



**Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΡΙΘΜΟΣ 1062**

**ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

**ΣΑΡΑΝΤΑΥΓΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ – ΣΑΡΑΝΤΑΥΓΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΡΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Π.ΒΛΑΧΟΠΟΥΛΟΣ  
Λ.ΧΑΔΕΛΗΣ**

Ιανουάριος 2010

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναπτύσσεται ένα σύστημα οδικού φωτισμού το οποίο κάνει χρήση της ηλιακής ενέργειας. Το σύστημα αυτό υλοποιείται σε ένα μονό ιστό φωτισμού και αποτελεί μια ολοκληρωμένη και ανεξάρτητη μονάδα. Πρώτο βήμα είναι η καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων από τα οποία υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Αθήνας. Με κατάλληλη μεθοδολογία υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια με παράμετρο την γωνία κλίσης της επιφάνειας αυτής προς το οριζόντιο επίπεδο. Με βάση το δεδομένο αυτό γίνεται, στη συνέχεια, η επιλογή του κατάλληλου φωτοβολταϊκού πάνελ. Άλλα σημαντικά τμήματα του συστήματος είναι ο φορτιστής, ο συσσωρευτής, η μονάδα ελέγχου και ο inverter των οποίων τα ακριβή χαρακτηριστικά αναλύονται στη συνέχεια. Η ισχύς εξόδου του συστήματος καθορίζεται ύστερα από υπολογισμούς με χρήση των αποδόσεων των επιμέρους τμημάτων και συσκευών του συστήματος, με αποτέλεσμα την κατάλληλη επιλογή φωτιστικού. Σύμφωνα με αναλυτικές μελέτες φωτισμού καθορίζεται η δυνατότητα του συστήματος να φωτίσει διάφορους τύπους δρόμων μέσα στα όρια που θεσπίζουν οι διεθνείς προδιαγραφές. Βάση της συνολικής απόδοσης αναλύεται το ποσοστό της αυτονομίας του συστήματος και επιπλέον η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την χρήση του.

Ιανουάριος 2010

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **ØΚεφάλαιο 1. Εισαγωγή**

### **ØΚεφάλαιο 2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας- φωτοβολταικά**

|  |    |
|--|----|
| 2.1.Εισαγωγή.....                                      | 8  |
| 2.2.Φωτοβολταική ενέργεια.....                         | 9  |
| 2.3.Φωτοβολταικά συστήματα και οι πρώτες εφαρμογές...  | 10 |
| 2.4.Φωτοβολταική τεχνολογία..                          | 14 |
| 2.5.Συμμετοχή Φ/Β σε Υβριδικά Συστήματα...             | 19 |
| 2.6.Εγκατάσταση των φωτοβολταικών πλαισίων σε κτίρια.. | 21 |
| 2.7.Κόστος των φωτοβολταικών συστημάτων..              | 23 |
| 2.8.Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα....                    | 24 |
| 2.9.Το μέλλον της φωτοβολταικής τεχνολογίας...         | 26 |
| 2.10.Τα μέρη που απαρτίζουν ένα υβριδικό σύστημα.....  | 28 |
| 2.10.1.Μπαταρίες.                                      | 28 |
| 2.10.2.Ρυθμιστής φόρτισης..                            | 36 |
| 2.10.3.Inverter.....                                   | 42 |
| 2.10.4.Γειώσεις.....                                   | 49 |
| 2.10.5.Καλωδίωση-Πίνακας.....                          | 57 |

### **ØΚεφάλαιο 3. Φωτισμός δρόμων**

|  |    |
|--|----|
| 3.1.Γενικά.....  | 59 |
| 3.2.Επίπεδα φωτισμού και διάκριση αντικειμένων σε συνθήκες ... | 59 |

|   |    |
|---|----|
| καιρού, φυσιολογικές και μη φυσιολογικές              |    |
| 3.3.Σχεδιασμός εγκατάστασης φωτισμού.....             | 65 |
| 3.3.1.Γενικές αρχές φωτισμού δρόμων.....              | 66 |
| 3.3.2.Αξιολόγηση δρόμου.....                          | 67 |
| 3.3.3.Έλεγχος θάμβωσης.....                           | 68 |
| 3.3.4.Λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου(SR)..... | 69 |
| 3.3.5.Επιφάνεια δρόμου.....                           | 69 |
| 3.3.6.Διακλαδώσεις δρόμου.....                        | 69 |
| 3.3.7.Τύποι ιστών φωτισμού.....                       | 70 |
| 3.3.8.Διάχυση φωτός φωτιστικών δρόμων.....            | 71 |
| 3.4.Προδιαγραφές φωτισμού δρόμων.....                 | 73 |
| 3.5.Φωτορύπανση.....                                  | 75 |

## **Κεφάλαιο 4. Φωτιστικά σώματα και λαμπτήρες**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 4.1.Φωτιστικά.....                    | 77 |
| 4.2.Λαμπτήρες για φωτισμό δρόμων..... | 78 |
| 4.3.Σύγκριση φωτεινών πηγών.....      | 83 |

## **Κεφάλαιο 5. Καταγραφή και επεξεργασία καιρικών συνθηκών**

|  |    |
|--|----|
| 5.1.Αναζήτηση μετρήσεων και επεξεργασία.....         | 85 |
| 5.2.Επιλογή χρονοσειράς.....                         | 87 |
| 5.3.Μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου.....              | 89 |
| 5.4.Μετασχηματισμός τιμών για κεκλιμένο επίπεδο..... | 92 |

## **Κεφάλαιο 6. Φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού**

|   |     |
|---|-----|
| 6.1.Εισαγωγή.....   | 97  |
| 6.2.Φωτοβολταϊκό σύστημα και τα μέρη που το απαρτίζουν..... | 98  |
| 6.3.Απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.....               | 104 |
| 6.4.Σύστημα φωτισμού.....                                   | 115 |
| 6.4.1.Επιλογή λαμπτήρα και φωτιστικών σωμάτων.....          | 115 |
| 6.4.2.Ικανότητα φωτισμού.....                               | 117 |
| 6.4.3.Παρατηρήσεις.....                                     | 119 |

## **Κεφάλαιο 7. Κόστος και επιπτώσεις**

|   |     |
|---|-----|
| 7.1.Υπολογισμός κόστους εγκατάστασης..... | 130 |
| 7.2.Ωφέλιμη ενέργεια.....                 | 131 |
| 7.3.Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....       | 133 |
| 7.4.Βιβλιογραφία.....                     | 136 |

