



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

## Φωτισμός Δρόμων και Εξωτερικών Χώρων με Led τροφοδοτούμενα από Φωτοβολταϊκά Λεπού Υμενίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Α. Αμπαρτζής

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα Μάρτιος 2009





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

## Φωτισμός Δρόμων και Εξωτερικών Χώρων με Led τροφοδοτούμενα από Φωτοβολταϊκά Λεπτού Υμενίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Α. Αμπαρτζής

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

.....

Φ.Β Τοπαλής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Ι. Αθ. Σταθόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Π. Δ. Μπούρκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα Μάρτιος 2009

.....

Γεώργιος Αθ. Αμπαρτζής

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

Copyright © Γεώργιος Αθ. Αμπαρτζής 2009.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη φωτισμού δρόμων και εξωτερικών χώρων, με τη χρήση φωτιστικών Led που τροφοδοτούνται από εύκαμπτα φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου (thin film). Το σύστημα περιλαμβάνει έναν ιστό φωτισμού, φωτοβολταϊκά, ένα φωτιστικό χαμηλής ισχύος με led, μία μπαταρία και μία μονάδα ελέγχου για την εναλλαγή της τροφοδοσίας. Τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται κάθετα ως προς το έδαφος και εφάπτονται στον ιστό φωτισμού. Αρχικά, γίνονται μετρήσεις της ηλιοφάνειας στην περιοχή της Αθήνας για τον υπολογισμό της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας. Με κατάλληλη μεθοδολογία, υπολογίζεται η συλλεγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, και η αυτονομία του συστήματος. Στη συνέχεια, γίνεται μελέτη φωτισμού δρόμου και χώρου στάθμευσης με το επιλεγμένο φωτιστικό, όπου υπολογίζονται οι διατάξεις και οι διαστάσεις των ιστών φωτισμού και των φωτιστικών σωμάτων. Η προσομοίωση γίνεται σε υπολογιστή με το πρόγραμμα Relux. Τέλος, γίνεται οικονομική μελέτη του συστήματος.

## Λέξεις κλειδιά

Φωτοβολταϊκά, thin films, ηλιακή ενέργεια, φωτιστικά με led, φωτισμός δρόμων, φωτισμός εξωτερικών χώρων

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is to study road or outdoor lighting, by using led luminaires, which are powered by flexible thin film photovoltaics. The system consists of a lighting pole, a low power consumption led luminaire, a battery and a control unit which switches the power unit. The thin films are placed with  $90^0$  inclination and they are attached to the lighting pole. At first, it is measured the solar radiation in the region of Athens, in order to estimate the available solar energy. With suitable methodology, it is calculated the collected solar energy by the photovoltaics and the autonomy of the system. Next, by using the led luminaire, it is studied a road and a parking lighting project and it is calculated the positioning and dimensions of the lighting poles and the luminaires. The projects are simulated on a computer by using the program Relux. At last, the economic cost of the project is calculated.

## **Key words**

Photovoltaics, thin films, solar energy, led luminaires, road lighting, outdoor lighting

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|  |    |
|--|----|
| <b>Κεφάλαιο 1: Φωτοβολταϊκά</b>                              | 9  |
| 1.1 Η ηλιακή ενέργεια  | 9  |
| 1.2 Πρώτες εφαρμογές   | 10 |
| 1.3 Φωτοβολταϊκή ενέργεια                                    | 10 |
| 1.4 Λειτουργία φ/β   | 11 |
| 1.5 Απόδοση ηλιακού κυττάρου                                 | 13 |
| 1.6 Πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα                             | 16 |
| <b>Κεφάλαιο 2: Φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου (Thin film)</b>   | 19 |
| 2.1 Γενικά   | 19 |
| 2.2 Δομή των thin film                                       | 20 |
| 2.3 Κατηγορίες φ/β κυττάρων thin film                        | 21 |
| 2.3.1 Άμορφου πυριτίου (a-Si)                                | 21 |
| 2.3.2 Τελουριούχου καδμίου (CdTe)                            | 23 |
| 2.3.3 Χαλκού ινδίου (CIS)                                    | 24 |
| 2.3.4 Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)                            | 25 |
| <b>Κεφάλαιο 3: Φωτισμός δρόμων</b>                           | 26 |
| 3.1 Γενικά   | 26 |
| 3.2 Βασικά φωτοτεχνικά μεγέθη                                | 27 |
| 3.3 Επίπεδα φωτισμού δρόμων                                  | 31 |
| 3.4 Επίπεδα φωτισμού για αστικές περιοχές                    | 33 |
| 3.5 Διάταξη φωτιστικών σωμάτων                               | 36 |
| 3.6 Τύποι ιστών φωτισμού                                     | 38 |
| 3.7 Λαμπτήρες για φωτισμό δρόμων                             | 38 |
| <b>Κεφάλαιο 4: Φωτιστικά τεχνολογίας Led</b>                 | 41 |
| 4.1 Γενικά   | 41 |
| 4.2 Ιστορία  | 43 |
| 4.3 Πλεονεκτήματα των Leds                                   | 44 |
| 4.4 Μειονεκτήματα των Leds                                   | 45 |
| 4.5 Εφαρμογές των Leds                                       | 46 |
| 4.6 Ηλιακά φώτα δρόμου με Led                                | 47 |
| <b>Κεφάλαιο 5: Συλλογή και επεξεργασία ηλιακών δεδομένων</b> | 49 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός της αυτονομία του συστήματος</b> | 62  |
| 6.1 Γενικά  | 62  |
| 6.2 Καμπύλη φορτίου   | 62  |
| 6.3 Επιλογή αριθμού φ/β στοιχείων                           | 65  |
| 6.3.1 Μελέτη αυτονομίας με 1 φ/β στοιχείο                   | 65  |
| 6.3.2 Μελέτη αυτονομίας με 2 φ/β στοιχεία                   | 68  |
| 6.3.3 Μελέτη αυτονομίας με 3 φ/β στοιχεία                   | 71  |
| 6.4 Ηλεκτρικός συσσωρευτής (μπαταρία)                       | 74  |
| <b>Κεφάλαιο 7: Μελέτη φωτισμού με το πρόγραμμα Relux</b>    | 77  |
| 7.1 Το πρόγραμμα Relux                                      | 77  |
| 7.2 Μετρήσεις φωτιστικού                                    | 78  |
| 7.3 Μελέτη φωτισμού δρόμου                                  | 80  |
| 7.3.1 Μελέτη για κατηγορία δρόμου S2 έως CE3                | 80  |
| 7.3.2 Μελέτη για κατηγορία δρόμου S3 και S4                 | 84  |
| 7.4 Μελέτη φωτισμού χώρου στάθμευσης (parking)              | 89  |
| <b>Κεφάλαιο 8: Οικονομική μελέτη του συστήματος</b>         | 96  |
| 8.1 Μελέτη κόστους  | 96  |
| 8.1.1 Μελέτη κόστους για δρόμο S2 έως CE3                   | 96  |
| 8.1.2 Μελέτη κόστους για δρόμο S3 και S4                    | 97  |
| 8.1.3 Μελέτη κόστους για χώρο στάθμευσης                    | 97  |
| 8.2 Σύγκριση του συστήματος με συμβατικές μεθόδους φωτισμού | 97  |
| 8.2.2 Υπολογισμός απόσβεσης                                 | 99  |
| <b>Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα</b>                             | 100 |
| <b>Παράρτημα</b>  | 101 |
| <b>Βιβλιογραφία</b>   | 132 |



# Κεφάλαιο 1

## Φωτοβολταϊκά

### 1.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που είναι φιλική προς το περιβάλλον. Αντίθετα από τα απολιθωμένα καύσιμα, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη παντού στη γη. Είναι ελεύθερη και ανεπηρέαστη από τις αυξανόμενες τιμές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους : για θέρμανση, φωτισμό και παραγωγή μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας ημερησίως. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους. Θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει κυρίως πλεονεκτήματα, αν εξαιρεθούν το σχετικά υψηλό κόστος για τις περισσότερες εφαρμογές, η αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας

Αυτή η τεχνολογία που εμφανίστηκε στις αρχές του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ έχει μειώσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού με αυτόν τον τρόπο από \$300 σε \$4 ανά Watt. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές.

## 1.2 Πρώτες εφαρμογές

Οι πρώτες εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών κυττάρων πραγματοποιήθηκαν σε συστήματα διαστημικών σταθμών. Η αδυναμία να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας εκτός της ηλιακής στις διαστημικές εφαρμογές λόγω της εξ' ορισμού δυσκολίας που προσφέρει το διαστημικό περιβάλλον, αποτέλεσε την αφορμή για την έρευνα και ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, της τεχνολογίας δηλαδή που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.

Οι πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα ξεκίνησαν την δεκαετία του 1970. Η χρήση ηλεκτρικών θερμαντήρων σε όλα σχεδόν τα ελληνικά νοικοκυριά, σε συνδυασμό με την κρίση του πετρελαίου, με την ταυτόχρονη αύξηση της τιμής του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αποτέλεσε πρόσφορο έδαφος για την εμπορική ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Μέχρι το 1987 υπήρξε σταθερή ανάπτυξη των εμπορικών δραστηριοτήτων, ενώ την περίοδο 1984- 1986 μια μεγάλη διαφημιστική εκστρατεία που υποστηρίχτηκε από την ελληνική κυβέρνηση, σε συνδυασμό με οικονομικά κίνητρα, ώθησαν τις πωλήσεις των φωτοβολταϊκών συλλεκτών στα 218000m<sup>2</sup>. Εκτιμήθηκε πως ο αριθμός των κατασκευαστών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αυτή την περίοδο έφτανε τους 300. Από το 1987 και μετά υπήρξε σταθεροποίηση του ρυθμού ανάπτυξης της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Σήμερα, υπάρχουν δεκάδες κατασκευαστές φωτοβολταϊκών κυττάρων στη χώρα μας που παράγουν ετησίως εκατοντάδες χιλιάδες m<sup>2</sup> συλλεκτών.

## 1.3 Φωτοβολταϊκή ενέργεια

Το φως του ήλιου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τα φωτοβολταϊκά ή ηλιακά κύτταρα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (PV) είναι συσκευές ημιαγωγών, συνήθως φτιαγμένες από πυρίτιο, οι οποίες δεν περιέχουν κανένα υγρό, διαβρωτική χημική ουσία ή κινούμενο μέρος. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με χρήση του φωτός, απαιτούν λίγη συντήρηση, δεν μολύνουν και λειτουργούν σιωπηλά, κάνοντας τη φωτοβολταϊκή ενέργεια την καθαρότερη και ασφαλέστερη μέθοδο ηλεκτρικής παραγωγής.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά ή φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας άμεσα σε ηλεκτρική. Το πυρίτιο, το δεύτερο αφθονότερο στοιχείο στον φλοιό της γης, είναι το ίδιο υλικό ημιαγωγών που χρησιμοποιείται

στους υπολογιστές. Όταν το πυρίτιο συνδυάζεται με ένα ή περισσότερα υλικά, παρουσιάζει ηλεκτρικές ιδιότητες στο φως του ηλίου. Τα ηλεκτρόνια διεγείρονται από το φως και κινούνται μέσω του πυριτίου. Αυτό είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκή επίδραση και οδηγεί στην άμεση παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικής ενέργειας (DC). Τα Φ/Β πλαίσια έχουν μια οικονομικά ενεργή ζωή 20 - 30 ετών.

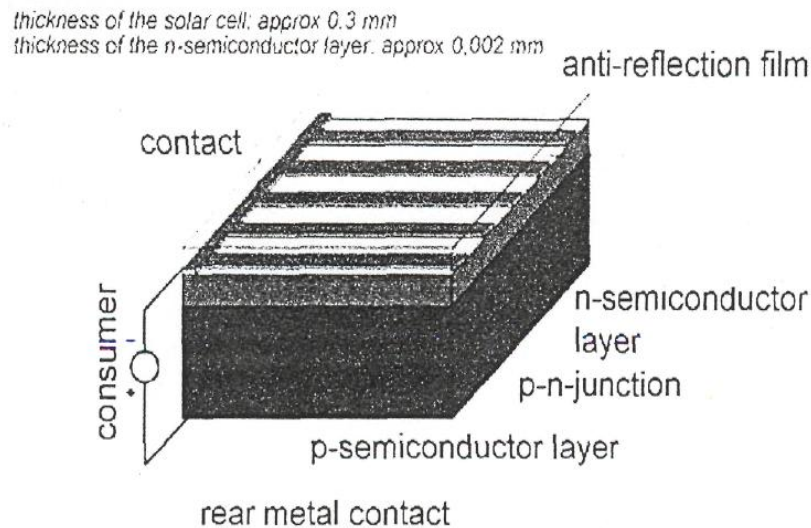
Η Φ/Β ενέργεια είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο. Αντίθετα από τον άνθρακα, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, κ.λ.π. Τα πλεονεκτήματα είναι σαφή: είναι συνολικά μη ρυπαντικό, δε χρειάζεται βοήθεια από μηχανές, και δεν απαιτεί πολλή συντήρηση. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής παραγωγής είναι ότι δεν απαιτεί μια εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας για να λειτουργήσει, σε αντίθεση με τους κοινούς σταθμούς ηλεκτρικής παραγωγής. Οι ηλιογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε σπίτι ή επιχείρηση ή σχολείο, και να παράγουν ισχύ ήσυχα και ακίνδυνα.

Ένα βασικό μειονέκτημα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του (ηλιακή ακτινοβολία) δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απότομες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις. Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και με μία πιο αυστηρή ορολογία, ροή ακτινοβολίας που ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε kW/m<sup>2</sup>. Επίσης στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον, ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

## 1.4 Λειτουργία Φ/Β

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία όπως απεικονίζεται στο σχήμα. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το

ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ηλεκτροστατικού της πεδίου. Με τον τρόπο αυτό, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Εικόνα 1-1: Ηλιακό κύτταρο κρυσταλλικού πυριτίου

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά ο ημιαγωγός αυτός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα, με αποτέλεσμα η αντίστοιχη ακτινοβολία να διαπερνά άθικτη το ημιαγωγικό υλικό του στοιχείου και να απορροφάται τελικά στο μεταλλικό

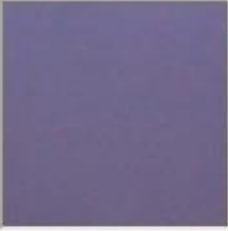



ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, ώστε να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια αυτά που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου, ενώ το υπόλοιπο μεταφέρεται σαν κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα.

## 1.5 Απόδοση ηλιακού κυττάρου

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (με τη σημερινή τεχνολογία, η οποία πάντως βελτιώνεται). Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα φωτοβολταϊκά “λεπτού υμενίου” (thin-film, όπως είναι τα άμορφα, τα CIS, CdTe, κ.λπ), καθώς και τα λεγόμενα “υβριδικά”, τα οποία συνδυάζουν τις τεχνολογίες των άμορφων και των μονοκρυσταλλικών, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Η απόδοση ενός Φ/Β κυττάρου ορίζεται ως το επί της εκατό ποσοστό της φωτεινής ισχύος εισόδου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ εξόδου, δηλαδή ορίζεται ως:

$$\text{Απόδοση ηλιακού κυττάρου} = \frac{\text{Ηλεκτρική ισχύς εξόδου}}{\text{Φωτεινή ισχύς εισόδου}} \times 100\%$$

Τα σημερινά αποδεκτά ηλιακά κύτταρα τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως, έχουν βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ του 10% και του 20%, αν και εργαστηριακά έχει επιτευχθεί βαθμός απόδοσης 25% για ηλιακά κύτταρα GaAs. Αναμένεται ότι η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα συνεχίσει να αυξάνεται και στο μέλλον θα φθάσει το 17% έως 20% από 13% έως 15% που είναι σήμερα. Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκριτικός πίνακας για την απόδοση και την παραγόμενη ενέργεια των διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών.

| <b>Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών</b>  |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
| <b>ΤΥΠΟΣ</b>  | <b>'Λεπού υμενίου'<br/>ή 'Thin Film'</b>  | <b>Πολυκρυσταλλικά</b>  | <b>Μονοκρυσταλλικά</b>   | <b>'Υβριδικά'</b>   |
| <b>Εμφάνιση</b>   |  |  |  |  |
| <b>Απόδοση</b>  | Άμορφα: 5-7%<br>CIS: 7-10%<br>CdTe: 8-9%  | 11-14%  | 13-16%   | 16-17%  |
| <b>Απαιτούμενη επιφάνεια<br/>ανά kWp</b>  | 10-20 m <sup>2</sup>  | 8-10 m <sup>2</sup>   | 7-8 m <sup>2</sup>   | 6-7 m <sup>2</sup>  |
| <b>Μέση ετήσια παραγωγή<br/>ενέργειας (kWh ανά kWp)</b><br><small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό<br/>σύστημα με νότιο προσανατολισμό και<br/>κατάλληλη κλίση)</small>           | 1.300-1.400   | 1.300   | 1.300  | 1.350   |
| <b>Μέση ετήσια παραγωγή<br/>ενέργειας (kWh ανά m<sup>2</sup>)</b><br><small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό<br/>σύστημα με νότιο προσανατολισμό και<br/>κατάλληλη κλίση)</small> | 65-140  | 130-160   | 160-185  | 190-225   |
| <b>Ετήσια μείωση εκπομπών<br/>διοξειδίου του άνθρακα<br/>(kg CO<sub>2</sub> ανά kWp)</b>  | 1.380-1.485   | 1.380   | 1.380  | 1.435   |

Πίνακας 1-1: Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

## Εξοικείωση με την ορολογία

**Φωτοβολταϊκό φαινόμενο** ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Για ευκολία, συνήθως χρησιμοποιούμε τη σύντμηση Φ/Β για τη λέξη "φωτοβολταϊκό" (*photovoltaic - PV*).

**Φωτοβολταϊκό στοιχείο:** Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη (*PV cell*).



**Φωτοβολταϊκό πλαίσιο:** Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας (*PV module*).



**Φωτοβολταϊκό πάνελ:** Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση (*PV panel*).

**Φωτοβολταϊκή συστοιχία:** Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (*PV array*).



**Φωτοβολταϊκή γεννήτρια:** Το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης που περιέχει Φ/Β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα (*PV generator*).

Εικόνα 1-2: Ορολογία για τα φ/β

Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

**Διασυνδεδεμένο σύστημα:** Είναι ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά αλλά με σύνδεση στο βασικό δίκτυο της ΔΕΗ. Σε αυτή την περίπτωση, ο αυτοπαραγωγός μπορεί να καταναλώσει μέρος της παραγωγής ηλεκτρισμού και να πωλήσει στη ΔΕΗ το υπόλοιπο, έναντι προσυμφωνημένης

τιμής, έχοντας κέρδος. Στο διασυνδεδεμένο σύστημα δεν απαιτούνται συσσωρευτές.

**Αυτόνομο σύστημα:** Είναι ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκά που καλύπτει πλήρως το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Είναι συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τα συστήματα αυτά απαιτούν συσσωρευτές για την εξασφάλιση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις νυκτερινές ώρες ή σε μέρες συννεφιάς.

## 1.6 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολόενα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη, δεν έχουν κινούμενα μέρη και δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με



τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,1 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3-1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ).

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνοψίζονται παρακάτω:

- Παράγουν «δωρεάν» ηλεκτρική ενέργεια από τον Ήλιο που είναι μια ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ισχύ αθόρυβα.
- Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον με αέρια ή με άλλα κατάλοιπα.
- Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές.
- Δεν καταναλώνουν καύσιμο.
- Μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Λειτουργούν χωρίς προβλήματα κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.
- Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο.
- Έχουν πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής ( τουλάχιστον 20 ή 30 χρόνια).
- Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος των διατάξεων είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 100 W/Kg, που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές.
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν σχετικά υψηλό κόστος αγοράς για τον οικιακό καταναλωτή. Όπως και όλες οι υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη.

Τα μειονεκτήματα των φ/β συστημάτων συνοψίζονται στα:

- Υψηλό κόστος των Φ/Β Κυττάρων αλλά και των συσσωρευτών.
- Απαίτηση χρήσης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάστασή τους λόγω της μικρής απόδοσης.
- Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Παρόλα αυτά, ήδη το κλίμα φαίνεται να αλλάζει. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας .

## Κεφάλαιο 2

### Φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου (Thin film)

#### 2.1 Γενικά

Το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών πανέλων κρυσταλλικού πυριτίου έχει οδηγήσει της βιομηχανίες φωτοβολταϊκών στην αναζήτηση νέων φθηνότερων υλικών για την κατασκευή ηλιακών κυττάρων. Τα υλικά που θα επιλέγονταν θα έπρεπε να έχουν υψηλή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά παράλληλα να είναι ελαφριά και όσο το δυνατόν λεπτότερα σε πάχος ώστε να μειωθεί το κόστος παραγωγής. Με αυτή την προοπτική ξεκίνησε η πρώτη παραγωγή των φωτοβολταϊκών κυττάρων λεπτών υμενίων (thin film).

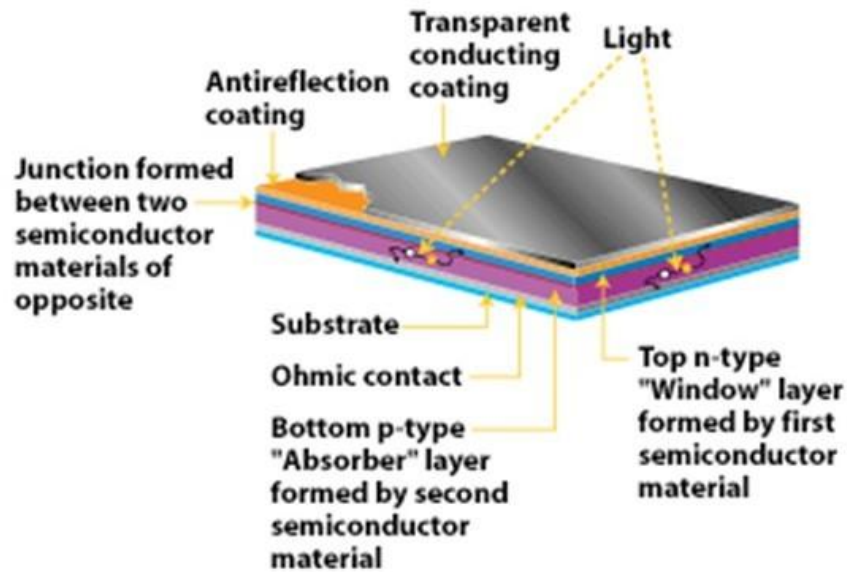
Τα φ/β κύτταρα thin film μπορούν να επιτύχουν σχετικά υψηλές αποδόσεις, ενώ κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας πολύ λιγότερο υλικό, σε σχέση με τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου. Τα thin film κατασκευάζονται εναποθέτοντας σε μία ταινία διαδοχικά στρώματα ατόμων, μορίων ή ιόντων. Η περιοχή των ενεργών κυττάρων τους έχει συνήθως πάχος 1 με 10μm, ενώ στις υπόλοιπες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες το πάχος κυμαίνεται από 100 μέχρι 300μm. Επίσης, τα φ/β κύτταρα thin film μπορούν να παραχθούν μαζικά από μία ταινία μεγάλου μήκους σε μία συνεχή και αυτοματοποιημένη διαδικασία.

Διάφορες τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν να την κατασκευή των thin film. Η τοποθέτηση των πολύ λεπτών στρωμάτων ημιαγωγών πάνω σε κάποιο υλικό μπορεί να γίνει με φυσική εναπόθεση ατμών, χημική εναπόθεση ατμών, ηλεκτροχημική εναπόθεση ή με συνδυασμό των παραπάνω τεχνικών. Τα πολύ λεπτά στρώματα τοποθετούνται πάνω σε γυαλί, σε φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα ή σε πλαστικό οποιουδήποτε σχήματος. Τα φ/β κύτταρα thin film που έχουν ως υπόστρωμα πλαστικό ή κάποιο άλλο μαλακό υλικό, εκτός απ' ότι είναι ελαφριά, είναι και εύκαμπτα, δηλαδή μπορούν να πάρουν το σχήμα που θέλουμε ανάλογα με την περίπτωση. Το γεγονός αυτό τα καθιστά πολλές φορές την μοναδική επιλογή για συγκεκριμένες φωτοβολταϊκές εφαρμογές.

## 2.2 Δομή των thin film

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό κύτταρο λεπτού υμενίου (thin film) αποτελείται από διάφορα υποστρώματα ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί είναι μονωτές στην κανονική τους μορφή, αλλά μετατρέπονται σε πολύ καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού όταν θερμαίνονται ή όταν συνδυάζονται με άλλα υλικά. Οι ημιαγωγοί που αναπτύσσουν περίσσεια ηλεκτρονίων όταν εμποτιστούν με κάποια υλικά ονομάζονται τύπου- n, ενώ αυτοί που αναπτύσσουν περίσσεια οπών, ονομάζονται τύπου- p. Ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο συνδυάζει ημιαγωγούς τύπου- p και τύπου- n, με ένα υπόστρωμα ανάμεσα τους που ονομάζεται επαφή (junction). Ακόμα και με την απουσία φωτός, ένας μικρός αριθμός ηλεκτρονίων μετακινείται από το υπόστρωμα τύπου n στο υπόστρωμα τύπου p, παράγοντας μία μικρή τάση. Με την παρουσία φωτός, τα φωτόνια εκτοπίζουν τα ηλεκτρόνια και τα αναγκάζουν να κινηθούν, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο λεπτού υμενίου (thin film) το πάνω υπόστρωμα είναι τύπου n με πάχος μικρότερο από  $0,1\mu\text{m}$  και ονομάζεται “window layer”. Ο ρόλος του είναι να απορροφάει φωτεινή ενέργεια μόνο από την πλευρά υψηλής ενέργειας στο τέλος του φάσματος. Πρέπει να είναι αρκετά λεπτό και να διαθέτει ένα αρκετά ευρύ διάκενο ζώνης ( $2,8\text{eV}$  ή περισσότερο). Αμέσως μετά υπάρχει το υπόστρωμα ημιαγωγού επαφής (junction). Στη συνέχεια, το υπόστρωμα τύπου- p πρέπει να έχει υψηλή απορροφητικότητα (ικανότητα να απορροφήσει φωτόνια) και ένα ικανό διάκενο για να παρέχει υψηλή τάση. Έχει πάχος συνήθως 1 με  $2\mu\text{m}$ . Το πάνω υπόστρωμα (τύπου n) είναι ένα παράθυρο που επιτρέπει στην φωτεινή ακτινοβολία να περάσει και να απορροφηθεί από το κάτω υπόστρωμα (τύπου p). Συχνά χρησιμοποιείται και μία ωμική επαφή για να παρέχει καλύτερη ηλεκτρική σύνδεση. Σε αντίθεση με τα περισσότερα φ/β κύτταρα, τα thin film δεν έχουν μεταλλικό ακροδέκτη στην κορυφή για την ηλεκτρική αγωγή. Αντιθέτως, χρησιμοποιούν ένα λεπτό στρώμα οξειδίου, όπως οξείδιο του κασσιτέρου ή του ψευδαργύρου. Αυτά τα οξείδια είναι ιδιαίτερα διαφανή και είναι πολύ καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Τα υποστρώματα έχουν διαφορετικά υλικά ανάλογα με τον τύπο του φ/β κυττάρου. Τα thin film κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τα παρακάτω:



Εικόνα 2-1: Δομή ενός Thin film

- Άμορφου πυριτίου (a-Si)
- Τελουριούχου καδμίου (CdTe)
- Χαλκού ινδίου (CIS)
- Αρσενικούχο γάλλιο (GaAs)

## 2.3 Κατηγορίες φ/β κυττάρων thin film

### 2.3.1 Άμορφου πυριτίου (a-Si)

Το άμορφο πυρίτιο ήταν το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή φωτοβολταϊκών κυττάρων λεπτού υμενίου (thin film). Μέχρι σήμερα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό για την κατασκευή τέτοιων κυττάρων, λόγω του χαμηλού κόστους σε σχέση με τα άλλα υλικά, και λόγω της αφθονίας του πυριτίου στη φύση. Ο χαρακτηρισμός 'άμορφο' προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Η παρασκευή του γίνεται με χημική εναπόθεση ατμών σιλανίου ή υδρογόνου.

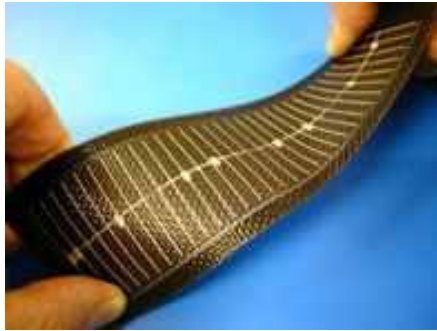
Τα παραδοσιακά φ/β κύτταρα πυριτίου, χρησιμοποιούν πυρίτιο και στο υπόστρωμα τύπου- n και στο υπόστρωμα τύπου- p. Οι λεπτές ταινίες πυριτίου εναποτίθεται πάνω σε γυαλί, μέταλλο ή πλαστικό που επικαλύπτεται από ένα στρώμα διαφανούς αγώγιμου οξειδίου στην κορυφή, που χρησιμεύει ως αγωγός. Το άμορφο πυρίτιο έχει ενεργειακό διάκενο ίσο με 1,7eV, μεγαλύτερο από το κρυσταλλικό πυρίτιο, που σημαίνει ότι απορροφά την ορατή ακτινοβολία πιο έντονα απ' ό τι την υπέρυθρη. Η ορατή ακτινοβολία απορροφάται από το πάνω υπόστρωμα, ενώ η υπέρυθρη από το κάτω.

Η απόδοση αυτών των κυττάρων κυμαίνεται από 6-8%, ενώ εργαστηριακά έχει επιτευχθεί και απόδοση 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).



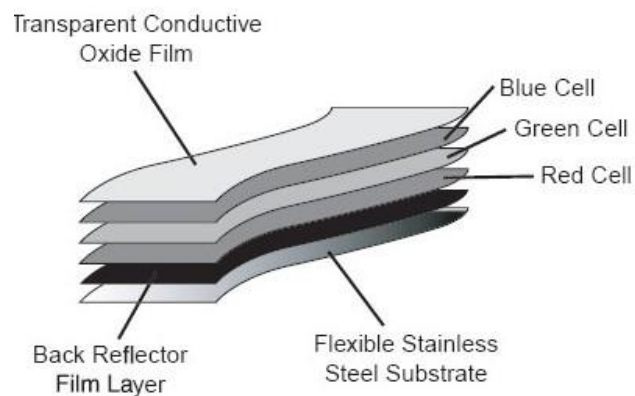
Εικόνα 2-2: Thin film άμορφου πυριτίου (a-Si)

Ωστόσο, αν και πλεονεκτούν από πλευράς κόστους, το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ένα σημαντικό επίσης μειονέκτημα είναι ότι τα φ/β κύτταρα άμορφου πυριτίου υπόκεινται σε σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης ισχύος τους, της τάξης του 15% , όταν εκτίθενται στον ήλιο. Το γεγονός αυτό οδήγησε τις βιομηχανίες να παράγουν thin film με διπλά ή τριπλά στρώματα ημιαγωγών που στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο για να βελτιώσουν περαιτέρω την απορρόφηση φωτός (δομή multijunction). Έτσι, συχνά εκτός από το υπόστρωμα άμορφου πυριτίου, χρησιμοποιούνται και άλλα υποστρώματα ημιαγωγών, όπως το γερμάνιο ή το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο . Κάθε υπόστρωμα έχει τη δυνατότητα να απορροφάει ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την απόδοση του κυττάρου. [1], [6], [8]



Εικόνα 2-3: Thin film triple junction

Στην μελέτη μας θα χρησιμοποιήσουμε φ/β thin film δομής multijunction της εταιρίας Unisolar με απόδοση ισχύος 8%.



Εικόνα 2-4: Δομή triple junction της Unisolar [11]

### 2.3.2 Τελουριούχου καδμίου (CdTe)

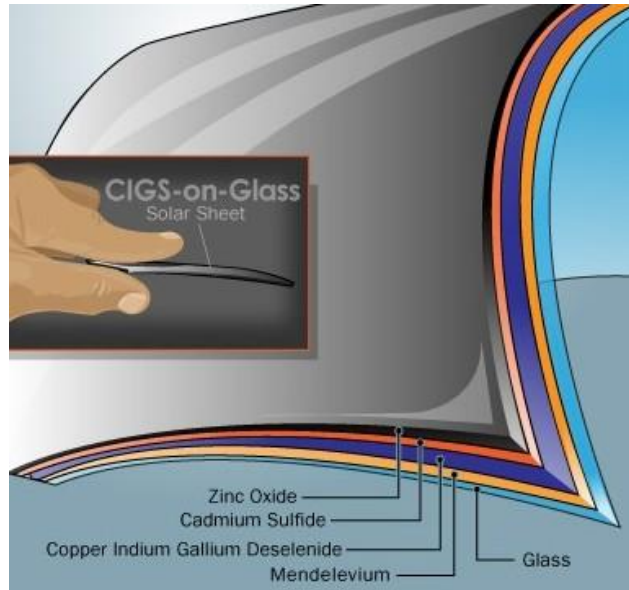
Το τελουριούχο κάδμιο (CdTe) είναι ένα εξέχον πολυκρυσταλλικό thin film υλικό. Το ενεργειακό του διάκενο (1,44eV) σχεδόν ταυτίζεται με αυτό του ηλιακού φάσματος, γεγονός που το καθιστά πολύ απορροφητικό στην ηλιακή ακτινοβολία. Περιέχει θειούχο κάδμιο (CdS) στο πάνω υπόστρωμα (window layer) που επιτρέπει

στην φωτεινή ακτινοβολία να διεισδύσει ευκολότερα στο υπόστρωμα τελουριούχου καδμίου. Αν και τις περισσότερες φορές το CdTe χρησιμοποιείται μόνο του, ενδέχεται να βρεθεί και μαζί με κράματα ψευδαργύρου ή υδραργύρου. Ως πάνω διαφανή επίστρωση επίστρωση χρησιμοποιείται οξείδιο του κασσιτέρου. Ένα πρόβλημα με το CdTe τύπου p είναι ότι τείνει να έχει μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλες απώλειες. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι το υπόστρωμα CdTe να είναι ουδέτερο (ούτε τύπου p, ούτε τύπου n), και να προσθεθεί ένα υπόστρωμα τελουριούχου ψευδαργύρου (ZnTe) p- τύπου, μεταξύ του CdTe και της ηλεκτρικής επαφής. Το CdTe τώρα θα βρίσκεται ανάμεσα στο p- τύπου ZnTe και στο n- τύπου CdS, αλλά επειδή είναι ουδέτερο επιτρέπει τον σχηματισμό ηλεκτρικού πεδίου. Τα CdTe κύτταρα κατασκευάζονται με χημική εναπόθεση ατμών ή με ηλεκτροχημική. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 7-9%, αν και εργαστηριακά έχει φτάσει και στο 16%. Ωστόσο, τροχοπέδη για την χρήση και την ανάπτυξη των CdTe thin film αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο, σύμφωνα με κάποιες έρευνες, θεωρείται καρκινογόνο, με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο εκτεταμένης χρήσης του. Αρκετές οικολογικές οργανώσεις έχουν εναντιωθεί στη χρήση του. Πρόβλημα επίσης αποτελεί η έλλειψη του τελουρίου στη φύση. [1], [7], [8]

### 2.3.3 Χαλκού ινδίου (CIS)

Μετά από δύο δεκαετίες έρευνας και ανάπτυξης εισήλθαν στην αγορά φωτοβολταϊκά κύτταρα thin film δισηληνοϊνδιούχου χαλκού (CIS). Τα φ/β CIS έχουν εξαιρετικά υψηλή απορροφητικότητα στην φωτεινή ακτινοβολία. Το 99% της συνολικής δεσμευόμενης φωτεινής ενέργειας απορροφάται από το πρώτο μμ του υλικού. Τα κύτταρα που παράγονται από CIS είναι συνήθως υβριδικά, δηλαδή σχηματίζονται από ημιαγωγούς με διαφορετικά ενεργειακά διάκενα. Το πιο κοινό υλικό για το πρώτο υπόστρωμα (window layer) είναι το θειούχο κάδμιο (Cds) με την προσθήκη μερικές φορές ψευδαργύρου. Η απόδοση αυτών των κυττάρων κυμαίνεται γύρω στο 11%, αν και εργαστηριακά έχει επιτευχθεί και βαθμός απόδοσης 18,8%. Τα κύτταρα αυτά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στην αγορά λόγω του υψηλού τους κόστους, που οφείλεται κυρίως στην σπανιότητα του ινδίου στη φύση. Με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων γαλλίου (Ga) στο χαμηλότερο υπόστρωμα αυξάνεται ακόμη περισσότερο η απόδοση αυτών των φ/β κυττάρων. Αυτά τα κύτταρα είναι γνωστά ως χαλκού ινδίου γαλλίου (CIGS). [4], [5], [7]





Εικόνα 2-5: Δομή φ/β κυττάρου χαλκού- ινδίου- γαλλίου (CIGS)

### 2.3.4 Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος. [1], [7]

## Κεφάλαιο 3

### Φωτισμός δρόμων

#### 3.1 Γενικά

Ο κυριότερος στόχος του οδικού φωτισμού είναι η βελτίωση της οδικής ασφάλειας κατά τη διάρκεια της νύχτας, προσδίδοντας συνθήκες καλής ορατότητας για τους χρήστες του οδικού δικτύου. Ο φωτισμός των μικρών ή μεγάλων οδικών αρτηριών που βρίσκονται είτε σε μεγάλες πόλεις με έντονο χαρακτήρα ή εμπορικό ενδιαφέρον, είτε σε μικρότερες, στοχεύει πάντοτε στη δημιουργία ενός ασφαλούς, άνετου και ευχάριστου περιβάλλοντος που προωθεί τις κοινωνικές δραστηριότητες των ανθρώπων και προβάλλει έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα της περιοχής.

Ο σωστός οδικός φωτισμός είναι βασική παράμετρος της οδικής ασφάλειας, βελτιώνει την ορατότητα του οδηγού και την οπτική καθοδήγηση και έχει ευεργετική επίδραση στην ασφάλεια της κυκλοφορίας στους δρόμους. Επιπλέον, παρέχει την ασφάλεια και την πρόληψη εγκληματικότητας, μειώνει τα ατυχήματα στους δρόμους που συνεπάγονται ανθρώπινες, και βέβαια οικονομικές απώλειες.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις αποδεικνύουν ότι η μειωμένη φωτεινότητα αποτελεί τη μεγαλύτερη αιτία του δυσανάλογου αριθμού τροχαίων ατυχημάτων που παρατηρείται κατά τις νυχτερινές ώρες σε σχέση με τις ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι με τη βελτίωση του φωτισμού των δρόμων, μειώθηκαν σημαντικά τα θανάσιμα ατυχήματα και συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι μια αύξηση στη μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος κατά  $1\text{cd/m}^2$  έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των νυχτερινών ατυχημάτων κατά περίπου 35%.

Επιπλέον, η εγκατάσταση οδικού φωτισμού στοχεύει στην επίτευξη μιας ομαλής κυκλοφοριακής ροής, παρέχοντας βελτιωμένη απεικόνιση των γεωμετρικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών της οδού και δυνατότητες ασφαλέστερης προσπέρασης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρήση, των υποδομών κατά τη διάρκεια της νύχτας και κάτω από ευρεία ποικιλία καιρικών συνθηκών.

Μία εγκατάσταση φωτισμού πρέπει να παρέχει στον οδηγό τη δυνατότητα να καθορίζει:

1. Την κατάσταση του δρόμου στο τμήμα που θα διανύσει στα επόμενα 5 ως 10 sec.
2. Τη θέση του οχήματος και την κίνηση του για το παραπάνω τμήμα.
3. Τη θέση και την κίνηση των άλλων οχημάτων, τα οποία ήδη χρησιμοποιούν ή πρόκειται να χρησιμοποιήσουν το διάστημα αυτό.
4. Την ύπαρξη τυχόν εμποδίων στο οδόστρωμα στο εν λόγω τμήμα.
5. Τη σήμανση του δρόμου.

Επομένως, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για τη δημιουργία του σωστού φωτισμού που αποσκοπεί στην ασφάλεια των οδηγών, παρέχοντας την αναγκαία και κατάλληλη ορατότητα στους δρόμους. Ο οδικός φωτισμός είναι μία **σημαντική παράμετρος ασφάλειας και αποδοτικής λειτουργίας του οδικού δικτύου** με την προϋπόθεση όμως να είναι αποτελεσματικός, δηλαδή να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά των εθνικών και διεθνών προδιαγραφών, οι οποίες εξασφαλίζουν την ποιότητα του συστήματος φωτισμού.

