλάχιστον διπλάσια από όση υπολογίσαμε ότι θα καλύπτει τις ανάγκες μας (υπολογίζοντας και τις ημέρες αυτονομίας του συστήματος). Όσο μεγαλύτερη τόσο καλύτερα για τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

5.4 Εκτίμηση του κόστους του συστήματος.

Για την εκτίμηση του συνολικού κόστους της εγκατάστασης έχουμε λάβει τιμές για την εγκατάσταση ενός παραδοσιακού ιστού φωτισμού . Η ανάλυσή μας γίνεται σε ένα παραδοσιακό ιστό φωτισμού για την καλύτερη οικονομική ανάλυση των δεδομένων που μας έχουν δοθεί. Έτσι το συνολικό κόστος της εγκατάστασής μας δίνεται στο παρακάτω πίνακα

Υλικά	Τύπος	Τεμάχια	Κόστος(+ΦΠΑ)
Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	YGE 100	x 1τεμ.	148,80 €
Μπαταρία	6GFM100A	x 1τεμ.	151,30 €
Ρυθμιστής φόρτισης	NV-12V010	x 1τεμ.	42,15 €
Ερμάριο	ασφάλειες-πίνακας μεταλλικός-καλώδια-σωλήνες	x 1τεμ.	120 €
Στήριξη πάνελ	κατασκευή-προσαρμογή	x 1τεμ.	100 €
Φωτιστικά σώματα	CITOR 30W	x 2τεμ.	638 €
Εγκατάσταση		x 1τεμ.	50 €
Σύνολο ενός ιστού			1.250,25 €

Πίνακας 5.3 Συνολικό κόστος εγκατάστασης ενός αυτόνομου συστήματος φωτισμού.

Για κατανάλωση σε ένα ιστό φωτισμού που υπάρχει όλη τη διάρκεια του έτους για 12 ώρες συνεχόμενης καθημερινής λειτουργίας χωρίς αντικατάσταση των λαμπτήρων Hg 2*125=250W αυτό μεταφράζεται ότι σε 4380 ώρες λειτουργίας έχουμε κατανάλωση 1.095 KWh για όλο το έτος οπότε το κόστος σύμφωνα με την χρέωση της KWh ανέρχεται σε 164,25€/έτος για ένα ιστό φωτισμού. Στην αντίθετη περίπτωση το κόστος για την πραγματοποίηση ενός αυτόνομου συστήματος φωτισμού είναι 1250,25€ . Λόγω το ότι υπάρχουν 48 ιστοί φωτισμού κατά μήκος του δρόμου τότε για την αντικατάστασή τους θα χρειαζόμασταν ένα ποσό στα 60.012€ για την πλήρη αντικατάσταση ενώ για τον ήδη υπάρχων φωτισμό πληρώνει ο δήμος στη Δ.Ε.Η 7.884€/έτος .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΔΡΟΜΟ ΤΗΣ ΙΤΕΑΣ

6.1 Ορολογία φωτομετρικών στοιχείων

Έτσι, η ορολογία των φωτομετρικών στοιχείων παρουσιάζεται ως ακολούθως:[12],[17]

Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I): Είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας, από μία δεδομένη πηγή σε μία δεδομένη κατεύθυνση. Περιγράφει τη δύναμη μίας πηγής να παρέχει φως (δύναμη κεριού) προς κάθε κατεύθυνση, ενώ υπάρχει και η μέση ένταση προς ένα σύνολο κατευθύνσεων. Η μονάδα μέτρησης είναι το **candela (cd)**, όπου $1 \text{ cd} = 1 \text{ lumen /steradian}$.

Φωτεινή Ροή (Luminous Flux): Είναι η ακτινοβολούμενη ενέργεια (φως) που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή ή λαμβάνεται από μία επιφάνεια, ασχέτως των διευθύνσεων κατά τις οποίες αυτό κατανέμεται. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lumen (lm)**, το οποίο ορίζεται ως η ροή που εκπέμπεται μέσω στερεάς γωνίας 1 steradian από μία σημειακή πηγή ομοιόμορφης φωτεινής έντασης 1 cd.

Φωτισμός ή Ισχύς Φωτισμού (Illuminance, E): Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lux (lx)**, όπου $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$. Είναι το μέτρο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο οδόστρωμα.

Λαμπρότητα (Luminance, L): Ορίζεται ως το πηλίκο $L=I/S$, όπου I η ένταση της φωτεινής πηγής και S η επιφάνειά της. Είναι η φωτεινή ένταση που ανακλάται από μία μοναδιαία επιφάνεια σε μία καθορισμένη διεύθυνση. Η μονάδα μέτρησης είναι το **cd/m²**. Ουσιαστικά η λαμπρότητα θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για τον οδικό φωτισμό, καθώς περιγράφει την κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος εξετάζοντας την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό.

Ομοιομορφία Λαμπρότητας (Uniformity, U): Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό επάνω στο οδόστρωμα, πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας στο οδόστρωμα να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία), είτε για την ίδια τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία) και εκφράζεται ως λόγος μεταξύ των L_{min} , L_{max} , L_{av} , ελάχιστης, μέγιστης και μέσης, αντίστοιχα, λαμπρότητας στο σύνολο του οδοστρώματος.

Αντίθεση Λαμπρότητας (Contrast, C): Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους. Αυτή η διαφορά λαμπρότητας αποτελεί την Αντίθεση Λαμπρότητας και δίδεται από την εξίσωση $C=(L_o-L_b)/L_b$, όπου L_o η λαμπρότητα του αντικειμένου και L_b η λαμπρότητα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται αυτό ορατό. Η τιμή της αντίθεσης κυμαίνεται από -1 έως $+\infty$. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται σαν φωτεινή εικόνα μέσα σε σκοτεινό περιβάλλον, ενώ συνήθως ο οδηγός αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σαν σκοτεινή φιγούρα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος, δηλαδή η αντίθεση λαμβάνει αρνητικές τιμές.

Φωτεινότητα (Luminosity): Είναι η οπτική αίσθηση που υποδεικνύει ότι μία περιοχή φαίνεται ότι εκπέμπει περισσότερο ή λιγότερο φως.

Ακτινοβολία (Beam): Είναι το τμήμα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από μία πηγή φωτός, όταν αυτή περιέχεται σε μία στερεά γωνία. Η στερεά γωνία εκτείνεται ως το λειτουργικό κέντρο του φωτός της πηγής, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης έντασης.

Φωτεινή Απόδοση: Ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής φωτεινής ροής που εκπέμπεται από ένα ηλεκτρικό φωτιστικό σώμα, προς τη συνολική ηλεκτρική ισχύ της πηγής. Μονάδα μέτρησης είναι το **lumen/Watt**.

Συντελεστής Χρησιμοποίησης: Είναι το ποσοστό της φωτεινής ροής ενός φωτιστικού σώματος που χρησιμοποιείται για το φωτισμό του οδοστρώματος.

Συντελεστής Συντήρησης: Είναι ο λόγος της τρέχουσας φωτεινής απόδοσης σε lumens του συστήματος φωτισμού προς την αντίστοιχη αρχική, μετά από απώλεια φωτός από διάφορους παράγοντες, όπως η συσσώρευση σκόνης, η βλάβη κάποιων λαμπτήρων, η ρύπανση των τοιχωμάτων της σήραγγας κλπ.

Στάθμη Φωτισμού: Είναι η φωτεινή ροή που δέχεται το οδόστρωμα ανά μονάδα επιφάνειάς του.

Θάμβωση: Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε να προκαλείται ενόχληση και μείωση της ικανότητας του παρατηρητή να διακρίνει αντικείμενα, εξαιτίας ακατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικών αντιθέσεων. Ένα από τα είδη θάμβωσης είναι η «φυσιολογική» θάμβωση, που προκαλείται από τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός στο οπτικό πεδίο, μειώνοντας την αντίθεση μεταξύ αντικειμένου και περιβάλλοντος. Δείκτης της εν λόγω μορφής θάμβωσης είναι το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα του περιβάλλοντος για να αποκατασταθεί η ορατότητα του αντικειμένου (Threshold Increment, TI).

6.2 Πηγές Φωτισμού Δρόμων

Οι πηγές φωτισμού αποτελούν ουσιαστικά το πιο σημαντικό στοιχείο ενός συστήματος ηλεκτροφωτισμού, καθώς καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την οπτική ποιότητα του φωτισμού, την οικονομία, την απόδοση, και γενικά την ενεργειακή θεώρηση του εφαρμοζόμενου συστήματος φωτισμού. Ως πηγές φωτισμού σε ένα σύστημα ηλεκτροφωτισμού χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών ηλεκτρικοί λαμπτήρες. Πυρακτώσεως, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην πυράκτωση νήματος με βάση το νόμο του Joule. Δεν χρειάζονται βοηθητικές διατάξεις για να λειτουργήσουν.[17],[23]

Αναλυτικότερα, όλα τα χρησιμοποιούμενα είδη λαμπτήρων έχουν ως εξής:

Λαμπτήρες Πυρακτώσεως (Incandescent): Οι λαμπτήρες αυτού του είδους ήταν κάποτε οι πιο δημοφιλείς, καθώς ήταν απλοί, φθηνοί και εύκολα εγκαταστάσιμοι. Αναπαρήγαγαν σωστά τα χρώματα και το μικρό τους μέγεθος επέτρεπε εύκολο έλεγχο του φωτός. Ωστόσο, η χαμηλή τους φωτεινή απόδοση και ο περιορισμένος τους χρόνος ζωής τις έχουν θέσει, πλέον, ανεπιθύμητες σε νέες εγκαταστάσεις.

Λαμπτήρες Φθορισμού (Fluorescent): Ομοίως, δεν χρησιμοποιούνται πλέον ούτε αυτοί σε νέες εγκαταστάσεις, εξακολουθούν, ωστόσο, να χρησιμοποιούνται για φωτισμό σηράγγων και πινακίδων. Το μεγάλο τους μέγεθος δυσκολεύει τον έλεγχο του φωτισμού. Οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν επιπλέον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ελέγχου της τάσης, η δε φωτεινή τους απόδοση επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες περισσότερο από κάθε άλλο τύπο λαμπτήρα. Πλεονέκτημά τους είναι η απόδοση του φωτός τους επάνω σε βρεγμένο οδόστρωμα.

Λαμπτήρες Υδραργύρου (Mercury): Οι λαμπτήρες υδραργύρου υποσκέλισαν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως στις περισσότερες περιπτώσεις. Αν και το αρχικό τους κόστος είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των λαμπτήρων πυρακτώσεως, καθώς είναι ακριβότεροι και απαιτούν και ελεγκτές τάσης, η πολύ καλή τους απόδοση και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους καθιστούν πολύ πιο συμφέροντες. Το ελαφρά κυανό χρώμα που παράγουν είναι γενικά αποδεκτό, ενώ το μέγεθός τους επιτρέπει ικανοποιητικό φωτεινό έλεγχο. Μία πιο βελτιωμένη εκδοχή αυτού του τύπου είναι οι λαμπτήρες με επικάλυψη φωσφόρου.

Λαμπτήρες Μετάλλων Αλογονιδίων (Metal Halide): Είναι μία μορφή λαμπτήρων υδραργύρου όπου μαζί με τον υδράργυρο συνυπάρχουν και στοιχεία ιωδίου, που αναβαθμίζουν τόσο τη φωτεινή απόδοση, όσο και τη χρωματική απόδοση των επιφανειών, ενώ οι λαμπτήρες αυτού του είδους επιτρέπουν και ικανοποιητικό φωτεινό έλεγχο. Μειονέκτημά τους είναι η σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής.

Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Sodium): Υποσκελίζουν τους λαμπτήρες υδραργύρου. Χαρακτηρίζονται από το λευκόχρυσο φως που αποδίδουν, ενώ η χρωματική απόδοση των επιφανειών είναι μέτρια. Χρειάζονται συσκευές ελέγχου τάσης. Μερικοί κατασκευαστές παρέχουν διατάξεις με αναβαθμισμένη χρωματική απόδοση και βοηθητικούς λαμπτήρες που λειτουργούν μετά από στιγμιαίες πτώσεις τάσης, μέχρι να αποκατασταθεί ποσοστό της πλήρους λειτουργίας του κανονικού λαμπτήρα.

Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Sodium): Κύριό τους χαρακτηριστικό αποτελεί το έντονο φως που παράγουν, και στο οποίο οφείλεται και η φτωχή χρωματική απόδοση των επιφανειών, ωστόσο είναι ιδανικό για περιπτώσεις ομίχλης. Βασικό τους μειονέκτημα είναι το μεγάλο μήκος τους, που τους καθιστά δύσχρηστους.

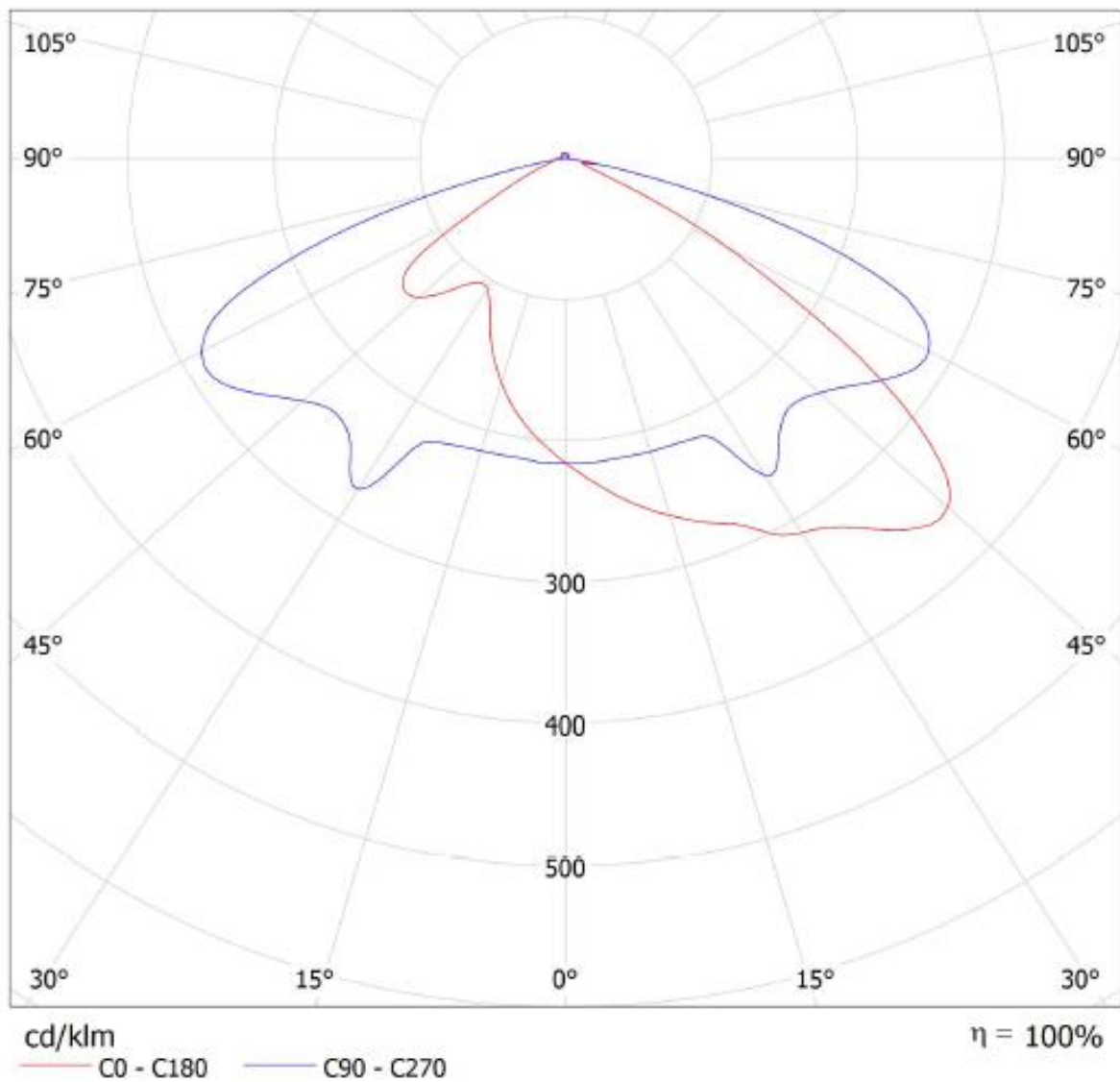
6.3 Μελέτη σύμφωνα με το Dialux

Η μελέτη στο πρόγραμμα Dialux πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το παραδοσιακό φωτιστικό CITOR 30W κατά το οποίο μας δόθηκε το αρχείο IES του συγκεκριμένου φωτιστικού έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί σωστά η μελέτη δρόμου. Όλα τα στοιχεία που θα εμφανιστούν στην παρακάτω μελέτη έχουν παρθεί σύμφωνα με τις πραγματικές διαστάσεις του δρόμου στον οποίο πραγματοποιείται η μελέτη μας. Η δική μας κατηγορία που θα αναλύσουμε είναι η **ME3c**. Οι κατηγορίες **ME** αφορούν αυτοκινητόδρομους, όμως σε μερικές χώρες αφορούν και δρόμους σε κατοικημένες περιοχές, που επιτρέπουν μέσες έως υψηλές ταχύτητες κυκλοφορίας (μεγαλύτερες από 60 Km/h).[12] Έτσι η κατηγορία δρόμου **ME3c** που αφορά τη συνήθη ταχύτητα του κύριου χρήστη είναι μεσαία (μεταξύ 30 και 60 km/h). Παρακάτω πραγματοποιείται η μελέτη αυτή.[20],[22]

6.3.1 Μελέτη φωτισμού του παραλιακού δρόμου Ιτέας με χρήση αυτόνομων φωτιστικών σωμάτων LED κατανάλωσης 30W.

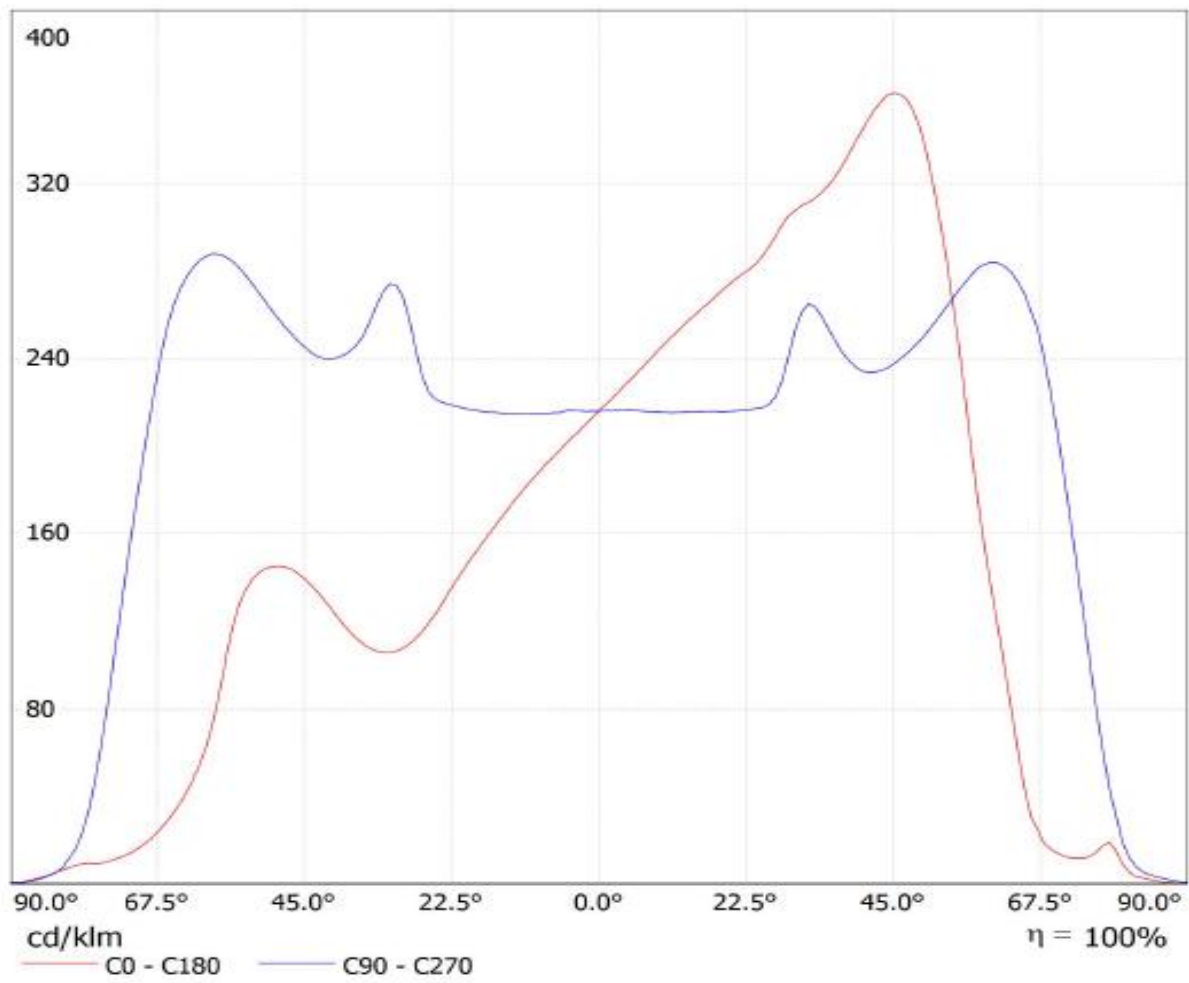
LED street lights 1324 / LDC (πολικά)