## 1. Εισαγωγή

Σε περιόδους αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας αλλά και έντονης ανησυχίας για τα περιβαλλοντικά ζητήματα, τα συστήματα εκμετάλλευσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος. Τα φωτοβολταικά συστήματα (Φ/Β) αποτελούν την πλέον προσιτή διάταξη εκμετάλλευσης ΑΠΕ μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η μετατροπή αυτή γίνεται χωρίς να μεσολαβούν κινούμενα μέρη ούτε να παράγονται εκπομπές ρύπων. Εάν επιτευχθεί μείωση του κόστους παραγωγής της, η φωτοβολταική ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ανταγωνιστική πηγή ενέργειας, θα συμβάλει στην καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος που απειλεί τον πλανήτη μας και θα βελτιώσει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό δεν πρόκειται να επιτευχθεί στο άμεσο μέλλον, αλλά απαιτούνται ήδη από σήμερα συνεχείς επενδύσεις στη σχετική έρευνα και ανάπτυξη. Αν και τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι πολλά όπως π.χ υψηλή αξιοπιστία, μεγάλη διάρκεια ζωής, μηδενικό κόστος λειτουργίας, δεν μολύνουν το περιβάλλον, αυτονομία και άλλα, έχουν ως μειονέκτημα την χαμηλή απόδοση η οποία τα περιορίζει να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις χαμηλής απαίτησης ισχύος. Κύριος σκοπός αυτής της έρευνας είναι η ανάπτυξη ενός ημιαυτόνομου ή πλήρως αυτόνομου φωτοβολταικού συστήματος το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για το φωτισμό οδών χαμηλής κυκλοφορίας, αλλά και για παρόμοιες εφαρμογές όπως φωτισμό πάρκων, πλατειών κ.λ.π. Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναπτύσσεται ένα σύστημα οδικού φωτισμού το οποίο

κάνει χρήση της ηλιακής ενέργειας. Το σύστημα αυτό υλοποιείται σε ένα μονό ιστό φωτισμού και αποτελεί μια ολοκληρωμένη και ανεξάρτητη μονάδα. Πρώτο βήμα είναι η καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων από τα οποία υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Αθήνας. Με κατάλληλη μεθοδολογία υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια με παράμετρο την γωνία κλίσης της επιφάνειας αυτής προς το οριζόντιο επίπεδο. Με βάση το δεδομένο αυτό γίνεται, στη συνέχεια, η επιλογή του κατάλληλου φωτοβολταϊκού πάνελ. Άλλα σημαντικά τμήματα του συστήματος είναι ο φορτιστής, ο συσσωρευτής, η μονάδα ελέγχου και ο inverter των οποίων τα ακριβή χαρακτηριστικά αναλύονται στη συνέχεια. Η ισχύς εξόδου του συστήματος καθορίζεται ύστερα από υπολογισμούς με χρήση των αποδόσεων των επιμέρους τμημάτων και συσκευών του συστήματος, με αποτέλεσμα την κατάλληλη επιλογή φωτιστικού. Σύμφωνα με αναλυτικές μελέτες φωτισμού καθορίζεται η δυνατότητα του συστήματος να φωτίσει διάφορους τύπους δρόμων μέσα στα όρια που θεσπίζουν οι διεθνείς προδιαγραφές. Βάση της συνολικής απόδοσης αναλύεται το ποσοστό της αυτονομίας του συστήματος και επιπλέον η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την χρήση του.

## 2.1. Εισαγωγή

Είναι πολλές εκείνες οι εφαρμογές όπου απαιτείται η χρήση ενέργειας χωρίς όμως να είναι εύκολη η εξασφάλιση αυτής, όπως συμβαίνει 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 '70. 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. Οι διαφημιστικές εκστρατείες πολλών μεγάλων εταιριών βοήθησαν, επίσης, πολύ κατά

την αρχική φάση αυτής της εξέλιξης. 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 [07]. Από



το 1987 η σταθεροποίηση του βαθμού ανάπτυξης της αγοράς των φωτοβολταϊκών πραγματοποιήθηκε κυρίως γιατί:

Ⓔ Οι οικονομικοί περιορισμοί επιβράδυναν τον ρυθμό κατασκευής νέων κτιρίων.

- Η τιμή του πετρελαίου άρχισε να μειώνεται με την λήξη της κρίσης πετρελαίου.

Ⓕ Το κόστος του ηλεκτρισμού παρέμεινε χαμηλό έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της ανταγωνιστικότητας στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στην προσπάθεια να υποστηριχτούν εφαρμογές κεντρικών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον βιομηχανικό τομέα, όπου ακόμα είναι περιορισμένες, μέσω ειδικού προγράμματος για την ενέργεια υποστηρίχθηκε ένας αξιοσημείωτος αριθμός φωτοβολταϊκών συστημάτων για ξενοδοχεία και τη βιομηχανία με επιχορήγηση έως και 50% του βασικού κόστους. Σήμερα, 45 κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι ενεργοί, παράγοντας πάνω από 300000m<sup>2</sup> συλλεκτών ετησίως.

## **2.2. Φωτοβολταϊκή ενέργεια**

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. Ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας στην

κατασκευή και την λειτουργία, οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες μπορούν να καταταγούν σε 3 κυρίως κατηγορίες:

Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά κύτταρα είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με την φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.

Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά κύτταρα να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό κύτταρο μέχρι 50% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδού της επιφανείας του.

Τις διατάξεις που με την χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά κύτταρα. Για την αποφυγή θέρμανσης, στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών κυττάρων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

### **2.3. Φωτοβολταϊκά συστήματα και οι πρώτες εφαρμογές**

Οι πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα ξεκίνησαν την δεκαετία του '70. 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. Οι διαφημιστικές εκστρατείες πολλών μεγάλων εταιριών βοήθησαν, επίσης, πολύ κατά την αρχική φάση αυτής της εξέλιξης.

Μέχρι το 1987 υπήρξε σταθερή ανάπτυξη των εμπορικών δραστηριοτήτων, ενώ την περίοδο 1984- 1986 μια μεγάλη διαφημιστική εκστρατεία που υποστηρίχθηκε από την ελληνική κυβέρνηση, σε συνδυασμό με οικονομικά κίνητρα, ώθησαν τις πωλήσεις των φωτοβολταϊκών συλλεκτών στα 218.000m<sup>2</sup>. Από το 1987 η σταθεροποίηση του βαθμού ανάπτυξης της αγοράς των φωτοβολταϊκών πραγματοποιήθηκε κυρίως γιατί:

⊕ Οι οικονομικοί περιορισμοί επιβράδυναν τον ρυθμό κατασκευής νέων κτιρίων.