## 3.2 Βασικά φωτοτεχνικά μεγέθη

### Φωτεινή ενέργεια

Με τον όρο Φωτεινή ενέργεια  $Q$ , εννοείται η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από μία πηγή, η οποία γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Όπως είναι γνωστό, μία πηγή ακτινοβολίας εκπέμπει ενέργεια που είναι κατανεμημένη ανομοιόμορφα στο φάσμα εκπομπής της πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$  τη κατανομή τη καθορίζει η Φασματική Ενέργεια ακτινοβολίας  $W_\lambda$ . Το κλάσμα της Ενέργειας  $W$  που εκπέμπεται στη ζώνη κύματος από 380 έως 780 nm είναι η ενέργεια του ορατού φωτός. [18]

## Φωτεινή ροή ( $\Phi$ )

Ένα από τα θεμελιώδη και σημαντικότερα μεγέθη της φωτομετρίας είναι η Φωτεινή Ροή  $\Phi$  μιας φωτεινής πηγής. Ορίζεται σαν η στοιχειώδη Φωτεινή Ενέργεια  $dQ$  που εκπέμπει μία σημειακή φωτεινή πηγή τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου σε χρόνο  $dt$  προς το χρόνο αυτό. Είναι φανερό λοιπόν ότι η Φωτεινή Ροή είναι μαθηματικά η χρονική παράγωγος της Φωτεινής Ενέργειας και εκφράζει το ρυθμό μεταβολής αυτής. Επομένως η Φωτεινή Ροή αποτελεί μία μορφή ισχύος που αναφέρεται σε μία ακτινοβολία στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και για αυτό το λόγο ονομάζεται και Φωτεινή Ισχύς. Η μονάδα της είναι το **lumen (lm)**. [18]

## Φωτεινή ένταση ( $I$ )

Η Φωτεινή Ένταση ή Ένταση Φωτεινής πηγής  $I$  ορίζεται σαν η στοιχειώδη Φωτεινή Ροή  $d\Phi$  που εκπέμπει μία σημειακή φωτεινή πηγή μέσα σε μία στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$  προς την γωνία αυτή. Είναι φανερό λοιπόν ότι η Φωτεινή Ένταση είναι μαθηματικά η γωνιακή παράγωγος της Φωτεινής Ισχύος και καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου το ποσό της Φωτεινής Ροής που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Από τον παραπάνω ορισμό φαίνεται ότι η Φωτεινή Ένταση  $I$  και η Φωτεινή Ροή  $\Phi$  έχουν τις ίδιες διαστάσεις γιατί η γωνία (μετριέται σε sterad) είναι αδιάστατο μέγεθος. Η μονάδα της Φωτεινής Έντασης είναι η **candela (cd)**. [18]

## Ένταση Φωτισμού επιφάνειας ( $E$ )

Η Ένταση Φωτισμού  $E$  ορίζεται σαν ο λόγος της στοιχειώδους Φωτεινής Ροής  $d\Phi$  που πέφτει κάθετα σε μία στοιχειώδη επιφάνεια  $dS$  προς την επιφάνεια αυτή. Η μονάδα της Έντασης Φωτισμού είναι το **lux (lx)**.

## Λαμπρότητα ( $L$ )

Η Λαμπρότητα  $L$  ορίζεται σαν ο λόγος της Φωτεινής Έντασης  $I$  της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν  $S$  της επιφάνειας της πηγής το οποίο βλέπει ο παρατηρητής. Είναι φανερό λοιπόν ότι Λαμπρότητα μαθηματικά είναι διανυσματικό μέγεθος και μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή της φωτεινής πηγής. Αν δύο σώματα έχουν την ίδια Φωτεινή Ένταση  $I$  αλλά διαφορετικές διαστάσεις είναι φανερό ότι το σώμα που για τον παρατηρητή «θα έχει το μικρότερο εμβαδόν» έχει την μεγαλύτερη Λαμπρότητα. Η μονάδα της

Λαμπρότητας είναι το **Nit (nt)**. Η Λαμπρότητα είναι ένα μέγεθος που αναφέρεται σε φωτοβολούσες επιφάνειες, άρα και σε ετερόφωτες φωτεινές πηγές. [18]

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

Παρόλο που η τιμή του φωτισμού δίνει μία γενική εικόνα για την ποιότητα μιας εγκατάστασης φωτισμού δεν μπορεί να θεωρηθεί το μέγεθος εκείνο το οποίο μπορεί να περιγράψει πλήρως την πραγματική κατάσταση. Αντίθετα, το μέγεθος της λαμπρότητας περιγράφει την πραγματική κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος, καθώς εξετάζει την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό. Έτσι, **η Λαμπρότητα θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για το φωτισμό του οδικού δικτύου.**

### **Ομοιομορφία λαμπρότητας (U)**

Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό πάνω στο οδόστρωμα πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας σε αυτό να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία) είτε για διεύθυνση που συμπίπτει με τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία). Διακρίνονται τρεις συντελεστές ομοιομορφίας:

- **Γενικός συντελεστής ομοιομορφίας  $U_o$** , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος  $L_{min}/L_{med}$ , ή  $L_{min}/L_{max}$ , όπου  $L_{min}$ ,  $L_{med}$ ,  $L_{max}$  η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη λαμπρότητα αντίστοιχα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.
- **Συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας  $U_p$** , ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{min}/L_{max}$  σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα της οδού. Η ανεπαρκής διαμήκης ομοιομορφία βλάπτει την άνεση και την ασφάλεια.
- **Συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας  $U_v$** , ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{min}/L_{max}$  σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα της οδού. Καλή εγκάρσια ομοιομορφία επιτρέπει στον οδηγό ευκρινής διάκριση της επιφάνειας της οδού σε όλο της το πλάτος.

## Θάμβωση (G)

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

$$\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}} < 10\%$$

Η θάμβωση παρουσιάζεται με τρεις μορφές:

- **Απόλυτη θάμβωση**, η οποία οφείλεται σε υπερβολικά μεγάλη λαμπρότητα μέσα στο οπτικό πεδίο (τιμές μεγαλύτερες από  $10.000 \text{ cd/m}^2$ ).
- **Ψυχολογική θάμβωση ή θάμβωση ενόχλησης**, κατά την οποία δημιουργείται μία δυσφορία στον οδηγό και μία έλλειψη άνεσης.
- **Φυσιολογική θάμβωση ή θάμβωση ανικανότητας**, η οποία όπως και η απόλυτη θάμβωση συνδέεται με τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός σε όλο το οπτικό πεδίο, το οποίο μειώνει την αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ ενός αντικειμένου και του περιβάλλοντος του. Αντιστοιχεί λοιπόν σε μια πρόσθετη λαμπρότητα (ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου-*Veiling Equivalent Luminance* ( $L_{\text{seq}}$ )), που επικάθεται στο οπτικό πεδίο μειώνοντας την αντίθεση λαμπρότητας. Το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί ο φωτισμός του περιβάλλοντος για να γίνει ένα αντικείμενο ορατό και πάλι ορίζεται ως προσαύξηση κατωφλίου της λαμπρότητας του περιβάλλοντος (*Threshold Increment, TI*).

Η μείωση της οπτικής ικανότητας του οδηγού εξαιτίας του φαινομένου της θάμβωσης μπορεί να είναι αιτία ατυχήματος, ιδίως όταν το όχημα κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στη μείωση της θάμβωσης είναι η επιλογή του τύπου των φωτιστικών, το ύψος ανάρτησης αυτών, η κατεύθυνση της δέσμης φωτός, και η λαμπρότητα του φόντου.

### 3.3 Επίπεδα φωτισμού δρόμων

Ο φωτισμός δρόμων πρέπει να επιτρέπει στους οδηγούς και πεζούς να κυκλοφορούν με ασφάλεια και άνεση τη νύχτα. Οι οδηγοί πρέπει να εντοπίζουν έγκαιρα και με ακρίβεια τα όρια του δρόμου και τα εμπόδια ή τα ιδιάζοντα σημεία του δρόμου (όπως είναι η ενδεχόμενη ύπαρξη πεζών ή άλλων αυτοκινήτων) χωρίς τη χρήση φανών πορείας ή διασταυρώσεως. Για τον πεζό προέχουν η ορατότητα των εμποδίων, των αυτοκινήτων, των άκρων των πεζοδρομίων καθώς και η απουσία μεγάλων σκοτεινών κηλίδων. Είναι απαραίτητη επίσης η καλή ορατότητα και το ευανάγνωστο των πινακίδων σηματοδότησης. Είναι αυτονόητο ότι διαφορετικά θα φωτιστεί μία διασταύρωση εθνικής οδού και διαφορετικά μία διασταύρωση αστικού δρόμου. Πρέπει λοιπόν να γίνει μία ταξινόμηση των δρόμων για φωτοτεχνικούς λόγους. [21], [22], [23]

| ΚΛΑΣΗ ΔΡΟΜΟΥ | ΤΥΠΟΣ & ΕΝΤΑΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ  | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΡΟΜΩΝ  |
|--------------|---|---|
| A            | Αυτοκινητόδρομος, έντονη κίνηση οχημάτων με μεγάλη ταχύτητα                   | Δρόμοι διπλής κατεύθυνσης, χωρίς διασταυρώσεις στο ίδιο επίπεδο και με περιορισμένη πρόσβαση.   |
| B            |   | Σημαντικός δρόμος για την κίνηση των οχημάτων, με δυνατότητα ύπαρξης ξεχωριστών δρόμων για οχήματα που κινούνται αργά και για πεζούς.                                       |
| C            | Δρόμος για επιβατικά ή μικτό είδος οχημάτων, έντονη κίνηση με μέτρια ταχύτητα | Σημαντικές αστικές και μη αρτηρίες με όλων των ειδών χρήστες.   |
| D            | Έντονη μικτή αργή κίνηση, με αρκετή παρουσία πεζών                            | Κεντρικές αστικές αρτηρίες, πρόσβαση των δρόμων σε δημόσια κτίρια και περιοχές όπου η κυκλοφορία των οχημάτων επιβραδύνεται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τους πεζούς. |
| E            | Μικτή κίνηση με περιορισμένη ταχύτητα και ένταση                              | Οδοί που συνδέουν οικιστικές περιοχές με δρόμους των άλλων κατηγοριών   |

Πίνακας 3-1: Ταξινόμηση δρόμων [21], [23]

Τα θεμελιώδη κριτήρια για την επιλογή καλού οδικού φωτισμού είναι:

- Η μέση λαμπρότητα  $L_{av}$  ( $cd/m^2$ )
- Η ομοιομορφία της λαμπρότητας  $U_0$
- Ο περιορισμός της θάμβωσης  $G$
- Ο φωτισμός του περιβάλλοντα χώρου
- Η οπτική καθοδήγηση

Παρακάτω δίδεται ο πίνακας με τις συνιστώμενες φωτοτεχνικές τιμές για τις διάφορες κατηγορίες δρόμων.

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΡΟΜΟΥ | ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  | ΜΕΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ $cd/m^2$ | ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ |                | ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ |                  |
|------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|----------------|----------------------|------------------|
|                  |             |                          | ΣΥΝΟΛΙΚΗ $U_0$          | ΔΙΑΜΗΚΗΣ $U_1$ | ΕΝΟΧΛΗΤΙΚΗ $G$       | ΚΟΥΡΑΣΤΙΚΗ $T_i$ |
| A                | οποιοδήποτε | 2                        | 0,4                     | 0,7            | 6                    | 10               |
| B1               | φωτιζόμενο  | 2                        | 0,4                     | 0,7            | 5                    | 10               |
| B2               | σκοτεινό    | 1                        |                         |                | 6                    | 10               |
| C1               | φωτιζόμενο  | 2                        | 0,4                     | 0,5            | 5                    | 20               |
| C2               | σκοτεινό    | 1                        |                         |                | 6                    | 10               |
| D                | φωτιζόμενο  | 2                        | 0,4                     | 0,5            | 4                    | 20               |
| E1               | φωτιζόμενο  | 1                        | 0,4                     | 0,5            | 4                    | 20               |
| E2               | σκοτεινό    | 0,5                      |                         |                | 5                    | 20               |

Πίνακας 3-2: Συνιστώμενοι φωτοτεχνικοί παράμετροι για διάφορες κατηγορίες δρόμων [21], [23]



### 3.4 Επίπεδα φωτισμού για αστικές περιοχές

Η απαιτούμενη στάθμη φωτισμού στις αστικές περιοχές κατηγοριοποιείται σε επτά επίπεδα, από P1 μέχρι P7. Το επίπεδο φωτισμού P1 χρησιμοποιείται για περιοχές κύρους που απαιτείται η δημιουργία ελκυστικού περιβάλλοντος. Οι υπόλοιπες έξι κατηγορίες κατατάσσονται ανάλογα με τη χρήση των πεζών και την ανάγκη της διαφύλαξης του χαρακτήρα του περιβάλλοντος. Τα επίπεδα P5, P6 και P7 πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε περιοχές που ο κίνδυνος εγκλήματος είναι αμελητέος. Όταν η πιθανότητα για εγκληματικές ενέργειες είναι μεγάλη, θα πρέπει να επιλέγεται επίπεδο φωτισμού ενός ή δύο βημάτων μεγαλύτερων από αυτό που θα επιλέγονταν αν δεν υπήρχε ο κίνδυνος εγκλήματος (για παράδειγμα P4 ή P3 αντί για P5). Αυτές οι συστάσεις βρίσκουν εφαρμογές και σε δρόμους που χρησιμοποιούνται από ποδηλάτες και γενικότερα σε δρόμους που δεν κυκλοφορούν οχήματα. [13]

| Περιγραφή δρόμου   | Επίπεδο φωτισμού |
|--|------------------|
| Δρόμοι υψηλού κύρους   | P1               |
| Έντονη νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες  | P2               |
| Μέτρια νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες  | P3               |
| Μικρή νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες  | P4               |
| Μικρή νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες<br>Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος.    | P5               |
| Ελάχιστη νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες<br>Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος. | P6               |
| Δρόμοι όπου η απαιτούμενη ορατότητα για την οδήγηση παρέχεται μόνο από το άμεσο φως των φωτιστικών.  | P7               |

Πίνακας 3-3: Επίπεδα φωτισμού αστικών περιοχών κατά CIE

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι προϋποθέσεις, οι οποίες για τα επίπεδα P1 μέχρι P6 σχετίζονται με το σύνολο της χρησιμοποιούμενης επιφάνειας, όπως είναι το μονοπάτι, αν υπάρχει, όπως και η επιφάνεια του δρόμου. Για το επίπεδο P7 είναι βασικό τα φωτεινά τμήματα του φωτιστικού να είναι ορατά από το επόμενο κοντινότερο φωτιστικό, για να παρέχεται αποτελεσματική ορατότητα για οδήγηση.

| Επίπεδο φωτισμού | Οριζόντια ένταση φωτισμού (lux)<br>Της ολικής χρησιμοποιούμενης<br>επιφάνειας |          | Ημικυλινδρική<br>ένταση φωτισμού<br>(lux) |
|------------------|---|----------|---|
|                  | Μέγιστη   | Ελάχιστη | Ελάχιστη                                  |
| P1               | 20  | 7,5      | 5   |
| P2               | 10  | 3        | 2   |
| P3               | 7,5   | 1,5      | 1,5                                       |
| P4               | 5   | 1        | 1   |
| P5               | 3   | 0,6      | 0,75                                      |
| P6               | 1,5   | 0,2      | 0,5                                       |
| P7               | Μη εφαρμόσιμο   |          |   |

Πίνακας 3-4: Προδιαγραφές για τα επίπεδα φωτισμού P1 έως P7.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται οι προδιαγραφές για τα επίπεδα φωτισμού βασικών τύπων δρόμων όπως έχουν καθοριστεί από την CIE και αφορούν τις κλάσεις φωτισμού M1 έως και M5.

| Περιγραφή Δρόμου   |         | Κλάση Φωτισμού |
|--|---------|----------------|
| Δρόμου υψηλής ταχύτητας κυκλοφορίας με διαχωρισμένες λωρίδες κατεύθυνσης, χωρίς διασταυρώσεις και διαβάσεις (μεγάλοι αυτοκινητόδρομοι) |         |                |
| Κυκλοφορία του δρόμου και πολυπλοκότητα  | Μεγάλη  | M1             |
|  | Μεσαία  | M2             |
|  | Μικρή   | M3             |
| Δρόμου υψηλής ταχύτητας κυκλοφορίας, διπλής κατεύθυνσης  |         |                |
| Ποιότητα ελέγχου του δρόμου (Σήμανση, σηματοδότηση κλπ) και διαχωρισμός των λωρίδων κατεύθυνσης της κυκλοφορίας                        | Ελλιπής | M1             |
|  | Καλό    | M2             |
| Κύριοι δρόμοι πόλεων (Λεωφόροι), κυκλικοί δρόμοι κλπ.  |         |                |
| Ποιότητα ελέγχου του δρόμου και διαχωρισμός λωρίδων κατεύθυνσης της κυκλοφορίας  | Ελλιπής | M2             |
|  | Καλός   | M3             |
| Δευτερεύοντες αστικοί δρόμοι, δρόμοι διασύνδεσης λεωφόρων κλπ.   |         |                |
| Ποιότητα ελέγχου του δρόμου και διαχωρισμός των λωρίδων κατεύθυνσης της κυκλοφορίας  | Ελλιπής | M4             |
|  | Καλή    | M5             |

Πίνακας 3-5: Προδιαγραφές για επίπεδα φωτισμού βασικού τύπου δρόμων κατά CIE

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται οι προδιαγραφές για κλάσεις φωτισμού CE και S:

| Class | horizontal illuminance                              |                          |
|-------|---|--------------------------|
|       | $E_{min}$ lx<br>[minimum value, maintenance factor] | $U_0$<br>[minimum value] |
| CE 0  | 50  | 0,4                      |
| CE 1  | 30  | 0,4                      |
| CE 2  | 20  | 0,4                      |
| CE 3  | 15  | 0,4                      |
| CE 4  | 10  | 0,4                      |
| CE 5  | 7,5   | 0,4                      |

Πίνακας 3-6: Προδιαγραφές για κλάσεις φωτισμού CE [24]

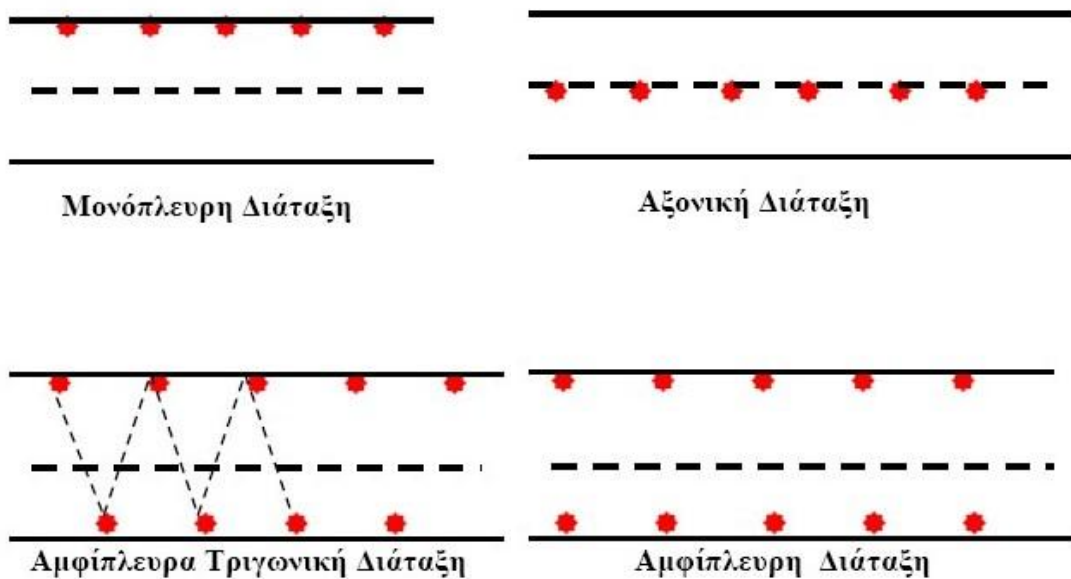
| Class | Horizontal illuminance                                 |   |
|-------|--|---|
|       | $E_{min}$ in lx<br>[minimum value, maintenance factor] | $E_{min}$ in lx<br>[maintenance factor] |
| S1    | 15   | 5                                       |
| S2    | 10   | 3                                       |
| S3    | 7,5  | 1,5                                     |
| S4    | 5  | 1                                       |
| S5    | 3  | 0,6                                     |
| S6    | 2  | 0,6                                     |
| S7    | performance not determined                             | performance not determined              |

Πίνακας 3-7: Προδιαγραφές για κλάσεις φωτισμού S [24]

### 3.5 Διάταξη φωτιστικών σωμάτων

Διακρίνουμε τέσσερα είδη διατάξεως και στηρίξεως των φωτιστικών σωμάτων σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:

- Μονόπλευρη διάταξη
- Αξονική διάταξη
- Αμφίπλευρη διάταξη
- Αμφίπλευρα τριγωνική διάταξη



Η **μονόπλευρη διάταξη** επιτρέπει να φωτιστεί περισσότερο η μία πλευρά του δρόμου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δρόμο που έχει μικρό πλάτος ή που παρουσιάζει μία ασυμμετρία όπως:

- Κυκλοφορία μόνιμα μεγαλύτερη από τη μία πλευρά
- Κυκλοφορία προς τη μία μόνο κατεύθυνση ( μονόδρομος ).
- Καμπυλότητα του φωτισμένου τμήματος (στην περίπτωση αυτή συνίσταται η τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων στην πλευρά με τη μεγαλύτερη ακτίνα ).
- Παρουσία δέντρων από τη μία πλευρά του δρόμου.

Άλλοι επίσης παράγοντες όπως η αισθητική ή η ευκολία τοποθέτησης μπορούν να οδηγήσουν στην εκλογή της διάταξης αυτής.

Η **αξονική διάταξη** παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- Ο άνεμος προκαλεί την κίνηση των φωτιστικών σωμάτων στην περίπτωση που δεν είναι στερεωμένα.
- Οι εργασίες συντήρησης δυσχεραίνουν την κυκλοφορία.
- Προσελκύει τους οδηγούς στο κέντρο του δρόμου.

Επομένως χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχουν επιτακτικοί λόγοι τοποθέτησης στον άξονα ( δέντρα ή εμπόδια στα άκρα ).

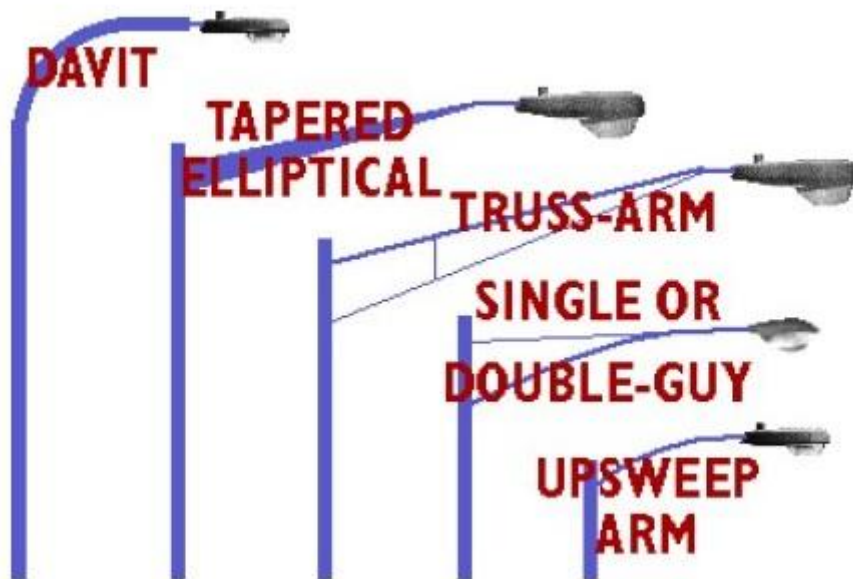
Στην **αμφίπλευρη τριγωνική διάταξη** τα φωτιστικά σώματα είναι υπολογισμένα έτσι ώστε καθένα από αυτά να φωτίζει όλο το πλάτος του δρόμου. Η χρήση της απαιτεί αυστηρό έλεγχο της ομοιομορφίας της λαμπρότητας για να μην δημιουργείται η εικόνα φωτεινών κηλίδων σε σκοτεινό κυματισμό.

Στην **αμφίπλευρη διάταξη** τα σώματα είναι τοποθετημένα στις δύο πλευρές του δρόμου, γενικά το ένα απέναντι απ' το άλλο και υπολογισμένα έτσι ώστε το κάθε ένα να φωτίζει το μισό πλάτος του δρόμου. Συνίσταται για δρόμους μεγάλου πλάτους.

Στους διπλούς δρόμους χρησιμοποιούνται συνήθως η αξονική και αμφίπλευρη διάταξη. Σημειώνεται ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση της μίας πλευράς στην άλλη. Επίσης είναι δυνατή η χρησιμοποίηση φωτιστικών σωμάτων κάθετα στον άξονα του δρόμου, στα άκρα, στη νησίδα ή και στα δύο, καθώς και φωτιστικών σωμάτων παράλληλων προς τον άξονα πάνω στη νησίδα.

### 3.6 Τύποι ιστών φωτισμού

Οι ιστοί φωτισμού ποικίλουν ανάλογα την κλάση και τον περιβάλλοντα χώρο του δρόμου που πρέπει να φωτιστεί. Υπάρχουν δεκάδες τύποι ιστών και δεκάδες κατασκευαστές. Κάποιοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε σχέση με τους άλλους. Οι κυριότεροι τύποι ιστών φωτισμού παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 3-1: Συνήθεις τύποι ιστών φωτισμού

### 3.7 Λαμπτήρες για φωτισμό δρόμων

Οι κυριότεροι τύποι λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές φωτισμού δρόμων παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω:

| ΕΙΔΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ                                   | ΦΩΤ.ΙΣΧΥΣ<br>[lm*10 <sup>3</sup> ] | ΤΥΠΙΚΗ<br>ΑΠΟΔΟΣΗ<br>[lm/W] | ΖΩΗ<br>ΛΑΜΠ.<br>[hour*10 <sup>3</sup> ] |
|--|------------------------------------|-----------------------------|---|
| ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ                                      | 0,6-15                             | 9,7-17,4                    | 1-2                                     |
| ΑΤΜΩΝ<br>ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ                              | 3,7-57                             | 37-57                       | 18-28                                   |
| ΑΤΜΩΝ<br>ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ<br>ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΥ<br>ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ | 4,0-63                             | 40-63                       | 18-28                                   |
| ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ<br>ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ                        | 34-100                             | 85-100                      | 10-15                                   |
| ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ<br>ΠΙΕΣΗΣ                         | 9,5-140                            | 95-140                      | 15-28                                   |
| ΝΑΤΡΙΟΥ<br>ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ                        | 1,8-33                             | 100-183                     | 10-18                                   |

Πίνακας 3-8: Χαρακτηριστικά λαμπτήρων φωτισμού δρόμων

**Λαμπτήρας πυρακτώσεως:** Χρησιμοποιούνταν ευρύτατα στο παρελθόν σε εφαρμογές φωτισμού δρόμων. Αντικαταστήθηκαν όμως από άλλους τύπους λαμπτήρων λόγω της μικρής τους απόδοσης και της μικρής διάρκειας ζωής.

**Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου:** Αντικατέστησαν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως λόγω της υψηλής τους απόδοσης και της μεγάλης διάρκειας ζωής. Ωστόσο, έχουν αρκετά υψηλό κόστος και απαιτείται η χρήση ballast.

**Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου φωσφορούχου επίστρωσης:** Έχει μεγαλύτερη απόδοση από τον λαμπτήρα ατμών υδραργύρου, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη έξοδο και πιο ευχάριστη απόδοση χρώματος. Ωστόσο, η πηγή του φωτός είναι το μέγεθος του περιβλήματος, που παρουσιάζει το πρόβλημα στον έλεγχο του φωτός.

**Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων:** Είναι τύπος λαμπτήρα υδραργύρου. Ο σωλήνας τόξων περιέχει μεταλλικά αλογονίδια που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση του χρώματος. Το μέγεθος της πηγής φωτός είναι αυτό ενός σωλήνα τόξων, επιτρέποντας τον καλό έλεγχο του φωτός με το ίδιο προσάρτημα που χρησιμοποιείται για τους λαμπτήρες καθαρού υδραργύρου.

**Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης:** Ο λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης έχει προς το παρόν αντικαταστήσει τον λαμπτήρα υδραργύρου. Χαρακτηρίζεται από την παραγωγή χρυσού- λευκού χρώματος φωτός. Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης είναι συνήθως χρησιμοποιούμενοι με ειδικά ballast που παρέχουν την απαιτούμενη υψηλή τάση για την έναυση του λαμπτήρα. Παρόλα αυτά, οι λαμπτήρες είναι διαθέσιμοι να χρησιμοποιούν ballast από ορισμένους τύπους λαμπτήρων ατμών υδραργύρου, αλλά με φτωχότερη απόδοση και πιο σύντομη ζωή.

**Λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης:** Χαρακτηρίζεται από την παραγωγή ενός μονοχρωματικού φωτός κίτρινου χρώματος. Απαιτείται ειδικό ballast που αυξάνει σε μέγεθος με την αύξηση των Watt. Η σύγχρονη τάση για συντήρηση της ενέργειας και η υψηλή αποτελεσματικότητα των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης έχει οδηγήσει σε ευρεία χρήση των λαμπτήρων για φωτισμό εμπορικών και κατοικημένων περιοχών. Ακόμα, έχουν σημαντική διατήρηση των Lumen. Δηλαδή, δεν υπάρχει μείωση στην παραγωγή του φωτός εάν η καταναλισκόμενη ενέργεια αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου.



## Κεφάλαιο 4

### Φωτιστικά τεχνολογίας Led

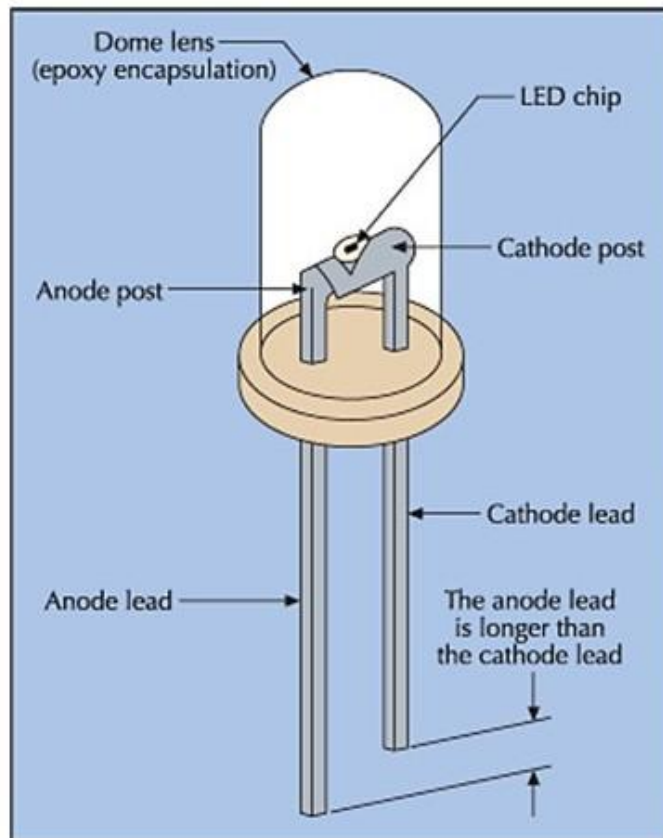
#### 4.1 Γενικά

**Δίοδος Εκπομπής Φωτός, (LED, Light Emitting Diode)**, αποκαλείται ένας ημιαγωγός ο οποίος εκπέμπει φως στενού φάσματος όταν του παρέχεται μία ηλεκτρική τάση. Είναι μια συσκευή ημιαγωγών που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή. Η δίοδος εκπομπής φωτός LED είναι μια επαφή p-n που εκπέμπει φως, όταν είναι ορθά πολωμένη (εφαρμόζουμε συνεχή τάση με το “+” στο μέρος p της επαφής). Επαφή p-n είναι η ένωση/παράθεση δύο τμημάτων ημιαγωγού όπου το ένα εμφανίζει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου-n) και το άλλο περίσσεια οπών ή ισοδύναμα έλλειμμα ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου – p). Δηλαδή η LED μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε φως. Οι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα ηλεκτρόνια. Η έλλειψη ηλεκτρονίου (λόγω διέγερσης) από μία θέση όπου πριν υπήρχε χαρακτηρίζεται ως οπή. Κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο επανασυνδέεται με οπή (αποδιέγερση ηλεκτρονίου) εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια περίπου ίση προς το ενεργειακό χάσμα. Αυτή η ενέργεια (και κατά συνέπεια η συχνότητα ή το μήκος κύματος του φωτονίου, άρα το χρώμα του φωτός) μπορεί να μεταβάλλεται μέσω επιλογής υλικών με διαφορετικά ενεργειακά χάσματα. Οι δίοδοι φωτοεκπομπής (LEDs) είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένες έτσι ώστε να διώχνουν προς τα έξω ένα μεγάλο αριθμό φωτονίων. Επιπλέον τοποθετούνται μέσα σε ένα πλαστικό περίβλημα το οποίο έχει την ιδιότητα να στέλνει το φως προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. [15], [16]



Εικόνα 4-1: Led σε διάφορα χρώματα και μεγέθη

Όπως μια κανονική δίοδος το LED αποτελείται από ένα τσιπ ημιαγωγού υλικού εμποτισμένο, ή ενισχυμένο με προσμίξεις για να δημιουργηθεί μία ένωση p-n. Όπως και σε άλλες διόδους, το ρεύμα πηγαιίνει εύκολα από την πλευρά p (άνοδος), στην πλευρά n (κάθοδος), αλλά όχι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Κατά τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, όταν ένα ηλεκτρόνιο συναντά μια οπή, αυτό εντάσσεται σε ένα χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο και απελευθερώνει ενέργεια με τη μορφή ενός φωτονίου. Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται, και, επομένως, το χρώμα, εξαρτάται από το ενεργειακό διάκενο των υλικών που αποτελούν την ένωση pn. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα LED έχουν διάκενο ενέργειας που αντιστοιχεί σε σχεδόν υπέρυθρες, ορατές ή κοντά στην υπεριώδη ακτινοβολίες.



Εικόνα 4-2: Δίοδος φωτοεκπομπής (LED)

Το κεντρικό κομμάτι ενός τυπικού LED είναι μια δίοδος που τοποθετείται σε έναν ανακλαστήρα και στερεώνεται εκεί χρησιμοποιώντας μαλακό χάλυβα, ο οποίος συνδέεται με ένα ζεύγος ηλεκτρικά καλώδια. Η δίοδος έχει μέγεθος περίπου 0,25

mm<sup>2</sup>. Χρειάζεται ρεύμα περίπου ίσο με 10mA για να λειτουργήσει σε ισχύ ίση με 0,1Watt. Καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στην επαφή των δύο διαφορετικών υλικών, παράγεται φως. Το σχήμα και το πλάτος, της φωτεινής δέσμης που εκπέμπεται καθορίζεται από διάφορους παράγοντες: το σχήμα του ανακλαστήρα, το μέγεθος του τσιπ, το σχήμα του φακού. Η σύνθεση των υλικών καθορίζει το μήκος κύματος και το χρώμα του φωτός. Εκτός από τα ορατά μήκη κύματος, τα LED μπορούν να εκπέμψουν υπέρυθρο φως με μήκος κύματος από 830 nm έως 940 nm, καθώς και υπεριώδες.

## 4.2 Ιστορία

Η πρώτη εμφάνιση των Led στην αγορά έγινε στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Αρχικά ήταν λυχνίες κόκκινου χρώματος και χρησιμοποιούνταν ως δείκτες, αφού η φωτεινή ισχύς που παρήγαγαν ήταν ελάχιστη για να φωτίσουν έναν χώρο. Αντικατέστησαν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και νέον που χρησιμοποιούνταν ως δείκτες στο παρελθόν, γιατί σε σύγκριση με αυτούς είχαν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, δούλευαν υπό χαμηλότερη τάση, καταλάωναν λιγότερη ενέργεια και δεν απαιτούνταν η συχνή αντικατάστασή τους. Μέχρι τη δεκαετία του 1970 χρησιμοποιούνταν ευρέως για αυτήν την χρήση. Αργότερα τα κίτρινα και πορτοκαλί led χρησιμοποιήθηκαν για να διαφοροποιήσουν τους κόκκινους δείκτες. Το μπλε, το κυανό και το ιώδες εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990.

Αρχικά, η εκπομπή λευκού φωτός από λαμπτήρα led ήταν δυνατή μόνο με την μίξη ενός κόκκινου, πράσινου και μπλε led. Ωστόσο, το 1993 ο Shuji Nakamura, κατάφερε να παράγει λευκό φως από ένα μπλε led (με νιτρίδιο του γαλλίου), αφού το επικάλυψε με φώσφορο. Αύτη η διαδικασία ήταν λιγότερο δαπανηρή σε σχέση με την ποσότητα φωτός που παράγονταν.

Εως το 2008 η τεχνολογία του λευκού φωτός είχε προχωρήσει τόσο πολύ που η εταιρεία Sentry Equipment Corporation ήταν σε θέση να φωταγωγήσει ολόκληρο το εργοστάσιό της, εσωτερικά και εξωτερικά, αποκλειστικά με led. Αν και το αρχικό κόστος ήταν σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τους συμβατικούς λαμπτήρες, θα είχαν οικονομική απόσβεση σε μόλις δύο χρόνια από την εξοικονόμηση ενέργειας και την μη αντικατάσταση των καμένων λαμπτήρων. [19]

### 4.3 Πλεονεκτήματα των Leds

**Απόδοση:** Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Led) είναι πολύ πιο αποδοτικοί ενεργειακά σε σχέση με τους παραδοσιακούς λαμπτήρες πυρακτώσεως ή φθορισμού. Για να παράγει φως ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως, πρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από το νήμα του και να το θερμάνει σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το γεγονός αυτό τους καθιστά πολύ αναποτελεσματικούς αποδοτικά, αφού πάνω από 98% την ηλεκτρική ενέργεια χάνεται στο περιβάλλον ως θερμότητα. Ένας λαμπτήρας 100W παράγει φωτεινή ροή περίπου 1700 lumen, δηλαδή περίπου 17lm/W. Στους λαμπτήρες φθορισμού, ατμοί υδραργύρου στο εσωτερικό του, παράγουν υπεριώδη ακτινοβολία. Το υπεριώδες φως στη συνέχεια απορροφάται από τη φωσφορούχο επιστρώση, παράγοντας ορατό φως. Αν και η θερμική ενέργεια που παράγεται στους λαμπτήρες φθορισμού είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, ωστόσο εξακολουθεί να χάνεται ενέργεια στη μετατροπή ορατού φωτός από υπεριώδες. Η απόδοση κατά μέσο όρο των λαμπτήρων φθορισμού είναι γύρω στα 50- 67lm/W. Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια απευθείας σε μονοχρωματικό φως. Επειδή παράγουν «κρύο» φως, δεν αποβλητούν θερμική ενέργεια προς το περιβάλλον. Τα leds που είναι τώρα διαθέσιμα προσφέρουν αποδόσεις πάνω από 100lm/W, οπότε είναι προφανές ότι εξοικονομούν μεγάλα ποσά ενέργειας σε σχέση με τους παραδοσιακούς λαμπτήρες.

**Διάρκεια ζωής:** Τα led συνήθως δεν καίγονται, αλλά τείνουν να μειώνουν σταδιακά το φως τους. Σαν χρόνος ζωής ορίζεται το διάστημα μέχρι να φτάσουν στο 70% της αρχικής τους φωτεινής ροής. Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα led κυμαίνεται από 50.000 ως 60.000 ώρες. Δηλαδή, με 10 ώρες περίπου χρήση την ημέρα, έχει λειτουργικό χρόνο περίπου 13 χρόνια. Σε σύγκριση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, που λειτουργούν για περίπου 2000 ώρες, τα led έχουν 90% μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, και 50% από τους λαμπτήρες φθορισμού που έχουν λειτουργικό χρόνο 10.000 με 20.000 ώρες.

**Ανθεκτικότητα:** Τα led είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε κραδασμούς, περιπτώσεις ζημιών, δονήσεις και κρούσεις. Δεν σπάνε, αφού δεν περιέχουν γυαλί και αντέχουν σε θερμικές μεταβολές από  $-40^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $185^{\circ}\text{C}$ .

**Ποιότητα φωτός:** Το φως που παράγουν τα led είναι πολύ ανώτερο από τους παραδοσιακούς λαμπτήρες. Ειδικότερα, για τον φωτισμό δρόμων, χρησιμοποιείται ακόμα το κίτρινο πορτοκαλί φως των λαμπτήρων νατρίου που δεν επιτρέπει υψηλή ευκρίνεια. Αντιθέτως, το σταθερό λευκό φως των led παρέχει μεγαλύτερη φωτεινότητα και απόδοση των χρωμάτων, ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες, αφού μοιάζει περισσότερο σαν φυσικός φωτισμός. Σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες, το φως των led δεν αυξομειώνεται σε εναλλαγές της τάσης. Επίσης, επειδή έχουν καλύτερη κατανομή του φωτός είναι ιδανικά για εσωτερικά έργα φωτισμού.

**Φιλικά προς το περιβάλλον:** Κατ' αρχάς παρέχουν μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας (από 50% ως 80%), αφού καταναλώνουν πολύ λιγότερη ηλεκτρική ισχύ από τους συμβατικούς λαμπτήρες, δεν έχουν απώλειες θερμικής ενέργειας, και δεν χρειάζονται συχνή αντικατάσταση, αφού έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης, δεν περιέχουν γυαλί, ίνες υδραργύρου, μόλυβδο ή τοξικά αέρια αλογόνα, ενώ έχουν μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> προς το περιβάλλον.