Φωτιστικό: LED street lights 1324
Λάμπες: 1 x



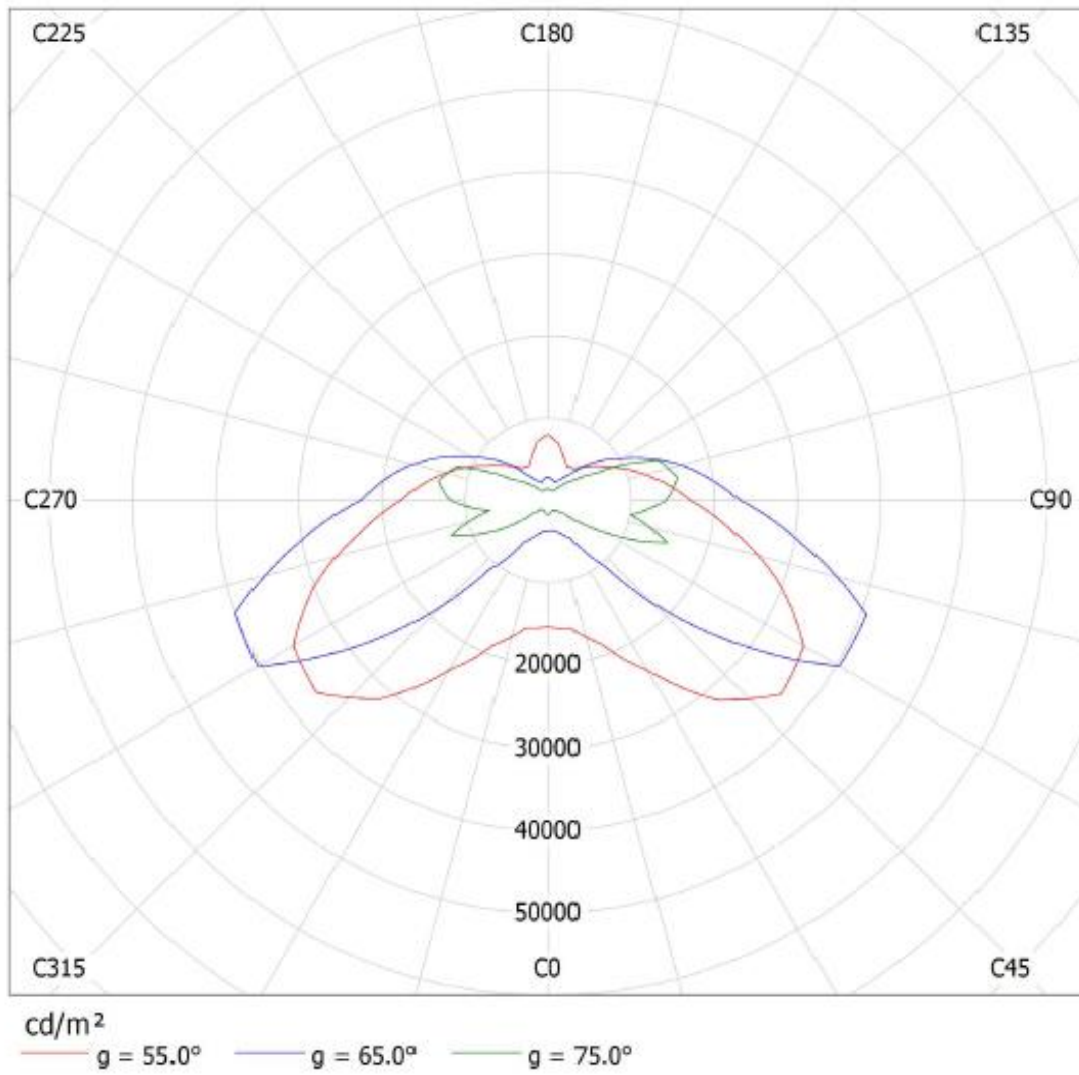
LED street lights 1324 / LDC (γραμμικά)

Φωτιστικό: LED street lights 1324
Λάμπες: 1 x



LED street lights 1324 / Διάγραμμα πυκνότητας φωτεινότητα

Φωτιστικό: LED street lights 1324
Λάμπες: 1 x



LED street lights 1324 / Πίνακας έντασης φωτός

Φωτιστικό: LED street lights 1324

Λάμπες: 1 x

Gamma	C 0°	C 15°	C 30°	C 45°	C 60°	C 75°	C 90°	C 105°	C 120°	C 135°
0.0°	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
5.0°	231	231	229	227	224	221	216	212	209	206
10.0°	247	246	244	238	231	224	215	208	201	195
15.0°	261	261	258	250	241	229	216	203	193	183
20.0°	274	275	273	268	254	235	216	199	183	169
25.0°	287	296	307	303	281	248	218	195	174	155
30.0°	308	314	330	350	345	309	253	217	182	147
35.0°	319	321	335	376	389	328	254	208	169	130
40.0°	344	344	360	388	380	306	234	189	149	113
45.0°	362	372	409	441	419	326	237	186	138	104
50.0°	335	362	442	517	491	370	252	188	131	97
55.0°	246	275	381	544	566	416	271	193	127	91
60.0°	134	141	210	434	585	446	284	198	125	83
65.0°	44	47	63	207	473	421	270	193	120	66
70.0°	14	15	19	51	251	305	207	161	104	38
75.0°	13	11	9.99	15	56	91	102	107	47	21
80.0°	9.25	11	6.56	6.25	8.01	8.43	19	35	7.31	7.45
85.0°	1.48	2.19	2.56	2.26	2.74	2.97	3.52	3.45	2.37	2.17
90.0°	0.17	0.17	0.19	0.27	0.43	0.58	0.90	1.04	0.92	0.61

Τιμές σε cd/klm

LED street lights 1324 / Πίνακας έντασης φωτός

Φωτιστικό: LED street lights 1324

Λάμπες: 1 x

Gamma	C 150°	C 165°	C 180°	C 195°	C 210°	C 225°	C 240°	C 255°	C 270°	C 285°
0.0°	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
5.0°	204	202	201	202	203	205	208	212	216	220
10.0°	190	187	185	187	189	193	199	207	215	222
15.0°	175	169	167	169	173	180	190	202	215	228
20.0°	157	150	146	149	156	167	181	199	217	236
25.0°	139	128	123	127	137	154	174	198	221	250
30.0°	120	110	107	110	119	148	188	231	268	316
35.0°	104	103	107	104	105	130	168	208	257	329
40.0°	95	108	122	108	96	114	150	192	240	312
45.0°	89	113	139	116	90	105	141	190	245	334
50.0°	82	112	145	116	84	98	135	196	262	377
55.0°	73	100	128	104	76	91	133	204	282	421
60.0°	59	57	63	58	59	85	132	209	287	444
65.0°	34	29	33	29	32	65	125	197	265	415
70.0°	16	16	17	16	15	35	98	153	188	286
75.0°	9.60	9.62	10	9.62	9.24	18	36	91	85	70
80.0°	5.25	6.67	8.57	6.43	5.11	6.60	5.73	19	16	7.09
85.0°	2.59	2.96	3.19	2.76	2.64	2.10	2.20	2.25	2.83	2.23
90.0°	0.37	0.29	0.27	0.30	0.42	0.76	1.05	1.02	0.86	0.63

Τιμές σε cd/klm

LED street lights 1324 / Πίνακας έντασης φωτός

Φωτιστικό: LED street lights 1324
Λάμπες: 1 x

Gamma	C 300°	C 315°	C 330°	C 345°	C 360°
0.0°	216	216	216	216	216
5.0°	224	227	229	231	231
10.0°	231	238	243	246	247
15.0°	240	249	256	260	261
20.0°	254	266	272	274	274
25.0°	282	300	302	293	287
30.0°	348	353	333	316	308
35.0°	391	375	336	321	319
40.0°	381	384	356	343	344
45.0°	421	435	401	368	362
50.0°	492	510	433	359	335
55.0°	564	540	380	274	246
60.0°	582	442	216	143	134
65.0°	474	215	69	50	44
70.0°	248	51	18	15	14
75.0°	54	14	9.41	11	13
80.0°	7.12	5.88	7.08	11	9.25
85.0°	2.28	2.12	2.26	2.13	1.48
90.0°	0.45	0.29	0.19	0.18	0.17

Τιμές σε cd/klm

LED street lights 1324 / Πίνακας πυκνότητας φωτεινότητας

Φωτιστικό: LED street lights 1324

Λάμπες: 1 x

Gamma	C 0°	C 15°	C 30°	C 45°	C 60°	C 75°	C 90°	C 105°	C 120°	C 135°
0.0°	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777
5.0°	8345	8345	8294	8208	8084	7971	7822	7677	7559	7451
10.0°	9019	9005	8904	8711	8454	8183	7875	7591	7345	7125
15.0°	9726	9740	9603	9337	8977	8524	8038	7583	7177	6805
20.0°	10509	10545	10459	10254	9716	9002	8272	7618	7016	6477
25.0°	11406	11767	12181	12033	11145	9845	8643	7740	6909	6150
30.0°	12798	13058	13714	14550	14327	12852	10532	9036	7577	6106
35.0°	14034	14096	14746	16539	17105	14397	11160	9137	7407	5711
40.0°	16151	16181	16937	18226	17848	14376	11022	8900	7024	5332
45.0°	18424	18942	20849	22450	21342	16620	12094	9449	7037	5291
50.0°	18765	20296	24743	28945	27505	20702	14092	10514	7349	5412
55.0°	15417	17244	23890	34142	35509	26114	17041	12107	7991	5690
60.0°	9616	10189	15139	31229	42119	32118	20466	14255	8988	6012
65.0°	3762	3980	5326	17601	40341	35864	22990	16456	10216	5631
70.0°	1503	1582	1987	5401	26404	32099	21774	16928	10944	3976
75.0°	1754	1483	1390	2055	7764	12633	14125	14870	6536	2903
80.0°	1919	2317	1361	1295	1661	1749	3951	7314	1515	1545
85.0°	610	905	1057	934	1134	1228	1454	1427	979	896

Τιμές σε Candela/m².

LED street lights 1324 / Πίνακας πυκνότητας φωτεινότητας

Φωτιστικό: LED street lights 1324

Λάμπες: 1 x

Gamma	C 150°	C 165°	C 180°	C 195°	C 210°	C 225°	C 240°	C 255°	C 270°	C 285°
0.0°	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777
5.0°	7357	7287	7271	7292	7339	7428	7531	7667	7814	7949
10.0°	6956	6834	6777	6820	6922	7071	7281	7552	7853	8132
15.0°	6506	6311	6217	6288	6449	6728	7095	7547	8017	8495
20.0°	6025	5741	5613	5716	5965	6404	6941	7616	8308	9036
25.0°	5522	5080	4882	5053	5462	6106	6912	7879	8794	9939
30.0°	4970	4562	4457	4565	4945	6154	7821	9607	11159	13122
35.0°	4586	4543	4712	4557	4601	5694	7366	9134	11298	14441
40.0°	4465	5058	5714	5098	4506	5360	7059	9008	11299	14646
45.0°	4517	5761	7079	5884	4603	5343	7158	9666	12485	17017
50.0°	4589	6254	8103	6505	4716	5465	7565	10964	14675	21130
55.0°	4609	6253	8005	6508	4773	5730	8328	12807	17679	26409
60.0°	4243	4131	4565	4164	4240	6095	9526	15039	20668	31958
65.0°	2873	2469	2803	2485	2748	5575	10622	16819	22551	35320
70.0°	1731	1662	1810	1669	1613	3735	10328	16158	19811	30113
75.0°	1336	1339	1450	1338	1285	2460	4976	12622	11816	9800
80.0°	1089	1384	1778	1333	1059	1368	1189	4000	3349	1469
85.0°	1070	1224	1320	1139	1092	867	910	931	1170	922

Τιμές σε Candela/m².

LED street lights 1324 / Πίνακας πυκνότητας φωτεινότητας

Φωτιστικό: LED street lights 1324

Λάμπες: 1 x

Gamma	C 300°	C 315°	C 330°	C 345°	C 360°
0.0°	7777	7777	7777	7777	7777
5.0°	8094	8200	8278	8332	8345
10.0°	8440	8691	8884	8979	9019
15.0°	8942	9288	9560	9700	9726
20.0°	9745	10193	10419	10494	10509
25.0°	11199	11920	12005	11627	11406
30.0°	14480	14675	13840	13124	12798
35.0°	17184	16502	14753	14112	14034
40.0°	17925	18066	16755	16122	16151
45.0°	21448	22153	20411	18739	18424
50.0°	27562	28546	24252	20125	18765
55.0°	35407	33931	23861	17189	15417
60.0°	41945	31810	15532	10313	9616
65.0°	40393	18300	5838	4221	3762
70.0°	26082	5340	1877	1533	1503
75.0°	7463	1936	1309	1470	1754
80.0°	1476	1218	1469	2335	1919
85.0°	942	875	934	879	610

Τιμές σε Candela/m².

LED street lights 1324 / Δελτίο στοιχείων φωτισμού κινδύνου

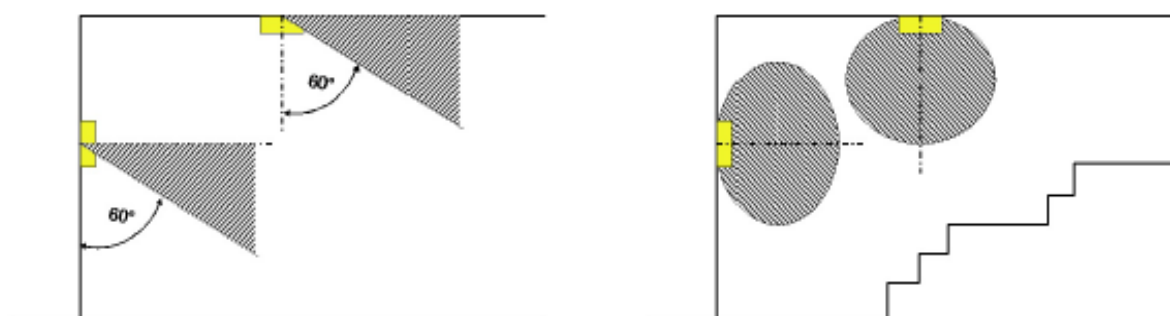
Φωτιστικό: LED street lights 1324

Λάμπες: 1 x

Δείκτης αναπαραγωγής χρώματος:	0
Φωτεινή ροή:	3601 lm
Συντελεστής διόρθωσης:	1.000
Συντελεστής φωτισμού κινδύνου:	1.00
Φωτεινή ροή φωτισμού κινδύνου:	3601 lm
Βαθμός απόδοσης λειτουργίας:	99.96
Βαθμός απόδοσης λειτουργίας (Κάτω μισός χώρος):	98.59
Βαθμός απόδοσης λειτουργίας (Πάνω μισός χώρος):	1.41

Αποτίμηση εκτύφλωσης (Μέγιστες εντάσεις φωτός [cd])

	C0	C90	C0 - C360
Gamma 60° - 90°	480.8	1023.3	2106.0
Gamma 0° - 180°	1302.8	1023.3	2106.0



Πίνακας αποστάσεων για επίπεδους διαδρόμους διαφυγής

Ύψος συναρμολόγησης [m]					
2.00	4.04	8.56	10.94	13.66	6.03
2.50	5.05	10.70	13.67	17.08	7.54
3.00	6.06	12.84	16.41	20.49	9.05
3.50	7.07	14.98	19.15	23.91	10.56
4.00	8.03	17.02	21.71	26.64	11.72

Ο πίνακας αποστάσεων βασίζεται στις παρακάτω παραμέτρους:

- Συντελεστής συντήρησης: 0.72
- Συντελεστής φωτισμού κινδύνου: 1.00
- Ελάχιστη ένταση φωτισμού στη μεσαία γραμμή: 1.00 lx
- Ελάχιστη ένταση φωτισμού στο μισό πλάτος δρόμου διάσωσης: 0.50 lx
- Μέγιστη ομοιομορφία στη μεσαία γραμμή 40 : 1
- Πλάτος του δρόμου διάσωσης: 2.00 m

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Στοιχεία σχεδιασμού

Μελέτη φωτισμού του παραλιακού δρόμου Ιτέας με χρήση αυτόνομων φωτιστικών σωμάτων LED κατανάλωσης 30W.

Προφίλ δρόμου

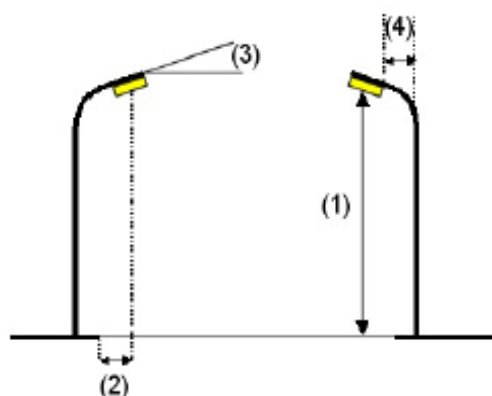
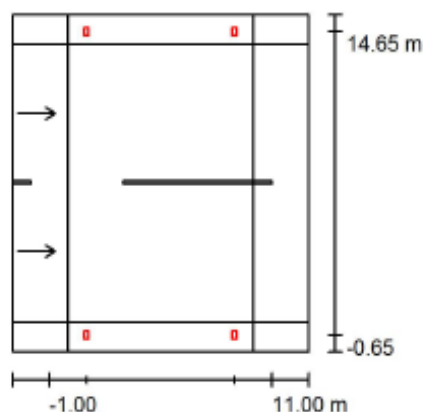
Πεζοδρόμιο 2 (Πλάτος: 1.500 m)

Οδόστρωμα 1 (Πλάτος: 14.000 m, Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας: 2, Ασφαλτικό σκυρόδεμα: R3, q_0 : 0.070)

Πεζοδρόμιο 1 (Πλάτος: 1.500 m)

Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Διατάξεις φωτιστικών



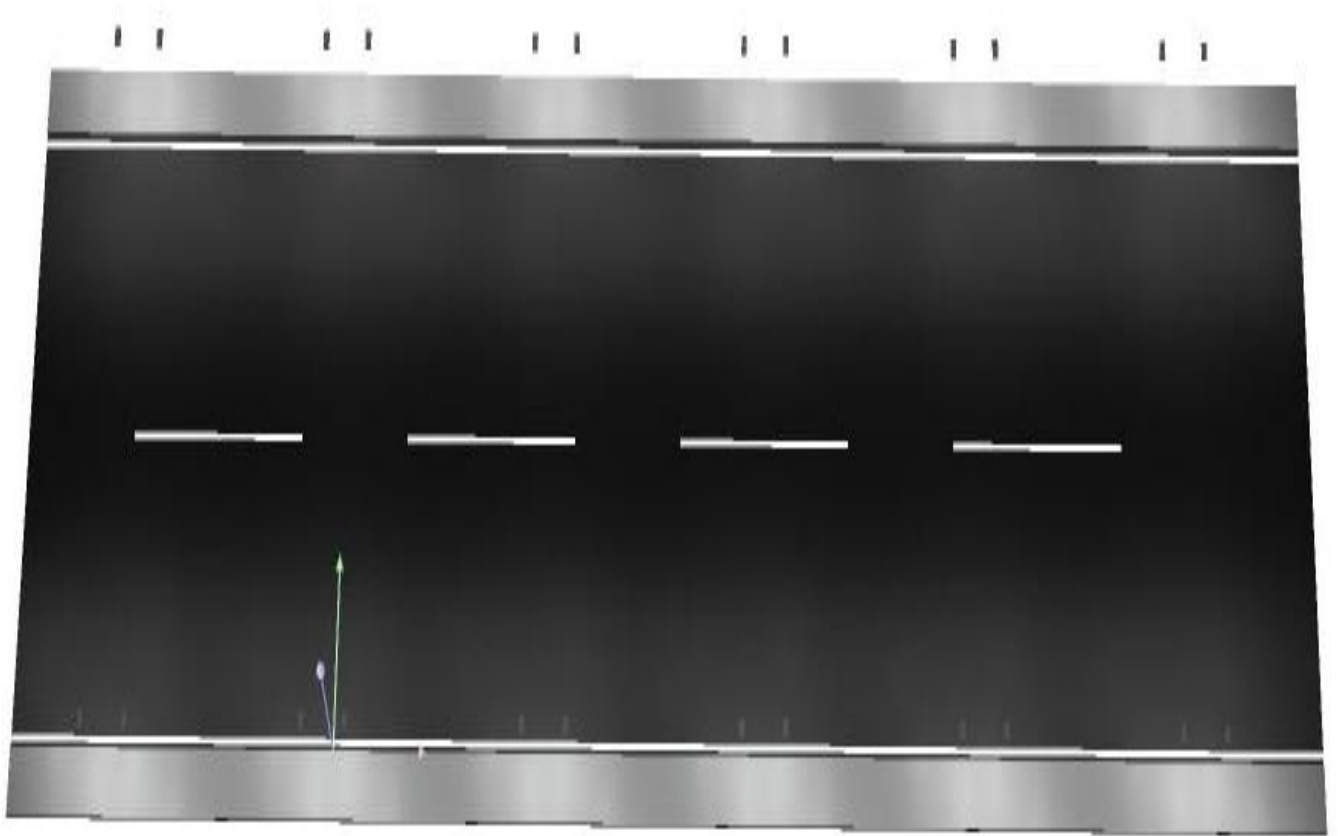
Φωτιστικό:	LED street lights 1324
Φωτεινή ροή (Φωτιστικό):	3599 lm
Φωτεινή ροή (Λάμπες):	3601 lm
Ισχύς φωτιστικού:	29.4 W
Διάταξη:	Και από τις δύο πλευρές απέναντι
Απόσταση ιστών (κολόνες):	10.000 m
Ύψος συναρμολόγησης (1):	3.000 m
Ύψος σημείου φωτός:	3.000 m
Προεξοχή (2):	-0.650 m
Κλίση βραχίονα (3):	0.0 °
Μήκος βραχίονα (4):	1.000 m