- Η τιμή του πετρελαίου άρχισε να μειώνεται με την λήξη της κρίσης πετρελαίου.

⊚ Το κόστος του ηλεκτρισμού παρέμεινε χαμηλό έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της ανταγωνιστικότητας στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στην προσπάθεια να υποστηριχτούν εφαρμογές κεντρικών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον βιομηχανικό τομέα, όπου ακόμα είναι περιορισμένες, μέσω ειδικού προγράμματος για την ενέργεια υποστηρίχθηκε ένας αξιοσημείωτος αριθμός φωτοβολταϊκών συστημάτων για ξενοδοχεία και τη βιομηχανία με επιχορήγηση έως και 50% του βασικού κόστους. Σήμερα, 45 κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι ενεργοί, παράγοντας πάνω από 300.000m<sup>2</sup> συλλεκτών ετησίως.

Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών και η καρδιά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε

ηλεκτρική ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία, τα οποία ονομάζονται επίσης φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή είναι μια πολύ πρόσφατη τεχνολογική ανακάλυψη που βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης. Παρόλα αυτά ως φαινόμενο είναι γνωστό από τον περασμένο, κιόλας, αιώνα. Οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής είναι οι ακόλουθοι:

Ύ1839: παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt, Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες.

Ύ1937: κατασκευή ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου από PbS

Ύ1939: κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Se, με απόδοση 1%

Ύ1941: κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου από Si

Ύ1952: ανακάλυψη της μεθόδου της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας.

Ύ1953: ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p- n με διάχυση προσμίξεων.

Ύ1954: κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si με σχηματισμό ένωσης p- n με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση 6%.

Ύ1956: εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων

Ύ1958: εκτόξευση του αμερικανικού τεχνητού δορυφόρου Vanguard I, εξοπλισμένου με 6 μικρά στοιχεία Si ισχύος 5 mW ως βοηθητική ενεργειακή πηγή.

Ύ1958: εκτόξευση σοβιετικού τεχνητού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδοσία από ηλιακά στοιχεία.

Ύ1959: κατασκευή ηλιακού στοιχείου από CdS, με απόδοση 5%

Ύ1972: κατασκευή του «ιώδους» ηλιακού στοιχείου Si, με απόδοση 14%.

Ύ1976: κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο Si, με απόδοση 0,01%.

Ύ1977: κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs, με απόδοση 16%

Ύ1981: πτήση πάνω από τη Μάγχη του αεροπλάνου Solar Challenger, εξοπλισμένου με 16128 ηλιακά στοιχεία Si, ισχύος 2,7 kW.

Ύ1983: έναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Βικτροβίλ, ισχύος 1 MW.

Ύ1984: έναρξη βιομηχανικής παραγωγής ηλιακών στοιχείων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%.

## 2.4. Φωτοβολταική τεχνολογία

Η ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στηρίζεται σε ένα σύστημα κρυστάλλων το οποίο στην ουσία αποθηκεύει την ηλιακή ακτινοβολία και με κατάλληλες διαδικασίες επιτυγχάνει την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Αναλυτικότερα το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκό κύτταρο (Φ/Β) και αποτελεί ένα ημιαγωγίμο στοιχείο, μια κρυσταλλοδίοδο (ένωση p-n που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που μετατρέπει μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. 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 προσπίπτει η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p- n οπότε να δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού της πεδίου. Έτσι, 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 δυο τμημάτων της δίοδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Αυτό ακριβώς το ρεύμα χρησιμοποιείται για να τροφοδοτηθεί ένα ηλεκτρικό φορτίο, όπως για παράδειγμα ένας λαμπτήρας. 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. Στην 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 ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και να απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την 19 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. Όπως και οι συσσωρευτές, το ηλιακό κύτταρο είναι αθόρυβο στη λειτουργία του. Σε αντίθεση με του συσσωρευτές, το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά την διαδικασία της ενεργειακής μετατροπής και δεν επιβαρύνει το περιβάλλον, γιατί μέσα του δεν εξελίσσεται καμία χημική αντίδραση.

Με την τοποθέτηση ενός τέτοιου Φ/Β κυττάρου κάτω από τον ήλιο παράγεται ηλεκτρική ισχύς, ενώ μεταξύ των μεταλλικών επαφών του ηλιακού κυττάρου δημιουργείται μια συνεχής τάση, που οι τιμές της κυμαίνονται ανάλογα με το υλικό. Επειδή η τάση επί του ακροδέκτη εξαρτάται απόλυτα από την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας έτσι και το ρεύμα που διαρρέει το κύτταρο εξαρτάται από αυτή. Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι

ότι η ισχύς που αποδίδει το ηλιακό κύτταρο μεταβάλλεται σε μια ευρεία περιοχή ανάλογα με την ακτινοβολούμενη ένταση φωτισμού. Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να ορισθεί ο βαθμός απόδοσης ενός Φ/Β κυττάρου, με βάση τον οποίο μπορούν να εξαχθούν κρίσιμα συμπεράσματα για το πότε ένα ηλιακό κύτταρο θεωρείται αποδοτικό. Η απόδοση, λοιπόν, ενός Φ/Β κυττάρου ορίζεται ως το επί της εκατό ποσοστό της φωτεινής ισχύος εισόδου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ εξόδου, δηλαδή ορίζεται από το λόγο:

$$\text{Απόδοση Ηλιακού Κυττάρου} = \frac{\text{Ηλεκτρική Ισχύς Εξόδου}}{\text{Φωτεινή Ισχύς Εισόδου}} \times 100\%$$

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 για τις εμπορικές συσκευές σιλικόνης θα συνεχίσει να αυξάνεται και στο μέλλον θα φθάσει το 17% έως 20% από 13% έως 15% που είναι σήμερα. Στην πράξη δύο ή περισσότερες βαθμίδες (στρώσεις) μπορούν να διαταχθούν η μια πίσω από την άλλη. Κάθε βαθμίδα κατασκευάζεται για ειδική φασματική περιοχή της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτά ονομάζονται κύτταρα πολλών βαθμίδων (multi-junction cells). Για κύτταρα δύο βαθμίδων η μέγιστη θεωρητική απόδοση είναι 35%. Θεωρητικά για άπειρο αριθμό βαθμίδων ο βαθμός απόδοσης μπορεί να φθάσει το 54%. Όπως φαίνεται, η πρόοδος του ηλιακού κυττάρου στον τομέα του βαθμού απόδοσης είναι σχετικά μικρή. Ένα σημερινό τυπικό εμπορικό μοντέλο δεν έχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης από μία καλή διαστημική