**Εύκολη εγκατάσταση:** Τα led μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με συνεχές (DC), είτε με εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα. Δηλαδή, μπορούν να λειτουργήσουν εντελώς αυτόνομα από εξωτερικές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίς τη χρήση καλωδίων, αφού μπορούν να τροφοδοτηθούν και από μια απλή μπαταρία ή μία ηλιακή συστοιχία χωρίς τη χρήση αντιστροφέα. Επίσης η λειτουργία τους σε χαμηλή τάση εξασφαλίζει την πλήρη ασφάλεια των καταναλωτών και μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

**Άμεση έναρξη:** Έχουν πολύ μικρό χρόνο έναρξης, 60nsec έναντι 10msec ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως.

Τέλος, όλα τα στοιχεία είναι ελαφρά και μικρά σε μέγεθος κάτι που παρέχει ευελιξία σχεδιασμού εάν τοποθετηθούν πολλά στη σειρά. Τα led μπορούν να κατασκευαστούν ώστε να παράγουν όλα τα δυνατά χρώματα του φάσματος χωρίς φίλτρα. Ακόμα δεν επιδέχονται παρεμβολές από ραδιοφωνικές ή τηλεοπτικές συχνότητες, αφού δεν έχουν ballast και επίσης, επειδή λειτουργούν σε χαμηλή τάση και θερμοκρασία δεν υπάρχει μείωση της φωτεινότητας ή κιτρίνισμα που να σχετίζεται με απορρόφηση σκόνης ή ρύπανση. [16], [17]

## 4.4 Μειονεκτήματα των Leds

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που αφορούν την σημερινή τεχνολογία των λυχνιών led.

**Κόστος:** Αρχικά, είναι πιο ακριβά από τους συμβατικούς λαμπτήρες φωτισμού και δύσκολο να εντοπιστούν στην αγορά, αφού μέχρι σήμερα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως.

**Σταδιακή μείωση της παραγωγής φωτός:** Τα led έχουν μία σταδιακή και μόνιμη μείωση της παραγωγής φωτός κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας τους που προκαλείται από μείωση της οπτικής διαδρομής εντός της δέσμης led. Ωστόσο, αυτό συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό και δεν γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Αναμένεται μετά από 50.000 ώρες λειτουργίας, να υπάρχει μείωση 30% της αρχικής φωτεινής ροής.

**Προσαρμογή για λειτουργία στο δίκτυο:** Επειδή τα led είναι κατά κύριο λόγο συσκευές χαμηλής DC τάσης, απαιτείται σωστή μελέτη και καλά σχεδιασμένο κύκλωμα για την λειτουργία τους στο δίκτυο εναλλασσομένου ρεύματος.

**Κατευθυντική δέσμη φωτός:** Τέλος, σε αντίθεση με τις άλλες τεχνολογίες φωτισμού, η δέσμη φωτός των led τείνει να είναι περισσότερο κατευθυντική. Δηλαδή, η δέσμη φωτός εστιάζει περισσότερο σε ένα συγκεκριμένο σημείο παρά διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα για τις περισσότερες εφαρμογές γενικού φωτισμού που απαιτείται ομοιόμορφη κατανομή των lux στο χώρο, ωστόσο μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα για εφαρμογές φωτιστικής διακόσμησης ή για περιπτώσεις τοπικού φωτισμού (χειρουργεία, εργοστάσια, γραφεία, φωτισμό δρόμου...)



Εικόνα 4-3: Φωτισμός γέφυρας με φωτιστικά Led

## 4.5 Εφαρμογές των Leds

Τα leds λόγω της περισσότερο κατευθυντικής δέσμης φωτός που παράγουν και τα μοναδικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού μπορούν να αξιοποιηθούν για ποικίλες εφαρμογές. Φώτα led μπορούν να εγκατασταθούν κάτω από σκάλες, σε

διαδρόμους, κήπους, γκαράζ, ακόμα και για φωτισμό δωματίου αφού είναι πιο αποδοτικά από πλευράς κόστους. Μια ακόμη εφαρμογή είναι για φωτισμό κάτω από το νερό, όπως πισίνες και συντριβάνια, λόγω της αδιάβροχης τεχνολογίας τους. Ειδικές ομάδες led μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ανακοινώσεις σε πινακίδες κυκλοφορίας, στους κοινόχρηστους χώρους, στις πλατείες ή σε μεγάλης κλίμακας βιομηχανικά έργα. Επίσης υπάρχουν αμέτρητες εφαρμογές για τοπικό φωτισμό σε συνέδρια, εκδηλώσεις, μουσικές και θεατρικές σκηνές και άλλους χώρους διασκέδασης. Τα leds θα αποτελέσουν το μέλλον για τον σχεδιασμό φωτισμού δρόμων ή χώρων σταθμεύσεως (parking), λόγω της αυξημένης αποδοτικότητας από πλευράς κόστους και καθαρότητας φωτισμού, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές που είναι δύσκολη η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τα led είναι σχεδόν η μοναδική λύση για απευθείας σύνδεση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, αφού μπορούν να τροφοδοτηθούν με συνεχές ρεύμα χαμηλής τάσης. Τέλος, υπάρχουν και πιο εξειδικευμένες εφαρμογές UV-LED που χρησιμοποιούνται για αποστείρωση του νερού και την απολύμανση των συσκευών.

## **4.6 Ηλιακά φώτα δρόμου με Led**

Τα ηλιακά φώτα δρόμου με led είναι διαθέσιμα εδώ και πολύ καιρό, έχοντας αρχικά σχεδιαστεί για χρήση σε λιγότερο ανεπτυγμένες ή απομονωμένες περιοχές, ή ίσως και μέρη όπου η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο είναι δύσκολη ή έχει διαταραχθεί λόγω ανθρωπογενών ή φυσικών καταστροφών. Σήμερα, η τεχνολογία που καθοδηγεί τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για φωτισμό δρόμων έχει προχωρήσει σημαντικά έργα ώστε να είναι εφικτή σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα φώτα δρόμου που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια μπορούν να εγκατασταθούν γρήγορα και απλά, με την προοπτική για πολλά χρόνια αξιόπιστης χρήσης, και με τον ελάχιστο ρυθμό συντήρησης. Σε αυτές τις ώρες της αυξημένης περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, ο ηλεκτρικός φωτισμός δρόμων δικαίως θεωρείται ως ένας τεράστιος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας, με πολύ μεγάλο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Ο φωτισμός δρόμου με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων και led μπορεί να αποφέρει ένα πολύ πιο επιθυμητό φωτιστικό αποτέλεσμα, ενώ ταυτόχρονα να επιφέρει σημαντικές οικονομικές και περιβαλλοντικές αποταμιεύσεις. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη, να γίνει σχολαστική μελέτη σε σχέση με τις λυχνίες που θα χρησιμοποιηθούν, το περιβάλλον που θα φωτιστεί καθώς και να ληφθεί υπόψη η εφεδρεία σε περίπτωση παρατεταμένης έλλειψης ηλιοφάνειας. Μέχρι σήμερα, αρκετές εταιρίες έχουν εισάγει στην αγορά ηλιακά φωτιστικά δρόμου με λαμπτήρες led. Τα πλεονεκτήματα που αποφέρει η αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων νατρίου με led, είναι σημαντικά, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω.

- Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας έως και 80%
- Μειωμένο κόστος συντήρησης, καθαρισμού και αντικατάστασης των λαμπτήρων
- Έλλειψη καλωδίων στην εγκατάσταση
- Λειτουργία ακόμα και σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος
- Καλύτερο και φυσικότερο φωτιστικό αποτέλεσμα
- Σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη

Αναμφίβολα, η τεχνολογία των led θα αποτελέσει το μέλλον στις εφαρμογές οδικού φωτισμού.



Εικόνα 4-4: Λαμπτήρες Led



## Κεφάλαιο 5

### Συλλογή και επεξεργασία ηλιακών δεδομένων

Για την μελέτη της ηλιοφάνειας χρησιμοποιήθηκε το site PV potential estimation utility. Το πρόγραμμα αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να μετράμε την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ( $\text{Wh/m}^2$ ), υπό ορισμένη γωνία, ανά ημέρα ή ανά μήνα, σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Επίσης, μπορεί να υπολογίζει την ισχύ που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ( $\text{W/m}^2$ ) κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή της ημέρας. Για την μελέτη επιλέχθηκε η περιοχή Ζωγράφου Αττικής με συντεταγμένες  $37^{\circ}59'40''$  North και  $23^{\circ}50'44''$  East.

Το πρόγραμμα για την ηλιακή ενέργεια ανά μήνα στο Ζωγράφου Αττικής δίνει της παρακάτω μετρήσεις:

The screenshot displays the 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps' interface. The main map shows the Athens area with a red pin marking the location of Ζωγράφου. The search bar contains 'Ζωγράφου' and the search button is visible. The interface is divided into several sections:

- PV Estimation**: Includes tabs for 'Monthly radiation' (selected) and 'Daily radiation'.
- Monthly global irradiation data**: Contains checkboxes for 'Horizontal irradiation', 'Irradiation at opt. angle', 'Irradiation at chosen angle: 90 deg.', 'Linke turbidity', 'Dif. / global radiation', and 'Optimal inclination angle'.
- Monthly ambient temperature data**: Contains checkboxes for 'Average daytime temperature', 'Daily average of temperature', and 'Number of heating degree days'.
- Output options**: Includes checkboxes for 'Show graphs', 'Show horizon', 'Web page' (selected), 'Text file', and 'PDF'.

A 'Calculate' button is located at the bottom of the settings panel. The interface also includes a 'Contact' and 'Important legal notice' link at the top right.

Εικόνα 5-1 : PV estimation utility [12]

| Month | Gh   | Gopt | G(90) | lopt | T24h |
|-------|------|------|-------|------|------|
| Jan   | 2060 | 3050 | 2980  | 59   | 8.7  |
| Feb   | 2660 | 3500 | 2980  | 50   | 9.3  |
| Mar   | 3900 | 4620 | 3280  | 39   | 10.9 |
| Apr   | 5290 | 5650 | 3110  | 25   | 14.1 |
| May   | 6290 | 6180 | 2630  | 13   | 19.2 |
| Jun   | 7090 | 6670 | 2380  | 6    | 23.8 |
| Jul   | 7010 | 6730 | 2550  | 9    | 26.1 |
| Aug   | 6320 | 6560 | 3170  | 21   | 26.0 |
| Sep   | 5140 | 6020 | 3920  | 36   | 22.2 |
| Oct   | 3450 | 4490 | 3660  | 48   | 18.0 |
| Nov   | 2180 | 3090 | 2880  | 56   | 13.6 |
| Dec   | 1770 | 2640 | 2630  | 60   | 10.2 |
| Year  | 4440 | 4940 | 3010  | 30   | 16.8 |

Πίνακας 5-1: Ηλιοφάνεια ανά μήνα- Ζωγράφου - Αττική

Gh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>)

Gopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>)

G(90): Irradiation on plane at angle 90deg (Wh/m<sup>2</sup>)

lopt: Optimal inclination (deg.)

T24h: 24 hour average of temperature (°C)

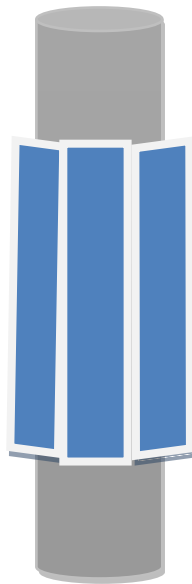
Η πρώτη στήλη (Gh) δείχνει την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε μία οριζόντια επιφάνεια, δηλαδή υπό γωνία 0<sup>0</sup>, ανά 1m<sup>2</sup>, για κάθε μήνα του έτους. Δηλαδή εάν υποθεθεί ότι είχαμε ένα ιδανικό φωτοβολταϊκό πανέλο με απόδοση 1 και εμβαδόν 1m<sup>2</sup>, και το τοποθετούσαμε με οριζόντια κλίση, τον Ιανουάριο θα είχε συλλεχθεί ενέργεια ίση με 2060 Wh. Η δεύτερη στήλη (Gopt) δείχνει την ενέργεια στην ιδανική κλίση lopt, και η τρίτη στήλη που θα μελετηθεί, δίνει την ενέργεια για επιφάνεια κάθετη ως προς το έδαφος, δηλαδή υπό γωνία 90<sup>0</sup>. Η τέταρτη στήλη (T24h) μας δείχνει την μέση θερμοκρασία.

Ωστόσο, αυτές οι τιμές για την ενέργεια είναι πολύ χονδρικές και θα υπολογιστούν ξανά παρακάτω με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Το φωτοβολταϊκό πανέλο θα τοποθετηθεί κάθετα ως προς το έδαφος, δηλαδή με γωνία 90<sup>0</sup>, και θα εφάπτεται στην κολώνα στήριξης του φωτιστικού σώματος. Άρα θα είναι σαν ένα νοητό ημικύκλιο. Για το λόγο αυτό, στους υπολογισμούς θα χωριστεί το πανέλο μας σε τρία κομμάτια. Ένα με προσανατολισμό στο Νότο, ένα

45<sup>0</sup> δυτικά και ένα με 45<sup>0</sup> ανατολικά. Και τα τρία θα έχουν εμβαδόν ίσο με το ένα τρίτο του συνολικού εμβαδού του πανέλου και θα είναι όλα κάθετα ως προς το έδαφος.

Αρχικά, θα υπολογιστεί η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για κάθε μία ημέρα ξεχωριστά για όλους τους προσανατολισμούς. Στην πρώτη περίπτωση το πανέλο έχει κλίση 90<sup>0</sup> ως προς το έδαφος και προσανατολισμό Νότια. Για μια τυπική ημέρα του Ιανουαρίου, οι μετρήσεις είναι οι εξής:



Εικόνα 5-2: Σχέδιο τοποθέτησης των φ/β πανέλων στον ιστό φωτισμού

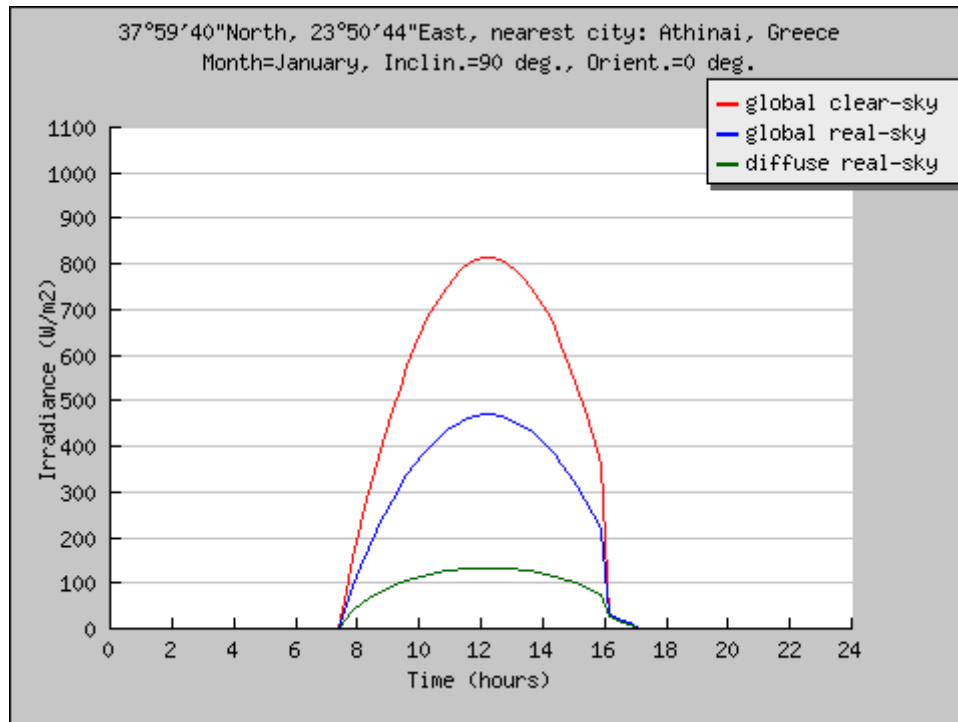
| Time   | G         | Gd  | Gc     |
|--------|-----------|-----|--------|
| 6:37   | 0         | 0   | 0      |
| 6:52   | 0         | 0   | 0      |
| 7:07   | 0         | 0   | 0      |
| 7:22   | 0         | 0   | 0      |
| 7:37   | 52        | 20  | 82     |
| 7:52   | 95        | 38  | 155    |
| 8:07   | 138       | 53  | 229    |
| 8:22   | 178       | 64  | 298    |
| 8:37   | 215       | 75  | 363    |
| 8:52   | 249       | 84  | 423    |
| 9:07   | 281       | 92  | 479    |
| 9:22   | 310       | 100 | 530    |
| 9:37   | 337       | 106 | 577    |
| 9:52   | 361       | 111 | 620    |
| 10:07  | 383       | 116 | 659    |
| 10:22  | 402       | 120 | 693    |
| 10:37  | 419       | 124 | 723    |
| 10:52  | 434       | 127 | 749    |
| 11:07  | 446       | 129 | 771    |
| 11:22  | 455       | 131 | 788    |
| 11:37  | 462       | 132 | 801    |
| 11:52  | 467       | 133 | 809    |
| 12:07  | 470       | 133 | 814    |
| 12:22  | 470       | 133 | 814    |
| 12:37  | 467       | 133 | 809    |
| 12:52  | 462       | 132 | 801    |
| 13:07  | 455       | 131 | 788    |
| 13:22  | 446       | 129 | 771    |
| 13:37  | 434       | 127 | 749    |
| 13:52  | 419       | 124 | 723    |
| 14:07  | 402       | 120 | 693    |
| 14:22  | 383       | 116 | 659    |
| 14:37  | 361       | 111 | 620    |
| 14:52  | 337       | 106 | 577    |
| 15:07  | 310       | 100 | 530    |
| 15:22  | 281       | 92  | 479    |
| 15:37  | 249       | 84  | 423    |
| 15:52  | 215       | 75  | 363    |
| 16:07  | 30        | 25  | 25     |
| 16:22  | 25        | 20  | 20     |
| 16:37  | 19        | 15  | 15     |
| 16:52  | 12        | 10  | 10     |
| 17:07  | 0         | 0   | 0      |
| 17:22  | 0         | 0   | 0      |
| Wh/day | 2982,75Wh |     | 5108Wh |

Πίνακας 5-2: Φωτεινή ισχύς ( $W/m^2$ ) για μία ημέρα του Ιανουαρίου ( $inc=90^0$   $or=0^0$ )

G: Global irradiance on a fixed plane ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Gc: Global clear-sky irradiance on a fixed plane ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

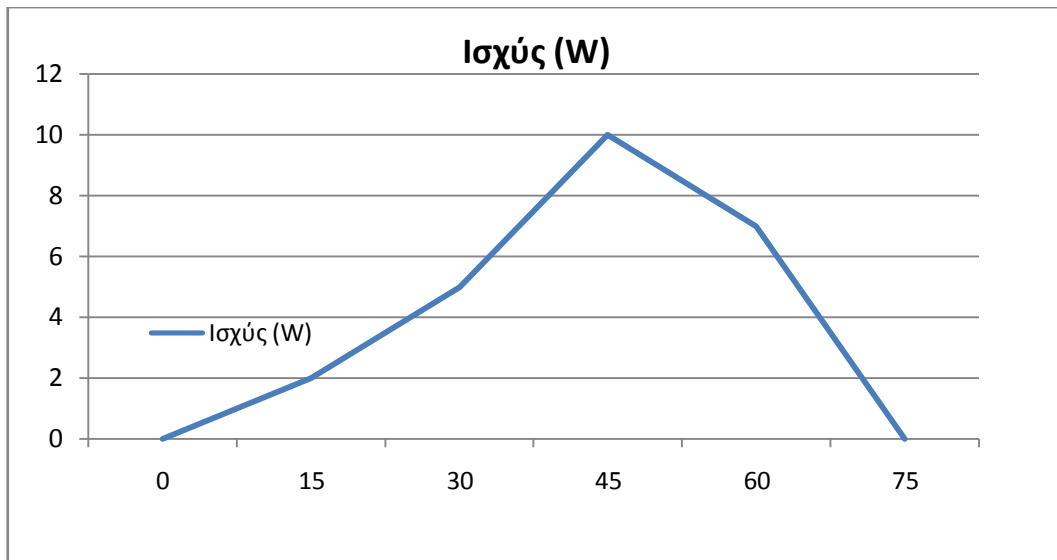


Διάγραμμα 5-1: Φωτεινή ισχύς ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) Ιανουάριος

Ο παραπάνω πίνακας είναι πίνακας ισχύος. Δίνει την ηλιακή ισχύ σε  $\text{W}/\text{m}^2$  σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή μιας ημέρας. Για τον υπολογισμό της ενέργειας παρατηρείται ότι οι χρονικές στιγμές απέχουν μεταξύ τους 15 λεπτά. Η ενέργεια είναι το εμβαδόν κάτω από μία γραφική παράσταση ισχύος χρόνου. Έστω ότι οι τιμές ισχύος είναι οι παρακάτω:

| Χρόνος (min) | Ισχύς (W) |
|--------------|-----------|
| 0            | 0         |
| 15           | 2         |
| 30           | 5         |
| 45           | 10        |
| 60           | 7         |
| 75           | 0         |

Πίνακας 5-3: Παράδειγμα για τον υπολογισμό της ενέργειας



Διάγραμμα 5-2: Παράδειγμα για τον υπολογισμό της ενέργειας

$$E(Wh) = P(W) \times t(h)$$

Για τον υπολογισμό της ενέργειας στην παραπάνω γραφική παράσταση αρκεί να υπολογιστεί το εμβαδόν κάτω από αυτήν. Αν χωρίσουμε την καμπύλη σε τραπέζια με ύψος 15 το καθένα, το εμβαδόν θα ισούται με:

$$\begin{aligned}
 \text{Εμβ} &= (0 + 2) \frac{15}{2} + (2 + 5) \frac{15}{2} + (5 + 10) \frac{15}{2} + (10 + 7) \frac{15}{2} + (7 + 0) \frac{15}{2} \\
 &= \frac{15}{2} (0 + 2 + 2 + 5 + 5 + 10 + 10 + 7 + 7 + 0) = 15 \times (0 + 2 + 5 + 10 + 7)
 \end{aligned}$$

Επομένως, η συνολική ενέργεια θα ισούται με 15 επί το άθροισμα των τιμών ισχύος. Η τιμή αυτή προκύπτει σε  $W \cdot \text{min}$  και για να γίνει  $Wh$  διαιρείται με 60. Άρα ο τύπος για τον υπολογισμό της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας ανά ημέρα προκύπτει ίσος με  $15/60$  επί το άθροισμα των τιμών ισχύος, δηλαδή  **$E = 0,25 \times \text{sum}$**

Έτσι από τον παραπάνω πίνακα για κλίση (inclination)  $90^\circ$  και προσανατολισμό (orientation) Νότια για μία τυπική ημέρα του Ιανουαρίου, η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια είναι ίση με 2982,75Wh. Για κλίση  $90^\circ$  και προσανατολισμό  $45^\circ$  δυτικά (west) το αποτέλεσμα για τον Ιανουάριο είναι 2226,25Wh για κάθε ημέρα, ενώ για  $\text{inc} = 90^\circ$  και  $\text{orient} = -45^\circ$  (east) είναι 2386,25Wh ανά ημέρα. Επειδή το πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί είναι σαν ένα ημικύκλιο το συνολικό αποτέλεσμα για μία ημέρα του Ιανουαρίου είναι ίσο με  $(2982,75 + 2226,25 + 2386,25)/3 = 2531,75Wh$  για κάθε  $m^2$ . Για όλους τους μήνες προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα.

|             | G(90 <sup>0</sup> -0 <sup>0</sup> ) Wh/day | G(90-45) Wh/day | G(90-45)Wh/day | Total (Wh/day/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|--|-----------------|----------------|--------------------------------|
| <b>Jan</b>  | 2983                                       | 2226            | 2386           | 2532                           |
| <b>Feb</b>  | 2979                                       | 2351            | 2485           | 2605                           |
| <b>Mar</b>  | 3281                                       | 2788            | 2924           | 2998                           |
| <b>Apr</b>  | 3112                                       | 3109            | 3196           | 3139                           |
| <b>Mai</b>  | 2633                                       | 3122            | 3153           | 2969                           |
| <b>June</b> | 2382                                       | 3160            | 3189           | 2911                           |
| <b>July</b> | 2549                                       | 3257            | 3280           | 3029                           |
| <b>Aug</b>  | 3172                                       | 3420            | 3493           | 3362                           |
| <b>Sep</b>  | 3920                                       | 3463            | 3609           | 3664                           |
| <b>Okt</b>  | 3662                                       | 2928            | 3063           | 3218                           |
| <b>Nov</b>  | 2876                                       | 2168            | 2346           | 2463                           |
| <b>Dec</b>  | 2630                                       | 1947            | 2125           | 2234                           |

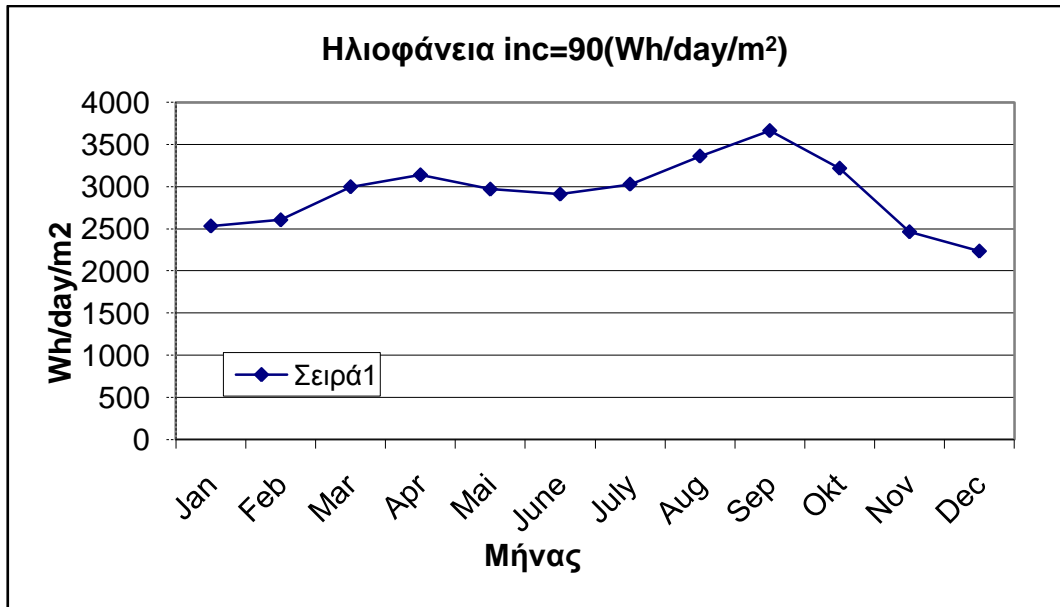
Πίνακας 5-4: Ενέργεια ανά ημέρα (Wh/day/m<sup>2</sup>) για κάθε μήνα

Αντίστοιχα, εάν πολλαπλασιάσουμε για κάθε μήνα τις Wh/day, με τις ημέρες του μήνα, θα προκύψει η ενέργεια ανά μήνα. Δηλαδή, για τον Ιανουάριο προκύπτει 2532Wh× 31 ημέρες, ίσο με 78490Wh για κάθε m<sup>2</sup>. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

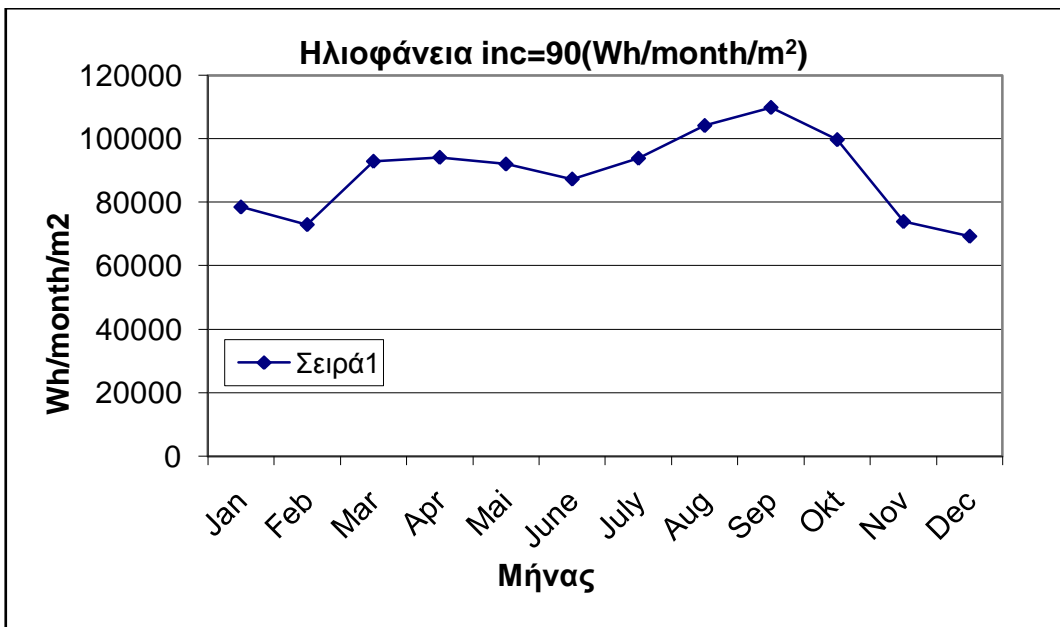
|             | Total (Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Total (Wh/month/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Jan</b>  | 2532                           | 78484                            |
| <b>Feb</b>  | 2605                           | 72933                            |
| <b>Mar</b>  | 2998                           | 92928                            |
| <b>Apr</b>  | 3139                           | 94163                            |
| <b>Mai</b>  | 2969                           | 92044                            |
| <b>June</b> | 2911                           | 87315                            |
| <b>July</b> | 3029                           | 93884                            |
| <b>Aug</b>  | 3362                           | 104207                           |
| <b>Sep</b>  | 3664                           | 109917                           |
| <b>Okt</b>  | 3218                           | 99750                            |
| <b>Nov</b>  | 2463                           | 73900                            |
| <b>Dec</b>  | 2234                           | 69251                            |
| <b>Year</b> | <b>Wh/m2</b>                   | <b>1.068.782</b>                 |

Πίνακας 5-5: Συνολική φωτεινή ενέργεια (Wh/day/m<sup>2</sup>) ανά μήνα

Οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την ηλιοφάνεια ανά ημέρα και ανά μήνα είναι οι ακόλουθες:



Διάγραμμα 5-3: Ηλιακή ακτινοβολία ανά ημέρα



Διάγραμμα 5-4: Ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα



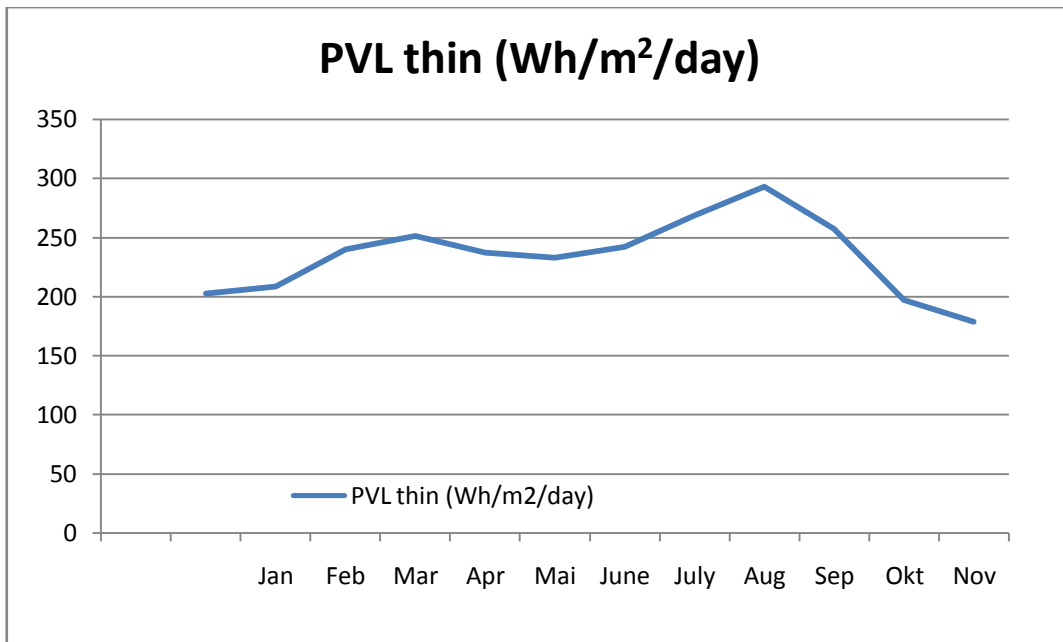
Οι παραπάνω μετρήσεις απεικονίζουν την ηλιακή ενέργεια που έχουμε στην διάθεση μας για κάθε m<sup>2</sup> σε μια κάθετη επιφάνεια. Ωστόσο, μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτής που ισούται με την απόδοση του ηλιακού κυττάρου μπορεί να εκμεταλλευθεί για την τροφοδοσία του φωτιστικού σώματος. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ορίζεται ως το ποσοστό επί της εκατό της φωτεινής ισχύος εισόδου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ εξόδου. Δηλαδή:

$$\text{Απόδοση ηλιακού κυττάρου} = \frac{\text{Ηλεκτρική ισχύς εξόδου}}{\text{Φωτεινή ισχύς εισόδου}} \times 100\%$$

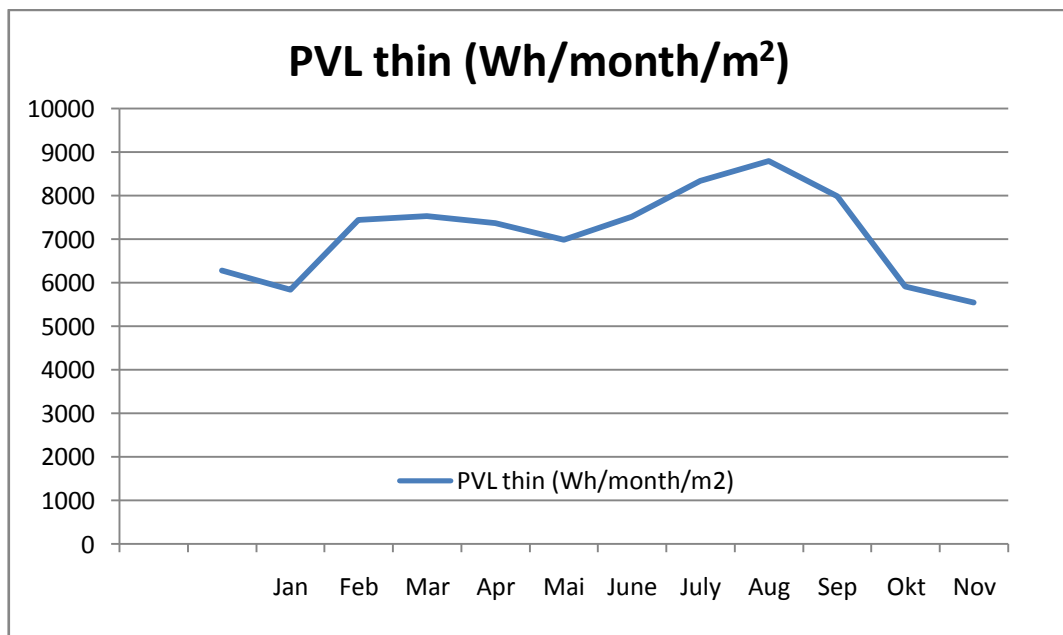
Το φωτοβολταϊκό πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί έχει απόδοση 8%. Άρα για τον υπολογισμό της ενέργειας που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε πρέπει να πολλαπλασιάσουμε όλες τις τιμές ενέργειας που έχουμε διαθέσιμη επί 0,08. Έτσι, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

|             | Total (Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Total (Wh/month/m <sup>2</sup> ) | PVL thin (Wh/day) | PVL thin (Wh/month) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Jan</b>  | 2532                           | 78484                            | 203               | 6279                |
| <b>Feb</b>  | 2605                           | 72933                            | 208               | 5835                |
| <b>Mar</b>  | 2998                           | 92928                            | 240               | 7434                |
| <b>Apr</b>  | 3139                           | 94163                            | 251               | 7533                |
| <b>Mai</b>  | 2969                           | 92044                            | 238               | 7364                |
| <b>June</b> | 2911                           | 87315                            | 233               | 6985                |
| <b>July</b> | 3029                           | 93884                            | 242               | 7511                |
| <b>Aug</b>  | 3362                           | 104207                           | 269               | 8337                |
| <b>Sep</b>  | 3664                           | 109917                           | 293               | 8793                |
| <b>Okt</b>  | 3218                           | 99750                            | 257               | 7980                |
| <b>Nov</b>  | 2463                           | 73900                            | 197               | 5912                |
| <b>Dec</b>  | 2234                           | 69251                            | 179               | 5540                |

Πίνακας 5-6: Wh/day/m<sup>2</sup> και Wh/month/m<sup>2</sup> στο PV

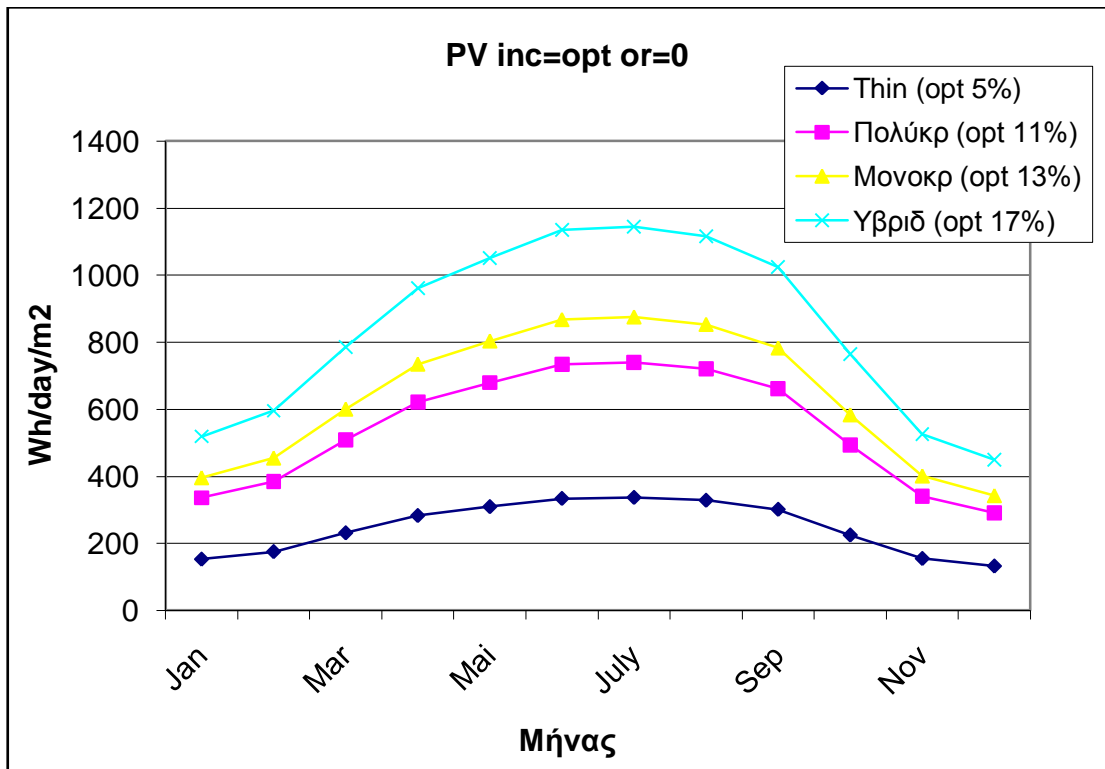


Διάγραμμα 5-5: Ενέργεια ανά ημέρα ανά m<sup>2</sup>



Διάγραμμα 5-6 : Ενέργεια ανά μήνα ανά m<sup>2</sup>

Για να έχουμε μια πιο πλήρη εικόνα σχετικά με το φωτοβολταϊκό κύτταρο που θα χρησιμοποιήσουμε μπορούμε να το συγκρίνουμε με τα υπόλοιπα είδη Φ/Β κυττάρων. Τα περισσότερα thin films έχουν απόδοση γύρω στο 5%, τα πολυκρυσταλλικά γύρω στο 11%, τα μονοκρυσταλλικά γύρω στο 13% και τα υβριδικά γύρω στο 17%. Έτσι, η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την ενέργεια που θα εκμεταλλευόμασταν με τα διάφορα Φ/Β κύτταρα στην ιδανική κλίση και προσανατολισμό στο Νότο.