Μέγιστες τιμές της έντασης φωτός	
για 70°:	339 cd/klm
για 80°:	44 cd/klm
για 90°:	1.08 cd/klm

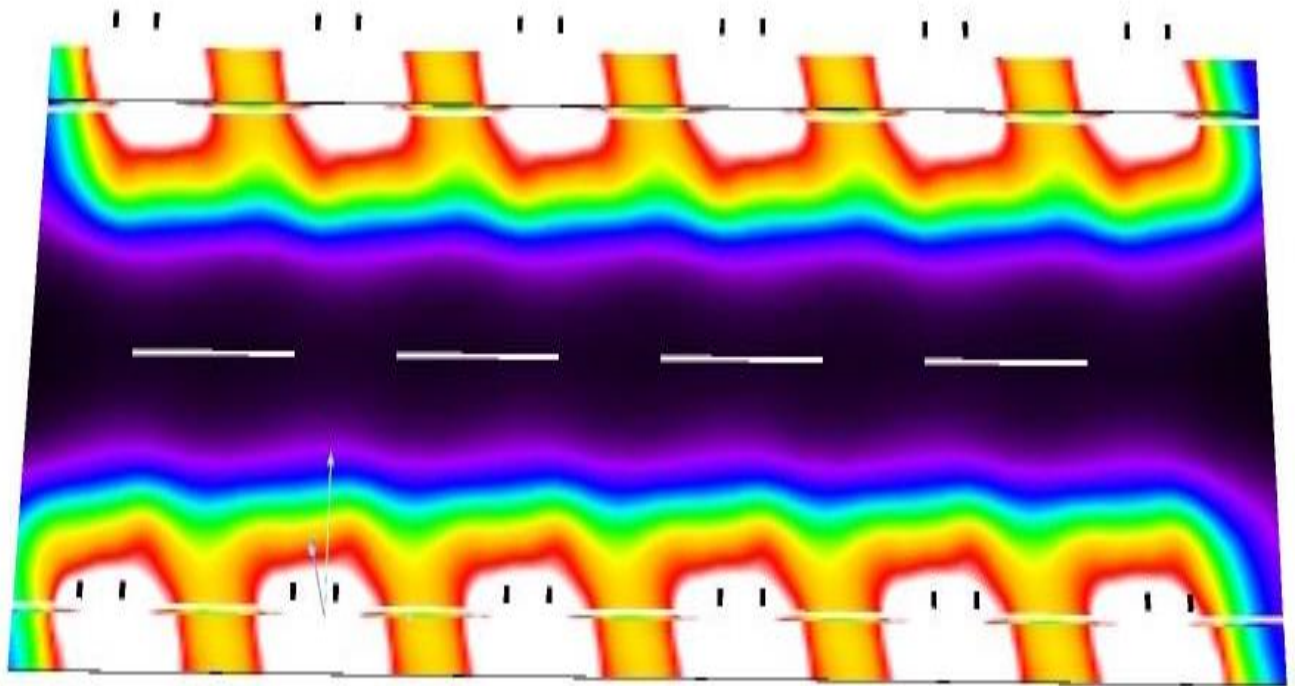
Κάθε φορά σε όλες τις κατευθύνσεις, που σχηματίζουν τη δεδομένη γωνία με την κάτω κάθετο σε εγκαταστημένα φωτιστικά που λειτουργούν.

Η διάταξη εκπληρεί την κατηγορία έντασης φωτός G3.

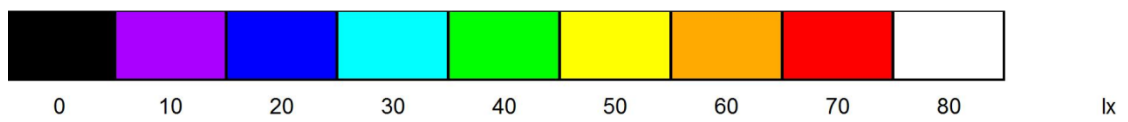
Η διάταξη εκπληρεί την κατηγορία δείκτη τύφλωσης D.6.



Εικόνα 6.1 Προοπτικό σχέδιο 3διαστάσεων

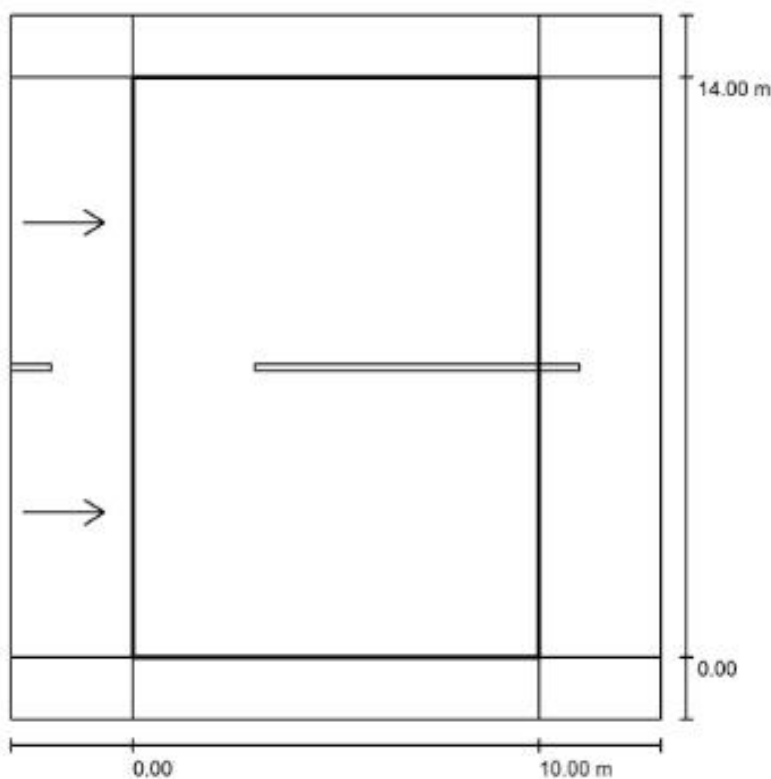


Εικόνα 6.2 Λάθος χρώματα προοπτικού σχεδίου



Εικόνα 6.3 Αντιστοιχία χρωμάτων με απόδοση lux

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδόστρωμα 1 / Επισκόπηση αποτελεσμάτων



Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Κλίμακα 1:158

Κάνναβος: 10 x 6 Σημεία
 Αντίστοιχα στοιχεία δρόμου: Οδόστρωμα 1.
 Ασφαλτικό σκυρόδεμα R3, q0: 0.070
 Επιλεγμένη κατηγορία φωτισμού: ME3c

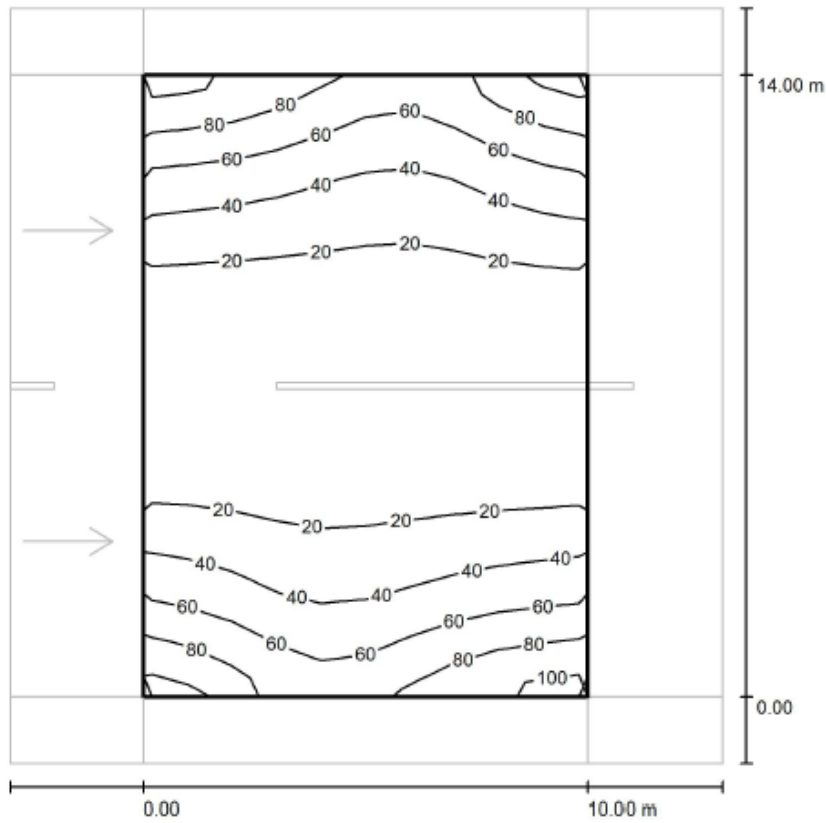
(Εκπληρούνται όλες οι φωτομετρικές απαιτήσεις)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Πραγματικές τιμές σύμφωνα με τον υπολογισμό:	1.85	0.45	0.82	1	1.45
Ονομαστικές τιμές σύμφωνα με την κατηγορία:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Εκπληρείται/δεν εκπληρείται:	✓	✓	✓	✓	✓

Αντίστοιχος παρατηρητής (2 Τεμάχια):

Αρ.	Παρατηρητής	Θέση [m]	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
1	Παρατηρητής 1	(-60.000, 3.500, 1.500)	1.85	0.45	0.82	1
2	Παρατηρητής 2	(-60.000, 10.500, 1.500)	1.85	0.45	0.82	1

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδοστρώμα 1 / Ισοδύναμες γραμμές (E)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 6 Σημεία

E_m [lx]
31

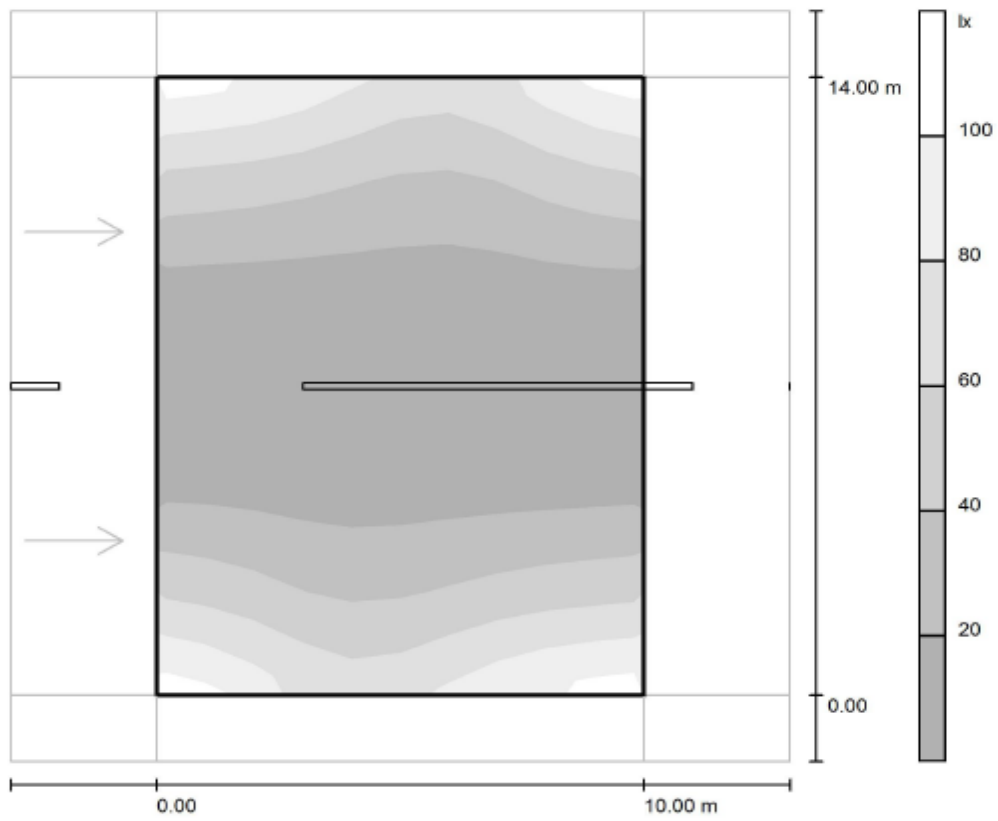
E_{min} [lx]
1.77

E_{max} [lx]
83

E_{min} / E_m
0.056

E_{min} / E_{max}
0.021

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδοστρώμα 1 / Αποχρώσεις γκρι (E)



Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 6 Σημεία

E_m [lx]
31

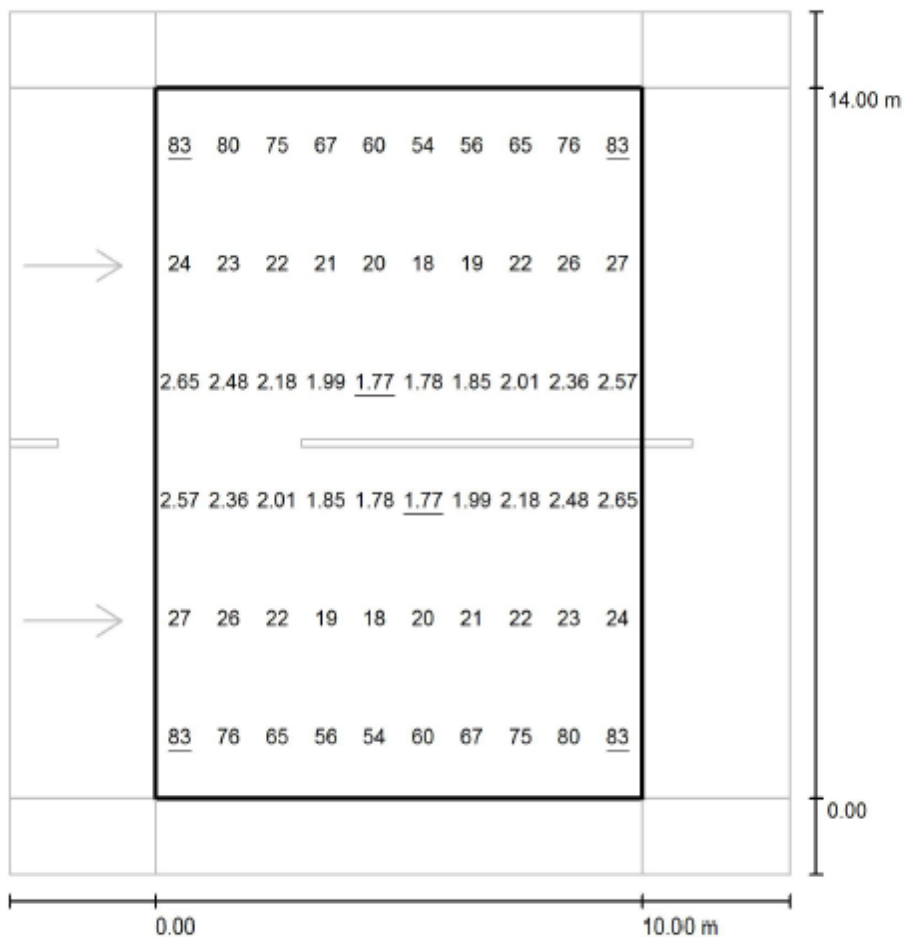
E_{min} [lx]
1.77

E_{max} [lx]
83

E_{min} / E_m
0.056

E_{min} / E_{max}
0.021

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδόστρωμα 1 / Γραφική παράσταση τιμών (E)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 6 Σημεία

E_m [lx]
31

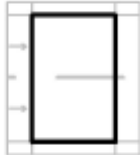
E_{min} [lx]
1.77

E_{max} [lx]
83

E_{min} / E_m
0.056

E_{min} / E_{max}
0.021

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδόστρωμα 1 / Πίνακας (Ε)



12.833	<u>83</u>	80	75	67	60	54	56	65	76	<u>83</u>
10.500	24	23	22	21	20	18	19	22	26	27
8.167	2.65	2.48	2.18	1.99	<u>1.77</u>	1.78	1.85	2.01	2.36	2.57
5.833	2.57	2.36	2.01	1.85	1.78	<u>1.77</u>	1.99	2.18	2.48	2.65
3.500	27	26	22	19	18	20	21	22	23	24
1.167	<u>83</u>	76	65	56	54	60	67	75	80	<u>83</u>
m	0.500	1.500	2.500	3.500	4.500	5.500	6.500	7.500	8.500	9.500

Προσοχή: Οι συντεταγμένες αναφέρονται στην παραπάνω εικόνα. Τιμές σε Lux.

Κάναβος: 10 x 6 Σημεία

E_m [lx]
31

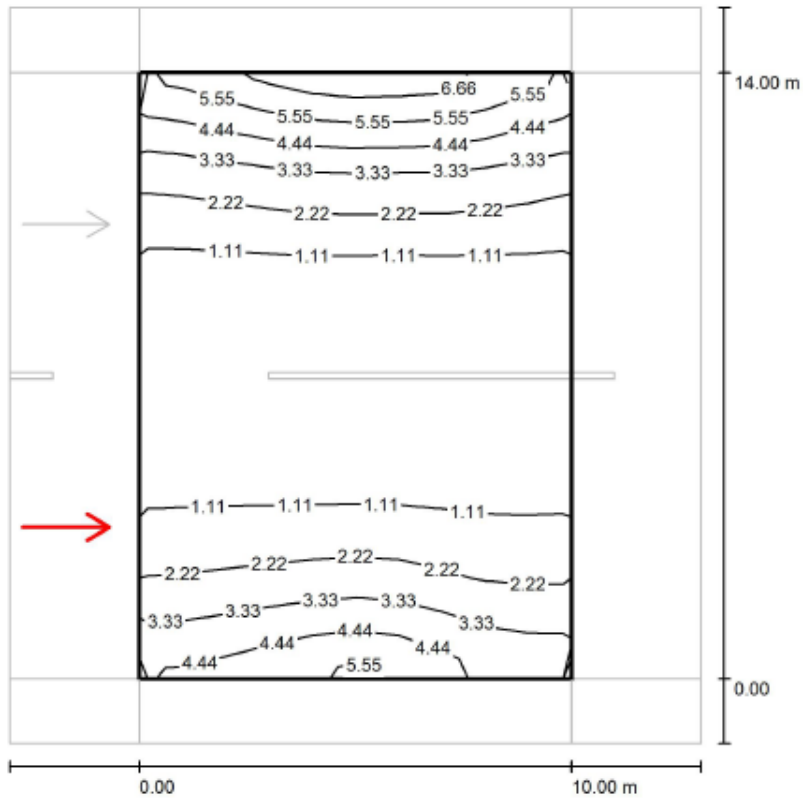
E_{min} [lx]
1.77

E_{max} [lx]
83

E_{min} / E_m
0.056

E_{min} / E_{max}
0.021

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδοστρώμα 1 / Παρατηρητής 1 /
Ισοδύναμες γραμμές (L)