συσκευή του τέλους της δεκαετίας του 1960. Παρόλα αυτά για τους ειδικούς των φωτοβολταϊκών κυττάρων το ζήτημα της βελτίωσης του βαθμού απόδοσης αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση. Στην σημερινή αγορά των ηλιακών κυττάρων και συστημάτων χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικοί τύποι ημιαγωγικών υλικών: η κρυσταλλική σιλικόνη, η άμορφη σιλικόνη και πιο πρόσφατα τα  $\text{CuInSe}_2$  και  $\text{CdTe}$ . Η κρυσταλλική σιλικόνη είναι το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία ημιαγωγών. Αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχει μαζική παραγωγή για την κρυσταλλική σιλικόνη, καθώς επίσης και στο ότι εμφανίζει εξαιρετική σταθερότητα ως υλικό με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται μεγάλη διάρκεια ζωής στο ηλιακό κύτταρο. Παράλληλα με την κρυσταλλική σιλικόνη επεκτάθηκε τα τελευταία χρόνια και η χρήση της άμορφης σιλικόνης. Η άμορφη σιλικόνη κατέκτησε την αγορά των μικρών εφαρμογών όπως ρολογιών, υπολογιστικών μηχανών τσέπης, όπου χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά, ενώ μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν κρυσταλλική σιλικόνη ή  $\text{CdTe}$ . Εξαιτίας όμως του μικρού βαθμού απόδοσης και των προβλημάτων σταθερότητας που εμφανίζει το καθιστούν απαγορευτικό ως υλικό για να χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερες εφαρμογές. Το ηλιακό κύτταρο είναι σχετικά μικρό σε διαστάσεις, περίπου  $10 \times 10 \text{cm}$ , και παράγει επίσης χαμηλή τάση. Η τάση που παράγει το Φ/Β μεταβάλλεται ελάχιστα με την ένταση της ακτινοβολίας, σε αντίθεση με το παραγόμενο ρεύμα, το οποίο είναι ανάλογο της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν αυξάνεται δηλαδή η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνεται και το ρεύμα που παράγεται από το Φ/Β κύτταρο. Τα Φ/Β κύτταρα έχουν σκούρο χρώμα, γεγονός που βοηθά στην απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοστών ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και στην αύξηση της θερμοκρασία του. Η αύξηση της

θερμοκρασίας όμως, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της τάσης που δημιουργείται στα άκρα του Φ/Β κυττάρου, συγκεκριμένα πάνω από τους 25OC για κάθε ένα παραπάνω βαθμό υπάρχει αντίστοιχη μείωση της απόδοσης κατά 0,4%. Για να εξασφαλίσουμε τις επιθυμητές τιμές τάσης και ρεύματος, τοποθετούμε αντίστοιχα πολλά Φ/Β κύτταρα σε σειρά και παράλληλα. Οι συνδέσεις των κυττάρων μεταξύ τους γίνονται πίσω από μία γυάλινη επιφάνεια, πάνω στην οποία τοποθετούνται τα κύτταρα. Η γυάλινη πλάκα ενισχύεται με ένα πλαίσιο από αλουμίνιο ή από ευγενή χάλυβα που βελτιώνει την σταθερότητά της, με τον τρόπο αυτό κατασκευάζεται η ηλιακή γεννήτρια ή διαφορετικά το Φ/Β πλαίσιο. Το συνηθέστερο μέγεθος μιας ηλιακής γεννήτριας κυμαίνεται μεταξύ του 0.25 έως 1m<sup>2</sup>. Για μεγαλύτερη ισχύ χρειαζόμαστε περισσότερες ηλιακές γεννήτριες συνδεδεμένες μεταξύ τους. Μια τέτοια σύνθεση λέγεται Φ/Β πάνελ. Πολλά τέτοια σε σειρά ή παράλληλα μας κάνουν μια Φ/Β Συστοιχία. Πολλές τέτοιες μαζί διαμορφώνουν ένα Φ/Β Πάρκο ή Φ/Β Σύστημα. Ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας των Φ/Β συστημάτων διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

## **Αυτοδύναμα ή Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα**

Ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και όπου είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου σε περίπτωση που χρησιμοποιούνταν μία γεννήτρια ντίζελ. Τα συστήματα αυτά απαιτούν συσσωρευτές για την εξασφάλιση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις νυκτερινές ώρες ή σε μέρες συννεφιάς.

## **Φ/Β Συστήματα Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο**

Τα συστήματα αυτά βρίσκονται εγκατεστημένα κοντά σε ήδη υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και παρέχουν την ηλεκτρική τους ισχύ σε αυτό.

## **Συμμετοχή Φ/Β σε Υβριδικά Συστήματα**

Τα Υβριδικά συστήματα αποτελούνται από διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ανανεώσιμες και συμβατικές. Για παράδειγμα, αναφέρεται το Φωτοβολταϊκό Σύστημα των 20MW στην Αυστραλία από την BP Solar Australia. Ας σημειωθεί, ότι αυτό και μόνο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες 10.000 σπιτιών, ενώ το κάρβουνο που θα καιγόταν για να τις καλύψει θα απελευθέρωνε περί τους 8.000 τόνους CO<sub>2</sub> το χρόνο.

## **2.5. Συμμετοχή Φ/Β σε Υβριδικά Συστήματα**

Τα Υβριδικά συστήματα αποτελούνται από διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ανανεώσιμες και συμβατικές. Για παράδειγμα, αναφέρεται το Φωτοβολταϊκό Σύστημα των 20MW στην Αυστραλία από την BP Solar Australia. Ας σημειωθεί, ότι αυτό και μόνο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες 10.000 σπιτιών, ενώ το κάρβουνο που θα καιγόταν για να τις καλύψει θα απελευθέρωνε περί τους 8.000 τόνους CO<sub>2</sub> το χρόνο.

Το φωτοβολταϊκό μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Όμως, η ηλιακή ακτινοβολία είναι μεταβλητό μέγεθος. Επομένως, το ρεύμα και η τάση εξόδου του panel δεν θα είναι σταθερές συναρτήσεις του χρόνου, γεγονός που δεν επιτρέπει την απ'ευθείας σύνδεση με το δίκτυο ή οποιοδήποτε φορτίο. Γι'αυτό το λόγο μεταξύ του panel και του φορτίου

μεσολαβούν κάποιες συσκευές που εξασφαλίζουν σταθερότητα και προστασία και οι οποίες είναι οι εξής:

#### Ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης, παρέχει όλες τις προστασίες και διαθέτει οθόνη υγρών κρυστάλλων. Ελέγχει δεδομένα όπως κατάσταση μπαταρίας, φόρτισης από Φ/Β συλλέκτες, μηνύματα σφαλμάτων- τάση και ρεύμα εξόδου. Με ηλεκτρονικά κυκλώματα που διαθέτει παρέχει το επιθυμητό ρεύμα εξόδου σε σταθερή τάση.