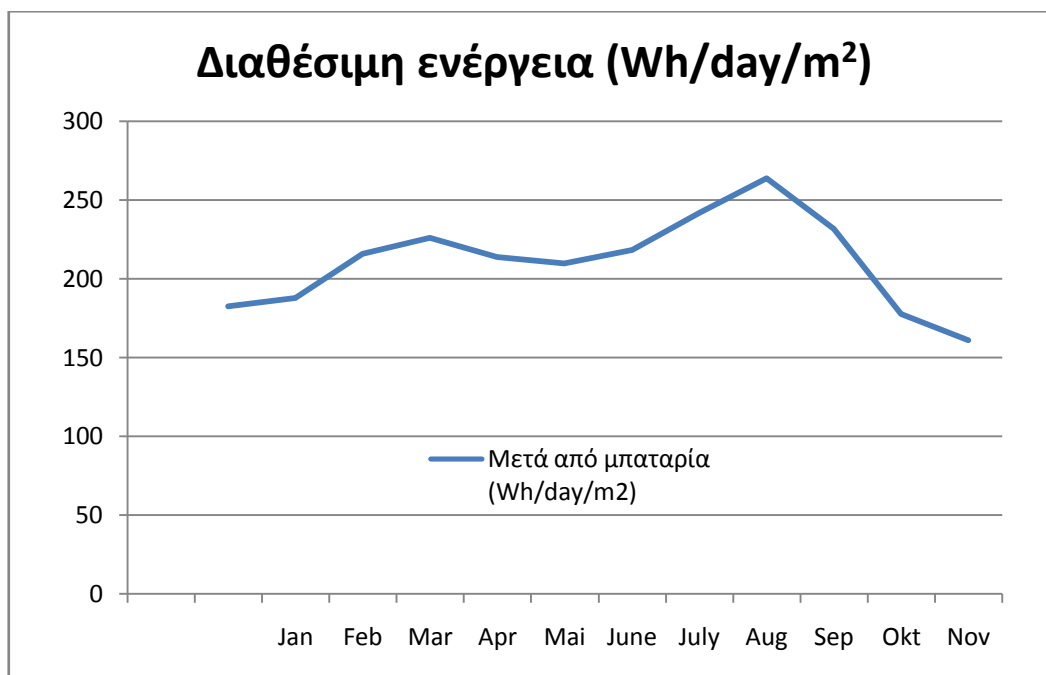


Διάγραμμα 5-7: Σύγκριση απόδοσης φωτοβολταϊκών πανέλων

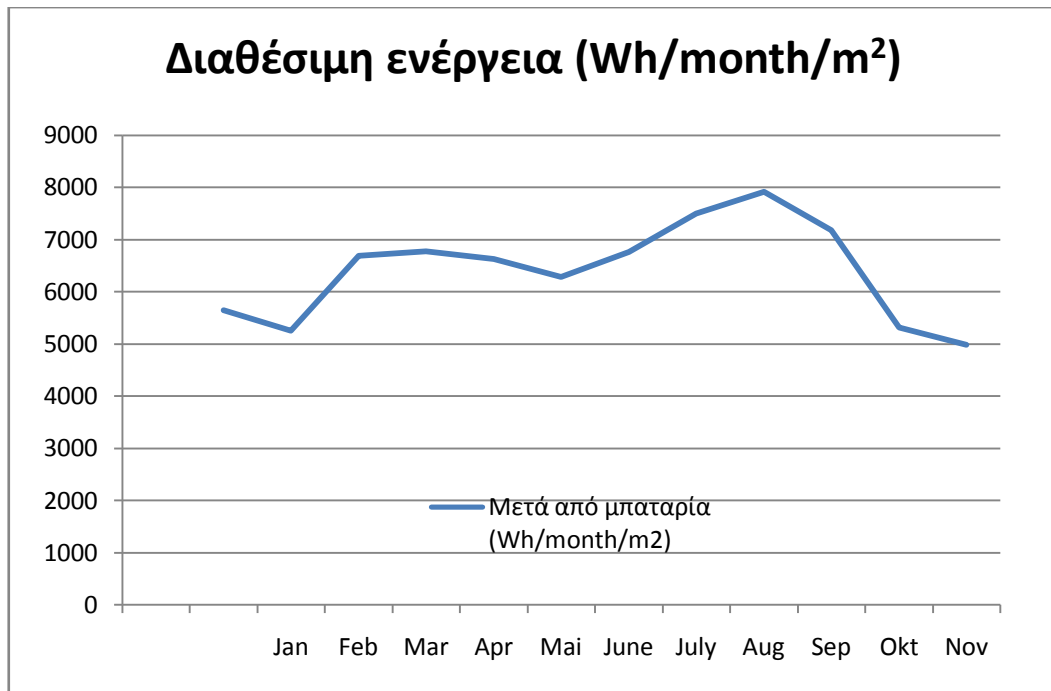
Στις παραπάνω τιμές ενέργειας που προέκυψαν, δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι απώλειες φόρτισης εκφόρτισης της μπαταρίας. Οι απώλειες αυτές είναι γύρω στο 10%. Οπότε, λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες τις μπαταρίες, προκύπτουν οι τελικές τιμές της διαθέσιμης ενέργειας για την τροφοδοσία του φωτιστικού.

| Μήνας | Thin (Wh/day/m <sup>2</sup> ) | 10%απωλ | Thin (Wh/month/m <sup>2</sup> ) | 10% απωλ |
|-------|-------------------------------|---------|---------------------------------|----------|
| Jan   | 203                           | 182     | 6279                            | 5651     |
| Feb   | 208                           | 188     | 5835                            | 5251     |
| Mar   | 240                           | 216     | 7434                            | 6691     |
| Apr   | 251                           | 226     | 7533                            | 6780     |
| Mai   | 238                           | 214     | 7364                            | 6627     |
| June  | 233                           | 210     | 6985                            | 6287     |
| July  | 242                           | 218     | 7511                            | 6760     |
| Aug   | 269                           | 242     | 8337                            | 7503     |
| Sep   | 293                           | 264     | 8793                            | 7914     |
| Okt   | 257                           | 232     | 7980                            | 7182     |
| Nov   | 197                           | 177     | 5912                            | 5321     |
| Dec   | 179                           | 161     | 5540                            | 4986     |

Πίνακας 5-7: Τιμές ενέργειας μετά από μπαταρία



Διάγραμμα 5-8: Διαθέσιμη ενέργεια μετά από μπαταρία ανά ημέρα



Διάγραμμα 5-9: Διαθέσιμη ενέργεια μετά από μπαταρία ανά μήνα

Έτσι, προκύπτουν οι τελικές συνολικές τιμές της διαθέσιμης ενέργειας, για κάθε τετραγωνικό μέτρο φωτοβολταϊκού, ανά ημέρα και ανά μήνα, για την τροφοδοσία του φωτιστικού σώματος. Το φωτιστικό είναι τεχνολογίας led και τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα (DC), οπότε δεν χρειάζεται αντιστροφέας για την λειτουργία του. Εάν είχε χρησιμοποιηθεί και αντιστροφέας θα έπρεπε να υπολογιστούν κι άλλες επιπρόσθετες απώλειες.

## Κεφάλαιο 6

### Υπολογισμός της αυτονομίας του συστήματος

#### 6.1 Γενικά

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο με φωτοβολταϊκά χρειάζεται το φως της ηλιακής ακτινοβολίας, όχι τη θερμότητά της. Ακόμη και μια συννεφιασμένη χειμωνιάτικη μέρα θα υπάρχει άφθονο διάχυτο φως και τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό, έστω και με μειωμένη απόδοση (π.χ. ακόμα και με απόλυτη συννεφιά, το φωτοβολταϊκό θα παράγει ένα 5-20% της μέγιστης ισχύος του). Ανάλογα με την ισχύ του συστήματός και τις ανάγκες, η μειωμένη αυτή παραγωγή μπορεί να μην επαρκεί. Στις περιπτώσεις αυτές, αν η εγκατάστασή είναι συνδεδεμένη με τη ΔΕΗ, θα καταναλωθεί ρεύμα από το δίκτυο.

Η αυτονομία του συστήματος αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα που έχει να λειτουργεί μόνο με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας που συλλέγει σε μία ή περισσότερες ημέρες του έτους. Η αυτονομία υπολογίζεται με βάση τη δυνατότητα ισχύος του συστήματος, την κατανάλωση του φωτιστικού σώματος και των υπολοίπων μονάδων.

Η συνολική κατανάλωση του φωτιστικού σώματος είναι αυτή που καθορίζει το ποσοστό της αυτονομίας. Το φωτιστικό σώμα στην περίπτωση μας είναι ισχύος 48W, αλλά θα γίνει μελέτη και για αλλά φωτιστικά σώματα μικρότερης ισχύος 33W και 24W. Επίσης, σε αυτή την ενότητα θα γίνει επιλογή και του Φ/Β στοιχείου thin film το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του συστήματος.

#### 6.2 Καμπύλη φορτίου

Αρχικά, θα υπολογιστεί η καμπύλη φορτίου. Θα γίνει δηλαδή υπολογισμός της τιμής του φορτίου που μπορεί να τροφοδοτηθεί αυτόνομα για ολόκληρη τη νύχτα από 1m<sup>2</sup> φ/β, για κάθε μήνα ξεχωριστά. Το φωτιστικό σώμα θα είναι υπό λειτουργία μία ώρα λιγότερη από την συνολική διάρκεια της νύχτας. Θα ανάβει μισή ώρα μετά τη δύση του ηλίου και θα σβήνει μισή ώρα πριν την ανατολή.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τις μέσες τιμές για την διάρκεια της νύχτας ανά μήνα. Ο πίνακας με τις αναλυτικές τιμές ανά ημέρα βρίσκεται στο παράρτημα.

| Μήνας | Διάρκεια νύχτας (min) | Λεπτά λειτ φωτιστικ. |
|-------|-----------------------|----------------------|
| Ιαν   | 849                   | 789                  |
| Φεβ   | 794                   | 734                  |
| Μαρ   | 722                   | 662                  |
| Απρ   | 648                   | 588                  |
| Μαιο  | 586                   | 526                  |
| Ιουν  | 555                   | 495                  |
| Ιουλ  | 570                   | 510                  |
| Αυγ   | 624                   | 564                  |
| Σεπτ  | 694                   | 634                  |
| Οκτ   | 768                   | 708                  |
| Νοεμ  | 832                   | 772                  |
| Δεκ   | 865                   | 805                  |

Πίνακας 6-1: Διάρκεια νύχτας και λεπτά λειτουργίας φωτιστικού

Τώρα λαμβάνοντας υπόψη την διαθέσιμη ενέργεια ( $\text{Wh/day/m}^2$ ) μετά τις απώλειες φόρτισης εκφόρτισης της μπαταρίας θα υπολογιστεί η τιμή του φορτίου που μπορεί να τροφοδοτηθεί αυτόνομα για όλη τη νύχτα από  $1\text{m}^2$  φ/β υπό κατακόρυφη κλίση.

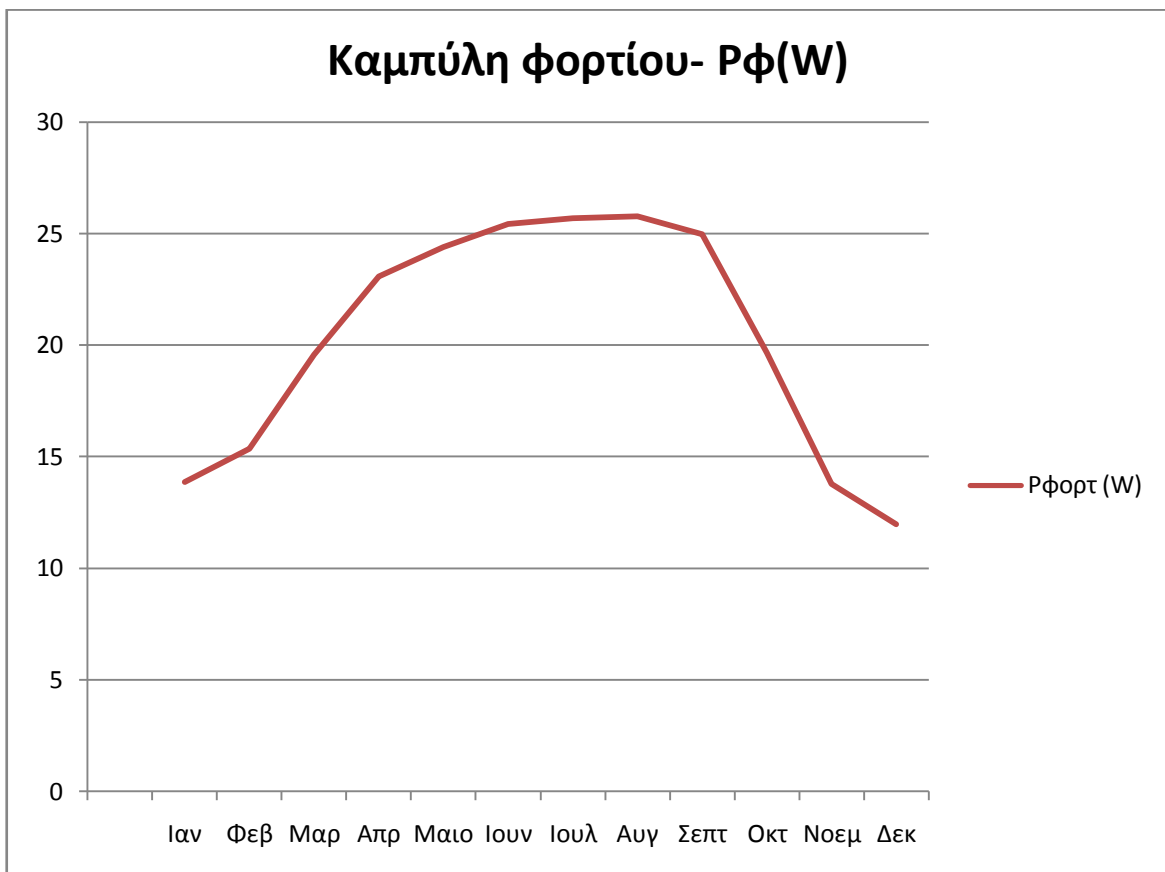
Ο τύπος για τον υπολογισμό της ισχύος είναι: 
$$P(\text{ισχύς}) = \frac{E(\text{ενέργεια})}{t(\text{χρόνος})}$$

Αρά στην παραπάνω περίπτωση γίνεται: 
$$P_{\phi}(W) = \frac{60 * E(Wh)}{t(\text{min})}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται ο υπολογισμός του αυτόνομου φορτίου, δηλαδή του φορτίου που μπορεί να τροφοδοτηθεί πλήρως, για όλη τη διάρκεια της νύχτας, από  $1\text{m}^2$  του φ/β συστήματος και έπειτα προκύπτει η καμπύλη φορτίου.

| Μήνας | Διάρκεια νύχτας (min) | Λειτουργία φωτ (min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ (W) |
|-------|-----------------------|----------------------|--|-----------|
| Ιαν   | 849                   | 789                  | 182  | 13,8      |
| Φεβ   | 794                   | 734                  | 188  | 15,4      |
| Μαρ   | 722                   | 662                  | 216  | 19,6      |
| Απρ   | 648                   | 588                  | 226  | 23,1      |
| Μαιο  | 586                   | 526                  | 214  | 24,4      |
| Ιουν  | 555                   | 495                  | 210  | 25,5      |
| Ιουλ  | 570                   | 510                  | 218  | 25,6      |
| Αυγ   | 624                   | 564                  | 242  | 25,7      |
| Σεπτ  | 694                   | 634                  | 264  | 25,0      |
| Οκτ   | 768                   | 708                  | 232  | 19,7      |
| Νοεμ  | 832                   | 772                  | 177  | 13,8      |
| Δεκ   | 865                   | 805                  | 161  | 12,0      |

Πίνακας 6-2: Ισχύς αυτόνομου φορτίου ανά m<sup>2</sup> φ/β



Διάγραμμα 6-1: Καμπύλη φορτίου ανά m<sup>2</sup> φ/β




## 6.3 Επιλογή αριθμού φωτοβολταϊκών στοιχείων

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει επιλογή του φωτοβολταϊκού στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του συστήματος, καθώς επίσης και μελέτη για τον αριθμό των πανέλων και της αυτονομίας. Παρακάτω παρατίθεται το datasheet της Unisolar PVL series.

| SOLAR LAMINATES PVL-SERIES   |                     |                      |                      |                    |                      |                    | UNI-SOLAR |
|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------|
| Specifications               |                     |                      |                      |                    |                      |                    |           |
| Model                        | PVL-31              | PVL-62               | PVL-68               | PVL-93             | PVL-124              | PVL-136            |           |
| Rated Power (Watts)          | 31                  | 62                   | 68                   | 93                 | 124                  | 136                |           |
| Max Power Point VMPP (V)     | 7.5                 | 15                   | 16.5                 | 22.5               | 30                   | 33                 |           |
| Max Power Point IMPP (A)     | 4.1                 | 4.1                  | 4.1                  | 4.1                | 4.1                  | 4.1                |           |
| Open-Circuit Voltage (Volts) | 10.5                | 21                   | 23.1                 | 31.5               | 42                   | 46.2               |           |
| Short-Circuit Current (Amps) | 5.1                 | 5.1                  | 5.1                  | 5.1                | 5.1                  | 5.1                |           |
| Laminate Length (in./mm)     | 55.5 in.<br>1410 mm | 102.7 in.<br>2609 mm | 112.1 in.<br>2849 mm | 150 in.<br>3808 mm | 197.1 in.<br>5007 mm | 216 in.<br>5486 mm |           |
| Laminate Width (in./mm)      | 15.5 in.<br>394 mm  | 15.5 in.<br>394 mm   | 15.5 in.<br>394 mm   | 15.5 in.<br>394 mm | 15.5 in.<br>394 mm   | 15.5 in.<br>394 mm |           |
| Laminate Thickness (in./mm)  | 0.1 in./2.5 mm      | 0.1 in./2.5 mm       | 0.1 in./2.5 mm       | 0.1 in./2.5 mm     | 0.1 in./2.5 mm       | 0.1 in./2.5 mm     |           |
| Weight (lb./kg)              | 4.1 lb./1.9 kg      | 8.2 lb./3.7 kg       | 9 lb./4.1 kg         | 12.3 lb./5.6 kg    | 16.5 lb./7.5 kg      | 17 lb./7.7 kg      |           |
| Minimum Slope                | 1:12 (5°)           | 1:12 (5°)            | 1:12 (5°)            | 1:12 (5°)          | 1:12 (5°)            | 1:12 (5°)          |           |
| Maximum Slope                | 21:12 (60°)         | 21:12 (60°)          | 21:12 (60°)          | 21:12 (60°)        | 21:12 (60°)          | 21:12 (60°)        |           |
| Warranty On Power Output     | 20 yr.              | 20 yr.               | 20 yr.               | 20 yr.             | 20 yr.               | 20 yr.             |           |

During the first 8-10 weeks of operation, electrical output exceeds specific ratings. Power output may be higher by 15%, operating voltage may be higher by 11% and operating current may be higher by 4%. Electrical specifications (+5%) are based on measurements performed at standard test conditions of 1000 W/m<sup>2</sup> irradiance, Air Mass 1.5, and Cell Temperature of 25°C after long-term stabilization. Actual performance may vary up to 10% from rated power due to low temperature operation, spectral and other related effects. Maximum system open-circuit voltage not to exceed 600VDC. Specifications subject to change without notice.



Εικόνα 6-1: Datasheet Unisolar PVL series

### 6.3.1 Μελέτη αυτονομίας με 1 φωτοβολταϊκό στοιχείο

Για την παρακάτω μελέτη θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του πίνακα της καμπύλης φορτίου.

PVL- 31: Διαστάσεις: 1,41m× 0,394m    Εμβαδόν: 0,5554m<sup>2</sup>

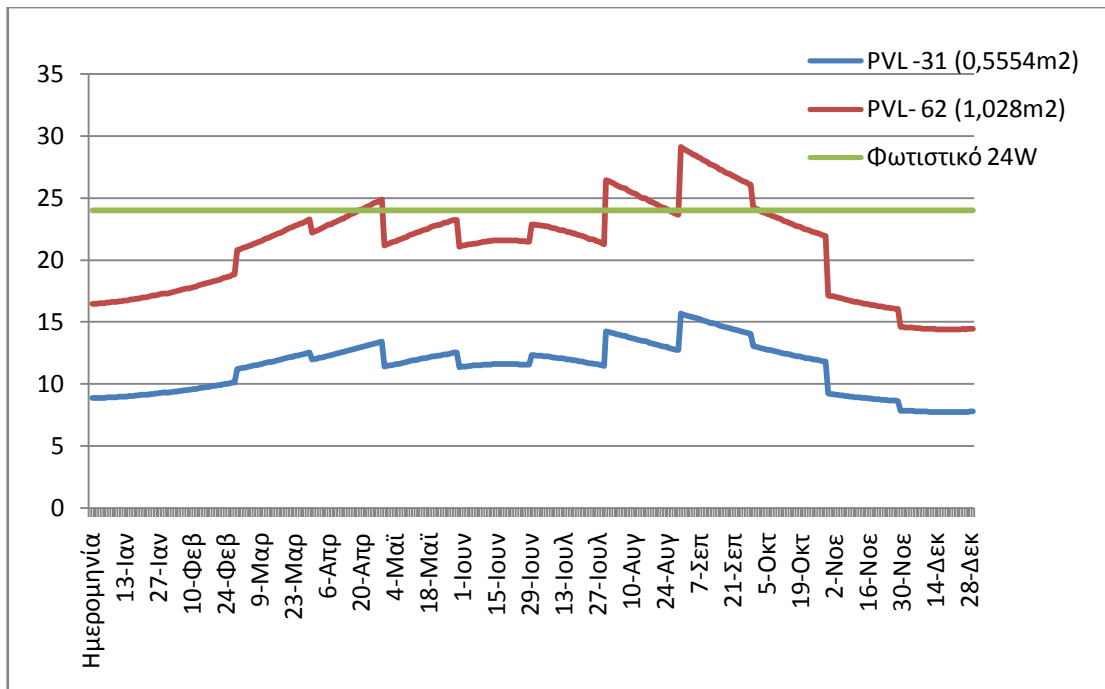
PVL- 62: Διαστάσεις: 2,609m× 0.394m Εμβαδόν: 1,028m<sup>2</sup>

| Μήνας | Λεπτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | PVL- 31<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|--------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 182  | 13,8                         | 7,7                      | 24          | 253             | 32              |
| Φεβ   | 734                | 188  | 15,4                         | 8,5                      | 24          | 261             | 36              |
| Μαρ   | 662                | 216  | 19,6                         | 10,9                     | 24          | 300             | 45              |
| Απρ   | 588                | 226  | 23,1                         | 12,8                     | 24          | 314             | 53              |
| Μαιο  | 526                | 214  | 24,4                         | 13,6                     | 24          | 297             | 57              |
| Ιουν  | 495                | 210  | 25,5                         | 14,1                     | 24          | 292             | 59              |
| Ιουλ  | 510                | 218  | 25,6                         | 14,2                     | 24          | 303             | 59              |
| Αυγ   | 564                | 242  | 25,7                         | 14,3                     | 24          | 336             | 60              |
| Σεπτ  | 634                | 264  | 25,0                         | 13,9                     | 24          | 367             | 58              |
| Οκτ   | 708                | 232  | 19,7                         | 10,9                     | 24          | 322             | 46              |
| Νοεμ  | 772                | 177  | 13,8                         | 7,6                      | 24          | 246             | 32              |
| Δεκ   | 805                | 161  | 12,0                         | 6,7                      | 24          | 224             | 28              |
|       |                    |  |                              |                          |             |                 | <b>M.O= 47%</b> |

Πίνακας 6-3: Αυτονομία για φωτιστικό 24W με 1 PVL- 31

| Μήνας | Λεπτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | PVL- 62<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)     |
|-------|--------------------|--|------------------------------|--------------------------|-------------|-----------------|-------------------|
| Ιαν   | 789                | 182  | 13,8                         | 14,2                     | 24          | 468             | 59                |
| Φεβ   | 734                | 188  | 15,4                         | 15,8                     | 24          | 483             | 66                |
| Μαρ   | 662                | 216  | 19,6                         | 20,1                     | 24          | 555             | 84                |
| Απρ   | 588                | 226  | 23,1                         | 23,7                     | 24          | 581             | 99                |
| Μαιο  | 526                | 214  | 24,4                         | 25,1                     | 24          | 550             | 105               |
| Ιουν  | 495                | 210  | 25,5                         | 26,2                     | 24          | 540             | 109               |
| Ιουλ  | 510                | 218  | 25,6                         | 26,4                     | 24          | 560             | 110               |
| Αυγ   | 564                | 242  | 25,7                         | 26,5                     | 24          | 622             | 110               |
| Σεπτ  | 634                | 264  | 25,0                         | 25,7                     | 24          | 678             | 107               |
| Οκτ   | 708                | 232  | 19,7                         | 20,2                     | 24          | 596             | 84                |
| Νοεμ  | 772                | 177  | 13,8                         | 14,1                     | 24          | 455             | 59                |
| Δεκ   | 805                | 161  | 12,0                         | 12,3                     | 24          | 414             | 51                |
|       |                    |  |                              |                          |             |                 | <b>M.O= 83,5%</b> |

Πίνακας 6-4: Αυτονομία για φωτιστικό 24W με 1 PVL- 62



Διάγραμμα 6-2: Αυτονομία φωτιστικού 24W με PVL-31, PVL- 62



Εικόνα 6-2: Σχέδιο ιστού φωτισμού με 1 φ/β στοιχείο

**Παρατήρηση:** Για τις ημέρες άμεσης αυτονομίας, δηλαδή, τις ημέρες εκείνες που η αυτονομία είναι πάνω από 100%, και η διαθέσιμη ενέργεια φτάνει για ολόκληρο τον

κύκλο λειτουργίας του φωτιστικού, στο υπολογισμό του μέσου όρου τίθεται ως 100%.

### 6.3.2 Μελέτη με 2 φωτοβολταϊκά στοιχεία

Από την μελέτη της ηλιοφάνειας, που έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει ότι για σύστημα με δύο φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα πάνελα είναι προτιμότερο να τοποθετηθούν, το ένα με προσανατολισμό στο Νότο (South), και το άλλο με 45<sup>0</sup> Ανατολικά (East). Έτσι θα έχουμε την μέγιστη εκμετάλλευση της φωτεινής ενέργειας. Οπότε αντίστοιχα για φωτιστικό 24W, 33W και 48W, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

| Μήνας | Λειτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 2 PVL- 31<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 194  | 14,8                         | 16,4                       | 24          | 539             | 68              |
| Φεβ   | 734                | 197  | 16,1                         | 17,9                       | 24          | 547             | 75              |
| Μαρ   | 662                | 223  | 20,2                         | 22,5                       | 24          | 619             | 94              |
| Απρ   | 588                | 227  | 23,2                         | 25,7                       | 24          | 631             | 107             |
| Μαιο  | 526                | 208  | 23,7                         | 26,4                       | 24          | 578             | 110             |
| Ιουν  | 495                | 201  | 24,4                         | 27,1                       | 24          | 558             | 113             |
| Ιουλ  | 510                | 210  | 24,7                         | 27,5                       | 24          | 583             | 114             |
| Αυγ   | 564                | 240  | 25,5                         | 28,4                       | 24          | 667             | 118             |
| Σεπτ  | 634                | 271  | 25,6                         | 28,5                       | 24          | 753             | 119             |
| Οκτ   | 708                | 242  | 20,5                         | 22,8                       | 24          | 672             | 95              |
| Νοεμ  | 772                | 188  | 14,6                         | 16,2                       | 24          | 522             | 68              |
| Δεκ   | 805                | 171  | 12,7                         | 14,2                       | 24          | 475             | 59              |
|       |                    |  |                              |                            |             |                 | <b>M.O= 88%</b> |

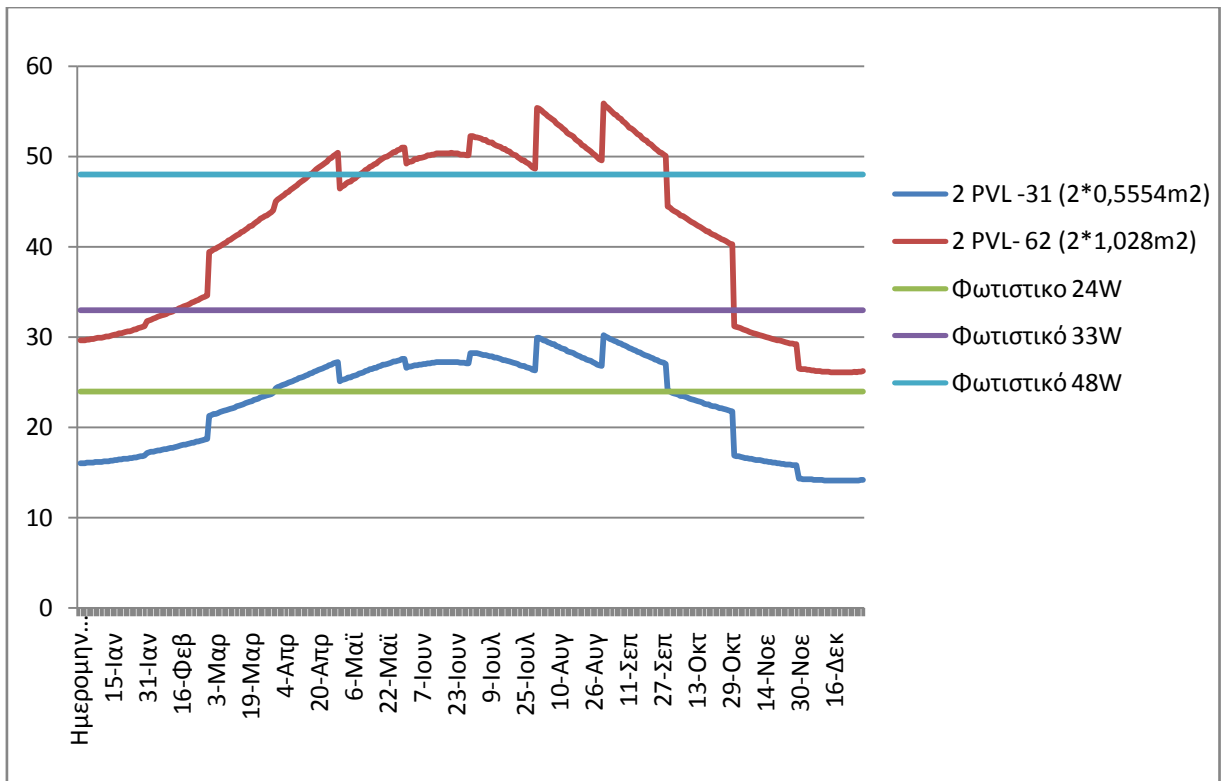
Πίνακας 6-5: Αυτονομία για φωτιστικό 24W με 2 PVL- 31

| Μήνας | Λειτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 2 PVL- 62<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 194  | 14,8                         | 30,3                       | 33          | 725             | 92              |
| Φεβ   | 734                | 197  | 16,1                         | 33,1                       | 33          | 736             | 100             |
| Μαρ   | 662                | 223  | 20,2                         | 41,6                       | 33          | 834             | 126             |
| Απρ   | 588                | 227  | 23,2                         | 47,6                       | 33          | 849             | 144             |
| Μαιο  | 526                | 208  | 23,7                         | 48,8                       | 33          | 778             | 148             |
| Ιουν  | 495                | 201  | 24,4                         | 50,1                       | 33          | 751             | 152             |
| Ιουλ  | 510                | 210  | 24,7                         | 50,8                       | 33          | 785             | 154             |
| Αυγ   | 564                | 240  | 25,5                         | 52,5                       | 33          | 897             | 159             |
| Σεπτ  | 634                | 271  | 25,6                         | 52,7                       | 33          | 1013            | 160             |
| Οκτ   | 708                | 242  | 20,5                         | 42,2                       | 33          | 905             | 128             |
| Νοεμ  | 772                | 188  | 14,6                         | 30,0                       | 33          | 703             | 91              |
| Δεκ   | 805                | 171  | 12,7                         | 26,2                       | 33          | 639             | 79              |
|       |                    |  |                              |                            |             |                 | <b>Μ.Ο= 97%</b> |

Πίνακας 6-6: Αυτονομία φωτιστικού 33W με 2 PVL- 62

| Μήνας | Λειτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 2 PVL- 62<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 194  | 14,8                         | 30,3                       | 48          | 499             | 63              |
| Φεβ   | 734                | 197  | 16,1                         | 33,1                       | 48          | 506             | 69              |
| Μαρ   | 662                | 223  | 20,2                         | 41,6                       | 48          | 573             | 87              |
| Απρ   | 588                | 227  | 23,2                         | 47,6                       | 48          | 583             | 99              |
| Μαιο  | 526                | 208  | 23,7                         | 48,8                       | 48          | 535             | 102             |
| Ιουν  | 495                | 201  | 24,4                         | 50,1                       | 48          | 517             | 104             |
| Ιουλ  | 510                | 210  | 24,7                         | 50,8                       | 48          | 540             | 106             |
| Αυγ   | 564                | 240  | 25,5                         | 52,5                       | 48          | 617             | 109             |
| Σεπτ  | 634                | 271  | 25,6                         | 52,7                       | 48          | 696             | 110             |
| Οκτ   | 708                | 242  | 20,5                         | 42,2                       | 48          | 622             | 88              |
| Νοεμ  | 772                | 188  | 14,6                         | 30,0                       | 48          | 483             | 63              |
| Δεκ   | 805                | 171  | 12,7                         | 26,2                       | 48          | 439             | 55              |
|       |                    |  |                              |                            |             |                 | <b>Μ.Ο= 85%</b> |

Πίνακας 6-7: Αυτονομία φωτιστικού 48W με 2 PVL- 62



Διάγραμμα 6-3: Αυτονομία φωτιστικών 24W, 33W, 48W με 2 PVL- 31, 2 PVL- 62



Εικόνα 6-3: Σχέδιο ιστού φωτισμού με 2 φ/β στοιχεία

### 6.3.3 Μελέτη με 3 φωτοβολταϊκά στοιχεία

Σε αυτή τη μελέτη τα φωτοβολταϊκά θα τοποθετηθούν σε διάταξη ημικυκλίου. Δηλαδή, ένα με προσανατολισμό στο Νότο, ένα με 45<sup>0</sup> Δυτικά (West), και ένα με 45<sup>0</sup> Ανατολικά (East). Προφανώς, για την περίπτωση των τριών PVL- 62 θα εξεταστεί μόνο το σύστημα με φωτιστικό 48W, γιατί οι απαιτήσεις σε ενέργεια των άλλων φωτιστικών μικρότερης ισχύος υπερκαλύπτονται. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται παρακάτω.

| Μήνας | Λειτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 3 PVL- 31<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 182  | 13,8                         | 23,1                       | 24          | 758             | 96              |
| Φεβ   | 734                | 188  | 15,4                         | 25,6                       | 24          | 783             | 107             |
| Μαρ   | 662                | 216  | 19,6                         | 32,6                       | 24          | 900             | 136             |
| Απρ   | 588                | 227  | 23,2                         | 38,6                       | 24          | 946             | 161             |
| Μαιο  | 526                | 226  | 25,8                         | 43,0                       | 24          | 942             | 179             |
| Ιουν  | 495                | 214  | 25,9                         | 43,2                       | 24          | 892             | 180             |
| Ιουλ  | 510                | 218  | 25,6                         | 42,7                       | 24          | 908             | 178             |
| Αυγ   | 564                | 242  | 25,7                         | 42,9                       | 24          | 1008            | 179             |
| Σεπτ  | 634                | 264  | 25,0                         | 41,6                       | 24          | 1100            | 173             |
| Οκτ   | 708                | 232  | 19,7                         | 32,8                       | 24          | 967             | 137             |
| Νοεμ  | 772                | 177  | 13,8                         | 22,9                       | 24          | 737             | 96              |
| Δεκ   | 805                | 161  | 12,0                         | 20,0                       | 24          | 671             | 83              |
|       |                    |  |                              |                            |             |                 | <b>M.O= 98%</b> |

Πίνακας 6-8: Αυτονομία φωτιστικού 24W με 3 PVL- 31

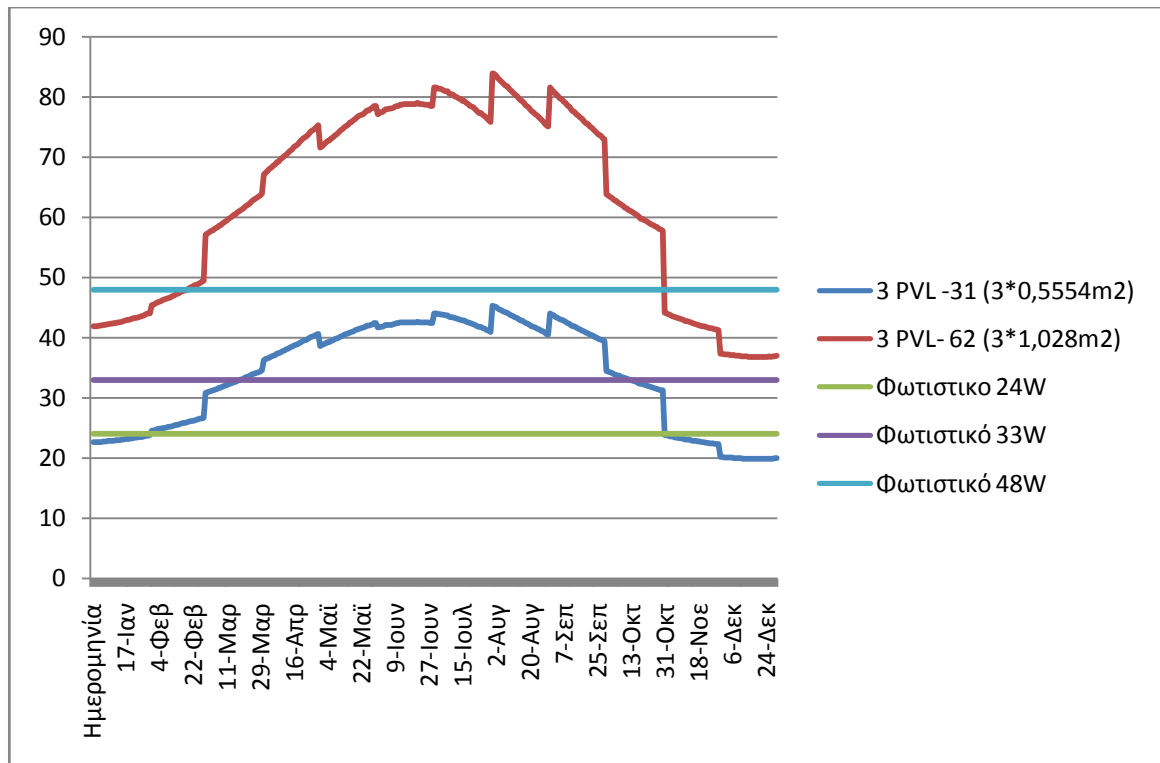
| Μήνας | Λειτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 3 PVL- 31<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 182  | 13,8                         | 23,1                       | 33          | 551             | 70              |
| Φεβ   | 734                | 188  | 15,4                         | 25,6                       | 33          | 570             | 78              |
| Μαρ   | 662                | 216  | 19,6                         | 32,6                       | 33          | 655             | 99              |
| Απρ   | 588                | 227  | 23,2                         | 38,6                       | 33          | 688             | 117             |
| Μαιο  | 526                | 226  | 25,8                         | 43,0                       | 33          | 685             | 130             |
| Ιουν  | 495                | 214  | 25,9                         | 43,2                       | 33          | 648             | 131             |
| Ιουλ  | 510                | 218  | 25,6                         | 42,7                       | 33          | 661             | 130             |
| Αυγ   | 564                | 242  | 25,7                         | 42,9                       | 33          | 733             | 130             |
| Σεπτ  | 634                | 264  | 25,0                         | 41,6                       | 33          | 800             | 126             |
| Οκτ   | 708                | 232  | 19,7                         | 32,8                       | 33          | 703             | 99              |
| Νοεμ  | 772                | 177  | 13,8                         | 22,9                       | 33          | 536             | 69              |
| Δεκ   | 805                | 161  | 12,0                         | 20,0                       | 33          | 488             | 61              |
|       |                    |  |                              |                            |             |                 | <b>M.O= 90%</b> |

Πίνακας 6-9: Αυτονομία φωτιστικού 33W με 3 PVL- 31

| Μήνας | Λειτ. φωτ<br>(min) | Διαθ. Ενέργεια<br>(Wh/day/m <sup>2</sup> ) | Ρφορτ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 3 PVL- 62<br>Ραυτ. φορ (W) | Ρφωτ<br>(W) | Αυτόν.<br>(min) | Αυτόν.<br>(%)   |
|-------|--------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ιαν   | 789                | 182  | 13,8                         | 42,7                       | 48          | 702             | 89              |
| Φεβ   | 734                | 188  | 15,4                         | 47,4                       | 48          | 725             | 99              |
| Μαρ   | 662                | 216  | 19,6                         | 60,4                       | 48          | 833             | 126             |
| Απρ   | 588                | 227  | 23,2                         | 71,4                       | 48          | 875             | 149             |
| Μαιο  | 526                | 226  | 25,8                         | 79,5                       | 48          | 871             | 166             |
| Ιουν  | 495                | 214  | 25,9                         | 80,0                       | 48          | 825             | 167             |
| Ιουλ  | 510                | 218  | 25,6                         | 79,1                       | 48          | 840             | 165             |
| Αυγ   | 564                | 242  | 25,7                         | 79,4                       | 48          | 933             | 165             |
| Σεπτ  | 634                | 264  | 25,0                         | 77,1                       | 48          | 1018            | 161             |
| Οκτ   | 708                | 232  | 19,7                         | 60,6                       | 48          | 894             | 126             |
| Νοεμ  | 772                | 177  | 13,8                         | 42,4                       | 48          | 682             | 88              |
| Δεκ   | 805                | 161  | 12,0                         | 37,0                       | 48          | 621             | 77              |
|       |                    |  |                              |                            |             |                 | <b>M.O= 96%</b> |

Πίνακας 6-10: Αυτονομία φωτιστικού 48W με 3 PVL- 62





Διάγραμμα 6-4: Αυτονομία φωτιστικών 24W, 33W, 48W με 3 PVL- 31, 3 PVL- 62



Εικόνα 6-4: Σχέδιο ιστού φωτισμού με 3 φ/β στοιχεία

**Συμπεράσματα:** Σ' όλες τις παραπάνω μελέτες κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου φωτοβολταϊκού συστήματος για κάθε τύπο φωτιστικού είναι η μεγιστοποίηση της αυτονομίας. Ωστόσο, δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας. Ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η ενέργεια που συλλέγεται να μην έχει τεράστιες αυξομειώσεις από μήνα σε μήνα, και να είναι λίγο περισσότερη, ή λίγο λιγότερη από τις απαιτήσεις του φωτιστικού σώματος. Κι αυτό γιατί, εάν το φ/β συλλέγει, για παράδειγμα σε κάποιο μήνα το 150% των ενεργειακών απαιτήσεων του φωτιστικού, αυτό το πλεόνασμα 50% σε ενέργεια θα χάνεται, αφού δεν μπορεί να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. Οπότε θα έχουμε μεγάλες οικονομικές απώλειες. Έτσι, με βάση τα παραπάνω, για το φωτιστικό των 24W προτείνεται η χρήση ενός PVL- 62 ή δύο PVL- 31. Για το φωτιστικό των 33W η καλύτερη επιλογή είναι τρία PVL- 31.