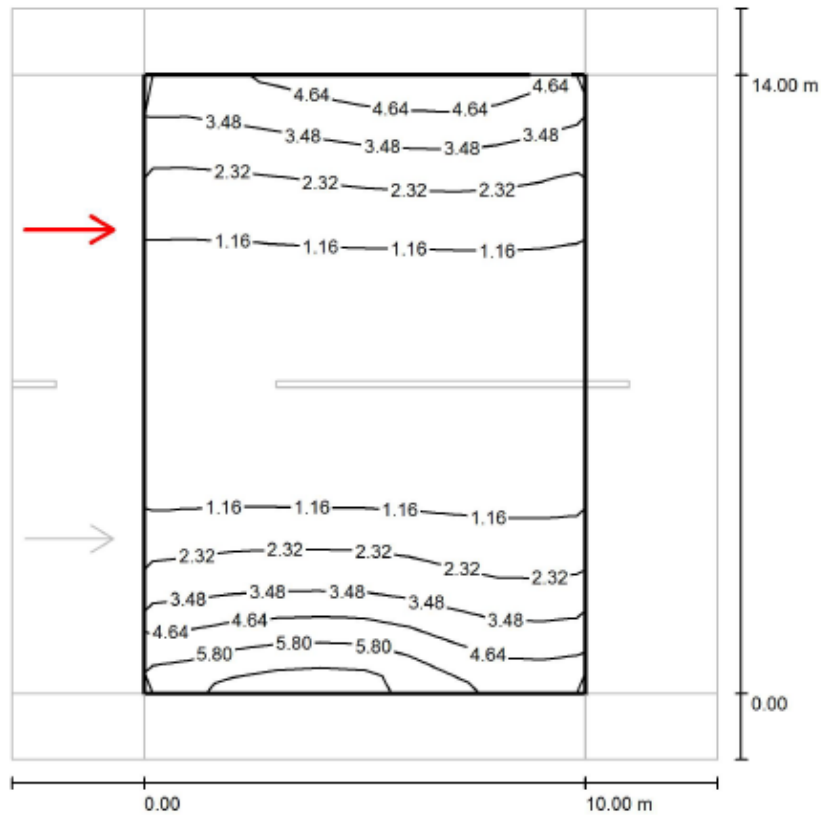


Τιμές σε Candela/m², Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 6 Σημεία
 Θέση του παρατηρητή: (-60.000 m, 3.500 m, 1.500 m)
 Ασφαλτικό σκυρόδεμα: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Πραγματικές τιμές σύμφωνα με τον υπολογισμό:	1.85	0.45	0.82	1
Ονομαστικές τιμές σύμφωνα με την κατηγορία ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Εκπληρείται/δεν εκπληρείται:	✓	✓	✓	✓

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Οδοστρώμα 1 / Παρατηρητής 2 /
Ισοδύναμες γραμμές (L)

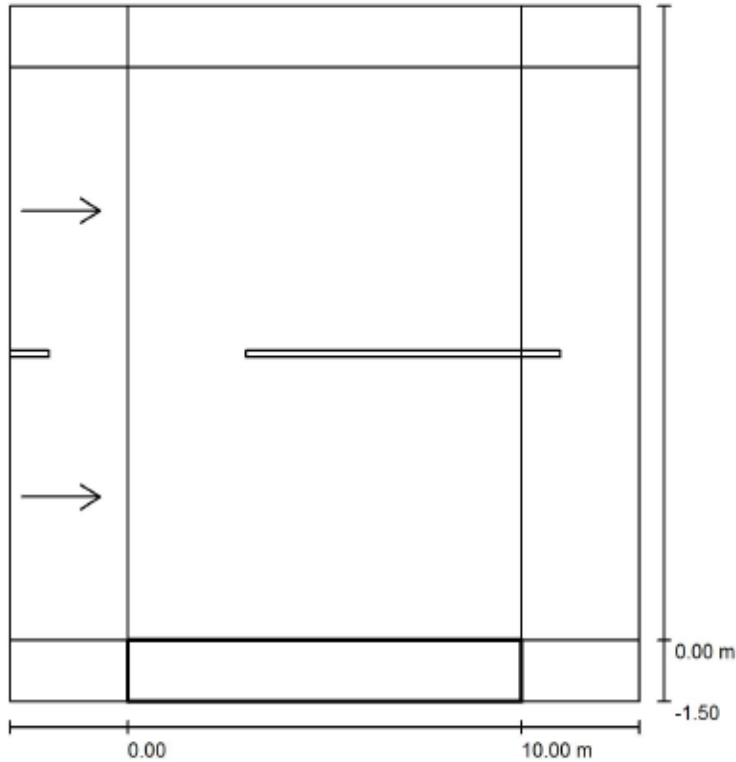


Τιμές σε Candela/m², Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 6 Σημεία
 Θέση του παρατηρητή: (-60.000 m, 10.500 m, 1.500 m)
 Ασφαλτικό σκυρόδεμα: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Πραγματικές τιμές σύμφωνα με τον υπολογισμό:	1.85	0.45	0.82	1
Ονομαστικές τιμές σύμφωνα με την κατηγορία ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Εκπληρείται/δεν εκπληρείται:	✓	✓	✓	✓

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 1 / Επισκόπηση αποτελεσμάτων



Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Κλίμακα 1:158

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

Αντίστοιχα στοιχεία δρόμου: Πεζοδρόμιο 1.

Επιλεγμένη κατηγορία φωτισμού: CE5

(Εκπληρούνται όλες οι φωτομετρικές απαιτήσεις.)

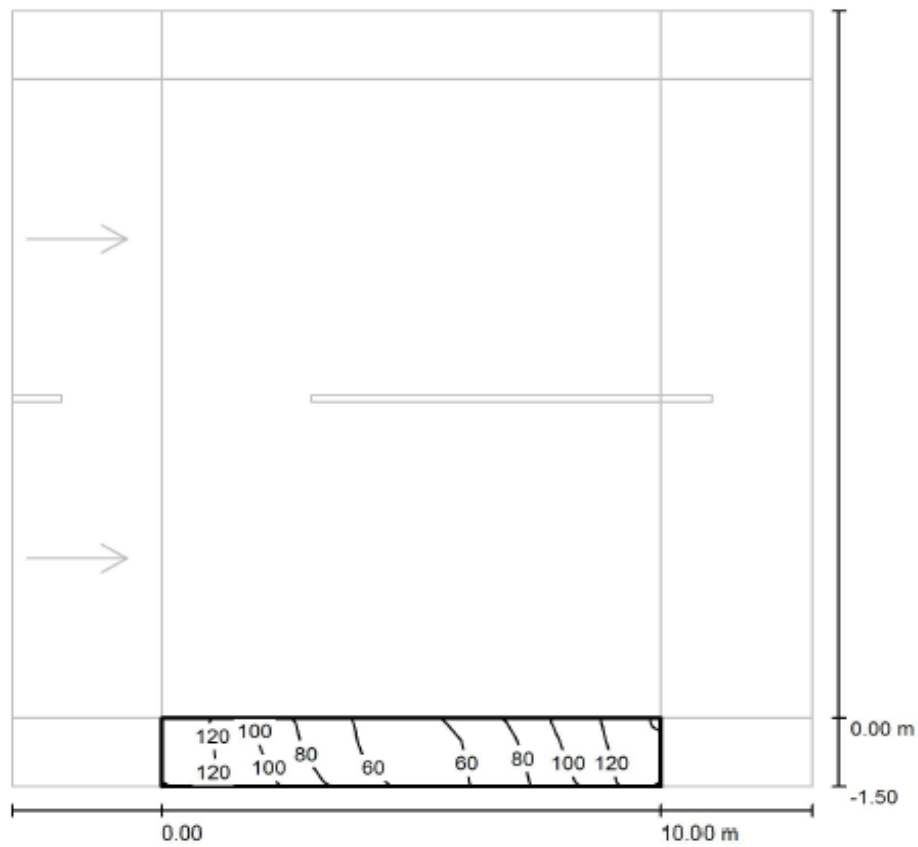
Πραγματικές τιμές σύμφωνα με τον υπολογισμό:

Ονομαστικές τιμές σύμφωνα με την κατηγορία:

Εκπληρείται/δεν εκπληρείται:

E_m [lx]	U_0
89.91	0.60
≥ 7.50	≥ 0.40
✓	✓

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 1 / Ισοδύναμες γραμμές (E)

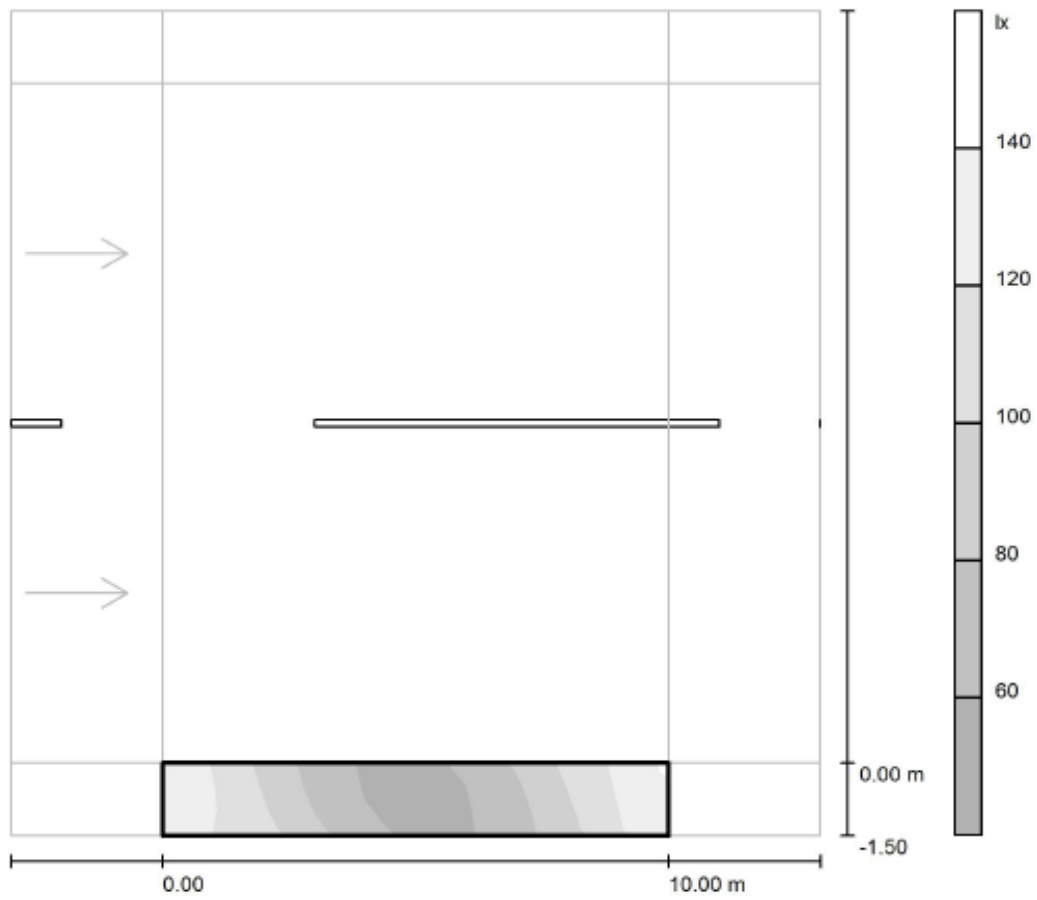


Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
90	54	133	0.596	0.402

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 1 / Αποχρώσεις γκρι (E)



Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]
90

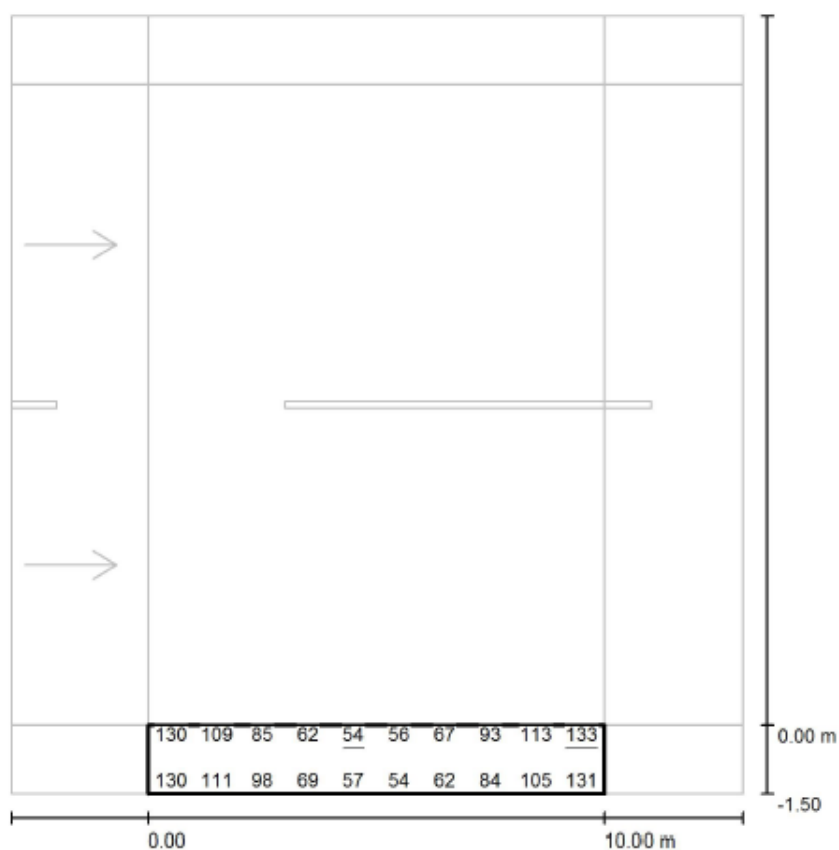
E_{min} [lx]
54

E_{max} [lx]
133

E_{min} / E_m
0.596

E_{min} / E_{max}
0.402

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 1 / Γραφική παράσταση τιμών (E)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 133

Δεν μπορούν να παρασταθούν όλες οι υπολογισμένες τιμές.

Κάναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]
90

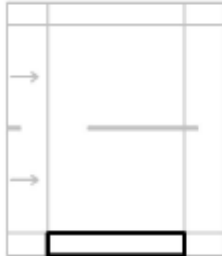
E_{min} [lx]
54

E_{max} [lx]
133

E_{min} / E_m
0.596

E_{min} / E_{max}
0.402

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 1 / Πίνακας (Ε)



1.250	130	109	85	62	<u>54</u>	56	67	93	113	<u>133</u>
0.750	132	113	87	65	<u>54</u>	<u>54</u>	63	85	112	131
0.250	130	111	98	69	57	<u>54</u>	62	84	105	131
m	0.500	1.500	2.500	3.500	4.500	5.500	6.500	7.500	8.500	9.500

Προσοχή: Οι συντεταγμένες αναφέρονται στην παραπάνω εικόνα. Τιμές σε Lux.

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]
90

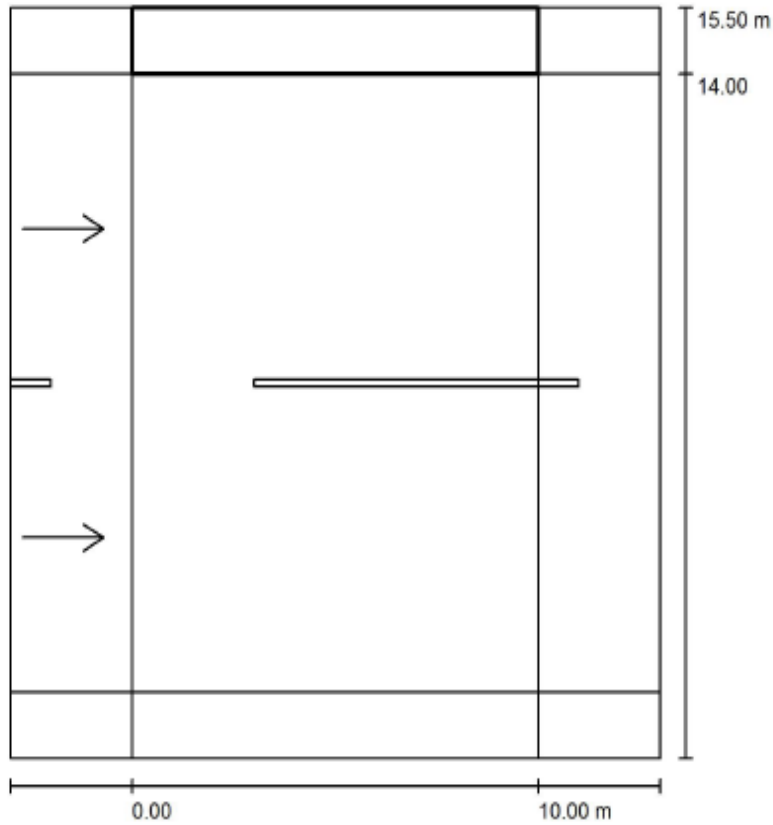
E_{min} [lx]
54

E_{max} [lx]
133

E_{min} / E_m
0.596

E_{min} / E_{max}
0.402

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 2 / Επισκόπηση αποτελεσμάτων



Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Κλίμακα 1:158

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

Αντίστοιχα στοιχεία δρόμου: Πεζοδρόμιο 2.

Επιλεγμένη κατηγορία φωτισμού: CE5

(Εκπληρούνται όλες οι φωτομετρικές απαιτήσεις.)

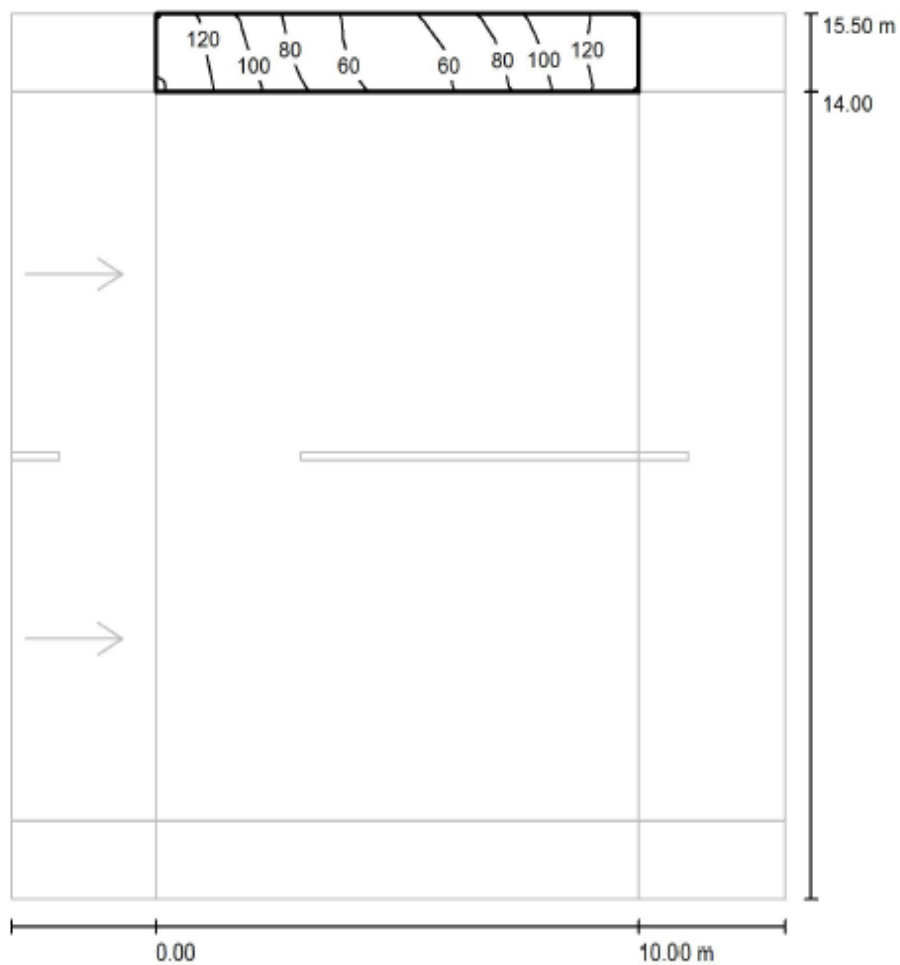
Πραγματικές τιμές σύμφωνα με τον υπολογισμό:

Ονομαστικές τιμές σύμφωνα με την κατηγορία:

Εκπληρείται/δεν εκπληρείται:

E_m [lx]	$U0$
89.91	0.60
≥ 7.50	≥ 0.40
✓	✓

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 2 / Ισοδύναμες γραμμές
(E)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 133

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]
90

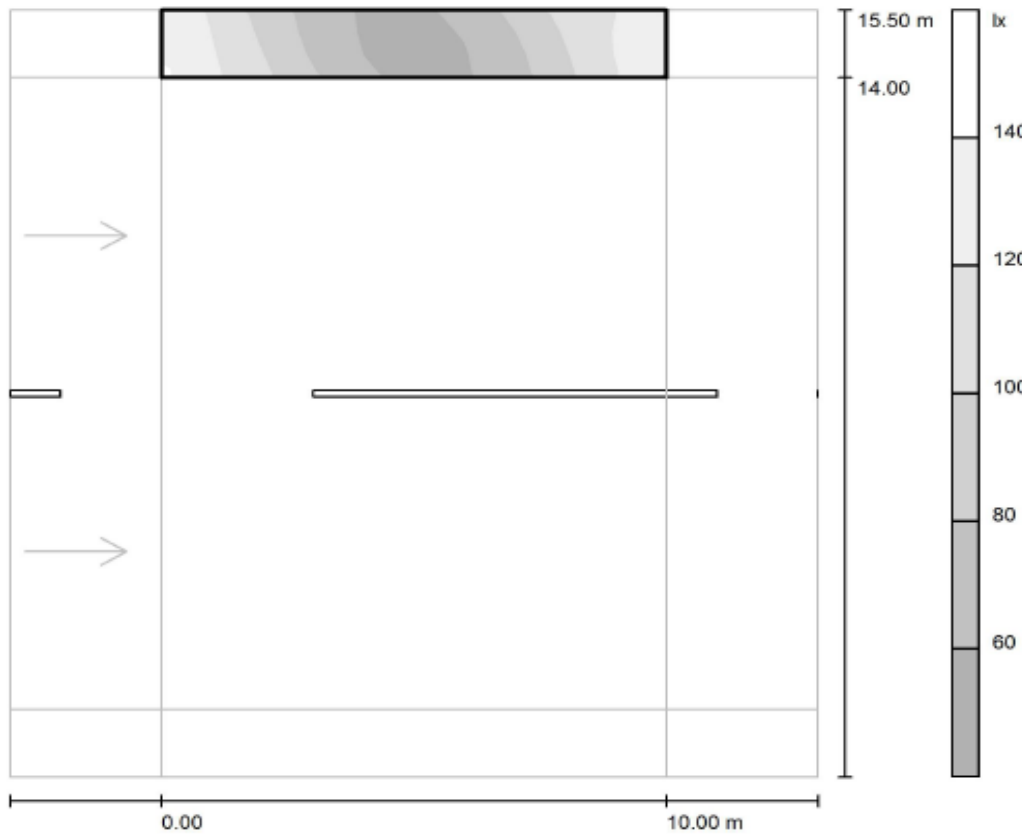
E_{min} [lx]
54

E_{max} [lx]
133

E_{min} / E_m
0.596

E_{min} / E_{max}
0.402

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 2 / Αποχρώσεις γκρι (E)



Κλίμακα 1 : 133

Κάναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]
90

E_{min} [lx]
54

E_{max} [lx]
133

E_{min} / E_m
0.596

E_{min} / E_{max}
0.402

Παραλιακός δρόμος Ιτέας / Πεδίο αξιολόγησης Πεζοδρόμιο 2 / Πίνακας (Ε)



1.250	131	105	84	62	<u>54</u>	57	69	98	111	130
0.750	131	112	85	63	<u>54</u>	<u>54</u>	65	87	113	132
0.250	<u>133</u>	113	93	67	56	<u>54</u>	62	85	109	130
m	0.500	1.500	2.500	3.500	4.500	5.500	6.500	7.500	8.500	9.500

Προσοχή: Οι συντεταγμένες αναφέρονται στην παραπάνω εικόνα. Τιμές σε Lux.