#### Συσσωρευτής

Ο ρυθμιστής φόρτισης εξασφαλίζει τη σωστή φόρτιση της μπαταρίας η οποία είναι απαραίτητος κρίκος για τη σωστή λειτουργία του συστήματος καθώς παρέχει σταθερότητα και αυτονομία. Υπάρχουν πολλών ειδών μπαταρίες ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος.

#### Μετατροπέας (inverter)

Το panel όπως προαναφέραμε παρέχει dc ρεύμα και τάση όπως και η μπαταρία. Επομένως, η ύπαρξη του μετατροπέα έγκειται στο είδος του φορτίου(ac, dc). Αν το φορτίο είναι ac χρειάζεται μετατροπέας καθαρής ημιτονικής κυματομορφής εξόδου ή παλμού ο οποίος να παρέχει εναλλασσόμενη τάση στο φορτίο.

### Πίνακας ελέγχου

Περιλαμβάνει τον ρυθμιστή φόρτισης, ασφάλειες για τις συσκευές, ασφάλειες για τα φορτία AC, DC και χειροκίνητο μεταγωγικό διακόπτη φορτίων από την μπαταρία σε γεννήτρια ή ΔΕΗ.

## **2.6. Εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε ένα κτίριο**

Η χρήση των φ/β πλαισίων ως λειτουργικών δομικών στοιχείων ενός κτιρίου διαμορφώνει νέες, οικονομικά ελκυστικότερες λύσεις. Σε αυτό συμβάλλει και η ανάπτυξη νέων ημιδιαφανών φ/β πλαισίων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θέση των υαλοπινάκων, παρέχοντας ταυτόχρονα ηλιακή ενέργεια και ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες.

Η ενσωμάτωση των φ/β πλαισίων στην οροφή ή στην πρόσοψη ενός κτιρίου γίνεται με πολλούς τρόπους. Στις καινοτόμες λύσεις που έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς περιλαμβάνεται και η χρήση φ/β στοιχείων στη θέση άλλων δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτιρίου ή στα σκίαστρα. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι για την τοποθέτηση των φ/β πλαισίων σε ένα κτίριο:

- **Τοποθέτηση σε κεκλιμένα στηρίγματα:** υπάρχει μεγάλη ποικιλία από ξύλινα ή μεταλλικά είδη στηριγμάτων και οι περισσότεροι κατασκευαστές φ/β συστημάτων προσφέρουν στηρίγματα που ταιριάζουν ακριβώς στα φ/β πλαίσια. Σε μερικές περιπτώσεις, η κλίση είναι ρυθμιζόμενη. Η τοποθέτηση αυτή προσφέρει εύκολη πρόσβαση τόσο στο εμπρός όσο και στο πίσω μέρος των φ/β πλαισίων, όταν χρειάζεται να γίνει συντήρηση·βοηθά, επίσης, στον καλό αερισμό και στο δροσισμό των στοιχείων, αυξάνοντας έτσι την

απόδοσή τους. Εντούτοις, το κόστος είναι σχετικά υψηλό, γιατί απαιτείται η χρήση πρόσθετων υλικών και επιπλέον εργασία.

■ **Τοποθέτηση σε ειδική βάση** προσαρμοζόμενη στο εξωτερικό του κελύφους, η οποία εξέχει από την οροφή ή την πρόσοψη του κτιρίου: η κατασκευή αυτή στηρίζεται στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου. Χρειάζεται, όμως, προσοχή για την καλή μόνωση των σημείων στα οποία στηρίζεται η βάση. Η τοποθέτηση αυτή επιτρέπει επίσης τον καλό αερισμό και την ψύξη των φ/β στοιχείων. Το κόστος είναι συνήθως μικρότερο σε σύγκριση με το κόστος που απαιτεί η τοποθέτηση σε κεκλιμένα στηρίγματα, αλλά μεγαλύτερο από το κόστος των μεθόδων που περιγράφονται στη συνέχεια. Αποτελεί μια καλή λύση, ειδικά σε ανακαινιζόμενα κτίρια, στα οποία δεν είναι δυνατόν να γίνουν μεγάλες αλλαγές στο εξωτερικό του κελύφους.

■ **Απευθείας τοποθέτηση** : στην περίπτωση αυτή, η εξωτερική επίστρωση του κτιρίου αντικαθίσταται από φ/β πλαίσια. Παραδείγματος χάριν, τα φ/β στοιχεία τοποθετούνται με τρόπο που το ένα να επικαλύπτει εν μέρει το άλλο, όπως ακριβώς τα κεραμίδια. Το φωτοβολταϊκό κάλυμμα προστατεύει το κτίριο, αλλά δεν είναι πλήρως στεγανό και απαιτούνται μέτρα για τη στεγανοποίησή του. Το κόστος όμως αυτής της μεθόδου είναι σχετικά χαμηλό, γιατί απαιτεί ελάχιστα πρόσθετα υλικά. Επίσης, η υποκατάσταση ορισμένων δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την εξωτερική κάλυψη του κελύφους του από τα φ/β πλαίσια μειώνει το συνολικό κόστος.

■ **Ενσωμάτωση των φ/β πλαισίων στο κέλυφος του κτιρίου** : η μέθοδος αυτή συνίσταται στην υποκατάσταση ολόκληρων τμημάτων του κτιριακού κελύφους από φ/β πλαίσια. Η καλή εφαρμογή αυτής της τεχνικής απαιτεί τη στεγανή σύνδεση των φ/β πλαισίων μεταξύ τους. Παραδείγματος χάριν, φ/β

στοιχεία χωρίς μεταλλικό σκελετό τοποθετούνται σε στηρίγματα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη συμβατικών διαφανών οροφών ή προσόψεων. Τα νέα ημιδιαφανή στοιχεία είναι δυνατόν να τοποθετηθούν στη θέση υαλοπινάκων ή αδιαφανών στοιχείων, παρέχοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών φωτισμού και ηλιοπροστασίας παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενσωμάτωση των φ/β παρέχει δυνατότητες για σημαντική μείωση του κόστους, καθώς εξοικονομείται το κόστος των δομικών στοιχείων του κελύφους τα οποία αντικαθίστανται από τα φ/β στοιχεία.