Στο υπό μελέτη σύστημα θα χρησιμοποιηθεί το φωτιστικό ισχύος 48W. Όπως παρατηρείται, με την χρήση τριών PVL- 62 οι απώλειες ενέργειας θα ήταν τεράστιες για το μεγαλύτερο διάστημα του έτους. Για αυτό το σύστημα είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν δύο PVL- 62, με μέσο όρο αυτονομίας του συστήματος 85%. Με δύο συλλέκτες θα υπάρχει πλήρη αυτονομία από τον Απρίλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, ενώ για τον Μάρτιο και τον Οκτώβριο η αυτονομία θα ξεπερνάει το 87%. Τους χειμερινούς μήνες η φωτεινή ενέργεια θα επαρκεί γύρω στο 60% των συνολικών ωρών λειτουργίας του φωτιστικού σώματος, με εξαίρεση τον Φεβρουάριο που θα φτάνει στο 70%. Για τους μήνες έμμεσης αυτονομίας, δηλαδή για αυτούς που είναι μικρότερη από 100%, η ηλεκτρική τροφοδοσία μπορεί να συνεχιστεί από το δίκτυο της ΔΕΗ. Το φωτιστικό είναι τεχνολογίας LED και έτσι δεν θα υπάρχει διακοπή της λειτουργίας του από την εναλλαγή συνεχούς με εναλλασσόμενου ρεύματος. Για παράδειγμα μία ημέρα του Ιανουαρίου θα λειτουργεί 500 min από τους συλλέκτες και 290 min από το δίκτυο της ΔΕΗ. Μια άλλη επιλογή για τις ημέρες έμμεσης αυτονομίας είναι η συλλογή ενέργειας από δύο γειτονικές μέρες ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή φόρτιση των συσσωρευτών.

## **6.4 Ηλεκτρικός συσσωρευτής (μπαταρία)**

Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής (μπαταρία) είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδεσμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι ουσιαστικά μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και, συνήθως, έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης

ηλεκτρικής ενέργειας. Τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν τους συσσωρευτές για να αποθηκεύσουν ενέργεια για τη χρήση κατά τη διάρκεια των περιόδων που παρατηρείται χαμηλό φως ή ακόμα και πλήρης απουσία του ήλιου.

Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα η κύρια απαίτηση από έναν συσσωρευτή είναι η απεριόριστη δυνατότητα επαναφόρτισης. Ο πιο συνηθισμένος τύπος τους είναι οι μπαταρίες μολύβδου-ασβεστίου ή μολύβδου-αντιμονίου. Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητα τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εκτιμάται γενικά σε (Ah), που αποτελεί το ποσό ρεύματος που ένας συσσωρευτής θα παραδώσει κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου αριθμού ωρών υπό κανονική τάση και σε μια θερμοκρασία 25 °C. Η εκτιμώμενη χωρητικότητα οποιουδήποτε συσσωρευτή μειώνεται με τη θερμοκρασία. Το απαιτούμενο μέγεθός του καθορίζεται από το συνολικό φορτίο, το χρονικό διάστημα κατά το οποίο θα λειτουργεί και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου. Αν ο συσσωρευτής πρέπει να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 0 °C, θα απαιτηθεί συσσωρευτής μεγαλύτερης χωρητικότητας για το ίδιο φορτίο.

Οι συσσωρευτές φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορούν να παρέχουν υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας αρκετές ημέρες της αποθήκευσης χωρίς φως του ήλιου. Σε περιπτώσεις όπου εμφανίζονται μεγάλες περίοδοι χωρίς ήλιο, όπως στο μακρινό Βορρά, είναι πιθανώς πιο οικονομικό να χρησιμοποιηθεί μια συνοδευτική πηγή ενέργειας παρά να υπάρξουν προσπάθειες ώστε να παρασχεθεί περισσότερο ικανοποιητική αποθήκευση. Σε αυτή και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, η πρακτικότερη προσέγγιση είναι η χρησιμοποίηση ενός συνδυασμού back- up ενέργειας και συσσωρευτών.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών καθορίζεται από το ποσό της ενέργειας το οποίο μπορεί να συλλέξει το φωτοβολταϊκό πάνελ και επιλέγεται ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει την μέγιστη ενέργεια που μπορεί να συλλεχθεί κατά την διάρκεια μιας ή περισσότερων ημερών, ανάλογα με την αυτονομία που απαιτείται. Στη συγκεκριμένη μελέτη το φορτίο είναι 48W, υπό τάση 12V DC και η μέγιστη διάρκεια λειτουργίας του είναι 13h 30min το Δεκέμβριο. Η μέγιστη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από τα φ/β στοιχεία σε μία ημέρα είναι 620Wh.

Με απλούς υπολογισμούς προκύπτει:

$$I_{\text{φορ}} = \frac{P \text{ (W)}}{V \text{ (V)}} = 48\text{W}/12\text{V} = 4\text{A}$$

$$\text{Χωρητικότητα: } C = I \times t = 4\text{A} \times 13,5\text{h} = 54\text{Ah}$$

Οπότε θα επιλεγεί συσσωρευτής με χωρητικότητα 60Ah.



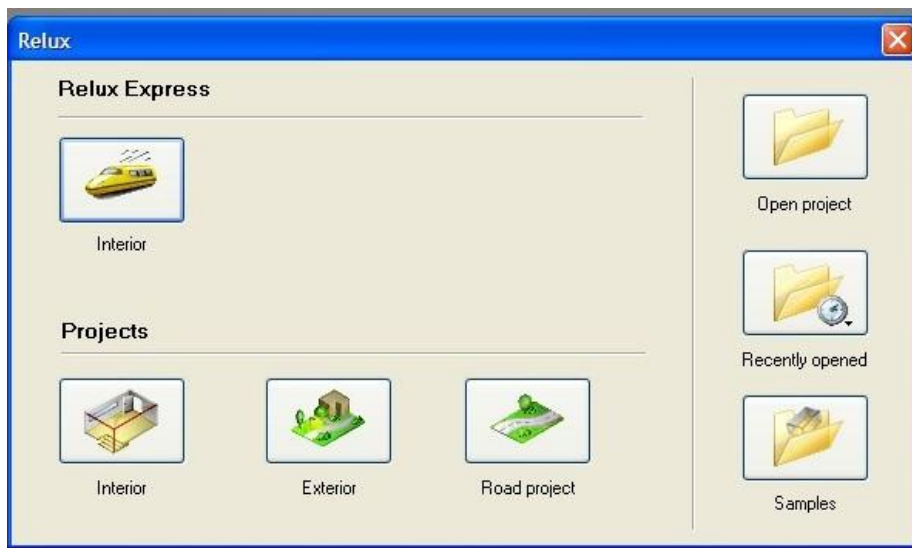
Εικόνα 6-5: Συσσωρευτής 12V, 60Ah

# Κεφάλαιο 7

## Μελέτη φωτισμού με το πρόγραμμα Relux

### 7.1 Το πρόγραμμα Relux

Για τις παρακάτω μελέτες φωτισμού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Relux Professional 2007. Το Relux χωρίζεται κυρίως σε τρεις ενότητες. Η πρώτη είναι για εφαρμογές φωτισμού σε εσωτερικό χώρο (interior project), η δεύτερη για εξωτερικό (exterior project) και η τρίτη για μελέτη φωτισμού δρόμου (road project).



Εικόνα 7-1: Interface του Relux

Αρχικά, γίνεται η επιλογή του φωτιστικού που θα χρησιμοποιηθεί. Στη συνέχεια, ανάλογα με το project που επιλέχθηκε, το Relux μας δίνει τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε τον περιβάλλοντα χώρο και να τοποθετήσουμε τα φωτιστικά όπως επιθυμούμε. Για παράδειγμα, σε ένα project εσωτερικού χώρου (interior project), εισάγουμε τις διαστάσεις του χώρου, τα γραφεία, τις καρέκλες, τα τραπέζια κλπ, τοποθετούμε τα φωτιστικά στις θέσεις που επιθυμούμε, και το Relux πραγματοποιεί τις μετρήσεις φωτισμού. Αντίστοιχα για ένα project εξωτερικού χώρου ή δρόμου.

## 7.2 Μετρήσεις φωτιστικού

Για τις παρακάτω μελέτες θα χρησιμοποιηθεί το φωτιστικό **Jupiter 48** της εταιρίας Gemma Lighting (GLAD). Το φωτιστικό είναι τεχνολογίας Led και ισχύος 48W DC. Παρακάτω παρατίθενται το datasheet, το LDC και το Cone diagram του φωτιστικού.

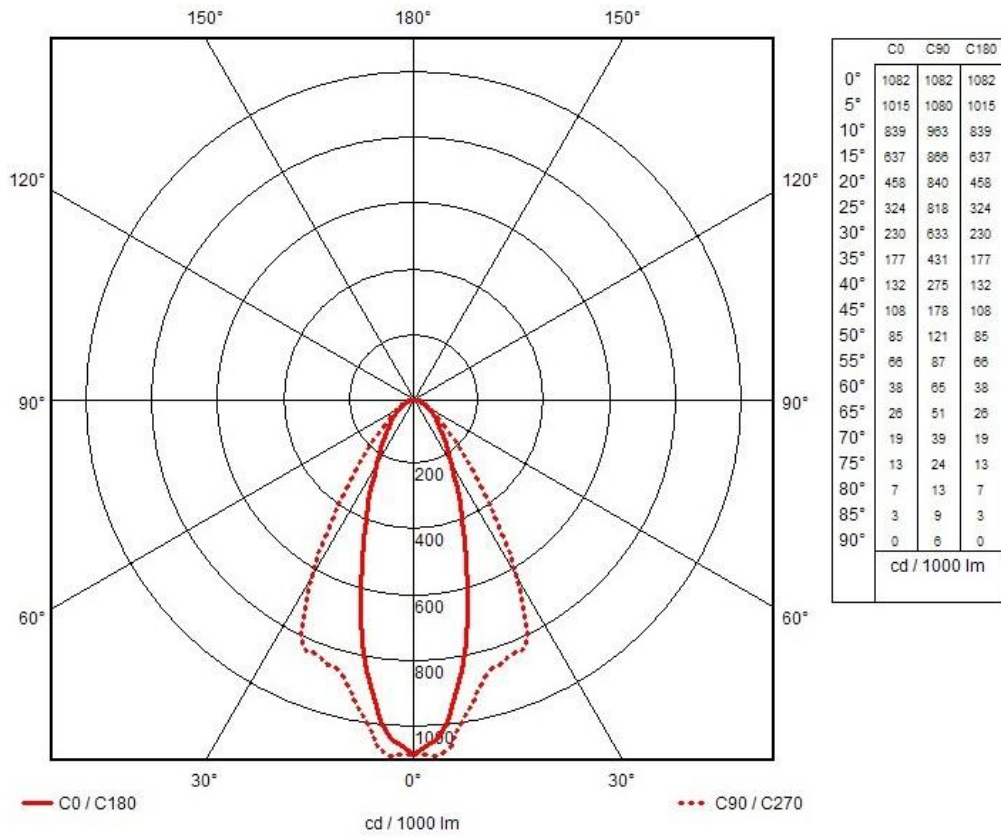


Εικόνα 7-2: Jupiter 48

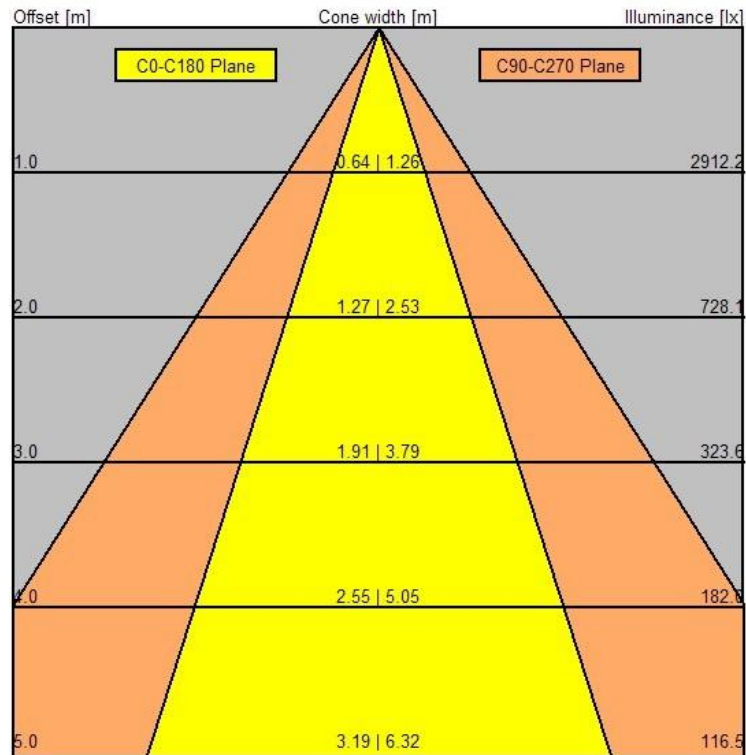
### Specifications: Jupiter 48 - LED Street Light

|  |  |
|--|--|
| <b>Input voltage AC</b>                    | 230V AC 50Hz / 110V AC 60Hz                  |
| <b>Input voltage DC</b>                    | 12 Volt                                      |
| <b>Power Consumption AC</b>                | 65 Watts                                     |
| <b>Power Consumption DC</b>                | 48 Watts                                     |
| <b>Operating temperature</b>               | -25 degrees C to + 70 degrees C              |
| <b>Total LED output (Jupiter 48)</b>       | 2640 Lumens                                  |
| <b>Total LED output (Jupiter 48 XL80)</b>  | 3840 Lumens                                  |
| <b>Total LED output (Jupiter 48 XL100)</b> | 4800 Lumens                                  |
| <b>Correlated colour temperature</b>       | 4500 to 8000 degrees K                       |
| <b>LED Lifespan</b>                        | Typically 50,000 hours                       |
| <b>Turn on time</b>                        | 100ns  |
| <b>Unit colour</b>                         | Silver                                       |
| <b>Weight</b>                              | 10 Kg  |
| <b>Mounting</b>                            | Supplied with clamps for 56mm pole standard. |
| <b>Charging code for Un-metered Supply</b> | 4000650                                      |

Εικόνα 7-3: Datasheet του Jupiter 48



Εικόνα 7-4: LDC του φωτιστικού



Εικόνα 7-5: Cone diagram του φωτιστικού

Όπως παρατηρούμε από το LDC και το η δέσμη φωτός του φωτιστικού είναι αρκετά κατευθυντική, δηλαδή εστιάζει περισσότερο σε ένα σημείο παρά διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο. Αυτό οφείλεται στους λαμπτήρες Led όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

## 7.3 Μελέτη φωτισμού δρόμου

### 7.3.1 Μελέτη για κατηγορία δρόμου S2 έως CE3

Για την μελέτη φωτισμού δρόμου με το Relux, χρησιμοποιήθηκε το Road project. Το πρόγραμμα, ανάλογα με την υπό μελέτη κατηγορία δρόμου, μας δίνει τις προδιαγραφές, για την ελάχιστη και τη μέση ένταση φωτισμού, καθώς και για ομοιομορφία ( $E_{min}/E_m$ ). Οι προδιαγραφές φωτισμού για τις διάφορες κατηγορίες δρόμων, σύμφωνα με το Relux, είναι οι παρακάτω:

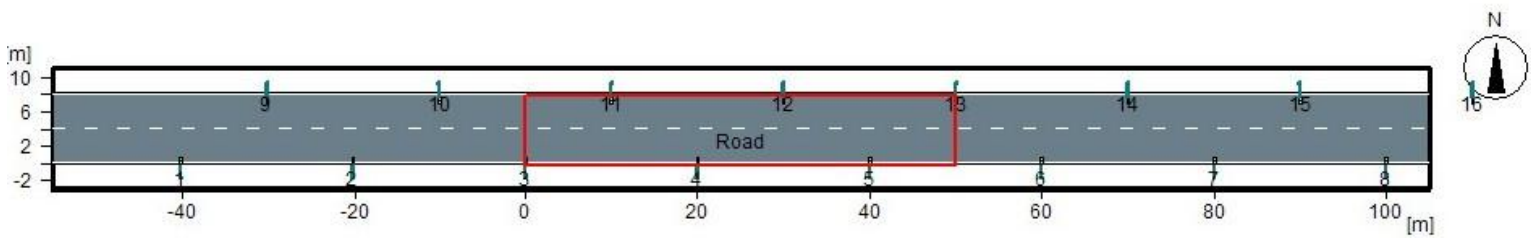
| Κατηγορία δρόμου | Μέση ένταση φωτ. ( $E_m$ ) | Ελάχιστη εντ. ( $E_{min}$ ) | Ομοιομορφία ( $E_{min}/E_m$ ) |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                  | Lx                         | Lx                          |                               |
| 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                           |
| S1               | 15                         | 5                           |                               |
| S2               | 10                         | 3                           |                               |
| S3               | 7,5                        | 1,5                         |                               |
| S4               | 5                          | 1                           |                               |
| S5               | 3                          | 0,6                         |                               |

Πίνακας 7-1: Προδιαγραφές φωτισμού για τις διάφορες κατηγορίες δρόμων

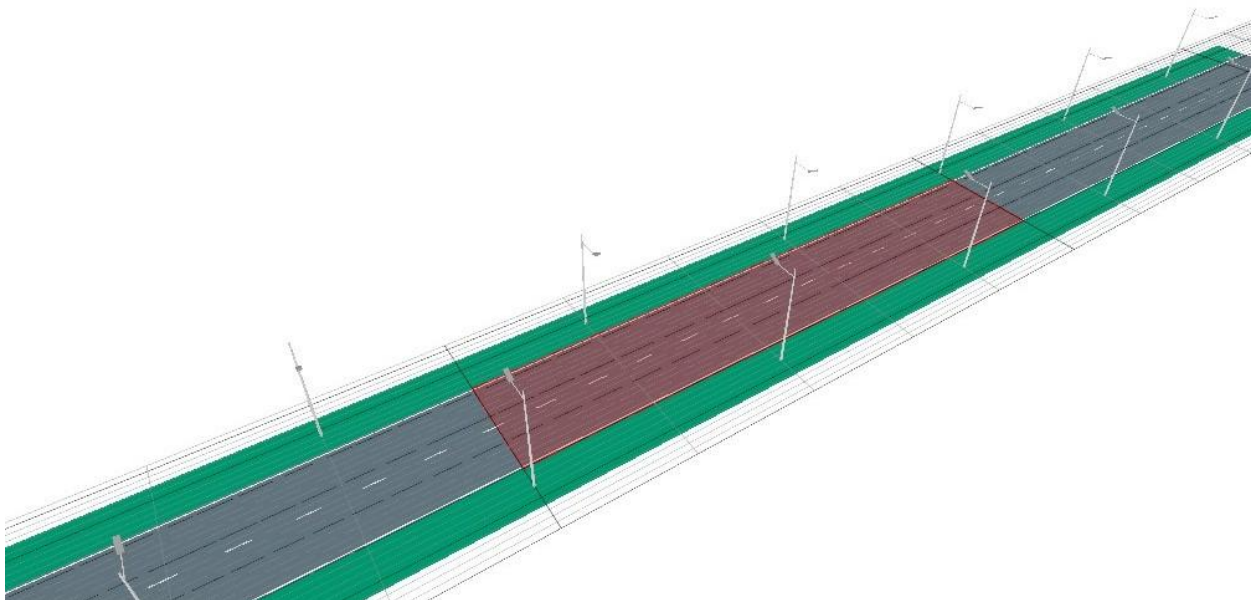
Ο δρόμος έχει πλάτος 8m και έχει συνολικά δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Τα φωτιστικά θα τοποθετηθούν σε διάταξη αμφίπλευρα τριγωνική (staggered). Παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών, των ιστών και παρουσιάζονται η κάτοψη του δρόμου, η τρισδιάστατη απεικόνιση κλπ.



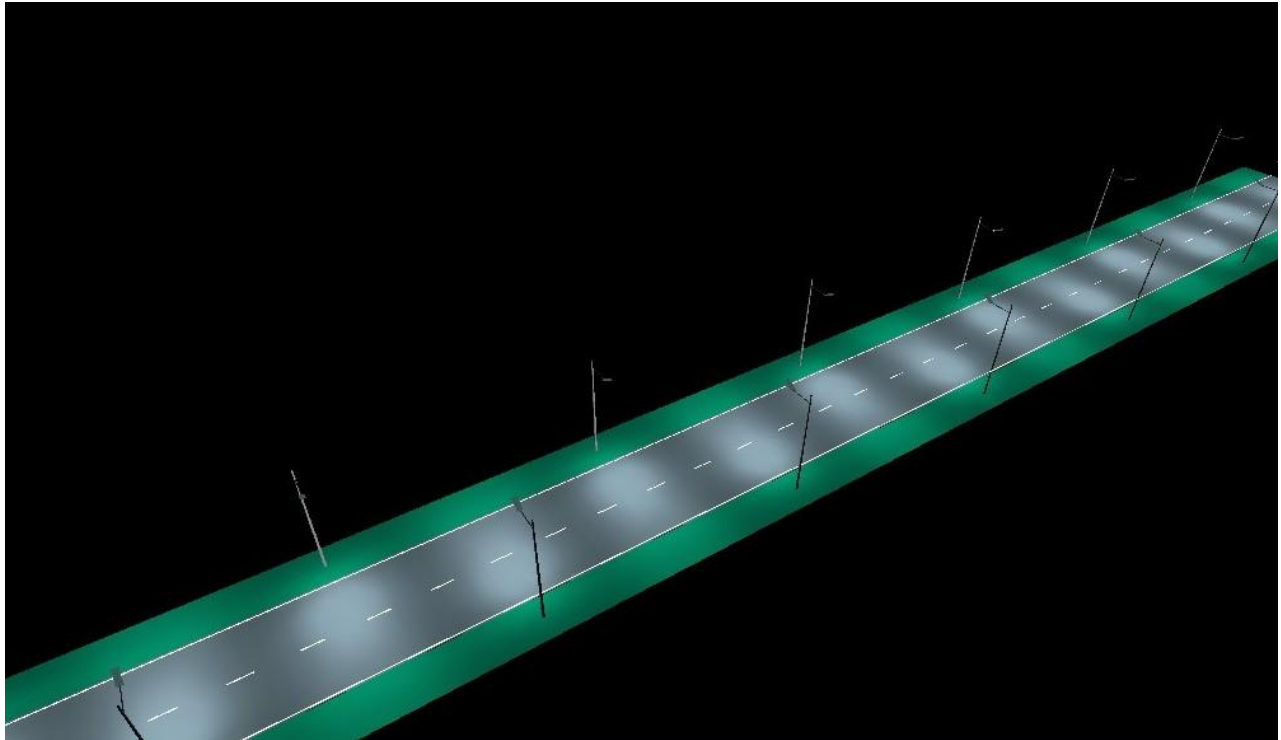
- Πλάτος δρόμου: 8m
- Αριθμός λωρίδων δρόμου: 2
- Ύψος ιστών φωτισμού: 8m
- Κλίση φωτιστικού:  $30^{\circ}$
- Απόσταση φωτιστικού από ιστό: 2m
- Απόσταση ιστού από δρόμο (Kerb distance): 1,5m
- Απόσταση μεταξύ φωτιστικών: 20m



Εικόνα 7-6: Κάτοψη του δρόμου



Εικόνα 7-7: Τρισδιάστατη απεικόνιση του δρόμου



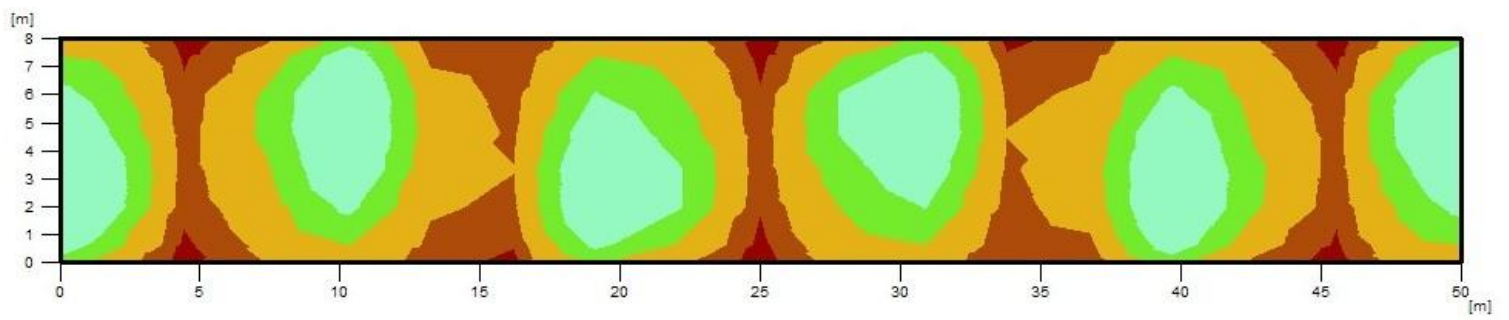
Εικόνα 7-8: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου με τα φωτιστικά υπό λειτουργία (3D luminance)

### Παρουσίαση αποτελεσμάτων

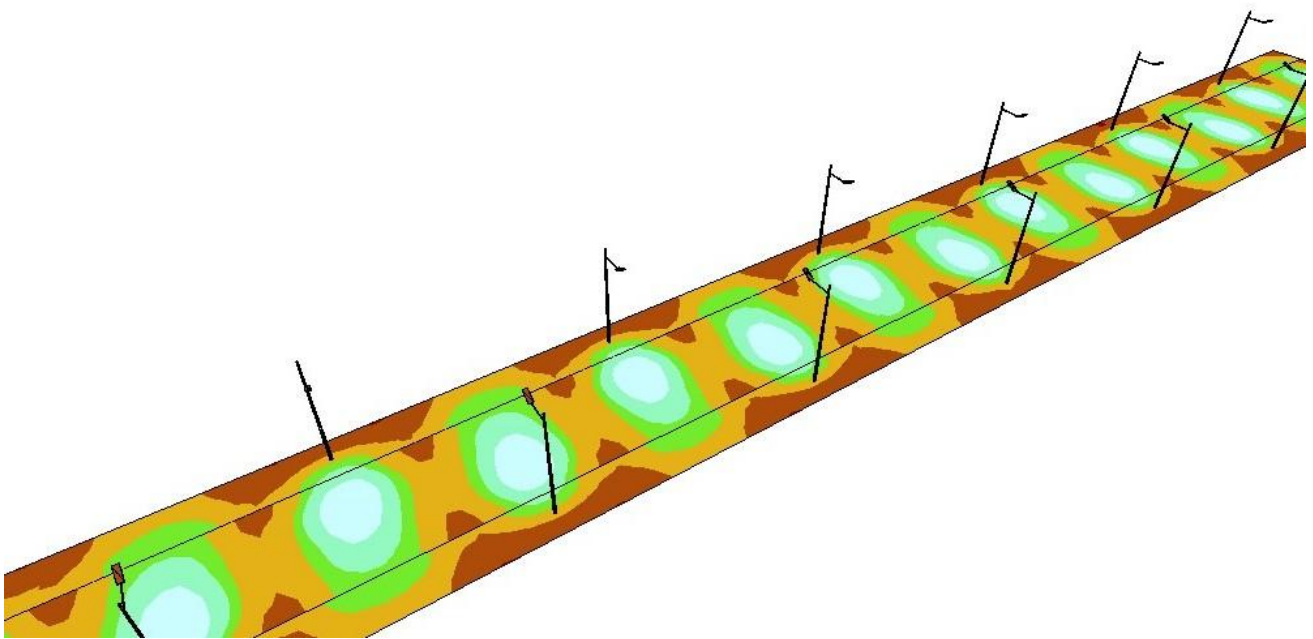
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα και οι μετρήσεις φωτισμού της συγκεκριμένης μελέτης και ακολουθούν τα διαγράμματα. Τα αποτελέσματα για συνολική ισχύ και φωτεινή ροή δίνονται ανά 100m δρόμου. Τα φωτιστικά, στη μία πλευρά του δρόμου, έχουν απόσταση 20m μεταξύ τους. Οπότε υπάρχουν συνολικά **10φωτιστικά/100m**.

|                                       |                       |         |
|---------------------------------------|-----------------------|---------|
| Total luminous flux of all lamps/100m |                       | 26910lm |
| Total power/100m                      |                       | 480W    |
| Average illuminance                   | Eav                   | 15,2lx  |
| Minimum illuminance                   | Emin                  | 6,8lx   |
| Maximum illuminance                   | E <sub>max</sub>      | 28,4lx  |
| Uniformity g1                         | Emin/Em               | 0,45    |
| Uniformity g2                         | Emin/E <sub>max</sub> | 0,24    |

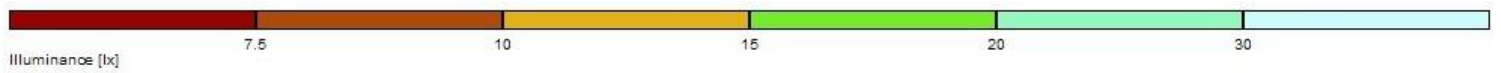
Πίνακας 7-2: Αποτελέσματα μετρήσεων φωτισμού

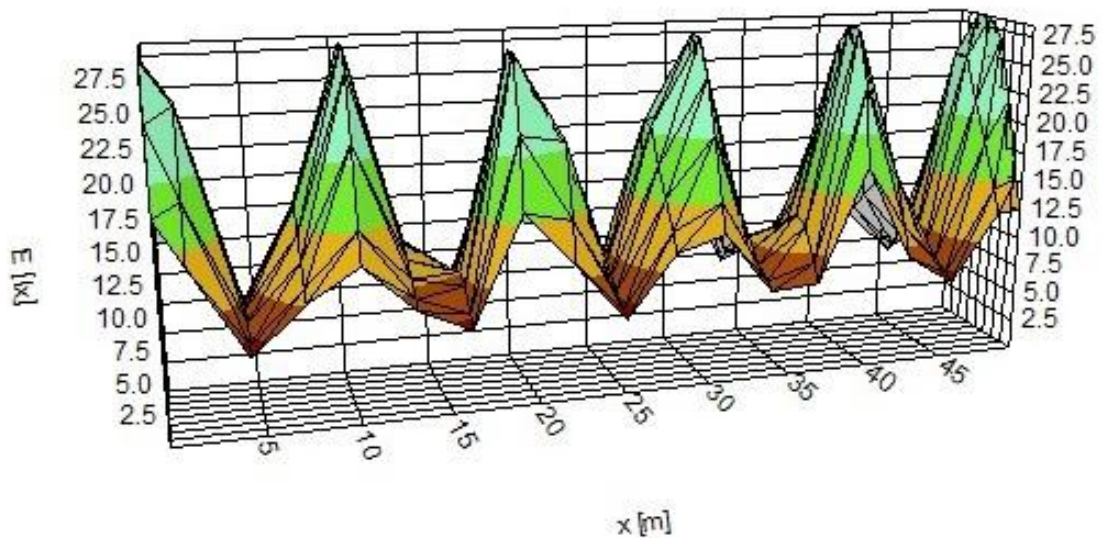


Εικόνα 7-9: Κατανομή φωτεινής έντασης στο χώρο (Pseudo colours)



Εικόνα 7-10: Τρισδιάστατη κατανομή της φωτεινής έντασης (3D pseudo colours)





Διάγραμμα 7-1: 3D mountain plot

Συμπεράσματα: Όπως παρατηρούμε, η συγκεκριμένη διάταξη των ιστών φωτισμού, δηλαδή με τα φωτιστικά ανά 20m, δίνει μέση ένταση φωτισμού 15,2lx, ελάχιστη ένταση 6,8lx και ομοιομορφία 0,45. Οι προδιαγραφές για κατηγορία δρόμου CE3 είναι  $E_{av} > 15lx$ ,  $E_{min} > 5lx$  και  $E_{min}/E_{av} > 0,4$ . Οπότε με την συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να φωτιστεί ικανοποιητικά δρόμος κατηγορίας S2 έως και CE3. Για δρόμους μικρότερης κατηγορίας, όπως S3 και S4, θα γίνει νέα μελέτη, που ακολουθεί παρακάτω.

### 7.3.2 Μελέτη για κατηγορία δρόμου S3 και S4

Για κατηγορίες δρόμων S3 και S4, δηλαδή για δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας όπου μπορούν να κυκλοφορούν εκτός από αυτοκίνητα, ποδηλάτες και πεζοί, οι προδιαγραφές φωτισμού είναι οι ακόλουθες, όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω. Όπως παρατηρούμε, δεν υπάρχει απαίτηση στην ομοιομορφία ( $E_{min}/E_m$ ).

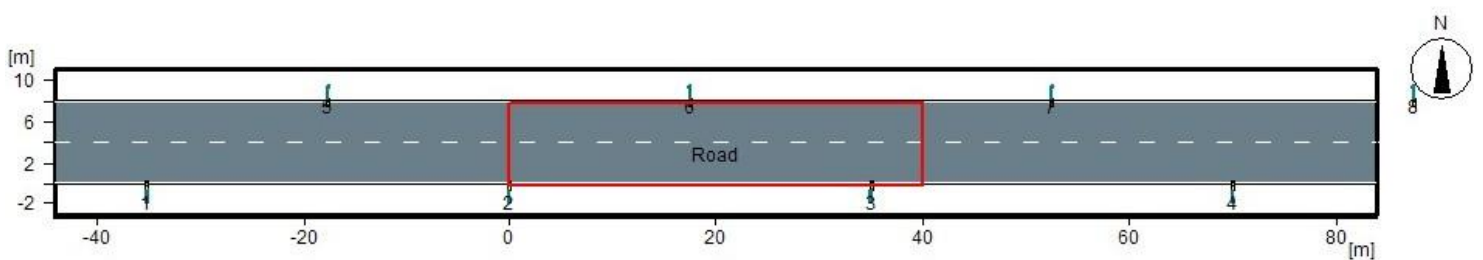
| Κατηγορία δρόμου | Μέση ένταση φωτ. (Em) | Ελάχιστη εντ. (Emin) |
|------------------|-----------------------|----------------------|
|                  | Lx                    | Lx                   |
| S3               | 7,5                   | 1,5                  |
| S4               | 5                     | 1                    |
| S5               | 3                     | 0,6                  |

Πίνακας 7-3: Προδιαγραφές φωτισμού για τις διάφορες κατηγορίες δρόμων

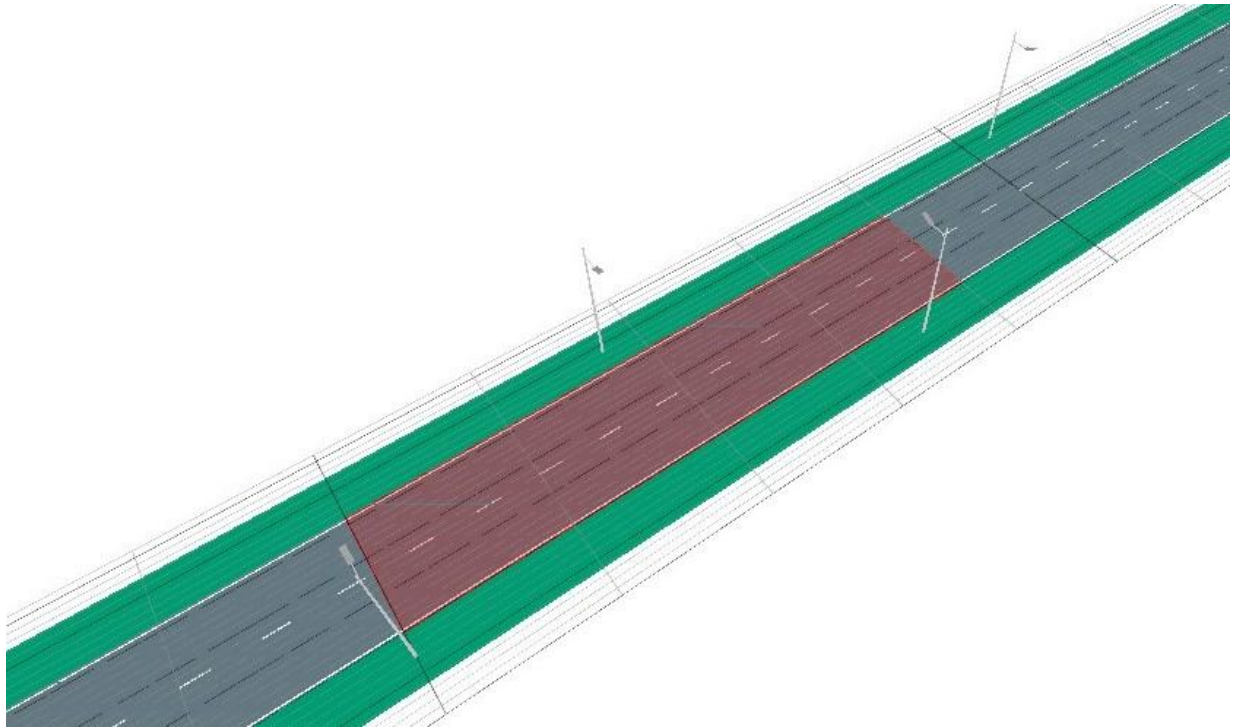
Τα φωτιστικά, όπως και στην προηγούμενη μελέτη θα τοποθετηθούν σε αμφίπλευρα τριγωνική διάταξη (staggered). Οι αποστάσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών αναφέρονται παρακάτω.

- Πλάτος δρόμου: 8m
- Αριθμός λωρίδων δρόμου: 2
- Ύψος ιστών φωτισμού: 9m
- Κλίση φωτιστικού:  $25^{\circ}$
- Απόσταση φωτιστικού από ιστό: 1,5m
- Απόσταση ιστού από δρόμο (Kerb distance): 1,5m
- Απόσταση μεταξύ φωτιστικών: 35m

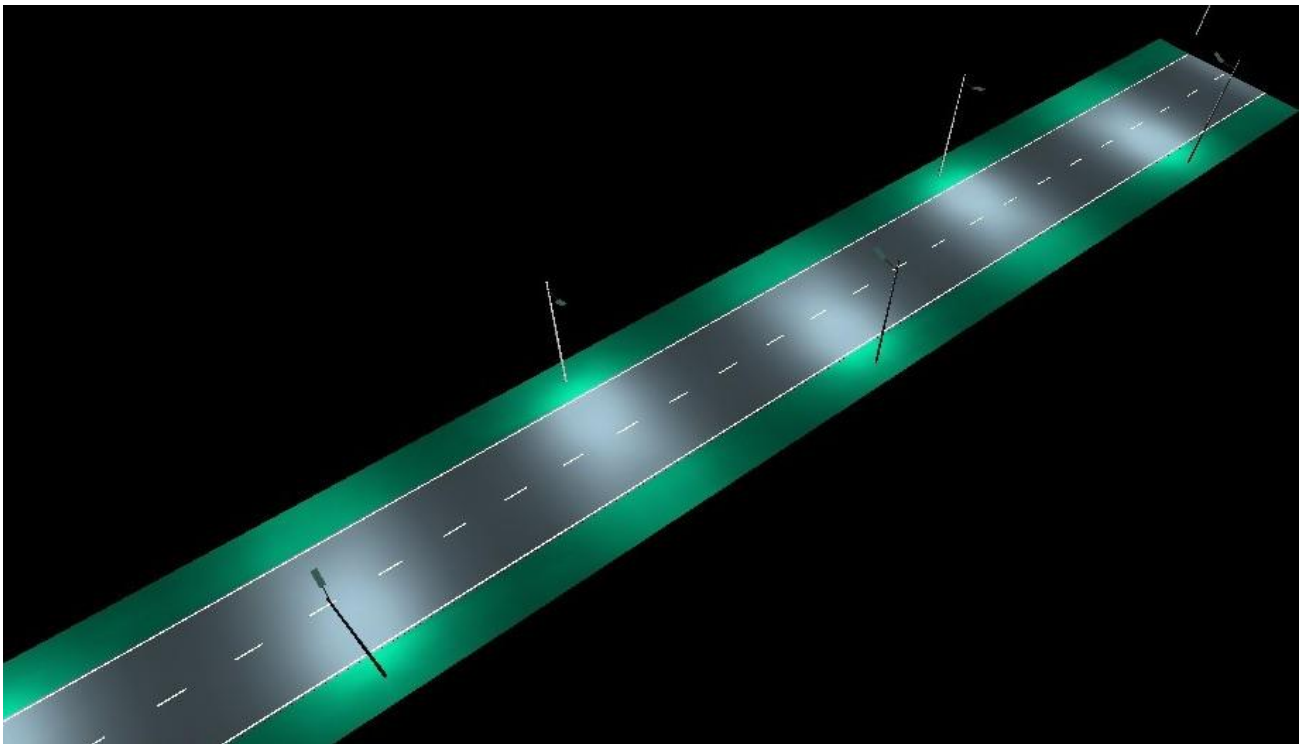
Ακολουθούν οι εικόνες με την κάτοψη του δρόμου, τρισδιάστατες απεικονίσεις κλπ.