Κάνναβος: 10 x 3 Σημεία

E_m [lx]
90

E_{min} [lx]
54

E_{max} [lx]
133

E_{min} / E_m
0.596

E_{min} / E_{max}
0.402

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε οι τιμές που λάβαμε από το πρόγραμμα για τη συνολική ακτινοβολία την άμεση ακτινοβολία και την διαθλώμενη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο μας έδωσε την δυνατότητα μέσω συγκεκριμένων μαθηματικών τύπων να αναλύσουμε τις τιμές που λάβαμε για την συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες γωνίες του ηλιακού συλλέκτη καθώς και διαπιστώσαμε ποια είναι η κατάλληλη γωνία που πρέπει να τοποθετηθεί για κάθε μήνα του έτους. Επομένως λάβαμε πληροφορίες σχετικά με την γωνία στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί η οποία είναι στις 30° και η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει ο ηλιακός συλλέκτης για κάθε ημέρα επαρκεί για την αποθήκευση της ενέργειας στους συσσωρευτές έτσι ώστε να μην δημιουργηθεί αστοχία στις προβλέψεις για τη συγκεκριμένη διαστασιολόγηση. Άρα παρατηρούμε ότι από τις μετρήσεις μας η ενέργεια που τροφοδοτεί τη μπαταρία μας επαρκεί για την αυτονομία του .

Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε και μελέτη φωτισμού χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από τις πραγματικές διαστάσεις του δρόμου στην οποία διαπιστώσαμε ότι το φωτιστικό που διαλέξαμε είναι σωστό για την τοποθέτησή του.

Τέλος, επειδή από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε καταλήξαμε στο ότι η ηλιακή ακτινοβολία επαρκεί για την τροφοδοσία του αυτόνομου συστήματος φωτισμού αλλά λόγω το ότι το κόστος για την αντικατάσταση του είναι ακόμη μεγάλο για το δήμο αξίζει να θεωρηθεί μία εναλλακτική λύση για τη μελλοντική τροφοδοσία των υφιστάμενων ιστών φωτισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καρασιός, Πέτρος (2014) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Αθήνα : ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ
- [2] Δέρβος, Κ.Θ. (2013) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Από τη Θεωρία στη Πράξη. Αθήνα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.
- [3] Καλδέλλης, Ι. Κ., Σπυρόπουλος, Γ. Χ., & Καββαδίας, Κ. Α. (2007). Υπολογιστικές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας: ηλιακή ακτινοβολία-φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, ηλιακά θερμικά συστήματα..
- [4] Καλδέλλης, Ι. Κ. Καββαδίας Κ. Α. (2001) Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας. Αθήνα : ΣΤΑΜΟΥΛΗ Α.Ε.
- [5] Καπλάνης, Σ. Ν. (2004) ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων. Αθήνα : ΙΩΝ
- [6] Τοπαλής, Φραγκίσκος Β. Οικονόμου, Λάμπρος Κουρτέση, Σταυρούλα (2010) ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ . Αθήνα : ΤΖΙΟΛΑ
- [7] Κρητικός, Α. (2010) Ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά .Αθήνα: ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
- [8] Ιωαννίδης, Γ. (2014) ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΟΥ. Αιγάλεω: ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
- [9] <http://docplayer.gr/156111-3-iliaki-aktinovolia-se-keklimeno-epipe-o.html>
- [10] <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/cams-radiation-service>
- [11] <http://www.nit.ac.in/teqip/pdf/REPORT.pdf>
- [12] https://www.scribd.com/doc/59102545/Elot-en-13201-0dofwt?secret_password=1po79koprxxkdmwjzh53#download&from_embed
- [13] ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ (2010) ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. <http://www.helapco.gr/ims/file/installers/totee-klimatika.pdf> .
- [14] Dunlop, J. (2008) Stand-Alone Photovoltaic Lighting Systems. A Decisions Maker's Guide, Volume 1: Photovoltaic Lighting Applications.
- [15] Dunlop, J. (1998) Stand-Alone Photovoltaic Lighting Systems. A Decisions Maker's Guide, Volume 3: Technical Specifications and Case Studies.
- [16] Dunlop, J. (1998) Stand-Alone Photovoltaic Lighting Systems. A Decisions Maker's Guide, Volume 4: Lighting Fundamentals and Equipment Applications.
- [17] Ζήλιας, Θ. (2003) Φωτισμός Αυτοκινητοδρόμων. Αθήνα : ΤΕΕ
- [18] Khanti , M. (2010) Designing a Stand-Alone PV System . <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/designing-stand-alone-pv-system?v=print>.
- [19] SERIES, I. R. E. Solar Photovoltaic Energy.
- [20] www.dialux.com
- [21] Μπιτζιώτης Β., & Μπιτζιώτης Δ. (2011), *Εναλλακτικές μορφές ενέργειας*, Θεσσαλονίκη:Τζιόλα
- [22] www.acalight.gr
- [23] Τοπαλής, Φ. Β., Οικονόμου, Λ., & Κουρτέση, Σ. (1994). Φωτοτεχνία. *Εκδόσεις ΕΜ Π*.

- [24] Hansen, A. D., Sørensen, P. E., Hansen, L. H., & Bindner, H. W. (2001). *Models for a stand-alone PV system*.
- [25] Bullough, J. D. (2003, May). Lighting answers: LED lighting systems. In *National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center* (Vol. 7, No. 3).
- [26] Nuttall, D. R., Shuttleworth, R., & Routledge, G. (2008). Design of a LED street lighting system.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Στους παρακάτω πίνακες βλέπουμε για κάθε μήνα του έτους 2015 την μέση ημερήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία , την διαθλώμενη ηλιακή ακτινοβολία και την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που έχουμε λάβει από το πρόγραμμα COPERNICUS στις 0° . Έχουν μετατραπεί οι τιμές για να προσδιοριστεί η βέλτιστη κλίση στις 30°,45°,60°,90° που όπως έχει αναφερθεί στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 θα τοποθετηθεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	790.84	120.972	669.87	1,384.60	112.87	1,497.46	1,611.37	103.26	1,714.62	1728.323	90.729	1819.052	1453.772	60.486	1514.258
2	550.648	349.869	200.78	414.06	326.43	740.49	481.64	298.63	780.27	516.3921	262.4018	778.7939	434.3388	174.9345	609.2733
3	148.618	148.199	0.42	0.86	138.27	139.13	1.00	126.50	127.50	1.073962	111.1493	112.2232	0.903257	74.0995	75.00276
4	325.203	319.136	6.07	12.45	297.76	310.21	14.46	272.40	286.86	15.49357	239.352	254.8456	13.02994	159.568	172.5979
5	571.018	201.636	369.38	755.75	188.13	943.87	877.58	172.11	1,049.69	939.6068	151.227	1090.834	790.1322	100.818	890.9502
6	491.751	433.243	58.51	119.35	404.22	523.57	138.50	369.80	508.29	148.2074	324.9323	473.1397	124.6179	216.6215	341.2394
7	737.164	295.208	441.96	898.67	275.43	1,174.10	1,042.13	251.98	1,294.11	1114.579	221.406	1335.985	937.0684	147.604	1084.672
8	809.959	129.694	680.27	1,378.62	121.01	1,499.63	1,597.54	110.70	1,708.24	1707.581	97.2705	1804.852	1435.437	64.847	1500.284
9	643.588	395.608	247.98	500.80	369.11	869.90	579.87	337.67	917.54	619.4226	296.706	916.1286	520.6237	197.804	718.4277
10	227.375	227.004	0.37	0.75	211.80	212.54	0.86	193.76	194.62	0.921953	170.253	171.175	0.774766	113.502	114.2768
11	433.499	412.765	20.73	41.56	385.11	426.67	48.04	352.32	400.36	51.24846	309.5738	360.8222	43.05841	206.3825	249.4409
12	266.205	233.286	32.92	65.72	217.66	283.38	75.90	199.12	275.02	80.91105	174.9645	255.8756	67.96566	116.643	184.6087
13	704.689	253.522	451.17	896.99	236.54	1,133.53	1,034.99	216.39	1,251.39	1102.463	190.1415	1292.605	925.846	126.761	1052.607
14	856.347	133.557	722.79	1,430.86	124.61	1,555.47	1,649.40	114.00	1,763.39	1755.529	100.1678	1855.697	1473.884	66.7785	1540.663
15	239.224	209.148	30.08	59.28	195.14	254.41	68.26	178.52	246.78	72.59234	156.861	229.4533	60.92748	104.574	165.5015
16	290.171	281.436	8.74	17.14	262.58	279.72	19.71	240.22	259.93	20.9467	211.077	232.0237	17.57482	140.718	158.2928
17	497.196	433.902	63.29	123.59	404.84	528.42	142.02	370.36	512.38	150.7669	325.4265	476.1934	126.4501	216.951	343.4011
18	251.311	250.108	1.20	2.34	233.35	235.69	2.68	213.48	216.16	2.845842	187.581	190.4268	2.385864	125.054	127.4399
19	766.006	387.951	378.06	730.96	361.96	1,092.92	838.04	331.14	1,169.17	888.0031	290.9633	1178.966	744.1385	193.9755	938.114
20	232.844	231.758	1.09	2.09	216.23	218.32	2.39	197.82	200.21	2.532317	173.8185	176.3508	2.121015	115.879	118
21	868.033	134.499	733.53	1,403.66	125.49	1,529.15	1,605.37	114.80	1,720.17	1697.671	100.8743	1798.545	1421.171	67.2495	1488.421
22	474.8	419.516	55.28	105.22	391.41	496.64	120.19	358.08	478.27	126.9684	314.637	441.6054	106.2272	209.758	315.9852
23	593.208	404.491	188.72	357.23	377.40	734.62	407.51	345.25	752.77	430.0217	303.3683	733.39	359.5476	202.2455	561.7931
24	871.683	177.714	693.97	1,306.32	165.81	1,472.13	1,488.19	151.69	1,639.88	1568.644	133.2855	1701.929	1310.672	88.857	1399.529
25	547.253	411.721	135.53	253.68	384.14	637.82	288.59	351.43	640.02	303.8468	308.7908	612.6376	253.6908	205.8605	459.5513
26	828.554	289.137	539.42	1,003.79	269.77	1,273.56	1,140.35	246.79	1,387.15	1199.2	216.8528	1416.052	1000.455	144.5685	1145.024
27	828.792	180.381	648.41	1,199.52	168.30	1,367.82	1,360.74	153.96	1,514.70	1429.219	135.2858	1564.504	1191.339	90.1905	1281.529
28	858.842	193.978	664.86	1,222.61	180.98	1,403.59	1,384.87	165.57	1,550.44	1452.752	145.4835	1598.236	1209.852	96.989	1306.841
29	833.682	161.659	672.02	1,228.27	150.83	1,379.10	1,389.17	137.98	1,527.16	1455.407	121.2443	1576.651	1210.881	80.8295	1291.711
30	848.114	186.891	661.22	1,201.09	174.37	1,375.46	1,356.33	159.52	1,515.85	1419.131	140.1683	1559.299	1179.471	93.4455	1272.916
31	863.491	312.802	550.69	994.07	291.85	1,285.92	1,120.77	266.99	1,387.76	1171.088	234.6015	1405.69	972.2369	156.401	1128.638

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	906.99	166.449	740.54	1,328.32	155.30	1,483.62	1,495.20	142.07	1,637.27	1560.178	124.8368	1685.015	1293.73	83.2245	1376.954
2	951.376	131.026	820.35	1,462.07	122.25	1,584.32	1,643.03	111.84	1,754.87	1712.025	98.2695	1810.295	1417.862	65.513	1483.375
3	970.217	140.775	829.44	1,468.70	131.34	1,600.05	1,647.71	120.16	1,767.87	1714.429	105.5813	1820.01	1417.962	70.3875	1488.35
4	247.523	247.4	0.12	0.22	230.83	231.04	0.24	211.17	211.41	0.251769	185.55	185.8018	0.207938	123.7	123.9079
5	427.528	376.112	51.42	89.85	350.92	440.77	100.45	321.03	421.48	104.2083	282.084	386.2923	85.93803	188.056	273.994
6	995.342	149.844	845.50	1,467.66	139.81	1,607.46	1,637.92	127.90	1,765.82	1696.556	112.383	1808.939	1396.9	74.922	1471.822
7	985.158	138.331	846.83	1,460.07	129.06	1,589.13	1,626.50	118.07	1,744.57	1682.084	103.7483	1785.832	1382.678	69.1655	1451.843
8	852.846	435.993	416.85	713.84	406.79	1,120.63	793.75	372.14	1,165.89	819.5605	326.9948	1146.555	672.4981	217.9965	890.4946
9	935.839	223.633	712.21	1,211.28	208.65	1,419.93	1,344.34	190.88	1,535.23	1385.792	167.7248	1553.517	1135.022	111.8165	1246.838
10	268.117	268.115	0.00	0.00	250.15	250.16	0.00	228.85	228.85	0.003851	201.0863	201.0901	0.003148	134.0575	134.0606
11	947.304	278.685	668.62	1,121.48	260.02	1,381.49	1,239.90	237.87	1,477.78	1273.835	209.0138	1482.848	1039.166	139.3425	1178.509
12	212.814	212.466	0.35	0.58	198.23	198.81	0.64	181.35	181.99	0.65594	159.3495	160.0054	0.533953	106.233	106.767
13	367.991	351.104	16.89	27.93	327.58	355.51	30.76	299.69	330.44	31.48783	263.328	294.8158	25.57423	175.552	201.1262
14	377.293	236.215	141.08	231.68	220.39	452.07	254.62	201.62	456.24	260.2022	177.1613	437.3635	210.836	118.1075	328.9435
15	815.212	446.298	368.91	601.53	416.40	1,017.93	659.73	380.94	1,040.67	672.9702	334.7235	1007.694	543.9453	223.149	767.0943
16	832.184	588.963	243.22	393.76	549.51	943.26	430.95	502.71	933.66	438.7827	441.7223	880.505	353.7403	294.4815	648.2218
17	561.822	549.191	12.63	20.30	512.40	532.70	22.17	468.76	490.94	22.53325	411.8933	434.4265	18.11687	274.5955	292.7124
18	371.54	357.436	14.10	22.51	333.49	356.00	24.53	305.09	329.62	24.87867	268.077	292.9557	19.9461	178.718	198.6641
19	1022.065	267.989	754.08	1,194.64	250.04	1,444.68	1,299.14	228.74	1,527.89	1315.107	200.9918	1516.099	1051.257	133.9945	1185.252
20	1016.657	226.059	790.60	1,243.44	210.92	1,454.35	1,349.24	192.95	1,542.19	1363.095	169.5443	1532.639	1086.264	113.0295	1199.294
21	1076.768	142.319	934.45	1,459.01	132.79	1,591.80	1,579.64	121.48	1,701.12	1592.63	106.7393	1699.369	1265.109	71.1595	1336.269
22	1012.507	406.408	606.10	939.45	379.18	1,318.63	1,014.84	346.89	1,361.73	1021.074	304.806	1325.88	808.3795	203.204	1011.583
23	950.781	295.057	655.72	1,008.95	275.29	1,284.24	1,087.45	251.85	1,339.29	1091.831	221.2928	1313.124	861.3859	147.5285	1008.914
24	383.39	379.858	3.53	5.39	354.41	359.81	5.80	324.23	330.03	5.81224	284.8935	290.7057	4.568854	189.929	194.4979
25	1046.651	265.742	780.91	1,184.05	247.94	1,431.99	1,270.28	226.82	1,497.10	1269.931	199.3065	1469.237	994.4917	132.871	1127.363
26	1018.843	302.789	716.05	1,077.75	282.51	1,360.26	1,153.52	258.45	1,411.96	1150.672	227.0918	1377.763	897.5607	151.3945	1048.955
27	1087.492	274.87	812.62	1,214.12	256.46	1,470.58	1,296.38	234.62	1,531.00	1290.299	206.1525	1496.452	1002.366	137.435	1139.801
28	1096.532	278.476	818.06	1,213.26	259.82	1,473.08	1,292.35	237.69	1,530.05	1283.371	208.857	1492.228	992.7528	139.238	1131.991

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΜΑΡΤΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1159.221	294.486	864.735	1,263.69	274.76	1,538.45	1,352.76	251.36	1,604.12	1340.267	220.8645	1561.131	1032.195	147.243	1179.438
2	1044.079	515.037	529.042	767.43	480.54	1,247.97	819.51	439.61	1,259.12	810.0469	386.2778	1196.325	620.9942	257.5185	878.5127
3	1001.7	400.33	601.37	865.94	373.51	1,239.45	922.40	341.70	1,264.11	909.5925	300.2475	1209.84	693.9931	200.165	894.1581
4	599.91	355.619	244.291	349.18	331.80	680.97	371.02	303.54	674.56	364.9823	266.7143	631.6965	277.0974	177.8095	454.9069
5	1174.091	160.881	1013.21	1,437.58	150.10	1,587.68	1,523.63	137.32	1,660.95	1495.195	120.6608	1615.856	1129.353	80.4405	1209.794
6	1003.22	563.884	439.336	618.77	526.11	1,144.88	654.13	481.31	1,135.43	640.3311	422.913	1063.244	481.0882	281.942	763.0302
7	686.593	673.198	13.395	18.73	628.10	646.83	19.75	574.61	594.36	19.28129	504.8985	524.1798	14.4065	336.599	351.0055
8	1065.816	359.686	706.13	979.98	335.59	1,315.57	1,030.62	307.01	1,337.63	1003.785	269.7645	1273.549	745.7208	179.843	925.5638
9	574.889	510.769	64.12	88.33	476.55	564.89	92.66	435.97	528.62	90.00967	383.0768	473.0864	66.47327	255.3845	321.8578
10	981.856	377.864	603.992	826.00	352.55	1,178.55	864.10	322.53	1,186.63	837.2297	283.398	1120.628	614.512	188.932	803.444
11	1102.483	633.03	469.453	637.32	590.63	1,227.95	664.93	540.32	1,205.26	642.5425	474.7725	1117.315	468.6172	316.515	785.1322
12	217.21	217.208	0.002	0.00	202.66	202.66	0.00	185.40	185.40	0.002703	162.906	162.9087	0.001958	108.604	108.606
13	547.299	539.366	7.933	10.61	503.24	513.85	11.01	460.38	471.39	10.58468	404.5245	415.1092	7.616416	269.683	277.2994
14	500.08	499.216	0.864	1.15	465.77	466.92	1.19	426.11	427.29	1.138123	374.412	375.5501	0.81317	249.608	250.4212
15	527.62	527.514	0.106	0.14	492.18	492.32	0.14	450.26	450.41	0.137847	395.6355	395.7733	0.097768	263.757	263.8548
16	665.302	625.715	39.587	51.82	583.80	635.62	53.33	534.08	587.41	50.82073	469.2863	520.107	35.77136	312.8575	348.6289
17	723.951	624.312	99.639	129.49	582.49	711.98	132.88	532.88	665.76	126.2689	468.234	594.5029	88.17922	312.156	400.3352
18	319.721	319.366	0.355	0.46	297.97	298.43	0.47	272.60	273.06	0.444075	239.5245	239.9686	0.307595	159.683	159.9906
19	1182.828	342.392	840.436	1,076.57	319.46	1,396.03	1,098.46	292.25	1,390.71	1037.71	256.794	1294.504	712.7279	171.196	883.9239
20	1212.082	339.766	872.316	1,109.42	317.01	1,426.43	1,128.71	290.01	1,418.72	1063.095	254.8245	1317.919	723.7909	169.883	893.6739
21	1120.104	634.795	485.309	612.82	592.27	1,205.09	621.67	541.83	1,163.50	583.7498	476.0963	1059.846	393.8444	317.3975	711.2419
22	1152.296	504.93	647.366	811.66	471.11	1,282.77	820.96	430.98	1,251.95	768.5153	378.6975	1147.213	513.6481	252.465	766.1131
23	334.615	322.151	12.464	15.52	300.57	316.09	15.65	274.97	290.62	14.60391	241.6133	256.2172	9.665872	161.0755	170.7414
24	530.095	484.799	45.296	56.00	452.32	508.32	56.31	413.80	470.11	52.38733	363.5993	415.9866	34.32313	242.3995	276.7226
25	635.785	531.331	104.454	128.24	495.74	623.98	128.58	453.52	582.10	119.2592	398.4983	517.7574	77.31574	265.6655	342.9812
26	1242.84	420.28	822.56	1,002.93	392.13	1,395.05	1,002.70	358.73	1,361.43	927.2142	315.21	1242.424	594.5593	210.14	804.6993
27	595.664	565.311	30.353	36.76	527.44	564.20	36.64	482.52	519.17	33.78358	423.9833	457.7668	21.41802	282.6555	304.0735
28	1209.876	560.818	649.058	780.66	523.25	1,303.91	776.12	478.69	1,254.81	713.3864	420.6135	1134	446.9642	280.409	727.3732
29	1012.422	585.146	427.276	510.46	545.95	1,056.40	506.10	499.45	1,005.55	463.8023	438.8595	902.6618	287.0561	292.573	579.6291
30	1341.767	235.997	1105.77	1,312.23	220.19	1,532.42	1,297.50	201.44	1,498.93	1185.546	176.9978	1362.543	724.5119	117.9985	842.5104
31	1363.929	156.091	1207.838	1,433.36	145.63	1,578.99	1,404.12	133.23	1,537.36	1279.196	117.0683	1396.264	771.544	78.0455	849.5895