## **2.7. Κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Το κόστος των Φ/Β συστημάτων εκφράζεται συνήθως σε euro/W αιχμής. Η κυριότερη συνιστώσα του συνολικού κόστους είναι το κόστος των φ/β πλαισίων. Από υπολογισμούς προκύπτει ότι το κόστος για ένα φ/β σύστημα κατανέμεται ως εξής:

- § Φ/Β πλαίσια: 40-60%.
- § Συσσωρευτές: 15-25%.
- § Αντιστροφείς: 10-15%.
- § Υποδομή στήριξης: 10-15%.
- § Σχεδιασμός και εγκατάσταση: 8-12%.

**Τα Φ/Β πλαίσια έχουν διάρκεια ζωής έως και 20 ετών χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση, ενώ σε αυτό το διάστημα οι συσσωρευτές αντικαθίστανται 4-5 φορές.** Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος ενός συστήματος είναι το είδος της εφαρμογής και το αν το σύστημα είναι

συνδεδεμένο ή όχι. Το κόστος είναι συνήθως χαμηλότερο για συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο και η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι, σε αντίθεση με τα αυτόνομα συστήματα, δεν απαιτούν συσσωρευτές. Επίσης, το κόστος ανά  $Wp$  μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του Φ/Β συστήματος. Το κόστος των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένων των συσσωρευτών είναι της τάξεως των 8.217 με 9.391 ευρώ/ $kW$ , ενώ το κόστος των συνδεδεμένων με το δίκτυο Φ/Β συστημάτων είναι της τάξεως των 7.336 ευρώ/ $kW$ . Πρόσφατες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι το κόστος παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β ανέρχεται στα 0,44 ευρώ/ $kWh$  για συνδεδεμένο σύστημα και στα 0,65 ευρώ/ $kWh$  για αυτόνομο σύστημα λίγων  $kW$  εγκατεστημένης ισχύος. Σημειώνεται, όμως, πως η αγορά και η εγκατάσταση οικιακών Φ/Β συστημάτων επιδοτείται από το κράτος μέσω της φοροαπαλλαγής ποσού ίσου μέχρι και του 75% του κόστους τους. Υπάρχουν, επίσης, επιδοτήσεις (όχι ακόμα σε ατομικούς καταναλωτές) στο πλαίσιο του.

## 2.8. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των Φ/Β Συστημάτων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- 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 Wp/Kg, που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές

Τα μειονεκτήματα των Φ/Β συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- 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.

Συνεπώς η εφαρμογή και η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική για όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες, άρα και για την Ελλάδα που έχει πλούσια ηλιοφάνεια. Ακόμα, όμως και για τις βιομηχανικές χώρες, τα Φ/Β συστήματα αποτελούν το κλειδί για την παραγωγή αποκεντρωμένης ενέργειας.

## 2.9. Το παρόν και το μέλλον της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας

Για τα Ελληνικά νησιά η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων είναι πολύ σημαντική και απαραίτητη γιατί, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, παρουσιάζεται σημαντικό πρόβλημα, λόγω της μεγάλης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης οι περισσότερες περιοχές είναι απομονωμένες και οι τυπικές ανάγκες είναι μικρές, αφού οι οικισμοί είναι μικροί και διάσπαρτοι, άρα η διασύνδεση με το δίκτυο είναι δύσκολη αλλά και συχνά μη συμφέρουσα, ενώ η ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής ακτινοβολίας δείχνει να είναι ακόμα πιο επιτακτική, αφού άλλωστε στα νησιά οι συνθήκες λειτουργίας είναι πολύ καλές εξαιτίας των υψηλών ποσοστών ηλιακής ακτινοβολίας.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών από τη ΔΕΗ πλησιάζει τα 230 kWp, ενώ στο σύνολο της χώρας η εγκατεστημένη ισχύς πλησιάζει τα 900 kWp. Οι κυριότερες εφαρμογές Φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα έχουν γίνει σε νησιά, όπου είτε υπήρχε έντονη ανάγκη για αυτόνομη τροφοδότηση ηλεκτρικού ρεύματος είτε συνδέθηκαν στα ήδη υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα τους. Οι τοποθεσίες στις οποίες έγιναν οι εφαρμογές των Φωτοβολταϊκών είναι:

- Ø Κύθνος (860 φωτοβολταϊκά πλαίσια, ισχύος αιχμής 100 kWp)
- Ø Αρκιοί (688 φωτοβολταϊκά πλαίσια, 37,5 kWp)
- Ø Γαύδος (160 φωτοβολταϊκά πλαίσια, 20 kWp)
- Ø Αντικύθηρα (720 φωτοβολταϊκά πλαίσια, 25 kWp)
- Ø Σίφνος, φ/β συνολικής ισχύος 60 kWp
- Ø Μυτιλήνη, φ/β συνολικής ισχύος 8 kWp

- ∅ Θεσσαλονίκη, ΗΛΠΡΑ συνολικής ισχύος 6,5 kWp
- ∅ Πάρος, ΧΑΡΜΗ Α.Ε HOTEL συνολικής ισχύος 10 kWp
- ∅ Αγ. Όρος, Ιερά μονή Σίμωνος Πέτρας συνολικής ισχύος 45 kWp
- ∅ Αγ. Ρούμελη (720 φωτοβολταϊκά πλαίσια, 50 kWp)
- ∅ TIM (80 υβριδικα συστήματα φ/β+diesel)
- ∅ Κτίριο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ συνολικής ισχύος 50 kWp
- ∅ ΣΤΗΛΜΕΤ (81 φωτοβολταϊκά πλαίσια 8.5kWp)
- ∅ Νέες πολυκατοικίες στον Ταύρο με φωτοβολταϊκά στους εξωτερικούς τοίχους
- ∅ Vodafone (125 υβριδικα συστήματα φ/β+diesel)

Τα φ/β κύτταρα υπό μορφή φ/β συστημάτων βρίσκουν εφαρμογή όπου υπάρχει ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια. Το διεθνές ενδιαφέρον για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας και την εγκατάσταση φ/β συστημάτων δεν διατηρείται σταθερό αλλά αυξάνει ή υποχωρεί ανάλογα με τις εξελίξεις στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, στο κόστος καυσίμων και στις προοπτικές ανάπτυξης. Πάντως, οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι στις επόμενες δεκαετίες τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα καλύπτουν σε πολλές χώρες σημαντικό ποσοστό (10-20%)

## **2.10. Λοιπά Μέρη του Υβριδικού Συστήματος (Συσσωρευτής, Ρυθμιστής, Γείωση-Καλωδίωση, Πίνακας Χαμηλής Τάσης, Inverter)**

### **2.10.1 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές (Μπαταρίες)**

#### *Γενικά*

Η στατιστική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και του αιολικού δυναμικού ενός τόπου και η δυνατότητα μετατροπής μέρους αυτών σε καθαρή για το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου του τρέχοντος επιπέδου της τεχνολογίας, καθιστά όλο και πιο συχνά επιτακτική τη χρήση των ηλιακών κυττάρων και των ανεμογεννητριών ως γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλιοφάνειας και της ταχύτητας ανέμου ενός τόπου αντιπαρατιθέμενα στην ίδια τη φύση του φαινομένου, που χαρακτηρίζεται από τις έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, θα περιορίζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Στο κεφάλαιο αυτό, εκτός από τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των συσσωρευτών θα εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται

υπόψη όταν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα και ανεμογεννήτριες .