Εικόνα 7-11: Κάτοψη του δρόμου



Εικόνα 7-12: Τρισδιάστατη απεικόνιση του δρόμου



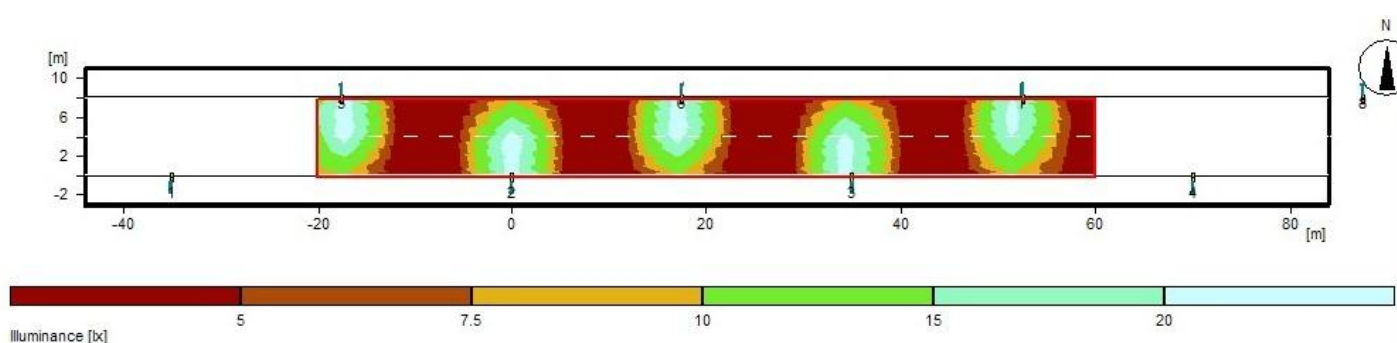
Εικόνα 7-13: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου με τα φωτιστικά υπό λειτουργία (3D luminance)

## Παρουσίαση αποτελεσμάτων

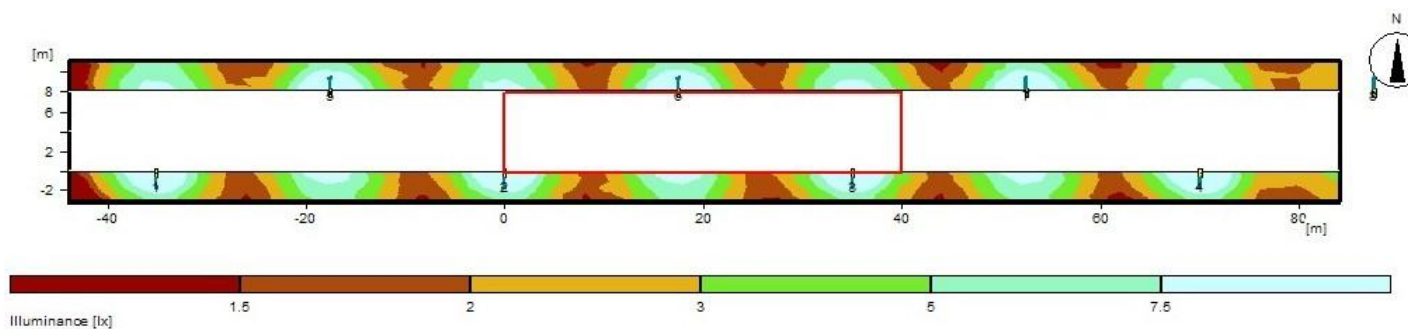
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα φωτισμού. Τα φωτιστικά είναι τοποθετημένα με απόσταση 35m μεταξύ τους. Δηλαδή, συνολικά υπάρχουν 6 φωτιστικά/100m.

|                                       |                                    |         |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------|
| Total luminous flux of all lamps/100m |                                    | 16146lm |
| Total power/100m                      |                                    | 288W    |
| Average illuminance                   | Eav                                | 8,8lx   |
| Minimum illuminance                   | Emin                               | 2,0lx   |
| Maximum illuminance                   | E <sub>max</sub>                   | 22,8lx  |
| Uniformity g1                         | E <sub>min</sub> /E <sub>m</sub>   | 0,23    |
| Uniformity g2                         | E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub> | 0,09    |

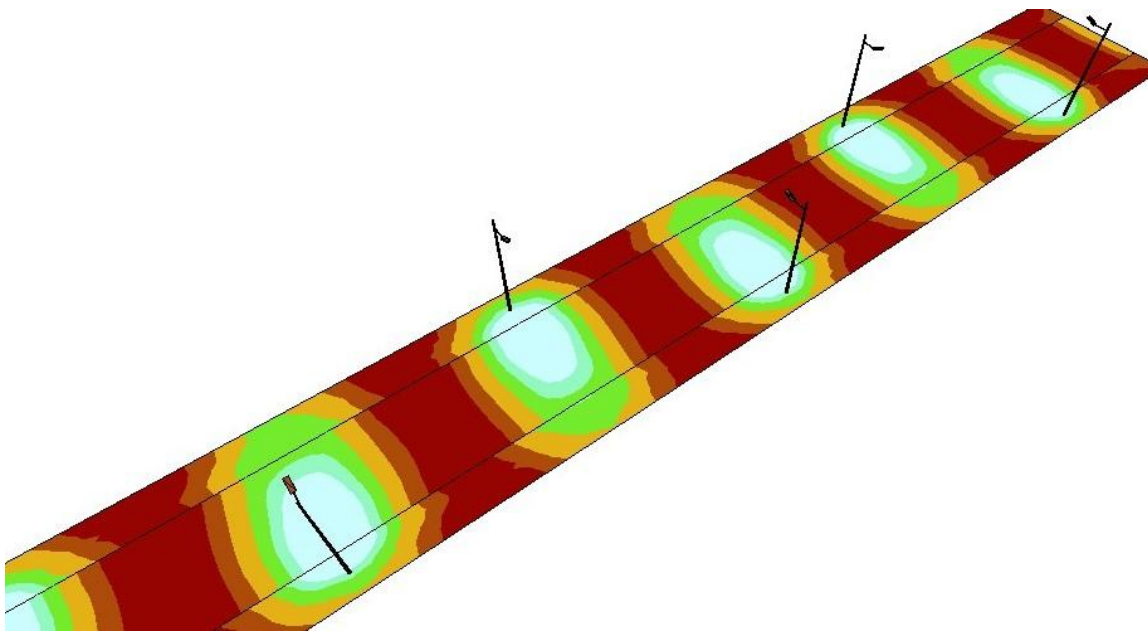
Πίνακας 7-4: Αποτελέσματα μετρήσεων φωτισμού



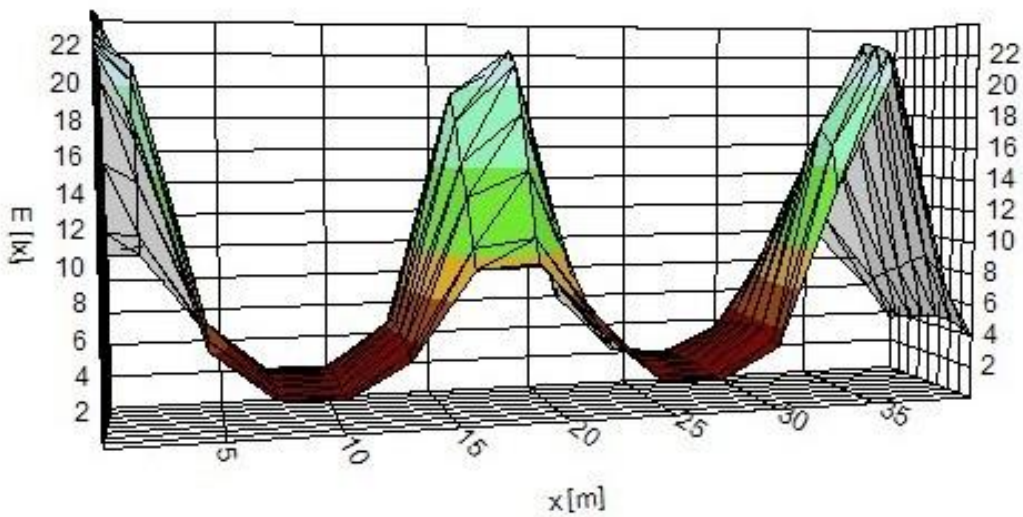
Εικόνα 7-14: Κατανομή φωτεινής έντασης στο δρόμο (Pseudo colours)



Εικόνα 7-15: Κατανομή φωτεινής έντασης στο χώρο (Pseudo colours)



Εικόνα 7-16: Τρισδιάστατη κατανομή της φωτεινής έντασης (3D pseudo colours)

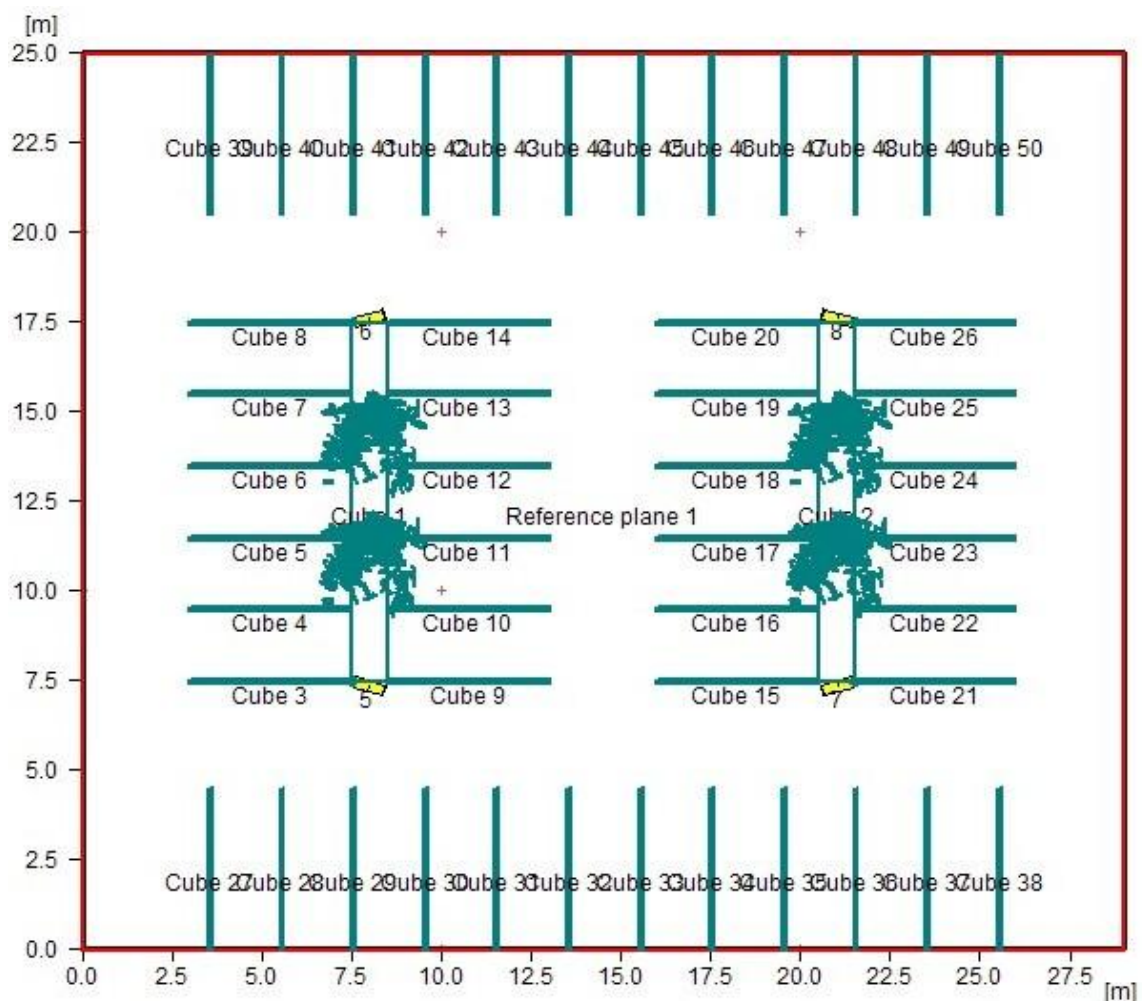


Διάγραμμα 7-2: 3D mountain plot



## 7.4 Μελέτη φωτισμού χώρου στάθμευσης (Parking)

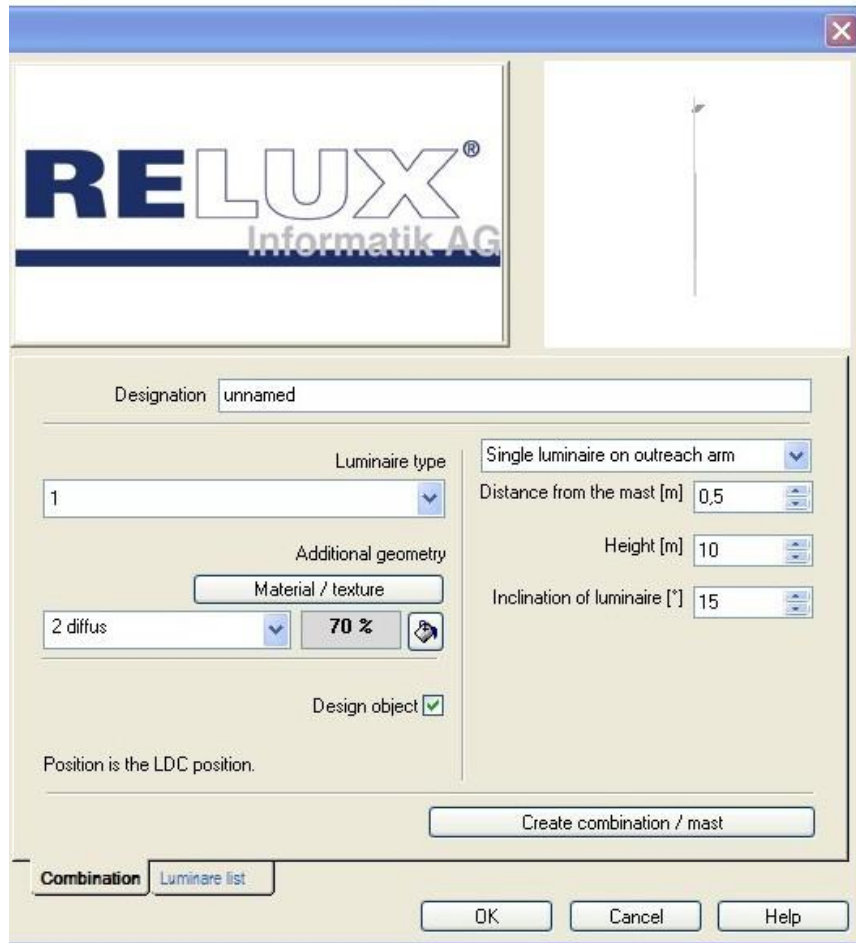
Το parking έχει διαστάσεις 29m επί 25m και εμβαδόν 725m<sup>2</sup>. Έχει 42 θέσεις στάθμευσης, με μήκος 4,5m και πλάτος 2m η κάθε μία. Οι δρόμοι ανάμεσα στις θέσεις στάθμευσης έχουν πλάτος 3m, και υπάρχουν 4 είσοδοι στις 4 γωνίες. Μια κάτοψη του χώρου παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 7-17: Κάτοψη του parking

Για το φωτισμό του χώρου χρησιμοποιήθηκαν 4 φωτιστικά με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ύψος ιστών φωτισμού: 10m
- Απόσταση φωτιστικό από ιστό: 0,5m
- Κλίση φωτιστικών: 15<sup>0</sup>
- Προσανατολισμός φωτιστικών: 15<sup>0</sup> βόρεια και νότια αντίστοιχα



Εικόνα 7-18: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά φωτιστικού και ιστών φωτισμού

Παρακάτω παρουσιάζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου:



Εικόνα 7-19: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου στάθμευσης



Εικόνα 7-20: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου με τα φωτιστικά υπό λειτουργία (3D luminance)

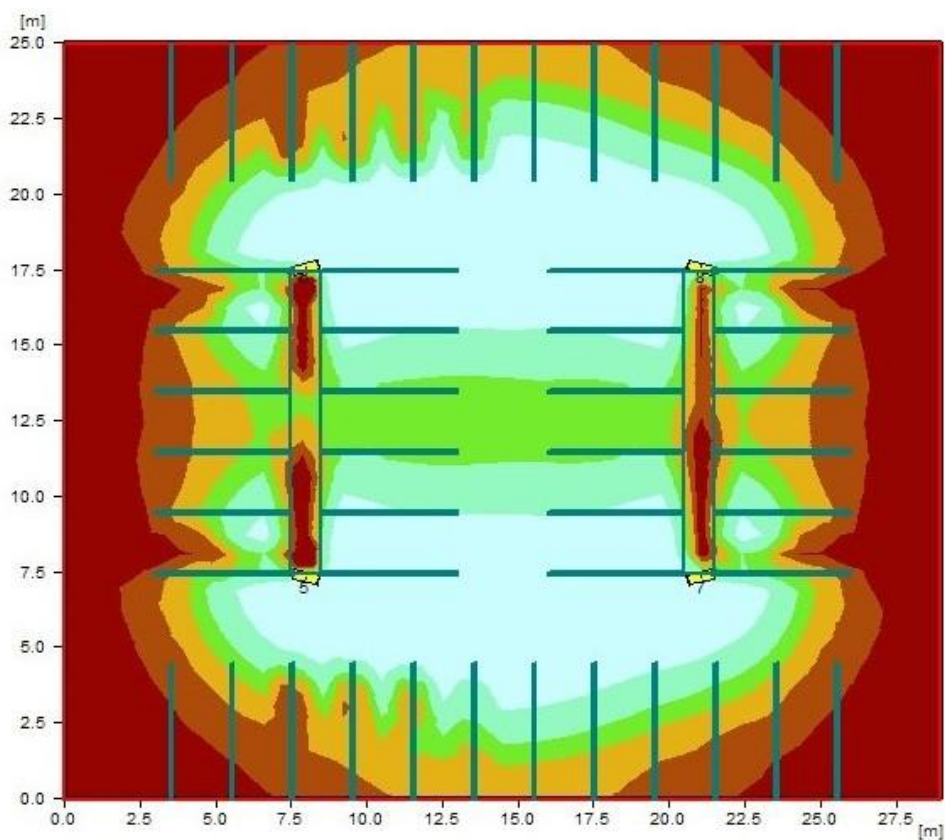
## Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης φωτισμού του χώρου στάθμευσης σε πίνακες και διαγράμματα.

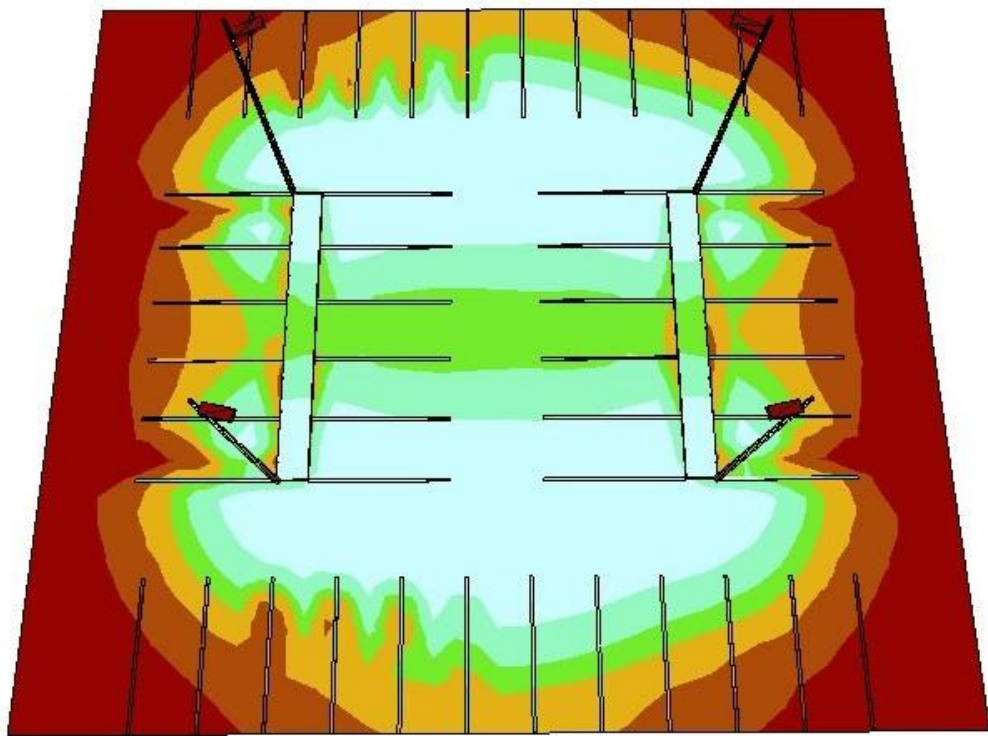
|                                  |                   |         |
|----------------------------------|-------------------|---------|
| Total luminous flux of all lamps |                   | 10764lm |
| Total power                      |                   | 192W    |
| Average illuminance              | $E_{av}$          | 10,1lx  |
| Minimum illuminance              | $E_{min}$         | 0,7lx   |
| Maximum illuminance              | $E_{max}$         | 26,7lx  |
| Uniformity g1                    | $E_{min}/E_m$     | 0,07    |
| Uniformity g2                    | $E_{min}/E_{max}$ | 0,03    |

Πίνακας 7-5: Μετρήσεις φωτισμού parking

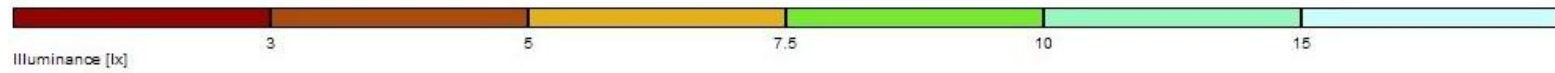
Όπως παρατηρούμε, η μέση ένταση φωτισμού είναι 10,1lx, που είναι ένα ικανοποιητικό επίπεδο φωτισμού για τον συγκεκριμένο χώρο.

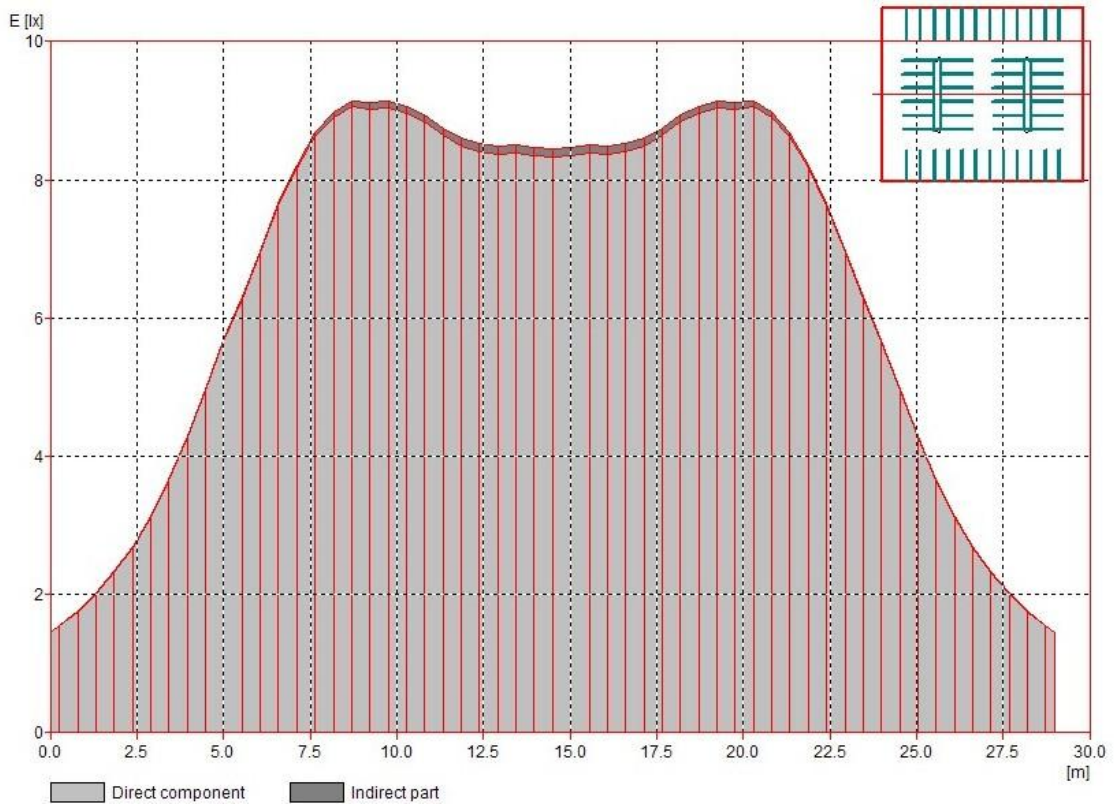


Εικόνα 7-21: Κατανομή φωτεινής έντασης στο χώρο (Pseudo colours)

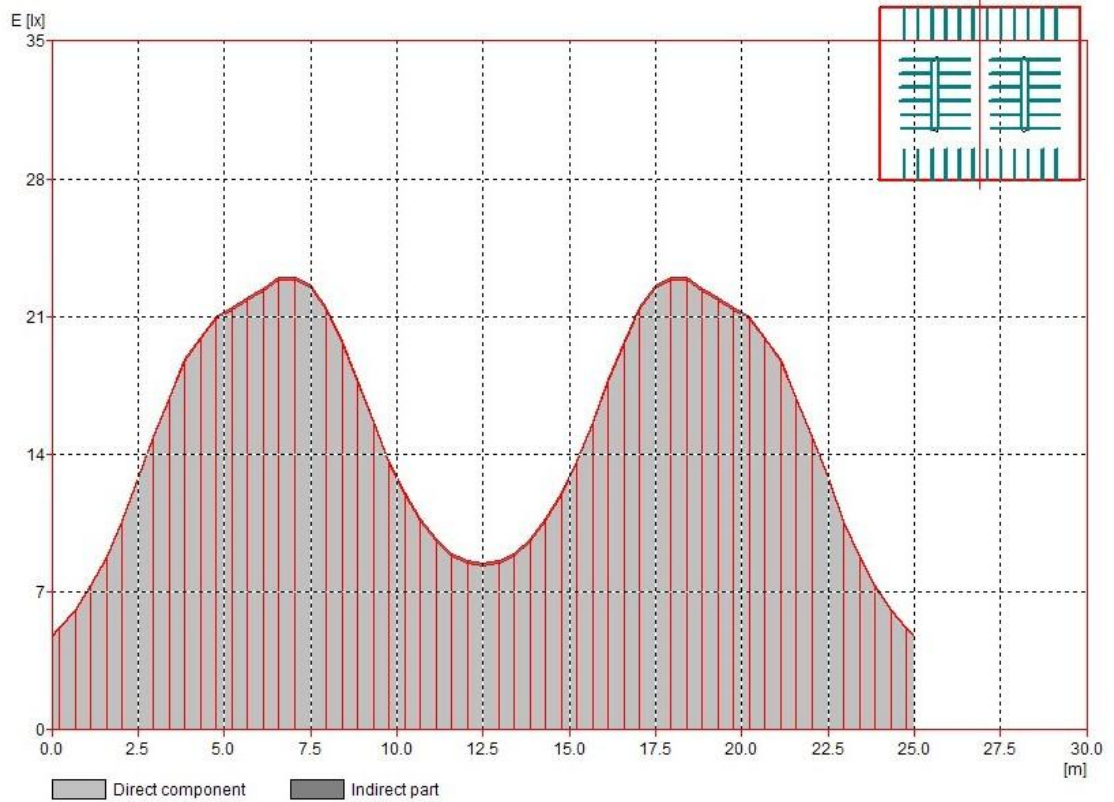


Εικόνα 7-22: Τρισδιάστατη κατανομή της φωτεινής έντασης (3D pseudo colours)

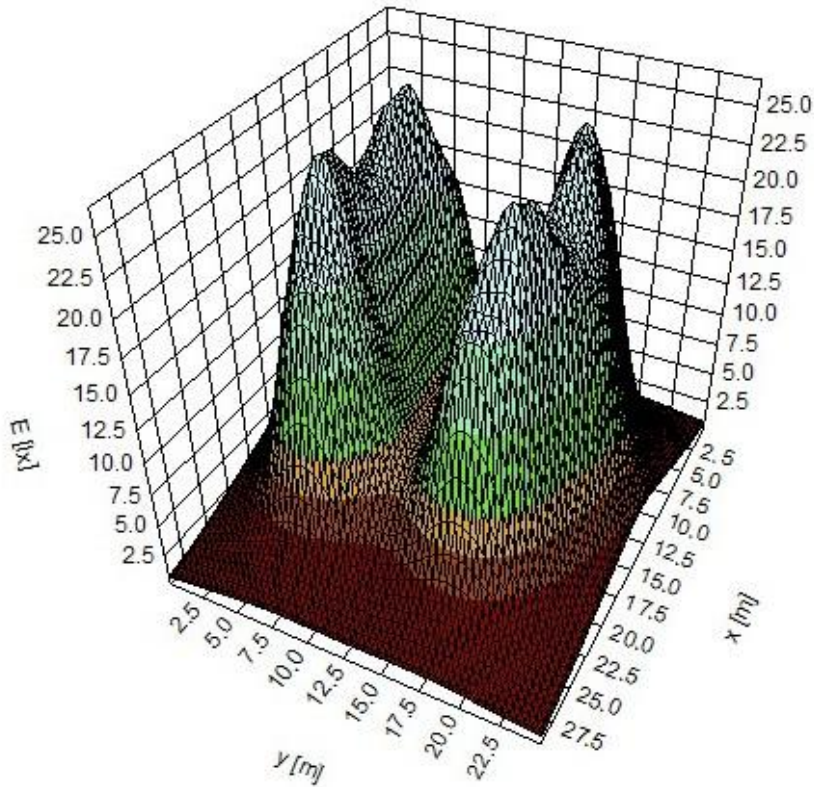




Διάγραμμα 7-3: Διάγραμμα φωτεινής έντασης κατά μήκος



Διάγραμμα 7-4: Διάγραμμα φωτεινής έντασης κατά πλάτος



Διάγραμμα 7-5: 3D mountain plot

Συμπεράσματα: Η μέση ένταση φωτισμού για τον χώρο στάθμευσης είναι 10,1lx, και η ελάχιστη 0,7lx. Αυτό το επίπεδο φωτισμού είναι αρκετά ικανοποιητικό για τον συγκεκριμένο χώρο. Τα φωτιστικά τοποθετήθηκαν σε αρκετά μεγάλο ύψος (10m), για να βελτιωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η ομοιομορφία της φωτεινής έντασης στην επιφάνεια του εδάφους. Όπως παρατηρούμε, οι μεγαλύτερες τιμές της φωτεινής έντασης παρατηρούνται σε μικρές γωνίες από τα σημεία που είναι τοποθετημένα τα φωτιστικά, ενώ υπάρχουν μικρότερες τιμές φωτεινής έντασης κοντά στα σύνορα του parking. Το γεγονός αυτό οφείλεται, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, στην αρκετά κατευθυντική δέσμη φωτός των led.

## Κεφάλαιο 8

### Οικονομική μελέτη του συστήματος

#### 8.1 Μελέτη κόστους

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει υπολογισμός του κόστους για τις διάφορες κατηγορίες δρόμων καθώς και για τον χώρο στάθμευσης. Για την περίπτωση της πλήρους αυτονομίας, δηλαδή με την χρήση τριών φ/β στοιχείων, κάθε ιστός θα έχει 3 φ/β Unisolar PVL- 62, ένα φωτιστικό Jupiter 48W και μία μπαταρία χωρητικότητας 60Ah. Οι τιμές των διαφόρων στοιχείων παρουσιάζονται παρακάτω:

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Φωτιστικό Jupiter 48:          | 300€ |
| Φ/β Unisolar PVL-62:           | 210€ |
| Μπαταρία ZAP 12V 60Ah:         | 80€  |
| Κόστος ιστού και εγκατάστασης: | 900€ |

Συνεπώς, το κόστος κάθε κολώνας φωτισμού μαζί με το κόστος εγκατάστασης, θα είναι **1910€**.

##### 8.1.1 Μελέτη κόστους για δρόμο S2 έως CE3

Για την οικονομική μελέτη των δρόμων θα υπολογιστεί το κόστος ανά km. Όπως ειπώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για δρόμο κατηγορίας S2 έως CE3, οι κολώνες φωτισμού θα τοποθετηθούν σε αμφίπλευρα τριγωνική διάταξη και θα απέχουν 20m μεταξύ τους. Συνεπώς, θα υπάρχουν 100κολώνες/km, δηλαδή 50 σε κάθε πλευρά του δρόμου, με συνολικό κόστος 191.000€/km.



### **8.1.2 Μελέτη κόστους για δρόμο S3 και S4**

Τα φωτιστικά και σε αυτή την περίπτωση θα τοποθετηθούν σε αμφίπλευρα τριγωνική διάταξη με απόσταση 35m μεταξύ τους. Συνεπώς, θα υπάρχουν 58φωτιστικά/km, δηλαδή 29 φωτιστικά σε κάθε πλευρά του δρόμου. Άρα, το συνολικό κόστος εγκατάστασης θα είναι 110.780€/km.

### **8.1.3 Μελέτη κόστους για χώρο στάθμευσης**

Ο χώρος στάθμευσης της προηγούμενης ενότητας έχει διαστάσεις 29m επί 25m και εμβαδόν 725m<sup>2</sup>. Θα φωτιστεί με 4 κολώνες φωτισμού και το κόστος του θα είναι 7640€.

## **8.2 Σύγκριση του συστήματος με συμβατικές μεθόδους φωτισμού**

Για να υπάρχει μια πιο εμπεριστατωμένη άποψη γύρω τα οικονομικά μεγέθη της παραπάνω μελέτης, θα γίνει σύγκριση του συστήματος με τις συμβατικές μεθόδους φωτισμού. Η μελέτη φωτισμού δρόμου κλάσης S2 έως CE3 με φωτιστικό μεταλλικών αλογονιδίων CDM (metal halide) 70W, δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Πλάτος δρόμου: 8m
- Αριθμός λωρίδων δρόμου: 2
- Ύψος ιστών φωτισμού: 8m
- Κλίση φωτιστικού: 15<sup>0</sup>
- Απόσταση φωτιστικού από ιστό: 1m
- Απόσταση ιστού από δρόμο (Kerb distance): 1m
- Απόσταση μεταξύ φωτιστικών: 30m

|                                       |                       |          |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|
| Total luminous flux of all lamps/100m |                       | 413000lm |
| Total power/100m                      |                       | 588W     |
| Average illuminance                   | Eav                   | 18,2lx   |
| Minimum illuminance                   | Emin                  | 6,8lx    |
| Maximum illuminance                   | E <sub>max</sub>      | 34,3lx   |
| Uniformity g1                         | Emin/Em               | 0,39     |
| Uniformity g2                         | Emin/E <sub>max</sub> | 0,2      |

Πίνακας 8-1: Αποτελέσματα μετρήσεων φωτισμού με φωτιστικό CDM 70W

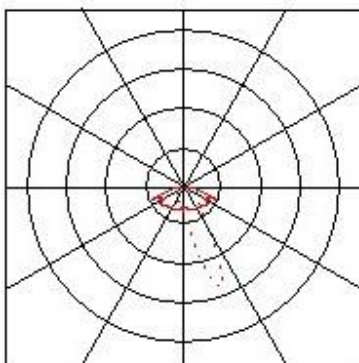
Τα φωτιστικά θα τοποθετηθούν σε αμφίπλευρα τριγωνική διάταξη και θα απέχουν 30m μεταξύ τους. Δηλαδή θα υπάρχουν 67 φωτιστικά/km δρόμου. Όπως παρατηρούμε, για το ίδιο σχεδόν φωτιστικό αποτέλεσμα απαιτούνται λιγότερα φωτιστικά, όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της μεγαλύτερης διάχυσης της φωτεινής ροής των συμβατικών φωτιστικών σε σχέση με τα led. Κάθε φωτιστικό καταναλώνει 84W. Κάθε φωτιστικό, συμπεριλαμβανομένου του ιστού φωτισμού και το κόστος εγκατάστασης κοστίζει περίπου 1000€. Συνεπώς το συνολικό κόστος της εγκατάστασης θα είναι 67.000€/km.

#### Luminaire data

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| Luminaires efficiency | : 77.7% (A30)          |
|                       | ↓ 99.6% ↑ 0.4%         |
| Control gear          | : Magnetic transformer |
| System power          | : 84 W                 |
| Length                | : 795 mm               |
| Width                 | : 375 mm               |
| Height                | : 275 mm               |

#### Equipped with

|               |            |
|---------------|------------|
| Number of     | : 1        |
| Designation   | : MT       |
| Power         | : 70 W     |
| Colour        | : ww/3000K |
| Luminous flux | : 5900 lm  |



Εικόνα 8-1: Datasheet του φωτιστικού AEC Serika 70W CDM-TT SK-019

## 8.2.2 Υπολογισμός απόσβεσης

Για τον υπολογισμό της απόσβεσης του υπό μελέτη συστήματος, σε σχέση με αυτό με τις συμβατικές μεθόδους φωτισμού, πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει το σύστημα που τροφοδοτείται από το δίκτυο. Η τιμή της KWh, σύμφωνα και με τους αναλυτικούς πίνακες τιμολογίων της Δ.Ε.Η., για φωτισμό οδών για πλατειών, είναι ίση με 0.10642€/KWh. Το επιτόκιο αναγωγής για επενδύσεις σε συστήματα φωτισμού κυμαίνεται από 5% έως 10%. Για τους παρόντες υπολογισμούς θα θεωρηθεί επιτόκιο αναγωγής ίσο 7,5% για την τιμή της KWh ανά έτος. Ακόμα πρέπει να υπολογιστεί το κόστος αντικατάστασης των καμένων λαμπτήρων με την πάροδο του χρόνου. Ένας τυπικός λαμπτήρας φωτισμού δρόμων έχει διάρκεια ζωής περίπου 22.000 ώρες, ενώ ένας λαμπτήρας led γύρω στις 70.000 ώρες. Το κόστος αντικατάστασης των καμένων λαμπτήρων είναι περίπου 50€ ανά κολώνα φωτισμού. Συνεπώς, με μέσο όρο λειτουργίας των φωτιστικών 11 ώρες ημερησίως προκύπτει:

$$\text{Ημερήσια κατανάλωση συμβ. φωτ/km} = 67 \times \frac{84\text{W}}{1000} \times 0,10642\text{€/KWh} \times 11\text{h} = 6,588\text{€}$$

$$\text{Ετήσια κατανάλωση συμβ. φωτιστικού/km} = 6,588 \times 365 = 2404,62\text{€}$$

Η διάρκεια ζωής των συμβατικών λαμπτήρων είναι περίπου 22.000 ώρες, δηλαδή με 11 ώρες λειτουργίας ημερησίως, περίπου 5,5 χρόνια, ενώ των led περίπου 70.000 ώρες, δηλαδή με ίδιο χρόνο λειτουργίας ημερησίως, περίπου 17,5 χρόνια. Δηλαδή στα 11 χρόνια λειτουργίας του φωτιστικού πρέπει να υπολογιστεί και κόστος αντικατάστασης των καμένων λαμπτήρων ίσο με  $2 \times 50 \times 67 = 6700\text{€/km}$  δρόμου. Συνεπώς, με επιτόκιο αναγωγής 7,5%, ο χρόνος απόσβεσης του συστήματος υπολογίζεται ως:

$$t(\text{έτη}) = \frac{191.000 - 67.000 - 6.700}{2404,62 \times 1,075^t} = \frac{48,78}{1,075^t} \Rightarrow t = 15,5\text{έτη}$$

Συνεπώς, το σύστημα θα κάνει απόσβεση σε περίπου 15,5 χρόνια.

## Κεφάλαιο 9

### Συμπεράσματα

Όπως διαπιστώνεται, τα φωτιστικά με led πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών φωτιστικών στην ποιότητα φωτός και στην κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, έχουν αρκετά μεγαλύτερο αρχικό κόστος εγκατάστασης από τα συμβατικά φωτιστικά και υστερούν στην ομοιόμορφη διάχυση της φωτεινής ακτινοβολίας, λόγω της κατευθυντικής δέσμης φωτός τους. Έτσι, δεν ενδείκνυνται ως η καλύτερη επιλογή για φωτισμό δρόμου υψηλών προδιαγραφών, αλλά για δρόμους μεσαίας κατηγορίας ή για φωτισμό εξωτερικών χώρων, όπως πλατείες, χώρους στάθμευσης κλπ. Σε μία μελέτη φωτισμού με φωτιστικά με led, απαιτούνται περισσότερα φωτιστικά απ' ό τι με τις κλασσικές μεθόδους φωτισμού. Το γεγονός αυτό όμως, αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας, αφού τα led που απαιτούν περίπου το 1/2 της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους φωτισμού, για τον ίδιο φωτιστικό αποτέλεσμα. Επίσης, τα led αποτελούν ίσως την μοναδική επιλογή για φωτισμό με ανανεώσιμες πηγές, όπως στην συγκεκριμένη μελέτη, για το λόγο ότι μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας με συνεχές ρεύμα (DC). Αναμφίβολα, τα φωτιστικά με led, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά, θα αποτελέσουν το μέλλον στους τομείς των ηλεκτρικών ισχύος και η χρήση τους αναμένεται να αυξηθεί δραματικά στο μέλλον λόγω της κοινής απαίτησης για εξοικονόμηση ενέργειας.