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΑΙΠΙΑΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1250.881	714.11	536.77	628.63	666.28	1,294.90	618.2679	609.5336	1227.801	561.6117	535.5848	1097.196	334.1597	357.0565	691.2162
2	1048.959	842.17	206.79	240.60	785.76	1,026.36	236.0181	718.8388	954.8569	213.7667	631.629	845.3957	125.4138	421.086	546.4998
3	1146.517	761.38	385.14	445.22	710.38	1,155.60	435.6226	649.8768	1085.499	393.4123	571.0335	964.4458	227.4724	380.689	608.1614
4	1274.283	385.42	888.87	1,020.95	359.60	1,380.55	996.4107	328.9748	1325.386	897.2763	289.0635	1186.34	511.0513	192.709	703.7603
5	1333.185	302.57	1,030.61	1,176.24	282.31	1,458.55	1145.107	258.2631	1403.37	1028.233	226.9305	1255.164	576.5857	151.287	727.8727
6	1304.774	289.18	1,015.60	1,151.81	269.81	1,421.61	1118.562	246.8289	1365.39	1001.547	216.8835	1218.43	552.6465	144.589	697.2355
7	1088.526	575.00	513.53	578.76	536.48	1,115.25	560.6993	490.7915	1051.491	500.6272	431.2485	931.8757	271.6804	287.499	559.1794
8	1055.635	673.32	382.32	428.22	628.22	1,056.43	413.8612	574.7137	988.5749	368.4851	504.9893	873.4743	196.5568	336.6595	533.2163
9	905.474	820.96	84.51	94.08	765.97	860.05	90.71242	700.7332	791.4456	80.54164	615.72	696.2616	42.20483	410.48	452.6848
10	889.278	665.50	223.78	247.59	620.92	868.51	238.1809	568.0372	806.2181	210.8904	499.1228	710.0131	108.496	332.7485	441.2445
11	1352.208	318.86	1,033.35	1,136.41	297.50	1,433.91	1090.729	272.1615	1362.89	963.0989	239.1428	1202.242	486.1565	159.4285	645.585
12	1419.984	223.30	1,196.69	1,308.18	208.34	1,516.51	1252.781	190.5951	1443.376	1103.167	167.472	1270.639	546.0338	111.648	657.6818
13	1267.167	574.64	692.53	752.56	536.15	1,288.71	719.113	490.4851	1209.598	631.5142	430.9793	1062.493	306.302	287.3195	593.6215
14	912.929	567.11	345.82	373.59	529.12	902.71	356.2148	484.0604	840.2752	311.9795	425.334	737.3135	148.179	283.556	431.735
15	1466.568	166.79	1,299.77	1,396.00	155.62	1,551.62	1328.25	142.3676	1470.617	1160.193	125.0955	1285.288	539.2371	83.397	622.6341
16	1463.117	198.68	1,264.44	1,350.22	185.37	1,535.59	1282.023	169.5848	1451.608	1116.839	149.0108	1265.85	507.5904	99.3405	606.9309
17	1438.872	312.78	1,126.09	1,195.63	291.83	1,487.46	1132.921	266.977	1399.898	984.345	234.5873	1218.932	437.1348	156.3915	593.5263
18	1458.468	223.77	1,234.70	1,303.54	208.78	1,512.32	1232.697	190.9996	1423.697	1068.233	167.8275	1236.06	463.1682	111.885	575.0532
19	1302.518	573.42	729.09	765.44	535.01	1,300.45	722.4196	489.448	1211.868	624.4091	430.068	1054.477	264.1149	286.712	550.8269
20	1455.258	250.16	1,205.10	1,258.18	233.40	1,491.58	1185.173	213.5215	1398.694	1021.74	187.617	1209.357	421.2566	125.078	546.3346
21	1303.674	418.17	885.51	919.44	390.15	1,309.60	864.4579	356.927	1221.385	743.3459	313.6245	1056.97	298.4666	209.083	507.5496
22	1381.603	567.63	813.97	840.59	529.61	1,370.19	788.8555	484.5017	1273.357	676.6155	425.7218	1102.337	264.3291	283.8145	548.1436
23	1215.59	600.88	614.71	631.41	560.63	1,192.03	591.4731	512.8832	1104.356	506.0417	450.66	956.7017	192.1628	300.44	492.6028
24	1296.823	424.36	872.47	891.41	395.93	1,287.34	833.5527	362.2122	1195.765	711.3786	318.2685	1029.647	262.3168	212.179	474.4958
25	1436.523	390.49	1,046.04	1,063.15	364.33	1,427.48	992.4183	333.3015	1325.72	844.8677	292.8653	1137.733	302.2025	195.2435	497.446
26	1422.731	335.97	1,086.76	1,098.82	313.47	1,412.28	1023.97	286.7709	1310.741	869.5955	251.9798	1121.575	301.3908	167.9865	469.3773
27	1450.164	402.01	1,048.15	1,054.36	375.08	1,429.44	980.9074	343.1387	1324.046	831.0069	301.509	1132.516	278.7504	201.006	479.7564
28	1313.711	462.39	851.32	852.03	431.41	1,283.45	791.3921	394.672	1186.064	668.8447	346.7903	1015.635	216.8716	231.1935	448.0651
29	868.816	790.23	78.59	78.26	737.29	815.55	72.57735	674.5001	747.0774	61.19309	592.6695	653.8626	19.15515	395.113	414.2682
30	1334.546	539.41	795.14	1,646.97	503.27	2,150.25	729.5551	460.4127	1189.968	613.6744	404.5553	1018.23	185.1974	269.7035	454.9009

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΜΑΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1071.668	560.577	511.091	503.99	523.03	1,027.02	465.95	478.48	944.43	391.0289	420.4328	811.4617	113.6037	280.2885	393.8922
2	686.006	521.562	164.444	161.38	486.62	648.01	148.98	445.18	594.16	124.7386	391.1715	515.9101	34.83424	260.781	295.6152
3	949.291	706.748	242.543	236.90	659.40	896.30	218.38	603.25	821.63	182.4318	530.061	712.4928	48.89007	353.374	402.2641
4	1033.181	760.134	273.047	265.45	709.21	974.66	244.36	648.81	893.17	203.6741	570.1005	773.7746	52.28976	380.067	432.3568
5	838.316	675.545	162.771	157.51	630.29	787.81	144.80	576.61	721.42	120.426	506.6588	627.0848	29.5635	337.7725	367.336
6	1028.074	612.417	415.657	400.42	571.39	971.81	367.61	522.73	890.34	305.0578	459.3128	764.3706	71.46745	306.2085	377.6759
7	1399.039	276.876	1122.163	1,076.20	258.33	1,334.53	986.75	236.33	1,223.07	817.0835	207.657	1024.74	182.286	138.438	320.724
8	1098.18	747.149	351.031	335.18	697.10	1,032.28	306.93	637.73	944.66	253.6177	560.3618	813.9795	53.75561	373.5745	427.3301
9	1361.981	424.062	937.919	891.70	395.66	1,287.36	815.56	361.96	1,177.52	672.4872	318.0465	990.5337	135.0821	212.031	347.1131
10	1404.844	290.915	1113.929	1,054.56	271.43	1,325.99	963.36	248.31	1,211.68	792.7248	218.1863	1010.911	150.4951	145.4575	295.9526
11	1006.945	849.054	157.891	148.85	792.18	941.03	135.83	724.71	860.54	111.5401	636.7905	748.3306	19.95364	424.527	444.4806
12	730.419	617.821	112.598	105.72	576.43	682.16	96.36	527.34	623.70	78.9725	463.3658	542.3383	13.26892	308.9105	322.1794
13	1425.741	287.957	1137.784	1,064.02	268.67	1,332.68	968.74	245.79	1,214.53	792.3928	215.9678	1008.361	124.5936	143.9785	268.5721
14	1384.819	435.164	949.655	884.60	406.01	1,290.62	804.55	371.44	1,175.98	656.8204	326.373	983.1934	96.26003	217.582	313.842
15	1507.239	244.381	1262.858	1,171.84	228.01	1,399.85	1,064.70	208.59	1,273.29	867.5621	183.2858	1050.848	117.9726	122.1905	240.1631
16	1446.441	273.214	1173.227	1,084.57	254.91	1,339.49	984.44	233.20	1,217.65	800.6809	204.9105	1005.591	100.5083	136.607	237.1153
17	1465.373	195.969	1269.404	1,169.17	182.84	1,352.02	1,060.22	167.27	1,227.49	860.7469	146.9768	1007.724	99.16227	97.9845	197.1468
18	1177.705	627.521	550.184	504.92	585.49	1,090.41	457.45	535.62	993.07	370.7227	470.6408	841.3635	38.93364	313.7605	352.6941
19	806.246	664.941	141.305	129.23	620.40	749.63	116.97	567.56	684.53	94.63086	498.7058	593.3366	8.988664	332.4705	341.4592
20	362.929	365.5	-2.571	-2.34	341.02	338.67	-2.12	311.97	309.85	-1.71151	274.125	272.4135	-0.14567	182.75	182.6043
21	381.612	359.266	22.346	20.30	335.20	355.50	18.34	306.65	325.00	14.78941	269.4495	284.2389	1.115232	179.633	180.7482
22	737.403	605.266	132.137	119.64	564.72	684.36	108.02	516.63	624.65	86.95986	453.9495	540.9094	5.729158	302.633	308.3622
23	1409.629	344.115	1065.514	961.73	321.06	1,282.79	867.67	293.72	1,161.39	697.3779	258.0863	955.4642	39.43545	172.0575	211.4929
24	1326.995	470.347	856.648	770.85	438.84	1,209.69	694.94	401.47	1,096.41	557.6967	352.7603	910.457	26.44243	235.1735	261.6159
25	1483.748	284.534	1199.214	1,075.93	265.47	1,341.40	969.27	242.86	1,212.14	776.6973	213.4005	990.0978	29.89439	142.267	172.1614
26	1465.68	198.643	1267.037	1,133.53	185.34	1,318.87	1,020.46	169.55	1,190.01	816.5397	148.9823	965.5219	24.32022	99.3215	123.6417
27	1413.265	242.212	1171.053	1,044.77	225.99	1,270.76	939.93	206.74	1,146.67	751.0548	181.659	932.7138	16.00463	121.106	137.1106
28	1448.133	231.726	1216.407	1,082.35	216.20	1,298.56	973.12	197.79	1,170.91	776.5259	173.7945	950.3204	10.1522	115.863	126.0152
29	1138.752	714.303	424.449	376.71	666.45	1,043.16	338.48	609.70	948.18	269.7491	535.7273	805.4764	1.372221	357.1515	358.5237
30	1169.194	672.676	496.518	439.59	627.62	1,067.20	394.75	574.16	968.91	314.198	504.507	818.705	0.830013	336.338	337.168
31	1409.795	308.675	1101.12	2,280.75	288.00	2,568.75	872.87	263.47	1,136.34	693.9269	231.5063	925.4331	7.010831	154.3375	161.3483

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΙΟΥΝΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	930.494	766.522	163.972	144.50	715.17	859.68	129.62	654.27	783.89	102.9288	574.8915	677.8203	1.77947	383.261	385.0405
2	1295.778	612.864	682.914	600.54	571.81	1,172.35	538.41	523.11	1,061.52	427.0707	459.648	886.7187	10.33028	306.432	316.7623
3	1481.948	213.733	1268.215	1,112.98	199.42	1,312.40	997.34	182.43	1,179.77	790.2633	160.2998	950.563	24.33667	106.8665	131.2032
4	1445.669	333.272	1112.397	974.35	310.95	1,285.30	872.70	284.47	1,157.17	690.8174	249.954	940.7714	25.63007	166.636	192.2661
5	1395.973	277.677	1118.296	977.74	259.08	1,236.82	875.34	237.01	1,112.36	692.2527	208.2578	900.5105	29.83408	138.8385	168.6726
6	1444.473	263.093	1181.38	1,031.13	245.47	1,276.60	922.75	224.56	1,147.31	729.0922	197.3198	926.4119	35.56229	131.5465	167.1088
7	814.225	448.253	365.972	318.92	418.23	737.14	285.28	382.61	667.89	225.2198	336.1898	561.4095	12.19136	224.1265	236.3179
8	1055.576	484.327	571.249	497.06	451.88	948.94	444.47	413.40	857.86	350.6158	363.2453	713.861	20.74057	242.1635	262.9041
9	1025.443	513.1	512.343	445.19	478.73	923.92	397.94	437.96	835.90	313.6866	384.825	698.5116	20.02603	256.55	276.576
10	921.46	607.146	314.314	272.78	566.47	839.25	243.74	518.23	761.97	192.0041	455.3595	647.3636	13.09148	303.573	316.6645
11	1411.054	256.241	1154.813	1,001.05	239.08	1,240.13	894.20	218.72	1,112.92	703.9675	192.1808	896.1483	50.80988	128.1205	178.9304
12	1398.774	311.522	1087.252	941.52	290.65	1,232.17	840.77	265.90	1,106.67	661.5284	233.6415	895.1699	50.1537	155.761	205.9147
13	1077.539	769.982	307.557	266.09	718.40	984.49	237.55	657.22	894.77	186.812	577.4865	764.2985	14.77567	384.991	399.7667
14	1140.475	401.69	738.785	638.67	374.78	1,013.45	570.01	342.86	912.88	448.0656	301.2675	749.3331	36.74536	200.845	237.5904
15	1489.151	201.449	1287.702	1,112.44	187.95	1,300.39	992.61	171.95	1,164.56	779.9512	151.0868	931.038	65.94966	100.7245	166.6742
16	1451.62	321.256	1130.364	975.97	299.74	1,275.70	870.64	274.21	1,144.85	683.8851	240.942	924.8271	59.31486	160.628	219.9429
17	1364.577	480.465	884.112	763.01	448.28	1,211.29	680.53	410.10	1,090.63	534.4035	360.3488	894.7522	47.31293	240.2325	287.5454
18	1339.194	526.533	812.661	701.12	491.26	1,192.38	625.21	449.42	1,074.63	490.855	394.8998	885.7547	44.15702	263.2665	307.4235
19	837.264	713.403	123.861	106.84	665.61	772.45	95.25	608.93	704.18	74.77302	535.0523	609.8253	6.804806	356.7015	363.5063
20	1304.687	596.811	707.876	610.54	556.83	1,167.37	544.26	509.41	1,053.67	427.1879	447.6083	874.7961	39.16159	298.4055	337.5671
21	1427.687	407.918	1019.769	879.57	380.59	1,260.16	783.98	348.18	1,132.16	615.3183	305.9385	921.2568	56.584	203.959	260.543
22	1458.917	254.084	1204.833	1,039.34	237.06	1,276.40	926.29	216.87	1,143.16	727.0196	190.563	917.5826	66.78663	127.042	193.8286
23	1426.019	285.275	1140.744	984.32	266.17	1,250.48	877.16	243.50	1,120.66	688.5153	213.9563	902.4716	62.92145	142.6375	205.5589
24	1423.628	267.014	1156.614	998.39	249.13	1,247.52	889.64	227.91	1,117.55	698.4011	200.2605	898.6616	63.2264	133.507	196.7334
25	855.988	515.855	340.133	293.75	481.30	775.05	261.74	440.31	702.05	205.5138	386.8913	592.4051	18.35115	257.9275	276.2786
26	1327.351	371.703	955.648	825.85	346.80	1,172.65	735.82	317.27	1,053.09	577.8975	278.7773	856.6747	50.6701	185.8515	236.5216
27	1395.156	308.112	1087.044	940.09	287.47	1,227.56	837.59	262.99	1,100.58	658.029	231.084	889.113	56.38701	154.056	210.443
28	1257.062	373.232	883.83	765.00	348.23	1,113.23	681.60	318.57	1,000.17	535.6684	279.924	815.5924	44.63655	186.616	231.2526
29	1357.57	340.476	1017.094	881.20	317.67	1,198.87	785.15	290.61	1,075.76	617.308	255.357	872.665	49.75322	170.238	219.9912
30	1416.091	212.447	1203.644	2,493.11	198.22	2,691.32	930.20	181.33	1,111.54	731.7054	159.3353	891.0407	56.70685	106.2235	162.9304

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΙΟΥΑΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1336.704	270.298	1066.406	924.93	252.19	1,177.12	825.18	230.71	1,055.90	649.4441	202.7235	852.1676	48.08505	135.149	183.234
2	950.065	333.869	616.196	535.80	311.50	847.30	477.48	284.98	762.46	376.0126	250.4018	626.4143	26.40508	166.9345	193.3396
3	1313.757	354.616	959.141	835.19	330.86	1,166.05	744.36	302.68	1,047.05	586.5609	265.962	852.5229	38.74554	177.308	216.0535
4	1399.13	270.909	1128.221	983.93	252.76	1,236.69	877.05	231.24	1,108.28	691.5992	203.1818	894.781	42.56128	135.4545	178.0158
5	1300.077	388.363	911.714	796.43	362.35	1,158.78	710.02	331.49	1,041.51	560.3131	291.2723	851.5853	31.76114	194.1815	225.9426
6	1223.648	328.002	895.646	783.78	306.03	1,089.81	698.86	279.97	978.82	551.9529	246.0015	797.9544	28.42254	164.001	192.4235
7	1335.408	347.678	987.73	865.98	324.39	1,190.37	772.31	296.76	1,069.07	610.4899	260.7585	871.2484	28.06831	173.839	201.9073
8	1427.122	234.266	1192.856	1,047.90	218.57	1,266.47	934.75	199.96	1,134.71	739.5775	175.6995	915.277	29.68534	117.133	146.8183
9	1463.316	172.955	1290.361	1,135.93	161.37	1,297.30	1,013.52	147.63	1,161.15	802.68	129.7163	932.3963	27.28032	86.4775	113.7578
10	1440.967	185.286	1255.681	1,107.83	172.87	1,280.70	988.72	158.15	1,146.87	783.837	138.9645	922.8015	21.57852	92.643	114.2215
11	1373.186	249.837	1123.349	993.36	233.10	1,226.46	886.82	213.25	1,100.07	703.8099	187.3778	891.1877	14.62142	124.9185	139.5399
12	1416.88	203.706	1213.174	1,075.38	190.06	1,265.44	960.34	173.87	1,134.22	763.0211	152.7795	915.8006	10.4769	101.853	112.3299
13	1438.281	181.128	1257.153	1,117.16	168.99	1,286.16	998.00	154.60	1,152.60	793.8751	135.846	929.7211	5.085866	90.564	95.64987
14	1357.872	259.289	1098.583	978.80	241.92	1,220.72	874.73	221.32	1,096.04	696.6662	194.4668	891.133	0.828913	129.6445	130.4734
15	1419.525	218.082	1201.443	1,073.35	203.47	1,276.83	959.61	186.14	1,145.75	765.2432	163.5615	928.8047	6.924506	109.041	115.9655
16	1506.34	197.952	1308.388	1,172.18	184.69	1,356.88	1,048.41	168.96	1,217.38	837.1691	148.464	985.6331	14.36682	98.976	113.3428
17	1444.452	177.584	1266.868	1,138.29	165.69	1,303.98	1,018.56	151.58	1,170.14	814.4484	133.188	947.6364	20.78285	88.792	109.5748
18	1434.078	179.374	1254.704	1,130.75	167.36	1,298.11	1,012.31	153.11	1,165.41	810.5944	134.5305	945.1249	27.64832	89.687	117.3353
19	1421.488	255.275	1166.213	1,054.26	238.17	1,292.44	944.32	217.89	1,162.21	757.2585	191.4563	948.7147	32.50494	127.6375	160.1424
20	615.971	540.693	75.278	68.27	504.47	572.74	61.18	461.51	522.69	49.13731	405.5198	454.6571	2.552942	270.3465	272.8994
21	1424.027	223.573	1200.454	1,092.27	208.60	1,300.86	979.46	190.83	1,170.29	787.8405	167.6798	955.5202	48.20882	111.7865	159.9953
22	1439.071	204.386	1234.685	1,127.21	190.69	1,317.90	1,011.41	174.45	1,185.86	814.8357	153.2895	968.1252	57.54531	102.193	159.7383
23	1441.479	201.246	1240.233	1,136.20	187.77	1,323.97	1,020.13	171.77	1,191.90	823.2072	150.9345	974.1417	66.05241	100.623	166.6754
24	1397.887	231.698	1166.189	1,072.17	216.18	1,288.35	963.28	197.77	1,161.05	778.6405	173.7735	952.414	70.10002	115.849	185.949
25	1229.116	293.663	935.453	863.17	273.99	1,137.16	776.06	250.66	1,026.71	628.379	220.2473	848.6262	62.8281	146.8315	209.6596
26	1356.124	269.063	1087.061	1,006.80	251.04	1,257.84	905.86	229.66	1,135.52	734.7741	201.7973	936.5714	80.89483	134.5315	215.4263
27	1314.733	268.881	1045.852	972.33	250.87	1,223.20	875.52	229.50	1,105.02	711.4401	201.6608	913.1009	85.62175	134.4405	220.0622
28	1239.867	316.321	923.546	861.97	295.13	1,157.10	776.77	270.00	1,046.77	632.3565	237.2408	869.5972	82.67402	158.1605	240.8345
29	1176.515	295.351	881.164	825.68	275.57	1,101.25	744.70	252.10	996.79	607.382	221.5133	828.8953	85.79504	147.6755	233.4705
30	1165.429	335.759	829.67	780.58	313.27	1,093.85	704.64	286.59	991.23	575.8084	251.8193	827.6277	87.45537	167.8795	255.3349
31	1242.808	305.157	937.651	1,942.16	284.72	2,226.87	800.37	260.47	1,060.84	655.309	228.8678	884.1768	106.564	152.5785	259.1425