#### *Αρχή λειτουργίας και είδη συσσωρευτών*

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. Η δυνατότητα να αποταμιεύουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή ή όχι είναι αυτή που χωρίζει τους συσσωρευτές σε δύο κύριες κατηγορίες:(1)στην κατηγορία των πρωτεύοντων συσσωρευτών όπου ανήκουν αυτοί που έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια την οποία και μπορούν να την αποδώσουν ως ηλεκτρική, δεν μπορούν όμως να επαναφορτιστούν- οι τυπικές μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και επειδή δεν μπορούν να επαναφορτιστούν δεν είναι λειτουργικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα, και (2) στην κατηγορία των συσσωρευτών που επιπρόσθετα μπορούν να επαναφορτιστούν, που τους κάνει κατάλληλους για φωτοβολταϊκά και υβριδικά συστήματα .

Παρακάτω παραθέτουμε τα πιο συνηθισμένα είδη συσσωρευτών:

1. *lead-acid*(μολύβδου-οξειδίου)
2. *nickel-cadmium*(νικελίου-καδμίου)
3. *nickel-iron*(νικελίου –σιδήρου)
4. *nickel-hydrid*(νικελίου –υδριδίου)
5. *λιθίου*
6. *pb sd* (μολύβδου-αντιμονίου).

7. αργύρου-ψευδαργύρου

8. redox

Για εφαρμογές υβριδικών 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 χωρητικότητά τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Τέτοιοι συσσωρευτές είναι οι lead-acid, redox και nickel-cadmium ενώ οι μπαταρίες nickel-iron, λιθίου, pb-sd και nickel-hydrid δεν συνηθίζονται σε τέτοια συστήματα καθώς οι πρώτες πάσχουν από υψηλό δείκτη εκφόρτισης ενώ οι υπόλοιπες είναι σχετικά ακριβές και χρειάζονται πιο εξελιγμένο σύστημα ελέγχου για την σωστή φόρτισή τους. Οι μπαταρίες Redox είναι μία πρόσφατη πρόταση στον τομέα αυτό που ενδέχεται να αποτελέσει μία οικονομικά συμφέρουσα λύση στο προσεχές μέλλον. Μοιάζουν με επαναφορτιζόμενες κυψέλες υδρογόνου στην λειτουργία τους ενώ έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και υψηλό αριθμό κύκλων λειτουργίας(16.000) για μεγάλα συστήματα. Επιπλέον, επαναφορτίζονται και ηλεκτρικά αλλά και μηχανικά ενώ μπορούν να εκφορτιστούν τελείως χωρίς πρόβλημα. **Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε μπαταρίες lead-acid καθώς τα χαρακτηριστικά τους (μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης) αποτελούν καθοριστικό παράγοντα.**

### *Μπαταρίες Lead-Acid*

Είναι οι πιο συνηθισμένες μπαταρίες σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω του χαμηλού κόστους και χωρίζονται σε βαθιάς και ρηχής εκφόρτισης. Στα συγκεκριμένα συστήματα είναι φυσικό να συναντώνται οι πρώτες καθώς οι μπαταρίες χρειάζεται να εκφορτίζονται ως και στο 80% της χωρητικότητάς τους. **Αυτού του είδους η μπαταρία αποτελείται από πλάκες μολύβδου βυθισμένες σε θειικό οξύ κι έχουν ονομαστική τάση 2V/cell, τάση εκφόρτισης 1,8V/cell και τάση φόρτισης 2,3-2,5V/cell.**

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη μπαταριών μολύβδου-οξειδίου ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες τέτοιων μπαταριών, οι **ανοιχτές(open lead-acid)** και οι **σφραγισμένες(sealed lead acid batteries)**.

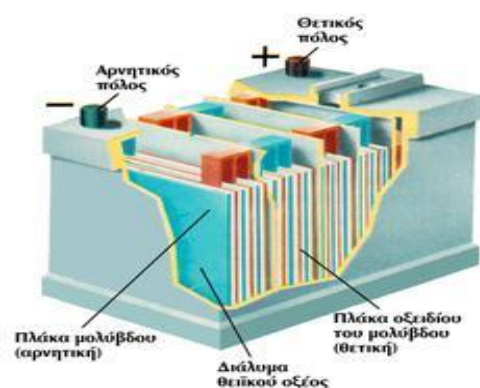
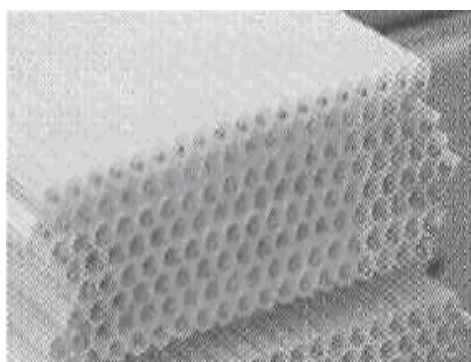
Σε συστήματα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συναντώνται 3 ειδών μπαταρίες lead-acid : **οι flooded lead-acid, οι agm(absorbed glass mat-sealed) και οι gel(gelled electrolyte)**.

-Οι *flooded* αν και έχουν φθηνό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής, υστερούν ως προς την αναγκαιότητα συντήρησης.

-Οι *agm* έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο καθώς δεν απαιτούν καθόλου συντήρηση, είναι απόλυτα σφραγισμένες και το κόστος έχει αρχίσει να μειώνεται καθιστώντας τις ανταγωνιστικές σε σχέση με τις *gelled*.

-Τέλος, οι *gel* (σχήμα 2.1) έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής μετακινούνται εύκολα, δεν έχουν διαρροές και δεν χρειάζονται συντήρηση .