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

# Πίνακες υπολογισμού διαθέσιμης ηλιακής ενέργεια ανά ημέρα

Κλίση: 90<sup>0</sup> Προσανατολισμός: 0<sup>0</sup> (Νότια)

## Ιανουάριος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky | Time   | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|---|------------------------|----------|------------|--------|------------------------|----------|------------|
| 6:37  | 0                      | 0        | 0          | 13:52  | 419                    | 124      | 723        |
| 6:52  | 0                      | 0        | 0          | 14:07  | 402                    | 120      | 693        |
| 7:07  | 0                      | 0        | 0          | 14:22  | 383                    | 116      | 659        |
| 7:22  | 0                      | 0        | 0          | 14:37  | 361                    | 111      | 620        |
| 7:37  | 52                     | 20       | 82         | 14:52  | 337                    | 106      | 577        |
| 7:52  | 95                     | 38       | 155        | 15:07  | 310                    | 100      | 530        |
| 8:07  | 138                    | 53       | 229        | 15:22  | 281                    | 92       | 479        |
| 8:22  | 178                    | 64       | 298        | 15:37  | 249                    | 84       | 423        |
| 8:37  | 215                    | 75       | 363        | 15:52  | 215                    | 75       | 363        |
| 8:52  | 249                    | 84       | 423        | 16:07  | 30                     | 25       | 25         |
| 9:07  | 281                    | 92       | 479        | 16:22  | 25                     | 20       | 20         |
| 9:22  | 310                    | 100      | 530        | 16:37  | 19                     | 15       | 15         |
| 9:37  | 337                    | 106      | 577        | 16:52  | 12                     | 10       | 10         |
| 9:52  | 361                    | 111      | 620        | 17:07  | 0                      | 0        | 0          |
| 10:07   | 383                    | 116      | 659        | 17:22  | 0                      | 0        | 0          |
| 10:22   | 402                    | 120      | 693        | 17:37  | 0                      | 0        | 0          |
| 10:37   | 419                    | 124      | 723        | 17:52  | 0                      | 0        | 0          |
| 10:52   | 434                    | 127      | 749        | 18:07  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07   | 446                    | 129      | 771        | 18:22  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22   | 455                    | 131      | 788        | 18:37  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37   | 462                    | 132      | 801        | 18:52  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52   | 467                    | 133      | 809        | 19:07  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07   | 470                    | 133      | 814        | 19:22  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22   | 470                    | 133      | 814        | 19:37  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37   | 467                    | 133      | 809        | 19:52  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:52   | 462                    | 132      | 801        | 20:07  | 0                      | 0        | 0          |
| 13:07   | 455                    | 131      | 788        | 20:22  | 0                      | 0        | 0          |
| 13:22   | 446                    | 129      | 771        | Wh/day | 2982,75Wh              |          | 5108Wh     |
| 13:37   | 434                    | 127      | 749        |        |                        |          |            |
|   |                        |          |            |        |                        |          |            |
|   |                        |          |            |        |                        |          |            |
| G(90 <sup>0</sup> ): Global irradiance on a fixed plane (W/m <sup>2</sup> )   |                        |          |            |        |                        |          |            |
| Gdiff: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m <sup>2</sup> )                |                        |          |            |        |                        |          |            |
| Gclear- sky: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m <sup>2</sup> ) |                        |          |            |        |                        |          |            |

## Φεβρουάριος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |  | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|--|-------|------------------------|----------|------------|
| 6:22  | 0                      | 0        | 0          |  | 13:52 | 391                    | 128      | 716        |
| 6:37  | 0                      | 0        | 0          |  | 14:07 | 377                    | 126      | 689        |
| 6:52  | 0                      | 0        | 0          |  | 14:22 | 361                    | 122      | 658        |
| 7:07  | 34                     | 17       | 52         |  | 14:37 | 343                    | 118      | 623        |
| 7:22  | 67                     | 32       | 107        |  | 14:52 | 323                    | 113      | 584        |
| 7:37  | 101                    | 46       | 169        |  | 15:07 | 302                    | 108      | 542        |
| 7:52  | 134                    | 58       | 229        |  | 15:22 | 278                    | 102      | 497        |
| 8:07  | 166                    | 69       | 287        |  | 15:37 | 253                    | 95       | 449        |
| 8:22  | 196                    | 78       | 344        |  | 15:52 | 225                    | 87       | 398        |
| 8:37  | 225                    | 87       | 398        |  | 16:07 | 196                    | 78       | 344        |
| 8:52  | 253                    | 95       | 449        |  | 16:22 | 166                    | 69       | 287        |
| 9:07  | 278                    | 102      | 497        |  | 16:37 | 33                     | 27       | 26         |
| 9:22  | 302                    | 108      | 542        |  | 16:52 | 27                     | 22       | 21         |
| 9:37  | 323                    | 113      | 584        |  | 17:07 | 20                     | 16       | 16         |
| 9:52  | 343                    | 118      | 623        |  | 17:22 | 12                     | 10       | 10         |
| 10:07 | 361                    | 122      | 658        |  | 17:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 10:22 | 377                    | 126      | 689        |  | 17:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 10:37 | 391                    | 128      | 716        |  | 18:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 10:52 | 403                    | 131      | 740        |  | 18:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 413                    | 133      | 760        |  | 18:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 421                    | 134      | 776        |  | 18:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 427                    | 135      | 788        |  | 19:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 431                    | 136      | 796        |  | 19:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 433                    | 136      | 800        |  | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 433                    | 136      | 800        |  | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37 | 431                    | 136      | 796        |  | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:52 | 427                    | 135      | 788        |  | Wh    | 2978,5Wh               |          | 5381Wh     |
| 13:07 | 421                    | 134      | 776        |  |       |                        |          |            |
| 13:22 | 413                    | 133      | 760        |  |       |                        |          |            |
| 13:37 | 403                    | 131      | 740        |  |       |                        |          |            |

## Μάρτιος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |  | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|--|-------|------------------------|----------|------------|
| 6:22  | 9                      | 7        | 8          |  | 13:52 | 410                    | 144      | 621        |
| 6:37  | 25                     | 18       | 26         |  | 14:07 | 395                    | 141      | 597        |
| 6:52  | 48                     | 31       | 55         |  | 14:22 | 379                    | 138      | 569        |
| 7:07  | 73                     | 43       | 90         |  | 14:37 | 360                    | 134      | 539        |
| 7:22  | 101                    | 55       | 130        |  | 14:52 | 340                    | 130      | 506        |
| 7:37  | 129                    | 67       | 172        |  | 15:07 | 318                    | 125      | 469        |
| 7:52  | 158                    | 77       | 216        |  | 15:22 | 295                    | 119      | 431        |
| 8:07  | 187                    | 87       | 261        |  | 15:37 | 270                    | 112      | 391        |
| 8:22  | 215                    | 96       | 305        |  | 15:52 | 243                    | 105      | 348        |
| 8:37  | 243                    | 105      | 348        |  | 16:07 | 215                    | 96       | 305        |
| 8:52  | 270                    | 112      | 391        |  | 16:22 | 187                    | 87       | 261        |
| 9:07  | 295                    | 119      | 431        |  | 16:37 | 158                    | 77       | 216        |
| 9:22  | 318                    | 125      | 469        |  | 16:52 | 129                    | 67       | 172        |
| 9:37  | 340                    | 130      | 506        |  | 17:07 | 101                    | 55       | 130        |
| 9:52  | 360                    | 134      | 539        |  | 17:22 | 32                     | 26       | 26         |
| 10:07 | 379                    | 138      | 569        |  | 17:37 | 24                     | 19       | 19         |
| 10:22 | 395                    | 141      | 597        |  | 17:52 | 15                     | 12       | 12         |
| 10:37 | 410                    | 144      | 621        |  | 18:07 | 6                      | 5        | 5          |
| 10:52 | 422                    | 146      | 642        |  | 18:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 432                    | 148      | 660        |  | 18:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 441                    | 149      | 674        |  | 18:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 447                    | 150      | 685        |  | 19:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 451                    | 150      | 692        |  | 19:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 453                    | 151      | 696        |  | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 453                    | 151      | 696        |  | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37 | 451                    | 150      | 692        |  | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:52 | 447                    | 150      | 685        |  | 20:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:07 | 441                    | 149      | 674        |  | Wh    | 3281                   |          | 4862,25    |
| 13:22 | 432                    | 148      | 660        |  |       |                        |          |            |
| 13:37 | 422                    | 146      | 642        |  |       |                        |          |            |



## Απρίλιος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |    | Time   | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|----|--------|------------------------|----------|------------|
| 5:52  | 9                      | 8        | 8          |    | 13:52  | 384                    | 141      | 498        |
| 6:07  | 19                     | 15       | 15         |    | 14:07  | 370                    | 139      | 477        |
| 6:22  | 27                     | 22       | 22         |    | 14:22  | 354                    | 136      | 453        |
| 6:37  | 35                     | 29       | 29         |    | 14:37  | 336                    | 133      | 426        |
| 6:52  | 43                     | 35       | 35         |    | 14:52  | 316                    | 129      | 398        |
| 7:07  | 71                     | 56       | 61         |    | 15:07  | 295                    | 125      | 367        |
| 7:22  | 94                     | 66       | 90         |    | 15:22  | 272                    | 120      | 335        |
| 7:37  | 119                    | 75       | 123        |    | 15:37  | 248                    | 114      | 300        |
| 7:52  | 145                    | 84       | 158        |    | 15:52  | 223                    | 108      | 265        |
| 8:07  | 171                    | 93       | 193        |    | 16:07  | 198                    | 101      | 229        |
| 8:22  | 198                    | 101      | 229        |    | 16:22  | 171                    | 93       | 193        |
| 8:37  | 223                    | 108      | 265        |    | 16:37  | 145                    | 84       | 158        |
| 8:52  | 248                    | 114      | 300        |    | 16:52  | 119                    | 75       | 123        |
| 9:07  | 272                    | 120      | 335        |    | 17:07  | 94                     | 66       | 90         |
| 9:22  | 295                    | 125      | 367        |    | 17:22  | 71                     | 56       | 61         |
| 9:37  | 316                    | 129      | 398        |    | 17:37  | 43                     | 35       | 35         |
| 9:52  | 336                    | 133      | 426        |    | 17:52  | 35                     | 29       | 29         |
| 10:07 | 354                    | 136      | 453        |    | 18:07  | 27                     | 22       | 22         |
| 10:22 | 370                    | 139      | 477        |    | 18:22  | 19                     | 15       | 15         |
| 10:37 | 384                    | 141      | 498        |    | 18:37  | 9                      | 8        | 8          |
| 10:52 | 397                    | 143      | 516        |    | 18:52  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 407                    | 144      | 532        |    | 19:07  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 415                    | 145      | 544        |    | 19:22  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 421                    | 146      | 554        |    | 19:37  | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 426                    | 146      | 560        |    | 19:52  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 428                    | 147      | 563        |    | 20:07  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 428                    | 147      | 563        |    | 20:22  | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37 | 426                    | 146      | 560        | Wh | 3111,5 |                        |          | 3875,5     |
| 12:52 | 421                    | 146      | 554        |    |        |                        |          |            |
| 13:07 | 415                    | 145      | 544        |    |        |                        |          |            |
| 13:22 | 407                    | 144      | 532        |    |        |                        |          |            |
| 13:37 | 397                    | 143      | 516        |    |        |                        |          |            |

## Μάιος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |    | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|----|-------|------------------------|----------|------------|
| 5:22  | 9                      | 7        | 7          |    | 13:52 | 328                    | 135      | 378        |
| 5:37  | 17                     | 14       | 15         |    | 14:07 | 314                    | 133      | 360        |
| 5:52  | 26                     | 21       | 22         |    | 14:22 | 298                    | 130      | 339        |
| 6:07  | 34                     | 28       | 29         |    | 14:37 | 281                    | 127      | 316        |
| 6:22  | 42                     | 35       | 35         |    | 14:52 | 263                    | 124      | 291        |
| 6:37  | 49                     | 41       | 42         |    | 15:07 | 243                    | 120      | 265        |
| 6:52  | 56                     | 46       | 47         |    | 15:22 | 222                    | 115      | 237        |
| 7:07  | 62                     | 52       | 53         |    | 15:37 | 199                    | 110      | 208        |
| 7:22  | 68                     | 56       | 58         |    | 15:52 | 176                    | 104      | 179        |
| 7:37  | 74                     | 61       | 62         |    | 16:07 | 153                    | 97       | 149        |
| 7:52  | 78                     | 65       | 66         |    | 16:22 | 129                    | 90       | 119        |
| 8:07  | 129                    | 90       | 119        |    | 16:37 | 78                     | 65       | 66         |
| 8:22  | 153                    | 97       | 149        |    | 16:52 | 74                     | 61       | 62         |
| 8:37  | 176                    | 104      | 179        |    | 17:07 | 68                     | 56       | 58         |
| 8:52  | 199                    | 110      | 208        |    | 17:22 | 62                     | 52       | 53         |
| 9:07  | 222                    | 115      | 237        |    | 17:37 | 56                     | 46       | 47         |
| 9:22  | 243                    | 120      | 265        |    | 17:52 | 49                     | 41       | 42         |
| 9:37  | 263                    | 124      | 291        |    | 18:07 | 42                     | 35       | 35         |
| 9:52  | 281                    | 127      | 316        |    | 18:22 | 34                     | 28       | 29         |
| 10:07 | 298                    | 130      | 339        |    | 18:37 | 26                     | 21       | 22         |
| 10:22 | 314                    | 133      | 360        |    | 18:52 | 17                     | 14       | 15         |
| 10:37 | 328                    | 135      | 378        |    | 19:07 | 9                      | 7        | 7          |
| 10:52 | 339                    | 137      | 394        |    | 19:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 349                    | 138      | 408        |    | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 357                    | 139      | 419        |    | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 363                    | 140      | 427        |    | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 367                    | 140      | 432        |    | 20:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 370                    | 141      | 435        |    | 20:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 370                    | 141      | 435        | Wh | 2633  |                        |          | 2896       |
| 12:37 | 367                    | 140      | 432        |    |       |                        |          |            |
| 12:52 | 363                    | 140      | 427        |    |       |                        |          |            |
| 13:07 | 357                    | 139      | 419        |    |       |                        |          |            |
| 13:22 | 349                    | 138      | 408        |    |       |                        |          |            |
| 13:37 | 339                    | 137      | 394        |    |       |                        |          |            |

## Ιούνιος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |    | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|----|-------|------------------------|----------|------------|
| 5:07  | 8                      | 7        | 7          |    | 13:52 | 300                    | 120      | 319        |
| 5:22  | 16                     | 13       | 14         |    | 14:07 | 286                    | 118      | 302        |
| 5:37  | 24                     | 20       | 21         |    | 14:22 | 269                    | 116      | 283        |
| 5:52  | 32                     | 26       | 28         |    | 14:37 | 251                    | 113      | 262        |
| 6:07  | 39                     | 32       | 34         |    | 14:52 | 232                    | 110      | 239        |
| 6:22  | 46                     | 38       | 41         |    | 15:07 | 211                    | 106      | 214        |
| 6:37  | 52                     | 43       | 46         |    | 15:22 | 189                    | 102      | 189        |
| 6:52  | 58                     | 48       | 52         |    | 15:37 | 166                    | 97       | 162        |
| 7:07  | 64                     | 52       | 56         |    | 15:52 | 143                    | 92       | 134        |
| 7:22  | 69                     | 57       | 61         |    | 16:07 | 84                     | 70       | 75         |
| 7:37  | 73                     | 61       | 65         |    | 16:22 | 81                     | 67       | 72         |
| 7:52  | 77                     | 64       | 69         |    | 16:37 | 77                     | 64       | 69         |
| 8:07  | 81                     | 67       | 72         |    | 16:52 | 73                     | 61       | 65         |
| 8:22  | 84                     | 70       | 75         |    | 17:07 | 69                     | 57       | 61         |
| 8:37  | 143                    | 92       | 134        |    | 17:22 | 64                     | 52       | 56         |
| 8:52  | 166                    | 97       | 162        |    | 17:37 | 58                     | 48       | 52         |
| 9:07  | 189                    | 102      | 189        |    | 17:52 | 52                     | 43       | 46         |
| 9:22  | 211                    | 106      | 214        |    | 18:07 | 46                     | 38       | 41         |
| 9:37  | 232                    | 110      | 239        |    | 18:22 | 39                     | 32       | 34         |
| 9:52  | 251                    | 113      | 262        |    | 18:37 | 32                     | 26       | 28         |
| 10:07 | 269                    | 116      | 283        |    | 18:52 | 24                     | 20       | 21         |
| 10:22 | 286                    | 118      | 302        |    | 19:07 | 16                     | 13       | 14         |
| 10:37 | 300                    | 120      | 319        |    | 19:22 | 8                      | 7        | 7          |
| 10:52 | 313                    | 122      | 334        |    | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 323                    | 123      | 347        |    | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 332                    | 124      | 357        |    | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 338                    | 125      | 365        |    | 20:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 343                    | 125      | 370        | Wh |       | 2382                   |          | 2445,5     |
| 12:07 | 345                    | 126      | 373        |    |       |                        |          |            |
| 12:22 | 345                    | 126      | 373        |    |       |                        |          |            |
| 12:37 | 343                    | 125      | 370        |    |       |                        |          |            |
| 12:52 | 338                    | 125      | 365        |    |       |                        |          |            |
| 13:07 | 332                    | 124      | 357        |    |       |                        |          |            |
| 13:22 | 323                    | 123      | 347        |    |       |                        |          |            |
| 13:37 | 313                    | 122      | 334        |    |       |                        |          |            |

## Ιούλιος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |    | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|----|-------|------------------------|----------|------------|
| 5:07  | 4                      | 4        | 4          |    | 13:52 | 323                    | 122      | 344        |
| 5:22  | 13                     | 10       | 11         |    | 14:07 | 308                    | 120      | 326        |
| 5:37  | 21                     | 17       | 18         |    | 14:22 | 291                    | 117      | 306        |
| 5:52  | 28                     | 23       | 25         |    | 14:37 | 272                    | 114      | 285        |
| 6:07  | 36                     | 29       | 32         |    | 14:52 | 252                    | 111      | 261        |
| 6:22  | 42                     | 35       | 38         |    | 15:07 | 230                    | 107      | 236        |
| 6:37  | 49                     | 41       | 44         |    | 15:22 | 207                    | 103      | 209        |
| 6:52  | 55                     | 46       | 49         |    | 15:37 | 183                    | 98       | 182        |
| 7:07  | 61                     | 50       | 54         |    | 15:52 | 158                    | 93       | 153        |
| 7:22  | 66                     | 55       | 59         |    | 16:07 | 133                    | 87       | 125        |
| 7:37  | 71                     | 58       | 63         |    | 16:22 | 79                     | 65       | 70         |
| 7:52  | 75                     | 62       | 67         |    | 16:37 | 75                     | 62       | 67         |
| 8:07  | 79                     | 65       | 70         |    | 16:52 | 71                     | 58       | 63         |
| 8:22  | 133                    | 87       | 125        |    | 17:07 | 66                     | 55       | 59         |
| 8:37  | 158                    | 93       | 153        |    | 17:22 | 61                     | 50       | 54         |
| 8:52  | 183                    | 98       | 182        |    | 17:37 | 55                     | 46       | 49         |
| 9:07  | 207                    | 103      | 209        |    | 17:52 | 49                     | 41       | 44         |
| 9:22  | 230                    | 107      | 236        |    | 18:07 | 42                     | 35       | 38         |
| 9:37  | 252                    | 111      | 261        |    | 18:22 | 36                     | 29       | 32         |
| 9:52  | 272                    | 114      | 285        |    | 18:37 | 28                     | 23       | 25         |
| 10:07 | 291                    | 117      | 306        |    | 18:52 | 21                     | 17       | 18         |
| 10:22 | 308                    | 120      | 326        |    | 19:07 | 13                     | 10       | 11         |
| 10:37 | 323                    | 122      | 344        |    | 19:22 | 4                      | 4        | 4          |
| 10:52 | 336                    | 123      | 359        |    | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 348                    | 125      | 372        |    | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 356                    | 126      | 383        |    | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 363                    | 126      | 391        |    | 20:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 368                    | 127      | 396        | Wh | 2549  |                        | 2630,5   |            |
| 12:07 | 370                    | 127      | 399        |    |       |                        |          |            |
| 12:22 | 370                    | 127      | 399        |    |       |                        |          |            |
| 12:37 | 368                    | 127      | 396        |    |       |                        |          |            |
| 12:52 | 363                    | 126      | 391        |    |       |                        |          |            |
| 13:07 | 356                    | 126      | 383        |    |       |                        |          |            |
| 13:22 | 348                    | 125      | 372        |    |       |                        |          |            |
| 13:37 | 336                    | 123      | 359        |    |       |                        |          |            |

## Αύγουστος

| Time  | G (90°) W | Gdiffuse | Gclear-sky |    | Time  | G (90°) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|-----------|----------|------------|----|-------|-----------|----------|------------|
| 5:37  | 6         | 5        | 6          |    | 13:52 | 403       | 133      | 439        |
| 5:52  | 15        | 12       | 14         |    | 14:07 | 386       | 131      | 420        |
| 6:07  | 23        | 19       | 21         |    | 14:22 | 367       | 128      | 398        |
| 6:22  | 31        | 25       | 28         |    | 14:37 | 346       | 125      | 373        |
| 6:37  | 38        | 31       | 35         |    | 14:52 | 323       | 121      | 347        |
| 6:52  | 45        | 37       | 41         |    | 15:07 | 298       | 117      | 319        |
| 7:07  | 51        | 42       | 47         |    | 15:22 | 272       | 112      | 289        |
| 7:22  | 57        | 47       | 53         |    | 15:37 | 244       | 106      | 258        |
| 7:37  | 102       | 69       | 99         |    | 15:52 | 216       | 100      | 226        |
| 7:52  | 129       | 78       | 129        |    | 16:07 | 187       | 93       | 193        |
| 8:07  | 158       | 86       | 161        |    | 16:22 | 158       | 86       | 161        |
| 8:22  | 187       | 93       | 193        |    | 16:37 | 129       | 78       | 129        |
| 8:37  | 216       | 100      | 226        |    | 16:52 | 102       | 69       | 99         |
| 8:52  | 244       | 106      | 258        |    | 17:07 | 57        | 47       | 53         |
| 9:07  | 272       | 112      | 289        |    | 17:22 | 51        | 42       | 47         |
| 9:22  | 298       | 117      | 319        |    | 17:37 | 45        | 37       | 41         |
| 9:37  | 323       | 121      | 347        |    | 17:52 | 38        | 31       | 35         |
| 9:52  | 346       | 125      | 373        |    | 18:07 | 31        | 25       | 28         |
| 10:07 | 367       | 128      | 398        |    | 18:22 | 23        | 19       | 21         |
| 10:22 | 386       | 131      | 420        |    | 18:37 | 15        | 12       | 14         |
| 10:37 | 403       | 133      | 439        |    | 18:52 | 6         | 5        | 6          |
| 10:52 | 418       | 135      | 456        |    | 19:07 | 0         | 0        | 0          |
| 11:07 | 431       | 137      | 471        |    | 19:22 | 0         | 0        | 0          |
| 11:22 | 441       | 138      | 482        |    | 19:37 | 0         | 0        | 0          |
| 11:37 | 448       | 139      | 491        |    | 19:52 | 0         | 0        | 0          |
| 11:52 | 453       | 139      | 497        |    | 20:07 | 0         | 0        | 0          |
| 12:07 | 456       | 139      | 500        |    | 20:22 | 0         | 0        | 0          |
| 12:22 | 456       | 139      | 500        | Wh |       | 3172      |          | 3396,5     |
| 12:37 | 453       | 139      | 497        |    |       |           |          |            |
| 12:52 | 448       | 139      | 491        |    |       |           |          |            |
| 13:07 | 441       | 138      | 482        |    |       |           |          |            |
| 13:22 | 431       | 137      | 471        |    |       |           |          |            |
| 13:37 | 418       | 135      | 456        |    |       |           |          |            |

## Σεπτέμβριος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |    | Time    | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|----|---------|------------------------|----------|------------|
| 6:07  | 3                      | 3        | 3          |    | 13:52   | 496                    | 139      | 560        |
| 6:22  | 12                     | 10       | 11         |    | 14:07   | 477                    | 136      | 538        |
| 6:37  | 30                     | 23       | 30         |    | 14:22   | 455                    | 133      | 512        |
| 6:52  | 52                     | 34       | 54         |    | 14:37   | 430                    | 129      | 484        |
| 7:07  | 78                     | 44       | 83         |    | 14:52   | 403                    | 125      | 453        |
| 7:22  | 108                    | 55       | 116        |    | 15:07   | 374                    | 120      | 420        |
| 7:37  | 140                    | 65       | 153        |    | 15:22   | 344                    | 114      | 385        |
| 7:52  | 174                    | 75       | 191        |    | 15:37   | 312                    | 108      | 348        |
| 8:07  | 209                    | 85       | 230        |    | 15:52   | 278                    | 101      | 309        |
| 8:22  | 244                    | 93       | 270        |    | 16:07   | 244                    | 93       | 270        |
| 8:37  | 278                    | 101      | 309        |    | 16:22   | 209                    | 85       | 230        |
| 8:52  | 312                    | 108      | 348        |    | 16:37   | 174                    | 75       | 191        |
| 9:07  | 344                    | 114      | 385        |    | 16:52   | 140                    | 65       | 153        |
| 9:22  | 374                    | 120      | 420        |    | 17:07   | 108                    | 55       | 116        |
| 9:37  | 403                    | 125      | 453        |    | 17:22   | 78                     | 44       | 83         |
| 9:52  | 430                    | 129      | 484        |    | 17:37   | 27                     | 22       | 26         |
| 10:07 | 455                    | 133      | 512        |    | 17:52   | 20                     | 16       | 19         |
| 10:22 | 477                    | 136      | 538        |    | 18:07   | 12                     | 10       | 11         |
| 10:37 | 496                    | 139      | 560        |    | 18:22   | 3                      | 3        | 3          |
| 10:52 | 513                    | 141      | 580        |    | 18:37   | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 528                    | 142      | 596        |    | 18:52   | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 539                    | 144      | 610        |    | 19:07   | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 548                    | 145      | 620        |    | 19:22   | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 554                    | 145      | 627        |    | 19:37   | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 557                    | 146      | 630        |    | 19:52   | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 557                    | 146      | 630        |    | 20:07   | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37 | 554                    | 145      | 627        |    | 20:22   | 0                      | 0        | 0          |
| 12:52 | 548                    | 145      | 620        |    | 20:37   | 0                      | 0        | 0          |
| 13:07 | 539                    | 144      | 610        | Wh | 3920,25 |                        |          | 4396,75    |
| 13:22 | 528                    | 142      | 596        |    |         |                        |          |            |
| 13:37 | 513                    | 141      | 580        |    |         |                        |          |            |

## Οκτώβριος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |  | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|--|-------|------------------------|----------|------------|
| 6:52  | 24                     | 13       | 28         |  | 13:52 | 477                    | 142      | 656        |
| 7:07  | 53                     | 27       | 65         |  | 14:07 | 459                    | 139      | 630        |
| 7:22  | 88                     | 41       | 112        |  | 14:22 | 438                    | 136      | 601        |
| 7:37  | 125                    | 54       | 162        |  | 14:37 | 415                    | 131      | 568        |
| 7:52  | 162                    | 66       | 212        |  | 14:52 | 390                    | 126      | 532        |
| 8:07  | 198                    | 78       | 263        |  | 15:07 | 363                    | 120      | 493        |
| 8:22  | 234                    | 88       | 312        |  | 15:22 | 333                    | 113      | 451        |
| 8:37  | 269                    | 97       | 361        |  | 15:37 | 302                    | 106      | 407        |
| 8:52  | 302                    | 106      | 407        |  | 15:52 | 269                    | 97       | 361        |
| 9:07  | 333                    | 113      | 451        |  | 16:07 | 234                    | 88       | 312        |
| 9:22  | 363                    | 120      | 493        |  | 16:22 | 198                    | 78       | 263        |
| 9:37  | 390                    | 126      | 532        |  | 16:37 | 162                    | 66       | 212        |
| 9:52  | 415                    | 131      | 568        |  | 16:52 | 32                     | 26       | 28         |
| 10:07 | 438                    | 136      | 601        |  | 17:07 | 25                     | 21       | 22         |
| 10:22 | 459                    | 139      | 630        |  | 17:22 | 18                     | 15       | 16         |
| 10:37 | 477                    | 142      | 656        |  | 17:37 | 10                     | 8        | 9          |
| 10:52 | 492                    | 145      | 679        |  | 17:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 505                    | 147      | 697        |  | 18:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 516                    | 149      | 712        |  | 18:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 524                    | 150      | 724        |  | 18:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 529                    | 151      | 731        |  | 18:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 531                    | 151      | 735        |  | 19:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 531                    | 151      | 735        |  | 19:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37 | 529                    | 151      | 731        |  | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:52 | 524                    | 150      | 724        |  | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:07 | 516                    | 149      | 712        |  | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:22 | 505                    | 147      | 697        |  | 20:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:37 | 492                    | 145      | 679        |  | 20:37 | 0                      | 0        | 0          |
|       |                        |          |            |  | Wh    | 3662,25                |          | 4992,5     |

## Νοέμβριος

| Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |  | Time  | G (90 <sup>0</sup> ) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|------------------------|----------|------------|--|-------|------------------------|----------|------------|
| 6:52  | 0                      | 0        | 0          |  | 13:52 | 400                    | 123      | 702        |
| 7:07  | 0                      | 0        | 0          |  | 14:07 | 384                    | 119      | 673        |
| 7:22  | 29                     | 12       | 45         |  | 14:22 | 366                    | 115      | 640        |
| 7:37  | 62                     | 27       | 101        |  | 14:37 | 345                    | 111      | 603        |
| 7:52  | 103                    | 43       | 171        |  | 14:52 | 323                    | 105      | 562        |
| 8:07  | 140                    | 55       | 236        |  | 15:07 | 298                    | 99       | 517        |
| 8:22  | 176                    | 66       | 300        |  | 15:22 | 270                    | 92       | 468        |
| 8:37  | 210                    | 76       | 359        |  | 15:37 | 241                    | 85       | 416        |
| 8:52  | 241                    | 85       | 416        |  | 15:52 | 210                    | 76       | 359        |
| 9:07  | 270                    | 92       | 468        |  | 16:07 | 34                     | 28       | 29         |
| 9:22  | 298                    | 99       | 517        |  | 16:22 | 28                     | 23       | 24         |
| 9:37  | 323                    | 105      | 562        |  | 16:37 | 22                     | 18       | 19         |
| 9:52  | 345                    | 111      | 603        |  | 16:52 | 16                     | 13       | 14         |
| 10:07 | 366                    | 115      | 640        |  | 17:07 | 9                      | 7        | 8          |
| 10:22 | 384                    | 119      | 673        |  | 17:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 10:37 | 400                    | 123      | 702        |  | 17:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 10:52 | 413                    | 125      | 727        |  | 17:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:07 | 425                    | 128      | 748        |  | 18:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:22 | 434                    | 129      | 765        |  | 18:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:37 | 441                    | 131      | 778        |  | 18:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 11:52 | 445                    | 131      | 786        |  | 18:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:07 | 448                    | 132      | 790        |  | 19:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:22 | 448                    | 132      | 790        |  | 19:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:37 | 445                    | 131      | 786        |  | 19:37 | 0                      | 0        | 0          |
| 12:52 | 441                    | 131      | 778        |  | 19:52 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:07 | 434                    | 129      | 765        |  | 20:07 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:22 | 425                    | 128      | 748        |  | 20:22 | 0                      | 0        | 0          |
| 13:37 | 413                    | 125      | 727        |  | 20:37 | 0                      | 0        | 0          |
|       |                        |          |            |  | Wh    | 2876,25                |          | 5003,75    |



## Δεκέμβριος

| Time  | G (90°) W | Gdiffuse | Gclear-sky |  | Time   | G (90°) W | Gdiffuse | Gclear-sky |
|-------|-----------|----------|------------|--|--------|-----------|----------|------------|
| 6:52  | 0         | 0        | 0          |  | 13:52  | 379       | 115      | 722        |
| 7:07  | 0         | 0        | 0          |  | 14:07  | 363       | 112      | 691        |
| 7:22  | 0         | 0        | 0          |  | 14:22  | 345       | 107      | 656        |
| 7:37  | 33        | 12       | 57         |  | 14:37  | 325       | 103      | 616        |
| 7:52  | 68        | 26       | 122        |  | 14:52  | 302       | 97       | 572        |
| 8:07  | 112       | 45       | 205        |  | 15:07  | 277       | 91       | 523        |
| 8:22  | 151       | 56       | 278        |  | 15:22  | 250       | 84       | 469        |
| 8:37  | 186       | 67       | 347        |  | 15:37  | 219       | 76       | 411        |
| 8:52  | 219       | 76       | 411        |  | 15:52  | 31        | 26       | 25         |
| 9:07  | 250       | 84       | 469        |  | 16:07  | 26        | 22       | 21         |
| 9:22  | 277       | 91       | 523        |  | 16:22  | 21        | 17       | 17         |
| 9:37  | 302       | 97       | 572        |  | 16:37  | 15        | 12       | 12         |
| 9:52  | 325       | 103      | 616        |  | 16:52  | 8         | 7        | 7          |
| 10:07 | 345       | 107      | 656        |  | 17:07  | 0         | 0        | 0          |
| 10:22 | 363       | 112      | 691        |  | 17:22  | 0         | 0        | 0          |
| 10:37 | 379       | 115      | 722        |  | 17:37  | 0         | 0        | 0          |
| 10:52 | 392       | 118      | 748        |  | 17:52  | 0         | 0        | 0          |
| 11:07 | 403       | 120      | 770        |  | 18:07  | 0         | 0        | 0          |
| 11:22 | 412       | 122      | 788        |  | 18:22  | 0         | 0        | 0          |
| 11:37 | 419       | 123      | 801        |  | 18:37  | 0         | 0        | 0          |
| 11:52 | 423       | 124      | 810        |  | 18:52  | 0         | 0        | 0          |
| 12:07 | 426       | 124      | 814        |  | 19:07  | 0         | 0        | 0          |
| 12:22 | 426       | 124      | 814        |  | 19:22  | 0         | 0        | 0          |
| 12:37 | 423       | 124      | 810        |  | 19:37  | 0         | 0        | 0          |
| 12:52 | 419       | 123      | 801        |  | 19:52  | 0         | 0        | 0          |
| 13:07 | 412       | 122      | 788        |  | 20:07  | 0         | 0        | 0          |
| 13:22 | 403       | 120      | 770        |  | 20:22  | 0         | 0        | 0          |
| 13:37 | 392       | 118      | 748        |  | 20:37  | 0         | 0        | 0          |
|       |           |          |            |  | Wh/day | 2630,25   |          | 4968,25    |

## Πίνακες υπολογισμού αυτονομίας φωτιστικού 48W με 2 φ/β PVL-62

### Ιανουάριος

| Με 2 PV inclination=90 <sup>0</sup> orientation=0 <sup>0</sup> , -45 <sup>0</sup> |                          |                       |                       |                                     |                                    |
|---|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Ημερομηνία  | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτ φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
| 1-Ιαν   | 865                      | 805                   | 194                   | 14,46                               | 0,62                               |
| 2-Ιαν   | 866                      | 806                   | 194                   | 14,44                               | 0,62                               |
| 3-Ιαν   | 865                      | 805                   | 194                   | 14,46                               | 0,62                               |
| 4-Ιαν   | 864                      | 804                   | 194                   | 14,48                               | 0,62                               |
| 5-Ιαν   | 863                      | 803                   | 194                   | 14,50                               | 0,62                               |
| 6-Ιαν   | 862                      | 802                   | 194                   | 14,51                               | 0,62                               |
| 7-Ιαν   | 861                      | 801                   | 194                   | 14,53                               | 0,62                               |
| 8-Ιαν   | 860                      | 800                   | 194                   | 14,55                               | 0,62                               |
| 9-Ιαν   | 859                      | 799                   | 194                   | 14,57                               | 0,62                               |
| 10-Ιαν  | 858                      | 798                   | 194                   | 14,59                               | 0,62                               |
| 11-Ιαν  | 858                      | 798                   | 194                   | 14,59                               | 0,62                               |
| 12-Ιαν  | 856                      | 796                   | 194                   | 14,62                               | 0,63                               |
| 13-Ιαν  | 855                      | 795                   | 194                   | 14,64                               | 0,63                               |
| 14-Ιαν  | 854                      | 794                   | 194                   | 14,66                               | 0,63                               |
| 15-Ιαν  | 853                      | 793                   | 194                   | 14,68                               | 0,63                               |
| 16-Ιαν  | 851                      | 791                   | 194                   | 14,72                               | 0,63                               |
| 17-Ιαν  | 849                      | 789                   | 194                   | 14,75                               | 0,63                               |
| 18-Ιαν  | 848                      | 788                   | 194                   | 14,77                               | 0,63                               |
| 19-Ιαν  | 846                      | 786                   | 194                   | 14,81                               | 0,63                               |
| 20-Ιαν  | 845                      | 785                   | 194                   | 14,83                               | 0,64                               |
| 21-Ιαν  | 843                      | 783                   | 194                   | 14,87                               | 0,64                               |
| 22-Ιαν  | 842                      | 782                   | 194                   | 14,88                               | 0,64                               |
| 23-Ιαν  | 840                      | 780                   | 194                   | 14,92                               | 0,64                               |
| 24-Ιαν  | 839                      | 779                   | 194                   | 14,94                               | 0,64                               |
| 25-Ιαν  | 837                      | 777                   | 194                   | 14,98                               | 0,64                               |
| 26-Ιαν  | 835                      | 775                   | 194                   | 15,02                               | 0,64                               |
| 27-Ιαν  | 834                      | 774                   | 194                   | 15,04                               | 0,64                               |
| 28-Ιαν  | 831                      | 771                   | 194                   | 15,10                               | 0,65                               |
| 29-Ιαν  | 829                      | 769                   | 194                   | 15,14                               | 0,65                               |
| 30-Ιαν  | 827                      | 767                   | 194                   | 15,18                               | 0,65                               |
| 31-Ιαν  | 826                      | 766                   | 194                   | 15,20                               | 0,65                               |

## Φεβρουάριος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτ φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Φεβ      | 824                      | 764                   | 197                   | 15,47                               | 0,66                               |
| 2-Φεβ      | 822                      | 762                   | 197                   | 15,51                               | 0,66                               |
| 3-Φεβ      | 820                      | 760                   | 197                   | 15,55                               | 0,67                               |
| 4-Φεβ      | 818                      | 758                   | 197                   | 15,59                               | 0,67                               |
| 5-Φεβ      | 815                      | 755                   | 197                   | 15,66                               | 0,67                               |
| 6-Φεβ      | 813                      | 753                   | 197                   | 15,70                               | 0,67                               |
| 7-Φεβ      | 811                      | 751                   | 197                   | 15,74                               | 0,67                               |
| 8-Φεβ      | 809                      | 749                   | 197                   | 15,78                               | 0,68                               |
| 9-Φεβ      | 807                      | 747                   | 197                   | 15,82                               | 0,68                               |
| 10-Φεβ     | 805                      | 745                   | 197                   | 15,87                               | 0,68                               |
| 11-Φεβ     | 803                      | 743                   | 197                   | 15,91                               | 0,68                               |
| 12-Φεβ     | 801                      | 741                   | 197                   | 15,95                               | 0,68                               |
| 13-Φεβ     | 799                      | 739                   | 197                   | 15,99                               | 0,69                               |
| 14-Φεβ     | 796                      | 736                   | 197                   | 16,06                               | 0,69                               |
| 15-Φεβ     | 794                      | 734                   | 197                   | 16,10                               | 0,69                               |
| 16-Φεβ     | 792                      | 732                   | 197                   | 16,15                               | 0,69                               |
| 17-Φεβ     | 789                      | 729                   | 197                   | 16,21                               | 0,69                               |
| 18-Φεβ     | 787                      | 727                   | 197                   | 16,26                               | 0,70                               |
| 19-Φεβ     | 785                      | 725                   | 197                   | 16,30                               | 0,70                               |
| 20-Φεβ     | 783                      | 723                   | 197                   | 16,35                               | 0,70                               |
| 21-Φεβ     | 781                      | 721                   | 197                   | 16,39                               | 0,70                               |
| 22-Φεβ     | 778                      | 718                   | 197                   | 16,46                               | 0,71                               |
| 23-Φεβ     | 776                      | 716                   | 197                   | 16,51                               | 0,71                               |
| 24-Φεβ     | 773                      | 713                   | 197                   | 16,58                               | 0,71                               |
| 25-Φεβ     | 771                      | 711                   | 197                   | 16,62                               | 0,71                               |
| 26-Φεβ     | 769                      | 709                   | 197                   | 16,67                               | 0,71                               |
| 27-Φεβ     | 766                      | 706                   | 197                   | 16,74                               | 0,72                               |
| 28-Φεβ     | 764                      | 704                   | 197                   | 16,79                               | 0,72                               |
| 29-Φεβ     | 762                      | 702                   | 197                   | 16,84                               | 0,72                               |