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1224.458	313.056	911.402	861.0235	292.0852	1153.109	781.98	267.21	1,049.19	641.5218	234.792	876.3138	111.2689	156.528	267.7969
2	1359.753	225.786	1133.967	1075.799	210.6612	1286.46	978.08	192.72	1,170.80	804.0107	169.3395	973.3502	148.2268	112.893	261.1198
3	1237.514	320.365	917.149	873.8338	298.9046	1172.738	795.33	273.45	1,068.78	655.1247	240.2738	895.3984	127.978	160.1825	288.1605
4	1274.28	286.762	987.518	944.9847	267.5526	1212.537	861.06	244.77	1,105.83	710.7449	215.0715	925.8164	146.7015	143.381	290.0825
5	1355.222	228.24	1126.982	1083.227	212.9508	1296.177	988.18	194.82	1,182.99	817.3945	171.18	988.5745	177.7984	114.12	291.9184
6	1349.95	252.961	1096.989	1059.153	236.0158	1295.168	967.38	215.92	1,183.29	801.9062	189.7208	991.6269	183.3795	126.4805	309.86
7	1335.788	269.811	1065.977	1033.925	251.7371	1285.662	945.51	230.30	1,175.81	785.4809	202.3583	987.8391	188.4206	134.9055	323.3261
8	1249.196	313.019	936.177	912.2506	292.0507	1204.301	835.30	267.18	1,102.48	695.4589	234.7643	930.2232	174.6361	156.5095	331.1456
9	1111.118	415.638	695.48	680.9039	387.7955	1068.699	624.29	354.77	979.06	520.9337	311.7285	832.6622	136.6723	207.819	344.4913
10	1310.29	332.546	977.744	961.8355	310.2696	1272.105	883.06	283.85	1,166.90	738.525	249.4095	987.9345	202.0781	166.273	368.3511
11	1352.162	243.907	1108.255	1095.516	227.5683	1323.084	1,007.19	208.19	1,215.37	844.266	182.9303	1027.196	240.5247	121.9535	362.4782
12	1364.712	216.456	1148.256	1140.643	201.9562	1342.599	1,050.17	184.76	1,234.93	882.337	162.342	1044.679	261.3097	108.228	369.5377
13	1216.343	343.861	872.482	871.0191	320.8267	1191.846	803.11	293.50	1,096.61	676.3392	257.8958	934.235	207.9126	171.9305	379.8431
14	1366.282	266.463	1099.819	1103.52	248.6134	1352.134	1,019.02	227.44	1,246.46	860.1953	199.8473	1060.043	274.0939	133.2315	407.3254
15	1422.415	168.879	1253.536	1264.187	157.5663	1421.753	1,169.18	144.15	1,313.33	989.3168	126.6593	1115.976	326.323	84.4395	410.7625
16	1443.642	150.861	1292.781	1310.514	140.7552	1451.269	1,213.94	128.77	1,342.71	1029.676	113.1458	1142.822	351.1375	75.4305	426.568
17	1405.895	160.671	1245.224	1268.917	149.9081	1418.825	1,177.32	137.14	1,314.46	1001.046	120.5033	1121.549	352.5143	80.3355	432.8498
18	1308.349	285.938	1022.411	1047.386	266.7838	1314.169	973.39	244.06	1,217.45	829.6909	214.4535	1044.144	301.3647	142.969	444.3337
19	1252.663	248.874	1003.789	1033.82	232.2026	1266.023	962.41	212.43	1,174.84	822.3757	186.6555	1009.031	307.7729	124.437	432.2099
20	1273.672	277.868	995.804	1031.154	259.2544	1290.408	961.60	237.18	1,198.78	823.7418	208.401	1032.143	317.3128	138.934	456.2468
21	1320.783	239.184	1081.599	1126.13	223.1617	1349.292	1,052.03	204.16	1,256.19	903.493	179.388	1082.881	357.8738	119.592	477.4658
22	1311.768	244.105	1067.663	1117.775	227.7531	1345.528	1,046.12	208.36	1,254.48	900.7108	183.0788	1083.79	366.5134	122.0525	488.5659
23	920.245	281.665	638.58	672.2926	262.797	935.0896	630.36	240.42	870.78	544.1394	211.2488	755.3882	227.2595	140.8325	368.092
24	892.241	834.276	57.965	61.37004	778.3901	839.7601	57.65	712.10	769.75	49.89477	625.707	675.6018	21.3697	417.138	438.5077
25	850.113	756.808	93.305	99.34992	706.1115	805.4614	93.51	645.98	739.49	81.14067	567.606	648.7467	35.60839	378.404	414.0124
26	1324.28	256.888	1067.392	1143.097	239.6798	1382.776	1,078.03	219.27	1,297.30	937.8901	192.666	1130.556	421.3947	128.444	549.8387
27	1331.866	280.045	1051.821	1132.978	261.2855	1394.263	1,070.64	239.03	1,309.67	933.9286	210.0338	1143.962	429.2795	140.0225	569.302
28	1220.274	404.02	816.254	884.4011	376.9558	1261.357	837.45	344.85	1,182.30	732.4705	303.015	1035.486	344.1788	202.01	546.1888
29	1259.118	420.992	838.126	913.4853	392.7909	1306.276	866.80	359.34	1,226.14	760.1792	315.744	1075.923	364.8943	210.496	575.3903
30	1231.218	252.769	978.449	1072.809	235.8367	1308.646	1,020.14	215.75	1,235.89	897.0884	189.5768	1086.665	439.586	126.3845	565.9705
31	934.856	342.343	592.513	653.5783	319.4104	972.9886	622.84	292.21	915.05	549.2038	256.7573	805.9611	274.5429	171.1715	445.7144

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1125.08	354.371	770.709	855.32	330.63	1,185.95	816.89	302.47	1,119.36	722.2919	265.7783	988.0702	368.11	177.1855	545.2955
2	695.962	467.544	228.418	255.05	436.22	691.28	244.14	399.07	643.21	216.4647	350.658	567.1227	112.4007	233.772	346.1727
3	1265.941	239.796	1026.145	1,152.91	223.73	1,376.64	1,106.09	204.68	1,310.76	983.439	179.847	1163.286	519.977	119.898	639.875
4	1297.531	202.272	1095.259	1,238.26	188.72	1,426.98	1,190.72	172.65	1,363.37	1061.658	151.704	1213.362	571.244	101.136	672.38
5	1221.986	297.151	924.835	1,052.18	277.25	1,329.43	1,014.17	253.63	1,267.81	906.794	222.8633	1129.657	496.2479	148.5755	644.8234
6	268.235	267.963	0.272	0.31	250.01	250.32	0.30	228.72	229.02	0.269797	200.9723	201.242	0.150086	133.9815	134.1316
7	971.411	409.103	562.308	647.94	381.70	1,029.64	627.55	349.19	976.74	564.3027	306.8273	871.1299	318.9302	204.5515	523.4817
8	316.776	299.133	17.643	20.46	279.09	299.56	19.87	255.33	275.19	17.91542	224.3498	242.2652	10.28168	149.5665	159.8482
9	1115.263	414.624	700.639	817.86	386.85	1,204.71	796.06	353.90	1,149.97	719.9662	310.968	1030.934	419.3552	207.312	626.6672
10	1061.949	423.771	638.178	749.85	395.38	1,145.23	731.72	361.71	1,093.43	663.6961	317.8283	981.5243	392.1544	211.8855	604.0399
11	1070.119	324.605	745.514	887.67	302.86	1,190.53	862.67	277.07	1,139.74	784.7639	243.4538	1028.218	470.1488	162.3025	632.4513
12	760.228	367.532	392.696	470.72	342.91	813.64	458.64	313.71	772.35	418.4482	275.649	694.0972	254.0633	183.766	437.8293
13	1050.073	321.439	728.634	879.34	299.91	1,179.25	858.99	274.37	1,133.36	786.0363	241.0793	1027.116	483.4455	160.7195	644.165
14	1129.272	283.706	845.566	1,027.45	264.70	1,292.15	1,006.30	242.16	1,248.46	923.5803	212.7795	1136.36	575.1609	141.853	717.0139
15	1210.687	231.709	978.978	1,197.76	216.19	1,413.95	1,176.24	197.78	1,374.01	1082.779	173.7818	1256.561	682.4548	115.8545	798.3093
16	1172.97	245.993	926.977	1,142.02	229.51	1,371.53	1,124.53	209.97	1,334.49	1038.297	184.4948	1222.792	662.0467	122.9965	785.0432
17	1187.144	354.112	833.032	1,033.47	330.39	1,363.86	1,020.42	302.25	1,322.67	945.0299	265.584	1210.614	609.3453	177.056	786.4013
18	914.572	414.513	500.059	624.76	386.75	1,011.50	618.58	353.81	972.38	574.6218	310.8848	885.5066	374.5177	207.2565	581.7742
19	612.1	389.031	223.069	280.68	362.97	643.65	278.68	332.06	610.74	259.6705	291.7733	551.4438	171.0056	194.5155	365.5211
20	1195.792	241.674	954.118	1,209.12	225.48	1,434.61	1,203.91	206.28	1,410.20	1125.262	181.2555	1306.517	748.4575	120.837	869.2945
21	1006.937	587.048	419.889	535.94	547.72	1,083.66	535.17	501.08	1,036.25	501.7553	440.286	942.0413	336.9501	293.524	630.4741
22	607.981	366.612	241.369	310.30	342.05	652.35	310.75	312.92	623.67	292.2381	274.959	567.1971	198.0723	183.306	381.3783
23	1179.796	244.338	935.458	1,211.31	227.97	1,439.28	1,216.52	208.56	1,425.07	1147.523	183.2535	1330.776	784.7337	122.169	906.9027
24	1179.557	300.096	879.461	1,147.06	279.99	1,427.05	1,155.26	256.15	1,411.41	1092.996	225.072	1318.068	753.9101	150.048	903.9581
25	1174.201	231.731	942.47	1,238.18	216.21	1,454.39	1,250.55	197.79	1,448.34	1186.635	173.7983	1360.434	825.3324	115.8655	941.1979
26	849.202	354.85	494.352	654.19	331.08	985.27	662.58	302.88	965.46	630.5453	266.1375	896.6828	442.0929	177.425	619.5179
27	738.214	428.344	309.87	413.06	399.65	812.71	419.52	365.61	785.13	400.3793	321.258	721.6373	282.9006	214.172	497.0726
28	1178.742	248.544	930.198	1,249.04	231.89	1,480.94	1,272.06	212.15	1,484.21	1217.478	186.408	1403.886	866.7058	124.272	990.9778
29	1228.138	151.678	1076.46	1,456.04	141.52	1,597.56	1,486.94	129.47	1,616.41	1427.112	113.7585	1540.871	1023.303	75.839	1099.142
30	1235.364	147.53	1087.834	2,253.23	137.65	2,390.88	1,517.81	125.92	1,643.74	1460.756	110.6475	1571.404	1054.753	73.765	1128.518

	0 μούρες			30 μούρες			45 μούρες			60 μούρες			90 μούρες		
OK ΤΩΒΡΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	1168.644	177.83	990.814	1,350.05	165.92	1,515.97	1,396.38	151.79	1,548.16	1347.541	133.3725	1480.914	979.572	88.915	1068.487
2	984.721	673.95	310.771	426.56	628.80	1,055.37	442.39	575.25	1,017.64	428.0601	505.4625	933.5226	313.1974	336.975	650.1724
3	1120.876	225.01	895.866	1,238.73	209.94	1,448.67	1,288.10	192.06	1,480.16	1249.684	168.7575	1418.442	920.098	112.505	1032.603
4	1155.442	159.705	995.737	1,386.99	149.01	1,536.00	1,446.08	136.32	1,582.39	1406.608	119.7788	1526.387	1041.913	79.8525	1121.766
5	1045.178	257.841	787.337	1,104.82	240.57	1,345.38	1,154.89	220.08	1,374.97	1126.259	193.3808	1319.64	839.1283	128.9205	968.0488
6	1120.888	175.749	945.139	1,336.06	163.98	1,500.04	1,400.24	150.01	1,550.25	1368.987	131.8118	1500.799	1025.726	87.8745	1113.6
7	423.16	294.501	128.659	183.22	274.77	457.99	192.51	251.37	443.89	188.6889	220.8758	409.5646	142.1454	147.2505	289.3959
8	1116.409	160.432	955.977	1,371.48	149.69	1,521.16	1,444.71	136.94	1,581.65	1419.489	120.324	1539.813	1074.951	80.216	1155.167
9	1068.514	179.879	888.635	1,284.31	167.83	1,452.14	1,356.30	153.54	1,509.84	1335.861	134.9093	1470.77	1016.73	89.9395	1106.67
10	348.985	347.063	1.922	2.80	323.81	326.61	2.96	296.24	299.20	2.924955	260.2973	263.2222	2.23703	173.5315	175.7685
11	514.365	302.48	211.885	310.79	282.22	593.00	329.84	258.18	588.02	326.4132	226.86	553.2732	250.8135	151.24	402.0535
12	324.49	307.758	16.732	24.72	287.14	311.87	26.30	262.69	288.99	26.09096	230.8185	256.9095	20.13858	153.879	174.0176
13	1116.397	191.499	924.898	1,376.79	178.67	1,555.46	1,468.31	163.45	1,631.76	1459.765	143.6243	1603.389	1131.629	95.7495	1227.379
14	1003.51	215.48	788.03	1,181.73	201.05	1,382.77	1,263.30	183.92	1,447.22	1258.781	161.61	1420.391	979.9024	107.74	1087.642
15	1006.05	242.784	763.266	1,153.05	226.52	1,379.57	1,235.57	207.23	1,442.80	1233.878	182.088	1415.966	964.3784	121.392	1085.77
16	782.629	457.128	325.501	495.36	426.51	921.86	532.05	390.18	922.23	532.4851	342.846	875.3311	417.79	228.564	646.354
17	854.706	263.597	591.109	906.20	245.94	1,152.14	975.58	224.99	1,200.57	978.4761	197.6978	1176.174	770.5683	131.7985	902.3668
18	1026.893	235.25	791.643	1,222.56	219.49	1,442.05	1,319.17	200.80	1,519.97	1325.89	176.4375	1502.328	1047.889	117.625	1165.514
19	751.233	398.119	353.114	549.33	371.45	920.78	594.08	339.82	933.90	598.3504	298.5893	896.9397	474.5137	199.0595	673.5732
20	562.096	338.129	223.967	350.97	315.48	666.45	380.41	288.61	669.02	383.931	253.5968	637.5278	305.4723	169.0645	474.5368
21	254.777	254.716	0.061	0.10	237.65	237.75	0.10	217.41	217.52	0.105777	191.037	191.1428	0.084426	127.358	127.4424
22	158.377	158.301	0.076	0.12	147.70	147.82	0.13	135.12	135.25	0.133301	118.7258	118.8591	0.106716	79.1505	79.25722
23	779.86	565.958	213.902	342.57	528.05	870.62	373.75	483.08	856.82	379.4505	424.4685	803.919	304.654	282.979	587.633
24	761.374	335.798	425.576	686.50	313.30	999.81	750.57	286.62	1,037.19	763.4829	251.8485	1015.331	614.6855	167.899	782.5845
25	967.39	217.117	750.273	1,218.99	202.57	1,421.56	1,335.54	185.32	1,520.86	1361.081	162.8378	1523.919	1098.721	108.5585	1207.28
26	797.714	531.84	265.874	435.07	496.21	931.28	477.65	453.95	931.61	487.6883	398.88	886.5683	394.68	265.92	660.6
27	188.341	188.292	0.049	0.08	175.68	175.76	0.09	160.72	160.81	0.09087	141.219	141.3099	0.073718	94.146	94.21972
28	327.27	325.73	1.54	2.56	303.91	306.47	2.82	278.03	280.85	2.887113	244.2975	247.1846	2.347572	162.865	165.2126
29	473.494	398.152	75.342	125.93	371.48	497.41	139.09	339.84	478.94	142.7751	298.614	441.3891	116.3492	199.076	315.4252
30	452.318	447.743	4.575	7.70	417.75	425.45	8.52	382.17	390.69	8.762597	335.8073	344.5698	7.15574	223.8715	231.0272
31	405.81	403.998	1.812	3.07	376.94	380.01	3.41	344.83	348.24	3.50735	302.9985	306.5059	2.869907	201.999	204.8689

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
NOEMBPIOΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	977.116	140.053	837.063	1,428.53	130.67	1,559.20	1,269.98	103.26	1,373.23	1310.209	90.729	1400.938	1074.123	60.486	1134.609
2	941.437	146.233	795.204	1,366.41	136.44	1,502.85	383.97	298.63	682.61	396.7804	262.4018	659.1822	325.8719	174.9345	500.8064
3	934.429	139.562	794.867	1,375.13	130.21	1,505.34	0.81	126.50	127.30	0.836517	111.1493	111.9858	0.6882	74.0995	74.7877
4	602.298	267.569	334.729	582.99	249.65	832.64	11.80	272.40	284.20	12.23519	239.352	251.5872	10.0822	159.568	169.6502
5	952.164	141.971	810.193	1,420.53	132.46	1,552.99	724.70	172.11	896.81	752.3736	151.227	903.6006	620.934	100.818	721.752
6	812.73	475.201	337.529	595.71	443.37	1,039.08	115.75	369.80	485.55	120.3477	324.9323	445.28	99.46741	216.6215	316.0889
7	573.52	542.203	31.317	55.63	505.88	561.52	881.57	251.98	1,133.54	917.9283	221.406	1139.334	759.7093	147.604	907.3133
8	214.924	214.463	0.461	0.82	200.10	200.92	1,367.99	110.70	1,478.69	1426.446	97.2705	1523.716	1182.105	64.847	1246.952
9	214.14	188.951	25.189	45.33	176.29	221.62	502.69	337.67	840.37	524.9043	296.706	821.6103	435.5219	197.804	633.3259
10	669.963	319.529	350.434	634.57	298.12	932.70	0.76	193.76	194.52	0.792612	170.253	171.0456	0.658398	113.502	114.1604
11	602.402	463.44	138.962	253.20	432.40	685.60	42.70	352.32	395.01	44.70219	309.5738	354.2759	37.17264	206.3825	243.5551
12	288.974	265.627	23.347	42.80	247.83	290.64	68.31	199.12	267.43	71.61182	174.9645	246.5763	59.60973	116.643	176.2527
13	887.152	143.983	743.169	1,370.72	134.34	1,505.06	943.29	216.39	1,159.68	990.1468	190.1415	1180.288	824.9767	126.761	951.7377
14	855.125	180.031	675.094	1,252.59	167.97	1,420.56	1,522.43	114.00	1,636.43	1600.032	100.1678	1700.2	1334.299	66.7785	1401.078
15	363.025	361.415	1.61	3.00	337.20	340.21	63.81	178.52	242.33	67.14584	156.861	224.0068	56.04028	104.574	160.6143
16	687.377	242.971	444.406	834.18	226.70	1,060.87	18.67	240.22	258.89	19.66396	211.077	230.741	16.42418	140.718	157.1422
17	814.102	192.676	621.426	1,173.05	179.77	1,352.82	136.21	370.36	506.56	143.6495	325.4265	469.076	120.0673	216.951	337.0183
18	831.056	154.119	676.937	1,284.93	143.79	1,428.72	2.61	213.48	216.09	2.752095	187.581	190.3331	2.301808	125.054	127.3558
19	801.847	258.784	543.063	1,036.41	241.45	1,277.86	824.66	331.14	1,155.80	871.6253	290.9633	1162.589	729.4557	193.9755	923.4312
20	818.686	212.371	606.315	1,163.28	198.14	1,361.42	2.38	197.82	200.20	2.522905	173.8185	176.3414	2.112577	115.879	117.9916
21	741.289	378.234	363.055	700.17	352.90	1,053.07	1,620.94	114.80	1,735.74	1716.741	100.8743	1817.615	1438.267	67.2495	1505.516
22	735.515	295.1	440.415	853.67	275.33	1,129.00	122.93	358.08	481.01	130.3205	314.637	444.9575	109.2325	209.758	318.9905
23	788.26	216.234	572.026	1,114.25	201.75	1,316.00	422.18	345.25	767.44	447.988	303.3683	751.3563	375.6579	202.2455	577.9034
24	792.554	186.294	606.26	1,186.60	173.81	1,360.42	1,561.66	151.69	1,713.35	1658.63	133.2855	1791.915	1391.38	88.857	1480.237
25	380.803	369.69	11.113	21.85	344.93	366.78	306.74	351.43	658.17	326.0731	308.7908	634.8639	273.6313	205.8605	479.4918
26	224.074	223.698	0.376	0.74	208.71	209.46	1,227.62	246.79	1,474.41	1306.08	216.8528	1522.932	1096.378	144.5685	1240.946
27	239.991	236.501	3.49	6.92	220.66	227.58	1,483.60	153.96	1,637.56	1579.697	135.2858	1714.982	1326.448	90.1905	1416.638
28	590.254	291.315	298.939	595.58	271.80	867.38	1,529.13	165.57	1,694.70	1629.442	145.4835	1774.926	1368.575	96.989	1465.564
29	278.897	274.112	4.785	9.57	255.75	265.32	1,553.32	137.98	1,691.30	1656.441	121.2443	1777.685	1391.576	80.8295	1472.405
30	357.772	310.298	47.474	95.34	289.51	384.85	1,535.69	159.52	1,695.21	1638.803	140.1683	1778.971	1377.043	93.4455	1470.489

	0 μοίρες			30 μοίρες			45 μοίρες			60 μοίρες			90 μοίρες		
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	global(Wh)	diffuse(Wh)	beam (Wh)	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i	Gbeam,i	Gdiff,i	Gglobal,i
1	720.33	382.131	338.199	681.75	356.53	1,038.29	789.08	326.17	1,115.25	842.6313	286.5983	1129.23	708.1711	191.0655	899.2366
2	736.673	252.527	484.146	979.47	235.61	1,215.08	1,134.57	215.55	1,350.11	1212.345	189.3953	1401.74	1019.054	126.2635	1145.317
3	200.139	199.321	0.818	1.66	185.97	187.63	1.92	170.13	172.06	2.058183	149.4908	151.5489	1.730281	99.6605	101.3908
4	272.142	262.744	9.398	19.14	245.14	264.28	22.20	224.27	246.47	23.75429	197.058	220.8123	19.97231	131.372	151.3443
5	348.078	343.364	4.714	9.63	320.36	329.99	11.18	293.08	304.26	11.96646	257.523	269.4895	10.06233	171.682	181.7443
6	471.671	264.63	207.041	424.21	246.90	671.11	492.75	225.88	718.62	527.7084	198.4725	726.1809	443.7792	132.315	576.0942
7	258.027	258.005	0.022	0.05	240.72	240.77	0.05	220.22	220.27	0.056288	193.5038	193.56	0.047339	129.0025	129.0498
8	613.954	181.081	432.873	891.62	168.95	1,060.57	1,036.87	154.56	1,191.43	1111.457	135.8108	1247.268	934.8218	90.5405	1025.362
9	768.432	122.292	646.14	1,334.06	114.10	1,448.16	1,552.18	104.38	1,656.56	1664.521	91.719	1756.24	1400.07	61.146	1461.216
10	766.423	135.487	630.936	1,305.52	126.41	1,431.93	1,519.69	115.65	1,635.33	1630.293	101.6153	1731.908	1371.345	67.7435	1439.088
11	779.879	128.911	650.968	1,349.67	120.28	1,469.94	1,571.75	110.03	1,681.78	1686.724	96.68325	1783.407	1418.868	64.4555	1483.324
12	594.845	316.012	278.833	579.16	294.84	874.00	674.72	269.73	944.45	724.2992	237.009	961.3082	609.2981	158.006	767.3041
13	785.489	149.643	635.846	1,322.84	139.62	1,462.46	1,541.65	127.73	1,669.37	1655.388	112.2323	1767.62	1392.588	74.8215	1467.41
14	680.579	203.231	477.348	994.52	189.62	1,184.13	1,159.36	173.47	1,332.83	1245.204	152.4233	1397.628	1047.544	101.6155	1149.16
15	748.102	123.356	624.746	1,303.21	115.09	1,418.31	1,519.63	105.29	1,624.92	1632.487	92.517	1725.004	1373.373	61.678	1435.051
16	303.477	302.265	1.212	2.53	282.02	284.55	2.95	258.00	260.95	3.171553	226.6988	229.8703	2.668187	151.1325	153.8007
17	501.745	285.169	216.576	452.63	266.07	718.69	528.00	243.41	771.41	567.3941	213.8768	781.2709	477.3459	142.5845	619.9304
18	769.742	125.35	644.392	1,347.59	116.95	1,464.55	1,572.22	106.99	1,679.21	1689.707	94.0125	1783.719	1421.552	62.675	1484.227
19	755.749	123.458	632.291	1,322.88	115.19	1,438.06	1,543.53	105.38	1,648.91	1658.999	92.5935	1751.592	1395.723	61.729	1457.452
20	627.097	495.403	131.694	275.60	462.22	737.82	321.58	422.85	744.44	345.6559	371.5523	717.2081	290.8025	247.7015	538.504
21	429.001	271.427	157.574	329.77	253.24	583.02	384.80	231.68	616.48	413.6112	203.5703	617.1815	347.974	135.7135	483.6875
22	741.552	164.079	577.473	1,208.37	153.09	1,361.45	1,409.97	140.05	1,550.02	1515.48	123.0593	1638.539	1274.982	82.0395	1357.021
23	484.93	341.433	143.497	300.16	318.56	618.73	350.22	291.43	641.65	376.4028	256.0748	632.4775	316.6687	170.7165	487.3852
24	762.512	129.45	633.062	1,323.50	120.78	1,444.28	1,544.02	110.49	1,654.51	1659.315	97.0875	1756.403	1395.979	64.725	1460.704
25	722.559	226.813	495.746	1,035.66	211.62	1,247.28	1,208.02	193.60	1,401.62	1298.064	170.1098	1468.173	1092.05	113.4065	1205.456
26	725.548	315.788	409.76	855.22	294.63	1,149.85	997.36	269.54	1,266.90	1071.524	236.841	1308.365	901.4546	157.894	1059.349
27	778.067	165.966	612.101	1,276.08	154.85	1,430.93	1,487.80	141.66	1,629.46	1598.135	124.4745	1722.61	1344.464	82.983	1427.447
28	536.712	201.278	335.434	698.37	187.79	886.16	814.01	171.80	985.81	874.1749	150.9585	1025.133	735.404	100.639	836.043
29	458.035	392.095	65.94	137.08	365.83	502.91	159.72	334.67	494.40	171.4843	294.0713	465.5555	144.2587	196.0475	340.3062
30	563.894	239.572	324.322	673.05	223.52	896.57	783.95	204.49	988.44	841.4338	179.679	1021.113	707.8238	119.786	827.6098
31	420.179	373.37	46.809	96.96	348.36	445.31	112.89	318.69	431.58	121.1228	280.0275	401.1503	101.8863	186.685	288.5713

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

Γίνεται αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά στο ρυθμιστή φόρτισης, στη μπαταρία, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και το φωτιστικό που θα γίνει η αλλαγή.

Solar Charge Controller 10A ,15A,20A

Model	NV-12V010	NV-12V015	NV-12V020
Max charge current	10A	15A	20A
Max load current	10A	15A	20A
System voltage	12v/24v/ AUTO.distinguish		
Overload, short circuit protection	over the rated current 1.25 times for 60 seconds, or over the rated current 1.5 times for 5 seconds ≥ 3 times rated current short circuit protection		
No-load consumption	$\leq 6\text{mA}$		
Charging loop pressure drop	$\leq 0.26\text{V}$		
Discharge loop pressure drop	$\leq 0.15\text{V}$		
Overpressure protection	17V/34V		
Working temperature	Industrial grade : $-35^{\circ}\text{C} + 55^{\circ}\text{C}$		
Promote charging voltage	14.6V/29.2V (maintain time :30 min) (Only used for over discharge)		
Straight charging voltage	14.4V/28.8V (maintain time :30 min)		
Floating charging	13.6V/27.2V (maintain time : until fall to the charging return voltage)		
Charge return voltage	13.2V/26.4V		
Temperature compensation	$-5\text{mv}/^{\circ}\text{C}$ (promote , straight charging , charge return voltage compensation)		
Under voltage	12V/24V		
Over discharge voltage	11.1V/22.2V no-load voltage		
Over discharge return voltage	12.6V/25.2V		
Control method	PWM		
Product Size (mm)	134×68×24	165×100×44	165×100×44
Package	100pcs/ctn	50pcs/ctn	50pcs/ctn
Carton Size (cm)	45×29.5×45	56.2×35.5×31	56.2×35.5×31

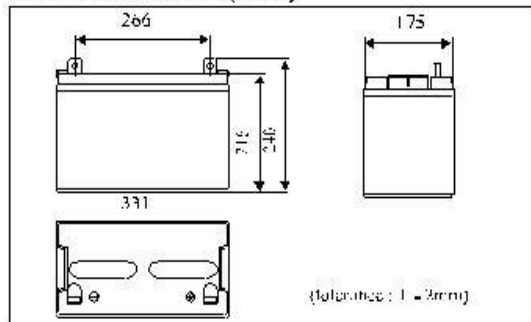
6GFM100A (12V100AH)

• Specifications

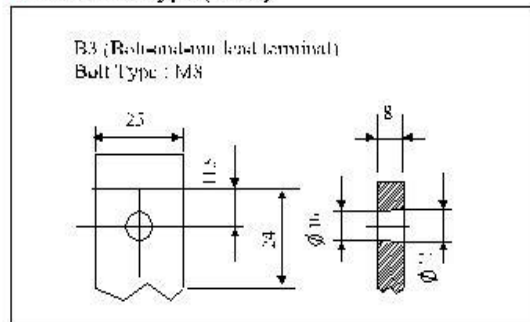
Normal Voltage		12V
Nominal Capacity (10HR)		100AH
Dimension	Length	331±2mm (13.03 inches)
	Width	175±2mm (6.89 inches)
	Container Height	216±2mm (8.50 inches)
	Total Height	240±2mm (9.45 inches)
Weight		Approx. 32Kg (70.5 lbs)
Standard Terminal		B3 (Right-hand lead terminal) Bolt Type:M8



• Outer Dimensions (mm)



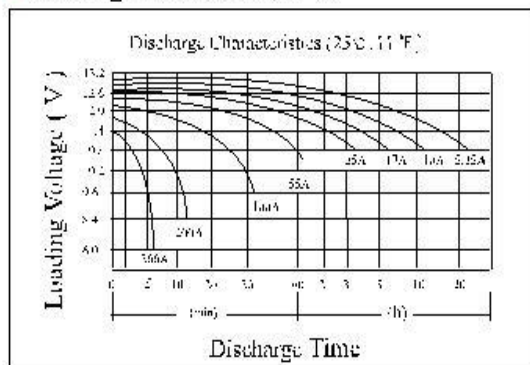
• Terminal Type (mm)



• Characteristics

Capacity	20 hour rate (0.25A)	105.0AH
	10 hour rate (0.05A)	96.0AH
	5 hour rate (0.04A)	85.0AH
	3 hour rate (0.03A)	75.0AH
	1 hour rate (0.04A)	55.0AH
Capacity affected by temperature	40°C (104°F)	102%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	85%
Internal Resistance		Fully charged battery (25°C, 77°F) 5mΩ
Constant-Voltage Charge	Cycle	Initial Charging Current Less than 25.0A Voltage 13.10-14.40V at 25°C (77°F) Temperature Coefficient +18mV/°C
	Stand by	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.50-13.80V at 25°C (77°F) Temperature Coefficient +18mV/°C

• Discharge curves 25°C (77°F)



Constant Current (Amp) and constant power (Watt) Discharge Table at 25°C (77°F)

Time		5min	10min	15min	30min	1h	2h	3h	4h	5h	10h	20h
9.60V	A	370	270	190	115	60	35	25.7	20.0	16.5	11.6	5.67
	W	3929	2867	2018	1221	695	465	298	232	191	135	65.7
10.20V	A	326	246	170	109.0	56.4	33.4	25.0	19.5	16.2	11.4	5.53
	W	3619	2781	1887	1210	658	387	290	226	180	132	64.0
10.50V	A	314	234	160	105	55	31.6	24.4	19.2	16.0	11.3	5.46
	W	3551	2654	1814	1202	642	378	284	222	185	131	63.2
10.80V	A	302	222	150	103	53	31.8	23.8	18.9	15.6	11.0	5.40
	W	3515	2584	1746	1199	615	370	277	218	182	128	62.9
11.10V	A	290	210	140	100	51	31.0	18.4	18.3	15.2	10.7	5.13
	W	3451	2499	1655	1190	607	350	274	217	181	127	61.0

YGE 110 SERIES

YL110P-17b 4/5
YL105P-17b 4/5
YL100P-17b 4/5
YL095P-17b 4/5



YINGLISOLAR.COM

ABOUT YINGLI GREEN ENERGY

- Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) is one of the world's largest fully vertically integrated PV manufacturers. With over 2 GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance. We are the first renewable energy company and the first Chinese company to sponsor the FIFA World Cup™.

PERFORMANCE

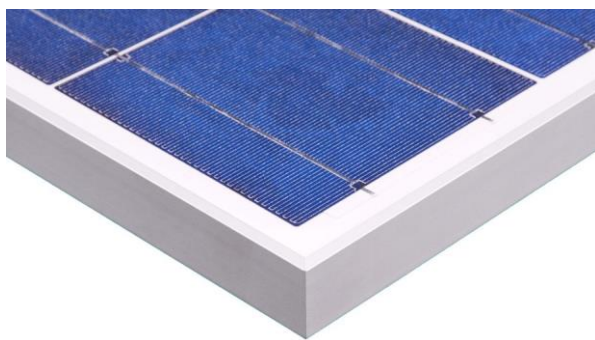
- High efficiency, polycrystalline solar cells with high transmission and textured glass delivering a module efficiency of up to 12.9%, minimizing installation costs and maximizing the kWh output of your system per unit area.
- Power tolerance of +/-3% minimizing PV system mismatch losses.

QUALITY AND RELIABILITY

- Industry leading in-house manufacturing of polysilicon, ingots, wafers, cells and modules ensures tight control of our material and production quality.
- Robust, corrosion resistant aluminum frame independently tested to withstand wind loads of 2.4 kPa and snow loads of 5.4 kPa ensuring a stable mechanical life for your modules.
- Module packaging optimized to protect product during transportation and minimize on-site waste.
- This type of module is commonly used for the small off-grid system.
- Manufacturing facility certified by TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007.

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, UL 1703 and ULC 1703, UL Fire Safety Class C, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OSHAS 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



YGE 110 SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)						
Module name			YGE 110	YGE 105	YGE 100	YGE 95
Module type			YL110P-17b 4/5	YL105P-17b 4/5	YL100P-17b 4/5	YL095P-17b 4/5
Power output	P_{max}	W	110	105	100	95
Power output tolerances	ΔP_{max}	%	+/- 3			
Module efficiency	η_m	%	14.2	13.6	12.9	12.3
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	17.5	17.0	17.0	17.0
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	6.30	6.18	5.88	5.59
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	22.0	22.0	21.5	21.0
Short-circuit current	I_{sc}	A	6.70	6.63	6.55	6.37

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C T_{module}, AM 1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Ave. efficiency reduction of 5% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)						
Power output	P_{max}	W	79.9	76.3	72.6	69.0
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	15.9	15.5	15.5	15.5
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	5.02	4.92	4.68	4.45
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	20.1	20.1	19.2	19.2
Short-circuit current	I_{sc}	A	5.67	5.37	5.31	5.16

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C T_{ambient}, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of P_{max}	γ	%/°C	-0.45
Temperature coefficient of V_{oc}	β_{Voc}	%/°C	-0.37
Temperature coefficient of I_{sc}	α_{Isc}	%/°C	0.06

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	50V _{dc}
Max. series fuse rating	10A
Limiting reverse current	Do not apply external voltages larger than V _{oc} of the module
Operating temperature range	-40 to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	2400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Hailstone impact (hailstone diameter / impact velocity)	25mm / 23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / type / dimensions)	36 / multicrystalline / 124.8mm x 156mm
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color)	anodized aluminum alloy / silver / clear

• Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.

• The data do not refer to a single module and they are not part of the offer, they only serve for comparison to different module types.

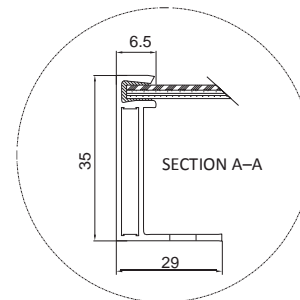
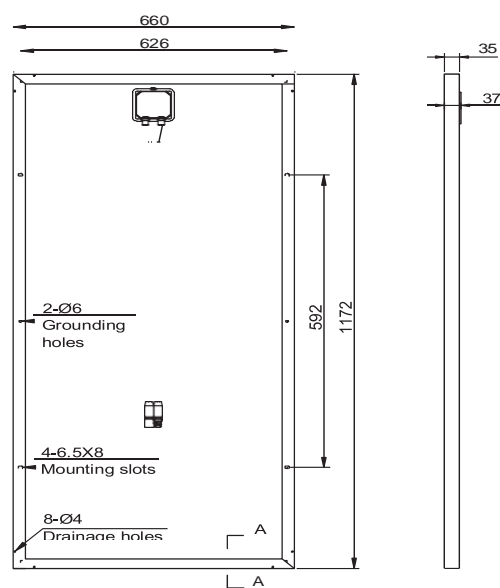
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (length / width / height)	1172mm / 660mm / 35mm
Weight	8.3kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per box	4
Packaging box dimensions (length / width / height)	1040mm / 690mm / 200mm

Unit: mm



Warning: Read the installation manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar module.

Our Partners:



CITOR-30W



5 χρόνια εγγύηση
50.000 ώρες ζωής

- ▶ LUMILEDS 3030 chip με LM80.
- ▶ Inventronics Driver με αισθητήρα θερμοκρασίας και λειτουργία αυτοπροστασίας.
- ▶ Σώμα χυτού αλουμινίου υψηλής θερμικής αγωγιμότητας.
- ▶ Ηλεκτροστατική βαφή μαύρου χρώματος
- ▶ Απόδοση φωτιστικού περισσότερο από 120lm/w
- ▶ Προστασία στεγανοποίησης IP66
- ▶ Οπτικοί φακοί υψηλής διάφανεσης με UV προστασία
- ▶ Πρακτικός σχεδιασμός για εύκολη συντήρηση & αντικατάσταση των υλικών

Model No.:	CITOR-30W
LED πηγή φωτός:	LUMILEDS 3030
Ποσότητα LED chip:	63 pcs
Εύρος τάσης εισόδου:	108~305V AC
Ισχύς :	30W
Φωτεινή ροή L.E.D. :	4050LM
Απόδοση L.E.D.:	135 lm/W
Φωτεινή ροή φωτιστικού:	3600LM
Απόδοση φωτιστικού:	120 lm/W
Γωνία φωτισμού:	120°
Συντελεστής ισχύος:	≥0.95
Βαθμός προστασίας:	IP66
IK Βαθμός κρούσης:	08
Θερμοκρασία χρώματος:	3000K
Δείκτης χρωματικής απόδοσης:	CRI >70
Εύρος συχνότητας:	50~60Hz
Συνολική αρμονική παραμόρφωση:	<15%
Διάρκεια ζωής:	≥50.000 ώρες
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας:	-25° ~ +50°
Υλικό σώματος:	Χυτό αλουμίνιο
Βαφή σώματος:	Ηλεκτροστατική βαφή
Καθαρό βάρος:	6.80 Kg
Διατομή υποδοχής βραχίονα:	Ø80-Ø78mm
Μόνωση Φωτιστικού:	Class I
Αντικεραυνική προστασία:	10kV