## Μάρτιος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτουργ. φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφόρτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Μαρ      | 759                      | 699                        | 223                   | 19,14                               | 0,82                               |
| 2-Μαρ      | 757                      | 697                        | 223                   | 19,20                               | 0,82                               |
| 3-Μαρ      | 754                      | 694                        | 223                   | 19,28                               | 0,83                               |
| 4-Μαρ      | 752                      | 692                        | 223                   | 19,34                               | 0,83                               |
| 5-Μαρ      | 750                      | 690                        | 223                   | 19,39                               | 0,83                               |
| 6-Μαρ      | 747                      | 687                        | 223                   | 19,48                               | 0,83                               |
| 7-Μαρ      | 745                      | 685                        | 223                   | 19,53                               | 0,84                               |
| 8-Μαρ      | 742                      | 682                        | 223                   | 19,62                               | 0,84                               |
| 9-Μαρ      | 740                      | 680                        | 223                   | 19,68                               | 0,84                               |
| 10-Μαρ     | 737                      | 677                        | 223                   | 19,76                               | 0,85                               |
| 11-Μαρ     | 735                      | 675                        | 223                   | 19,82                               | 0,85                               |
| 12-Μαρ     | 732                      | 672                        | 223                   | 19,91                               | 0,85                               |
| 13-Μαρ     | 730                      | 670                        | 223                   | 19,97                               | 0,86                               |
| 14-Μαρ     | 727                      | 667                        | 223                   | 20,06                               | 0,86                               |
| 15-Μαρ     | 725                      | 665                        | 223                   | 20,12                               | 0,86                               |
| 16-Μαρ     | 722                      | 662                        | 223                   | 20,21                               | 0,87                               |
| 17-Μαρ     | 720                      | 660                        | 223                   | 20,27                               | 0,87                               |
| 18-Μαρ     | 717                      | 657                        | 223                   | 20,37                               | 0,87                               |
| 19-Μαρ     | 715                      | 655                        | 223                   | 20,43                               | 0,87                               |
| 20-Μαρ     | 712                      | 652                        | 223                   | 20,52                               | 0,88                               |
| 21-Μαρ     | 710                      | 650                        | 223                   | 20,58                               | 0,88                               |
| 22-Μαρ     | 707                      | 647                        | 223                   | 20,68                               | 0,89                               |
| 23-Μαρ     | 704                      | 644                        | 223                   | 20,78                               | 0,89                               |
| 24-Μαρ     | 702                      | 642                        | 223                   | 20,84                               | 0,89                               |
| 25-Μαρ     | 699                      | 639                        | 223                   | 20,94                               | 0,90                               |
| 26-Μαρ     | 697                      | 637                        | 223                   | 21,00                               | 0,90                               |
| 27-Μαρ     | 695                      | 635                        | 223                   | 21,07                               | 0,90                               |
| 28-Μαρ     | 693                      | 633                        | 223                   | 21,14                               | 0,91                               |
| 29-Μαρ     | 690                      | 630                        | 223                   | 21,24                               | 0,91                               |
| 30-Μαρ     | 688                      | 628                        | 223                   | 21,31                               | 0,91                               |
| 31-Μαρ     | 685                      | 625                        | 223                   | 21,41                               | 0,92                               |

## Απρίλιος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτουργ. φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Απρ      | 683                      | 623                        | 227                   | 21,86                               | 0,94                               |
| 2-Απρ      | 680                      | 620                        | 227                   | 21,97                               | 0,94                               |
| 3-Απρ      | 678                      | 618                        | 227                   | 22,04                               | 0,94                               |
| 4-Απρ      | 675                      | 615                        | 227                   | 22,15                               | 0,95                               |
| 5-Απρ      | 673                      | 613                        | 227                   | 22,22                               | 0,95                               |
| 6-Απρ      | 670                      | 610                        | 227                   | 22,33                               | 0,96                               |
| 7-Απρ      | 668                      | 608                        | 227                   | 22,40                               | 0,96                               |
| 8-Απρ      | 665                      | 605                        | 227                   | 22,51                               | 0,96                               |
| 9-Απρ      | 664                      | 604                        | 227                   | 22,55                               | 0,97                               |
| 10-Απρ     | 661                      | 601                        | 227                   | 22,66                               | 0,97                               |
| 11-Απρ     | 659                      | 599                        | 227                   | 22,74                               | 0,97                               |
| 12-Απρ     | 656                      | 596                        | 227                   | 22,85                               | 0,98                               |
| 13-Απρ     | 654                      | 594                        | 227                   | 22,93                               | 0,98                               |
| 14-Απρ     | 652                      | 592                        | 227                   | 23,01                               | 0,99                               |
| 15-Απρ     | 649                      | 589                        | 227                   | 23,12                               | 0,99                               |
| 16-Απρ     | 647                      | 587                        | 227                   | 23,20                               | 0,99                               |
| 17-Απρ     | 644                      | 584                        | 227                   | 23,32                               | 1,00                               |
| 18-Απρ     | 642                      | 582                        | 227                   | 23,40                               | 1,00                               |
| 19-Απρ     | 640                      | 580                        | 227                   | 23,48                               | 1,01                               |
| 20-Απρ     | 637                      | 577                        | 227                   | 23,60                               | 1,01                               |
| 21-Απρ     | 635                      | 575                        | 227                   | 23,69                               | 1,01                               |
| 22-Απρ     | 633                      | 573                        | 227                   | 23,77                               | 1,02                               |
| 23-Απρ     | 631                      | 571                        | 227                   | 23,85                               | 1,02                               |
| 24-Απρ     | 629                      | 569                        | 227                   | 23,94                               | 1,03                               |
| 25-Απρ     | 627                      | 567                        | 227                   | 24,02                               | 1,03                               |
| 26-Απρ     | 624                      | 564                        | 227                   | 24,15                               | 1,03                               |
| 27-Απρ     | 622                      | 562                        | 227                   | 24,23                               | 1,04                               |
| 28-Απρ     | 620                      | 560                        | 227                   | 24,32                               | 1,04                               |
| 29-Απρ     | 618                      | 558                        | 227                   | 24,41                               | 1,05                               |
| 30-Απρ     | 616                      | 556                        | 227                   | 24,50                               | 1,05                               |

## Μάιος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτ φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Μαϊ      | 613                      | 553                   | 208                   | 22,57                               | 0,97                               |
| 2-Μαϊ      | 611                      | 551                   | 208                   | 22,65                               | 0,97                               |
| 3-Μαϊ      | 609                      | 549                   | 208                   | 22,73                               | 0,97                               |
| 4-Μαϊ      | 607                      | 547                   | 208                   | 22,82                               | 0,98                               |
| 5-Μαϊ      | 605                      | 545                   | 208                   | 22,90                               | 0,98                               |
| 6-Μαϊ      | 604                      | 544                   | 208                   | 22,94                               | 0,98                               |
| 7-Μαϊ      | 602                      | 542                   | 208                   | 23,03                               | 0,99                               |
| 8-Μαϊ      | 600                      | 540                   | 208                   | 23,11                               | 0,99                               |
| 9-Μαϊ      | 598                      | 538                   | 208                   | 23,20                               | 0,99                               |
| 10-Μαϊ     | 596                      | 536                   | 208                   | 23,28                               | 1,00                               |
| 11-Μαϊ     | 594                      | 534                   | 208                   | 23,37                               | 1,00                               |
| 12-Μαϊ     | 592                      | 532                   | 208                   | 23,46                               | 1,00                               |
| 13-Μαϊ     | 590                      | 530                   | 208                   | 23,55                               | 1,01                               |
| 14-Μαϊ     | 588                      | 528                   | 208                   | 23,64                               | 1,01                               |
| 15-Μαϊ     | 586                      | 526                   | 208                   | 23,73                               | 1,02                               |
| 16-Μαϊ     | 585                      | 525                   | 208                   | 23,77                               | 1,02                               |
| 17-Μαϊ     | 583                      | 523                   | 208                   | 23,86                               | 1,02                               |
| 18-Μαϊ     | 582                      | 522                   | 208                   | 23,91                               | 1,02                               |
| 19-Μαϊ     | 580                      | 520                   | 208                   | 24,00                               | 1,03                               |
| 20-Μαϊ     | 578                      | 518                   | 208                   | 24,09                               | 1,03                               |
| 21-Μαϊ     | 576                      | 516                   | 208                   | 24,19                               | 1,04                               |
| 22-Μαϊ     | 575                      | 515                   | 208                   | 24,23                               | 1,04                               |
| 23-Μαϊ     | 574                      | 514                   | 208                   | 24,28                               | 1,04                               |
| 24-Μαϊ     | 573                      | 513                   | 208                   | 24,33                               | 1,04                               |
| 25-Μαϊ     | 571                      | 511                   | 208                   | 24,42                               | 1,05                               |
| 26-Μαϊ     | 569                      | 509                   | 208                   | 24,52                               | 1,05                               |
| 27-Μαϊ     | 569                      | 509                   | 208                   | 24,52                               | 1,05                               |
| 28-Μαϊ     | 567                      | 507                   | 208                   | 24,62                               | 1,05                               |
| 29-Μαϊ     | 566                      | 506                   | 208                   | 24,66                               | 1,06                               |
| 30-Μαϊ     | 564                      | 504                   | 208                   | 24,76                               | 1,06                               |
| 31-Μαϊ     | 564                      | 504                   | 208                   | 24,76                               | 1,06                               |

## Ιούνιος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτ φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Ιουν     | 563                      | 503                   | 201                   | 23,98                               | 1,03                               |
| 2-Ιουν     | 561                      | 501                   | 201                   | 24,07                               | 1,03                               |
| 3-Ιουν     | 561                      | 501                   | 201                   | 24,07                               | 1,03                               |
| 4-Ιουν     | 560                      | 500                   | 201                   | 24,12                               | 1,03                               |
| 5-Ιουν     | 558                      | 498                   | 201                   | 24,22                               | 1,04                               |
| 6-Ιουν     | 558                      | 498                   | 201                   | 24,22                               | 1,04                               |
| 7-Ιουν     | 557                      | 497                   | 201                   | 24,27                               | 1,04                               |
| 8-Ιουν     | 557                      | 497                   | 201                   | 24,27                               | 1,04                               |
| 9-Ιουν     | 556                      | 496                   | 201                   | 24,31                               | 1,04                               |
| 10-Ιουν    | 555                      | 495                   | 201                   | 24,36                               | 1,04                               |
| 11-Ιουν    | 554                      | 494                   | 201                   | 24,41                               | 1,05                               |
| 12-Ιουν    | 554                      | 494                   | 201                   | 24,41                               | 1,05                               |
| 13-Ιουν    | 553                      | 493                   | 201                   | 24,46                               | 1,05                               |
| 14-Ιουν    | 553                      | 493                   | 201                   | 24,46                               | 1,05                               |
| 15-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 16-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 17-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 18-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 19-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 20-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 21-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 22-Ιουν    | 551                      | 491                   | 201                   | 24,56                               | 1,05                               |
| 23-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 24-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 25-Ιουν    | 552                      | 492                   | 201                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 26-Ιουν    | 553                      | 493                   | 201                   | 24,46                               | 1,05                               |
| 27-Ιουν    | 553                      | 493                   | 201                   | 24,46                               | 1,05                               |
| 28-Ιουν    | 553                      | 493                   | 201                   | 24,46                               | 1,05                               |
| 29-Ιουν    | 554                      | 494                   | 201                   | 24,41                               | 1,05                               |
| 30-Ιουν    | 554                      | 494                   | 201                   | 24,41                               | 1,05                               |

## Ιούλιος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτουργ. φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφόρτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Ιουλ     | 555                      | 495                        | 210                   | 25,45                               | 1,09                               |
| 2-Ιουλ     | 555                      | 495                        | 210                   | 25,45                               | 1,09                               |
| 3-Ιουλ     | 556                      | 496                        | 210                   | 25,40                               | 1,09                               |
| 4-Ιουλ     | 556                      | 496                        | 210                   | 25,40                               | 1,09                               |
| 5-Ιουλ     | 557                      | 497                        | 210                   | 25,35                               | 1,09                               |
| 6-Ιουλ     | 558                      | 498                        | 210                   | 25,30                               | 1,08                               |
| 7-Ιουλ     | 559                      | 499                        | 210                   | 25,25                               | 1,08                               |
| 8-Ιουλ     | 559                      | 499                        | 210                   | 25,25                               | 1,08                               |
| 9-Ιουλ     | 561                      | 501                        | 210                   | 25,15                               | 1,08                               |
| 10-Ιουλ    | 562                      | 502                        | 210                   | 25,10                               | 1,08                               |
| 11-Ιουλ    | 562                      | 502                        | 210                   | 25,10                               | 1,08                               |
| 12-Ιουλ    | 564                      | 504                        | 210                   | 25,00                               | 1,07                               |
| 13-Ιουλ    | 565                      | 505                        | 210                   | 24,95                               | 1,07                               |
| 14-Ιουλ    | 566                      | 506                        | 210                   | 24,90                               | 1,07                               |
| 15-Ιουλ    | 567                      | 507                        | 210                   | 24,85                               | 1,06                               |
| 16-Ιουλ    | 569                      | 509                        | 210                   | 24,75                               | 1,06                               |
| 17-Ιουλ    | 569                      | 509                        | 210                   | 24,75                               | 1,06                               |
| 18-Ιουλ    | 571                      | 511                        | 210                   | 24,66                               | 1,06                               |
| 19-Ιουλ    | 572                      | 512                        | 210                   | 24,61                               | 1,05                               |
| 20-Ιουλ    | 574                      | 514                        | 210                   | 24,51                               | 1,05                               |
| 21-Ιουλ    | 575                      | 515                        | 210                   | 24,47                               | 1,05                               |
| 22-Ιουλ    | 576                      | 516                        | 210                   | 24,42                               | 1,05                               |
| 23-Ιουλ    | 578                      | 518                        | 210                   | 24,32                               | 1,04                               |
| 24-Ιουλ    | 580                      | 520                        | 210                   | 24,23                               | 1,04                               |
| 25-Ιουλ    | 582                      | 522                        | 210                   | 24,14                               | 1,03                               |
| 26-Ιουλ    | 582                      | 522                        | 210                   | 24,14                               | 1,03                               |
| 27-Ιουλ    | 584                      | 524                        | 210                   | 24,05                               | 1,03                               |
| 28-Ιουλ    | 586                      | 526                        | 210                   | 23,95                               | 1,03                               |
| 29-Ιουλ    | 588                      | 528                        | 210                   | 23,86                               | 1,02                               |
| 30-Ιουλ    | 590                      | 530                        | 210                   | 23,77                               | 1,02                               |
| 31-Ιουλ    | 592                      | 532                        | 210                   | 23,68                               | 1,01                               |



## Αύγουστος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτ φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Αυγ      | 594                      | 534                   | 240                   | 26,97                               | 1,16                               |
| 2-Αυγ      | 595                      | 535                   | 240                   | 26,92                               | 1,15                               |
| 3-Αυγ      | 597                      | 537                   | 240                   | 26,82                               | 1,15                               |
| 4-Αυγ      | 599                      | 539                   | 240                   | 26,72                               | 1,14                               |
| 5-Αυγ      | 601                      | 541                   | 240                   | 26,62                               | 1,14                               |
| 6-Αυγ      | 603                      | 543                   | 240                   | 26,52                               | 1,14                               |
| 7-Αυγ      | 605                      | 545                   | 240                   | 26,42                               | 1,13                               |
| 8-Αυγ      | 607                      | 547                   | 240                   | 26,33                               | 1,13                               |
| 9-Αυγ      | 608                      | 548                   | 240                   | 26,28                               | 1,13                               |
| 10-Αυγ     | 611                      | 551                   | 240                   | 26,13                               | 1,12                               |
| 11-Αυγ     | 613                      | 553                   | 240                   | 26,04                               | 1,12                               |
| 12-Αυγ     | 615                      | 555                   | 240                   | 25,95                               | 1,11                               |
| 13-Αυγ     | 617                      | 557                   | 240                   | 25,85                               | 1,11                               |
| 14-Αυγ     | 619                      | 559                   | 240                   | 25,76                               | 1,10                               |
| 15-Αυγ     | 622                      | 562                   | 240                   | 25,62                               | 1,10                               |
| 16-Αυγ     | 624                      | 564                   | 240                   | 25,53                               | 1,09                               |
| 17-Αυγ     | 625                      | 565                   | 240                   | 25,49                               | 1,09                               |
| 18-Αυγ     | 627                      | 567                   | 240                   | 25,40                               | 1,09                               |
| 19-Αυγ     | 630                      | 570                   | 240                   | 25,26                               | 1,08                               |
| 20-Αυγ     | 632                      | 572                   | 240                   | 25,17                               | 1,08                               |
| 21-Αυγ     | 634                      | 574                   | 240                   | 25,09                               | 1,07                               |
| 22-Αυγ     | 637                      | 577                   | 240                   | 24,96                               | 1,07                               |
| 23-Αυγ     | 639                      | 579                   | 240                   | 24,87                               | 1,07                               |
| 24-Αυγ     | 641                      | 581                   | 240                   | 24,78                               | 1,06                               |
| 25-Αυγ     | 643                      | 583                   | 240                   | 24,70                               | 1,06                               |
| 26-Αυγ     | 645                      | 585                   | 240                   | 24,62                               | 1,05                               |
| 27-Αυγ     | 648                      | 588                   | 240                   | 24,49                               | 1,05                               |
| 28-Αυγ     | 650                      | 590                   | 240                   | 24,41                               | 1,05                               |
| 29-Αυγ     | 653                      | 593                   | 240                   | 24,28                               | 1,04                               |
| 30-Αυγ     | 655                      | 595                   | 240                   | 24,20                               | 1,04                               |
| 31-Αυγ     | 657                      | 597                   | 240                   | 24,12                               | 1,03                               |

## Σεπτέμβριος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτουργ. φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφόρτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Σεπ      | 659                      | 599                        | 271                   | 27,15                               | 1,16                               |
| 2-Σεπ      | 662                      | 602                        | 271                   | 27,01                               | 1,16                               |
| 3-Σεπ      | 664                      | 604                        | 271                   | 26,92                               | 1,15                               |
| 4-Σεπ      | 667                      | 607                        | 271                   | 26,79                               | 1,15                               |
| 5-Σεπ      | 669                      | 609                        | 271                   | 26,70                               | 1,14                               |
| 6-Σεπ      | 672                      | 612                        | 271                   | 26,57                               | 1,14                               |
| 7-Σεπ      | 673                      | 613                        | 271                   | 26,53                               | 1,14                               |
| 8-Σεπ      | 676                      | 616                        | 271                   | 26,40                               | 1,13                               |
| 9-Σεπ      | 678                      | 618                        | 271                   | 26,31                               | 1,13                               |
| 10-Σεπ     | 681                      | 621                        | 271                   | 26,18                               | 1,12                               |
| 11-Σεπ     | 683                      | 623                        | 271                   | 26,10                               | 1,12                               |
| 12-Σεπ     | 686                      | 626                        | 271                   | 25,97                               | 1,11                               |
| 13-Σεπ     | 689                      | 629                        | 271                   | 25,85                               | 1,11                               |
| 14-Σεπ     | 690                      | 630                        | 271                   | 25,81                               | 1,11                               |
| 15-Σεπ     | 693                      | 633                        | 271                   | 25,69                               | 1,10                               |
| 16-Σεπ     | 695                      | 635                        | 271                   | 25,61                               | 1,10                               |
| 17-Σεπ     | 698                      | 638                        | 271                   | 25,49                               | 1,09                               |
| 18-Σεπ     | 700                      | 640                        | 271                   | 25,41                               | 1,09                               |
| 19-Σεπ     | 703                      | 643                        | 271                   | 25,29                               | 1,08                               |
| 20-Σεπ     | 706                      | 646                        | 271                   | 25,17                               | 1,08                               |
| 21-Σεπ     | 707                      | 647                        | 271                   | 25,13                               | 1,08                               |
| 22-Σεπ     | 710                      | 650                        | 271                   | 25,02                               | 1,07                               |
| 23-Σεπ     | 712                      | 652                        | 271                   | 24,94                               | 1,07                               |
| 24-Σεπ     | 715                      | 655                        | 271                   | 24,82                               | 1,06                               |
| 25-Σεπ     | 717                      | 657                        | 271                   | 24,75                               | 1,06                               |
| 26-Σεπ     | 720                      | 660                        | 271                   | 24,64                               | 1,06                               |
| 27-Σεπ     | 723                      | 663                        | 271                   | 24,52                               | 1,05                               |
| 28-Σεπ     | 724                      | 664                        | 271                   | 24,49                               | 1,05                               |
| 29-Σεπ     | 727                      | 667                        | 271                   | 24,38                               | 1,04                               |
| 30-Σεπ     | 729                      | 669                        | 271                   | 24,30                               | 1,04                               |

## Οκτώβριος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτουργ. φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφόρτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Οκτ      | 732                      | 672                        | 242                   | 21,61                               | 0,93                               |
| 2-Οκτ      | 734                      | 674                        | 242                   | 21,54                               | 0,92                               |
| 3-Οκτ      | 737                      | 677                        | 242                   | 21,45                               | 0,92                               |
| 4-Οκτ      | 739                      | 679                        | 242                   | 21,38                               | 0,92                               |
| 5-Οκτ      | 742                      | 682                        | 242                   | 21,29                               | 0,91                               |
| 6-Οκτ      | 744                      | 684                        | 242                   | 21,23                               | 0,91                               |
| 7-Οκτ      | 747                      | 687                        | 242                   | 21,14                               | 0,91                               |
| 8-Οκτ      | 748                      | 688                        | 242                   | 21,10                               | 0,90                               |
| 9-Οκτ      | 751                      | 691                        | 242                   | 21,01                               | 0,90                               |
| 10-Οκτ     | 753                      | 693                        | 242                   | 20,95                               | 0,90                               |
| 11-Οκτ     | 756                      | 696                        | 242                   | 20,86                               | 0,89                               |
| 12-Οκτ     | 758                      | 698                        | 242                   | 20,80                               | 0,89                               |
| 13-Οκτ     | 761                      | 701                        | 242                   | 20,71                               | 0,89                               |
| 14-Οκτ     | 763                      | 703                        | 242                   | 20,65                               | 0,88                               |
| 15-Οκτ     | 765                      | 705                        | 242                   | 20,60                               | 0,88                               |
| 16-Οκτ     | 768                      | 708                        | 242                   | 20,51                               | 0,88                               |
| 17-Οκτ     | 770                      | 710                        | 242                   | 20,45                               | 0,88                               |
| 18-Οκτ     | 773                      | 713                        | 242                   | 20,36                               | 0,87                               |
| 19-Οκτ     | 777                      | 717                        | 242                   | 20,25                               | 0,87                               |
| 20-Οκτ     | 777                      | 717                        | 242                   | 20,25                               | 0,87                               |
| 21-Οκτ     | 780                      | 720                        | 242                   | 20,17                               | 0,86                               |
| 22-Οκτ     | 782                      | 722                        | 242                   | 20,11                               | 0,86                               |
| 23-Οκτ     | 784                      | 724                        | 242                   | 20,06                               | 0,86                               |
| 24-Οκτ     | 786                      | 726                        | 242                   | 20,00                               | 0,86                               |
| 25-Οκτ     | 789                      | 729                        | 242                   | 19,92                               | 0,85                               |
| 26-Οκτ     | 791                      | 731                        | 242                   | 19,86                               | 0,85                               |
| 27-Οκτ     | 793                      | 733                        | 242                   | 19,81                               | 0,85                               |
| 28-Οκτ     | 795                      | 735                        | 242                   | 19,76                               | 0,85                               |
| 29-Οκτ     | 798                      | 738                        | 242                   | 19,67                               | 0,84                               |
| 30-Οκτ     | 800                      | 740                        | 242                   | 19,62                               | 0,84                               |
| 31-Οκτ     | 802                      | 742                        | 242                   | 19,57                               | 0,84                               |

## Νοέμβριος

| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτουργ. φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφόρτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Νοε      | 804                      | 744                        | 188                   | 15,16                               | 0,65                               |
| 2-Νοε      | 806                      | 746                        | 188                   | 15,12                               | 0,65                               |
| 3-Νοε      | 808                      | 748                        | 188                   | 15,08                               | 0,65                               |
| 4-Νοε      | 810                      | 750                        | 188                   | 15,04                               | 0,64                               |
| 5-Νοε      | 812                      | 752                        | 188                   | 15,00                               | 0,64                               |
| 6-Νοε      | 815                      | 755                        | 188                   | 14,94                               | 0,64                               |
| 7-Νοε      | 817                      | 757                        | 188                   | 14,90                               | 0,64                               |
| 8-Νοε      | 819                      | 759                        | 188                   | 14,86                               | 0,64                               |
| 9-Νοε      | 821                      | 761                        | 188                   | 14,82                               | 0,63                               |
| 10-Νοε     | 823                      | 763                        | 188                   | 14,78                               | 0,63                               |
| 11-Νοε     | 825                      | 765                        | 188                   | 14,75                               | 0,63                               |
| 12-Νοε     | 827                      | 767                        | 188                   | 14,71                               | 0,63                               |
| 13-Νοε     | 828                      | 768                        | 188                   | 14,69                               | 0,63                               |
| 14-Νοε     | 830                      | 770                        | 188                   | 14,65                               | 0,63                               |
| 15-Νοε     | 832                      | 772                        | 188                   | 14,61                               | 0,63                               |
| 16-Νοε     | 834                      | 774                        | 188                   | 14,57                               | 0,62                               |
| 17-Νοε     | 835                      | 775                        | 188                   | 14,55                               | 0,62                               |
| 18-Νοε     | 837                      | 777                        | 188                   | 14,52                               | 0,62                               |
| 19-Νοε     | 839                      | 779                        | 188                   | 14,48                               | 0,62                               |
| 20-Νοε     | 841                      | 781                        | 188                   | 14,44                               | 0,62                               |
| 21-Νοε     | 843                      | 783                        | 188                   | 14,41                               | 0,62                               |
| 22-Νοε     | 844                      | 784                        | 188                   | 14,39                               | 0,62                               |
| 23-Νοε     | 846                      | 786                        | 188                   | 14,35                               | 0,61                               |
| 24-Νοε     | 847                      | 787                        | 188                   | 14,33                               | 0,61                               |
| 25-Νοε     | 849                      | 789                        | 188                   | 14,30                               | 0,61                               |
| 26-Νοε     | 850                      | 790                        | 188                   | 14,28                               | 0,61                               |
| 27-Νοε     | 852                      | 792                        | 188                   | 14,24                               | 0,61                               |
| 28-Νοε     | 853                      | 793                        | 188                   | 14,22                               | 0,61                               |
| 29-Νοε     | 854                      | 794                        | 188                   | 14,21                               | 0,61                               |
| 30-Νοε     | 855                      | 795                        | 188                   | 14,19                               | 0,61                               |

## Δεκέμβριος


| Ημερομηνία | Διάρκεια νύχτας<br>(min) | Λειτ φωτιστ.<br>(min) | Wh/day/m <sup>2</sup> | Ρφορτ για PV 1m <sup>2</sup><br>(W) | 2 PVL -62 φωτ 48W<br>Αυτονομία (%) |
|------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1-Δεκ      | 857                      | 797                   | 171                   | 12,87                               | 0,55                               |
| 2-Δεκ      | 858                      | 798                   | 171                   | 12,86                               | 0,55                               |
| 3-Δεκ      | 859                      | 799                   | 171                   | 12,84                               | 0,55                               |
| 4-Δεκ      | 859                      | 799                   | 171                   | 12,84                               | 0,55                               |
| 5-Δεκ      | 860                      | 800                   | 171                   | 12,83                               | 0,55                               |
| 6-Δεκ      | 861                      | 801                   | 171                   | 12,81                               | 0,55                               |
| 7-Δεκ      | 862                      | 802                   | 171                   | 12,79                               | 0,55                               |
| 8-Δεκ      | 863                      | 803                   | 171                   | 12,78                               | 0,55                               |
| 9-Δεκ      | 864                      | 804                   | 171                   | 12,76                               | 0,55                               |
| 10-Δεκ     | 865                      | 805                   | 171                   | 12,75                               | 0,55                               |
| 11-Δεκ     | 865                      | 805                   | 171                   | 12,75                               | 0,55                               |
| 12-Δεκ     | 866                      | 806                   | 171                   | 12,73                               | 0,55                               |
| 13-Δεκ     | 867                      | 807                   | 171                   | 12,71                               | 0,54                               |
| 14-Δεκ     | 867                      | 807                   | 171                   | 12,71                               | 0,54                               |
| 15-Δεκ     | 867                      | 807                   | 171                   | 12,71                               | 0,54                               |
| 16-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 17-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 18-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 19-Δεκ     | 869                      | 809                   | 171                   | 12,68                               | 0,54                               |
| 20-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 21-Δεκ     | 869                      | 809                   | 171                   | 12,68                               | 0,54                               |
| 22-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 23-Δεκ     | 869                      | 809                   | 171                   | 12,68                               | 0,54                               |
| 24-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 25-Δεκ     | 869                      | 809                   | 171                   | 12,68                               | 0,54                               |
| 26-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 27-Δεκ     | 867                      | 807                   | 171                   | 12,71                               | 0,54                               |
| 28-Δεκ     | 868                      | 808                   | 171                   | 12,70                               | 0,54                               |
| 29-Δεκ     | 867                      | 807                   | 171                   | 12,71                               | 0,54                               |
| 30-Δεκ     | 866                      | 806                   | 171                   | 12,73                               | 0,55                               |
| 31-Δεκ     | 865                      | 805                   | 171                   | 12,75                               | 0,55                               |

## **Datasheet $\phi/\beta$ Unisolar PVL series**



## Field Applied Roofing PV Laminate For Steel Roofs

Models: PVL-31, PVL-62, PVL-68, PVL-93, PVL-124, PVL-136

- Lightweight, Flexible, Durable
- Easy to install "peel and apply" application
- 20 Year warranty on power output
- Roll Shippable
- Top Termination quick connect or Junction Box
- Bypass Diodes for Shadow Tolerance
- UL Listed 



### Product Description and Application

Each PVL (photovoltaic laminate) utilizes the proprietary Triple Junction solar cells manufactured by *UNI-SOLAR*. These cells are made in a roll-to-roll deposition process on a continuous roll of stainless steel. The result is a unique, flexible, lightweight solar cell.

The *UNI-SOLAR* PV Laminates are encapsulated in UV stabilized polymers making them exceptionally durable.

Bypass diodes are connected across each cell, allowing the modules to produce power even when partially shaded.

These special roofing laminates are designed to be bonded on 16-inch wide (minimum), flat steel pans. They come with the bonding adhesive factory-installed on the back of the laminate. Included is a rugged, weatherproof junction box and/or Quick Connect Terminals.

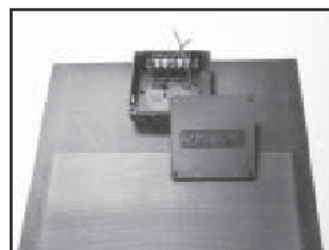
### Application Criterion

- PVDF Coated (Galvalume® or Zinalume®) steel metal pan
- Steel pans with flat surface (without pencil beads or decorative stippling)
- 16" minimum steel pan width
- Installation temperature between 10°C - 40°C (50°F -100°F)
- Maximum roof temperature 85°C (185°F)
- Certified Installer
- Cleaned as per manufacturer's instructions
- New or qualified new roof installations

Quick Connect



Junction Box

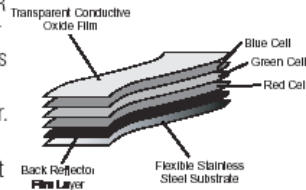


**UNI-SOLAR**



**Triple Junction Technology**

The foundation of the new UNI-SOLAR PVL is the Triple Junction silicon solar cell unique to UNI-SOLAR. Each cell is composed of three semiconductor junctions stacked on top of each other. The bottom cell absorbs the red light, the middle cell absorbs the green light and the top cell absorbs the blue light. This spectrum splitting capability is the key to higher efficiency.



**United Solar Ovonic**

United Solar Ovonic is the world leader in thin-film technologies. It's a company with years of experience in photovoltaics and is backed by a U.S. technology leader, Energy Conversion Devices, which holds 350 U.S. patents and 800 foreign patents. Our technology has proven itself over decades under the most extreme conditions imaginable, including satellites, ocean buoys and military applications. We offer a proven product, a proven technology, from a proven company.

**Dimensions & Specifications**

**Physical:**

| Model Number | Laminate Length  | Laminate Width | Laminate Thickness | Weight   | Minimum Slope | Maximum Slope |
|--------------|------------------|----------------|--------------------|----------|---------------|---------------|
| PVL-31       | 4 ft. 7 1/2 in.  | 15 1/2 in.     | 0.12 in.           | 4.1 lb   | 1:12 (5°)     | 21:12 (60°)   |
| PVL-62       | 8 ft. 6 3/4 in.  | 15 1/2 in.     | 0.12 in.           | 8.2 lb.  | 1:12 (5°)     | 21:12 (60°)   |
| PVL-68       | 9 ft. 4 1/8 in.  | 15 1/2 in.     | 0.12 in.           | 9 lb.    | 1:12 (5°)     | 21:12 (60°)   |
| PVL-93       | 12 ft. 6 1/4 in. | 15 1/2 in.     | 0.12 in.           | 12.3 lb. | 1:12 (5°)     | 21:12 (60°)   |
| PVL-124      | 16 ft. 5 1/4 in. | 15 1/2 in.     | 0.12 in.           | 16.5 lb. | 1:12 (5°)     | 21:12 (60°)   |
| PVL-136      | 18 ft.           | 15 1/2 in.     | 0.12 in.           | 17 lb.   | 1:12 (5°)     | 21:12 (60°)   |

**Electrical:**

| Performance   | PVL- 31 | PVL- 62 | PVL-68 | PVL-93 | PVL-124 | PVL-136 |
|---|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
| Rated Power (Watts)                                 | 31      | 62      | 68     | 93     | 124     | 136     |
| Nominal Operating Voltage                           | 6       | 12      | 12     | 18     | 24      | 24      |
| Operating Voltage (Volts)                           | 7.5     | 15      | 16.5   | 22.5   | 30.0    | 33.0    |
| Operating Current (Amps)                            | 4.13    | 4.13    | 4.13   | 4.13   | 4.13    | 4.13    |
| Open-Circuit Voltage (Volts)                        | 10.5    | 21.0    | 23.1   | 31.5   | 42.0    | 46.2    |
| Open-Circuit Voltage (Volts) at -10°C and 1250 W/m2 | 12.0    | 23.9    | 26.3   | 35.9   | 47.9    | 52.7    |
| Short-Circuit Current (Amps)                        | 5.1     | 5.1     | 5.1    | 5.1    | 5.1     | 5.1     |
| Short-Circuit Current (Amps) At 75°C and 1250 W/m2  | 6.7     | 6.7     | 6.7    | 6.7    | 6.7     | 6.7     |
| Series Fuse Rating (Amps)*                          | 8       | 8       | 8      | 8      | 8       | 8       |
| Min. Blocking Diode (Amps)                          | 8       | 8       | 8      | 8      | 8       | 8       |

**NOTES:**

During the first 8-10 weeks of operation, electrical output exceeds specified ratings. Power output may be higher by 15%, operating voltage may be higher by 11% and operating current may be higher by 4%.

Electrical specifications (±5%) are based on measurements performed at standard test conditions of 1000 W/m2 irradiance, Air Mass 1.5, and Cell Temperature of 25°C after long-term stabilization. Actual performance may vary up to 10% from rated power due to low temperature operation, spectral and other related effects. Maximum system open-circuit voltage not to exceed 600 VDC.

Specifications subject to change without notice.

\* Refer to section 690.8 of the National Electric Code for an additional factor of 125%, which may be applicable.

**Corporate Sales & Marketing Office:  
United Solar Ovonic**

3800 Lapeer Rd., Auburn Hills, MI 48326  
Tel: 248.475.0100  
Toll Free: 800.843.3892  
Fax: 248.364.0510  
Email: info@uni-solar.com

**North American Sales Office:  
United Solar Ovonic**

4520 Viewridge Ave., San Diego, CA 92123  
Tel: 858.614.1435  
Toll Free: 800.397.2083  
Fax: 858.514.8694  
Email: westerninfo@uni-solar.com

**European Sales Office:  
United Solar Ovonic Europe GmbH**

Denneward Str. 25-27  
52068 Aachen - Germany  
Tel: +49.241.9631130  
Fax: +49.241.9631138  
Email: europeinfo@uni-solar.com

[www.uni-solar.com](http://www.uni-solar.com)

© Copyright 2003 United Solar Ovonic - All Rights Reserved

**UNI-SOLAR.**  
ovonics@work  
XXXXXXXX #T03

## **Datasheet φωτιστικού Jupiter 48**

## Jupiter 48 / XL80 / XL100 - LED Street Light

### Jupiter LED Street Light Range

Jupiter 24 AC  
Jupiter 24 DC

Jupiter 36 AC  
Jupiter 36 DC

Jupiter 48 AC  
Jupiter 48 DC

Jupiter 48 XL80 AC  
Jupiter 48 XL80 DC

Jupiter 48 XL100 AC  
Jupiter 48 XL100 DC

The **Jupiter 48** luminaire is a street and area lamp ready for connection to either AC mains power supply or our Mercury solar power management unit, which provides a flexible lighting solution where mains power is not available or desired.

The Jupiter 48's applications range from lighting roads to car parks, pathways and public areas.



Note: All LEDs are encased in a compound that will give them protection from any ingress of liquids or solids and all other electronic components are enclosed in an IP66 rated assembly.

### Specifications: Jupiter 48 - LED Street Light

|  |  |
|--|--|
| <b>Input voltage AC</b>                    | 230V AC 50Hz / 110V AC 60Hz                  |
| <b>Input voltage DC</b>                    | 12 Volt                                      |
| <b>Power Consumption AC</b>                | 65 Watts                                     |
| <b>Power Consumption DC</b>                | 48 Watts                                     |
| <b>Operating temperature</b>               | -25 degrees C to + 70 degrees C              |
| <b>Total LED output (Jupiter 48)</b>       | 2640 Lumens                                  |
| <b>Total LED output (Jupiter 48 XL80)</b>  | 3840 Lumens                                  |
| <b>Total LED output (Jupiter 48 XL100)</b> | 4800 Lumens                                  |
| <b>Correlated colour temperature</b>       | 4500 to 8000 degrees K                       |
| <b>LED Lifespan</b>                        | Typically 50,000 hours                       |
| <b>Turn on time</b>                        | 100ns  |
| <b>Unit colour</b>                         | Silver                                       |
| <b>Weight</b>                              | 10 Kg  |
| <b>Mounting</b>                            | Supplied with clamps for 56mm pole standard. |
| <b>Charging code for Un-metered Supply</b> | 4000650                                      |

Gemma Lighting and Display Ltd  
Unit 3 Grove Road  
Cosham  
Portsmouth  
Hampshire  
PO6 1LX

Tel: +44 (0) 23 9221 0015  
Fax: +44 (0) 23 9221 0058

Email: sales@gemmalighting.com



## Βιβλιογραφία

- [1] Practical handbook of photovoltaics- Tom Markvart & Luis Castaner
- [2] Φωτοβολταϊκά Κύτταρα και Εφαρμογές- Βόκας Γεώργιος- Σημειώσεις σεμιναρίου, εκδόσεις ΕΜΠ, 2001
- [3] Φωτοβολταϊκά συστήματα- Παναγιώτης Παναγιώτου- Διπλωματική εργασία Εκδόσεις ΕΜΠ 2007
- [4] Thin film technology- RW Berry, PM Hall, MT Harris, J Klerer - Journal of The Electrochemical Society 1992
- [5] Thin film phenomena- K Chopra, J Klerrer - Journal of The Electrochemical Society 1992
- [6] Amorphus silicon solar cells- DE Carlson, STF Div, PA Newtown - Electron Devices, IEEE Transactions on, 1989 - [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org)
- [7] Solar energy technology program- Energy efficiency and renewable energy- U.S Department of energy - [http://www1.eere.energy.gov/solar/thin\\_films.html](http://www1.eere.energy.gov/solar/thin_films.html)
- [8] Σύνδεσμος εταιριών φωτοβολταϊκών- <http://www.helapco.gr/>
- [9] Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία- Κ. Καγκαράκη, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- [10] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας- <http://www.rae.gr/>
- [11] Unisolar- [www.unisolar.com](http://www.unisolar.com)
- [12] PV estimation utility- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
- [13] Φωτισμός Δρόμων με Υβριδικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα- Μπουρούσης Κωνσταντίνος, Αθανασοπούλου Μαρία- Διπλωματική εργασία- Αθήνα 2004
- [14] Solar cells technology- <http://www.solarbuzz.com/technologies.htm>
- [15] Wikipedia- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [16] Led lighting- [www.toolbase.org/Technology-Inventory/Electrical-Electronics/white-LED-lighting](http://www.toolbase.org/Technology-Inventory/Electrical-Electronics/white-LED-lighting)
- [17] Glad products- Led street lighting & Led car park lighting [www.gemmalighting.com](http://www.gemmalighting.com)

- [18] Φωτοτεχνία, Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού- Φραγκίσκος Τοπαλής- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο- Αθήνα 1994
- [19] Shreder group- Road lighting-2005
- [20] Indalux Technical lighting - Lighting engineering- 2002
- [21] Όραση και οδικός φωτισμός- Κλοντιάνα Τζανάκη 2007
- [22] Εφαρμογές φωτισμού δρόμου υπό το πρίσμα της μεσοπικής όρασης- Αθανάσιος Χούπας 2004
- [23] Οδικός φωτισμός βασικοί ορισμοί και τεχνικά στοιχεία- Πετρίδης 2005
- [24] Relux Professional 2007- /Relux.2007/docs/street09/start\_bwc.html