Σχήμα 2.1 Gel Lead Acid Battery



Μεταξύ των 3 κατηγοριών επιλέγουμε τις gel lead-acid καθώς ανταποκρίνονται περισσότερο στις ανάγκες του υβριδικού μας συστήματος.

### *Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών*

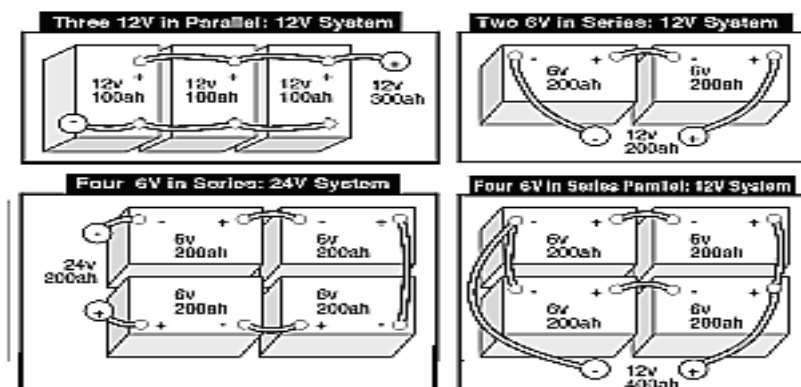
#### **1. Τρόποι Συνδεσμολογίας των Συσσωρευτών**

Όπως προαναφέραμε οι μπαταρίες lead-acid, όπως όλες δίνουν κάποια συγκεκριμένη τάση και ρεύμα ανάλογα με το μέγεθός τους και τον τύπο τους. Επομένως, για να προσαρμοστούν στις ανάγκες του συστήματος, κάνουμε τις κατάλληλες συνδεσμολογίες (εν σειρά, παράλληλα ή συνδυασμούς) οι οποίοι αυξάνουν την τάση ή το ρεύμα. Πιο συγκεκριμένα, η εν σειρά συνδεσμολογία η μπαταριών (όμοιων) δίνει τάση εξόδου n-πλάσια της



αρχικής, ενώ η παράλληλη η μπαταριών η-πλάσιο ρεύμα. Ο συνδυασμός των 2 συνδεσμολογιών αυξάνει και τάση και ρεύμα. Στο ακόλουθο σχήμα φαινονται 4 συνδεσμολογίες.

Σχήμα 2.2 Συνδεσμολογίες Μπαταριών



Συνεχίζοντας,πρέπει να αναφερθούμε σε ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών όπως η δυνατότητα αποταμίευσης ενέργειας, οι περιορισμοί στο ρεύμα που μπορεί να παρασχεθεί προς κατανάλωση από έναν συσσωρευτή, η συμπεριφορά του σε σχέση με τη θερμοκρασία και τα όρια γενικότερα της λειτουργίας του.

## 2.Χωρητικότητα

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν, είναι η χωρητικότητα C του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό φόρτισης ή ρυθμό εκφόρτισης. Εξαρτάται από αρκετούς σχεδιαστικούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, η ποσότητα του ενεργού υλικού, ο αριθμός, ο σχεδιασμός και οι φυσικές διαστάσεις των πλακών (ηλεκτροδίων).

**Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο**

ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από τη μπαταρία), η τάση της μπαταρίας στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία της μπαταρίας και το ιστορικό της χρήσης της (κακή χρήση κτλ). Η συνήθης μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι αμπερ-ώρες (Ah) ενώ ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας C προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με ρυθμό εκφόρτισης C/120). Φυσικά, η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Ah/h. Έτσι, μία μπαταρία με χωρητικότητα C-375 Ah ορισμένη σε ρυθμό εκφόρτισης C/120, δηλαδή 375A, μπορεί να αποδίδει 375A για χρονικό διάστημα 120 ωρών (η χωρητικότητα ορισμένη για ρεύμα εκφόρτισης 375A μπορεί να αναφέρεται και ως K375). Μερικές φορές η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή, εκφράζεται σε KWh και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000. Για παράδειγμα, συσσωρευτής 12V,100Ah, έχει χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια  $12 * 100 = 1.2KWh$

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας στην επιλογή του αριθμού των κυψελίδων και του τύπου του συσσωρευτή. Δεδομένου του μέγιστου ρεύματος που μπορεί ένα φορτίο να καταναλώσει και του χρονικού διαστήματος που το φορτίο μπορεί να εξαρτάται αποκλειστικά από το συσσωρευτή (δηλαδή την αυτονομία του), η χωρητικότητα που απαιτείται πρέπει να είναι ορισμένη για ρυθμό εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με το μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης ή για χρόνο εκφόρτισης

τουλάχιστον ίσο με τον χρόνο που το φορτίο θα καταναλώνει αποκλειστικά από τον συσσωρευτή. Σημαντικός παράγοντας επιλογής της χωρητικότητας είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή καθώς οι επιδράσεις της μπορεί να είναι σημαντικές. Ειδικότερα για συσσωρευτές μολύβδου, η θερμοκρασία λειτουργίας μεταβάλλει έντονα τη χωρητικότητα τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας, έχει αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας, ενώ για λειτουργία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνεται. Όταν η θερμοκρασία λειτουργίας πέσει σημαντικά, η ιδέα της προσέγγισης της αρχικής χωρητικότητας μέσω εσκεμμένης υπερφόρτισης πρέπει να εγκαταλειφθεί, αφού υπάρχει κίνδυνος εξαέρωσης.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τη φόρτιση ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα εξαέρωσης του ηλεκτρολύτη και για την εκφόρτιση που πρέπει να είναι περιορισμένη.

Άλλο μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge, SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα  $\frac{3}{4}$  της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι βρίσκεται στο 25% SOC.

### **3.Βαθμός Απόδοσης**

Στις μπαταρίες ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 85-92%. Οι απώλειες στο εσωτερικό του συσσωρευτή προκαλούνται από τις εσωτερικές χημικές αντιδράσεις που γίνονται στο εσωτερικό αλλά και από τα υλικά που

χρησιμοποιούνται τα οποία δεν είναι απολύτως καθαρά. Έτσι, η μπαταρία χάνει 1-2% καθημερινά και το ποσοστό αυτό αυξάνεται με την παροδο του χρόνου.

#### **4.Εκφόρτιση και επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης**

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge - DOD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Στα τυπικά υβριδικά συστήματα, προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου, από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών, ή από τον inverter, και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή.

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς τον συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα υβριδικά συστήματα (και που αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο), διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας.

#### **2.10.2Ρυθμιστής φόρτισης(Charge controller)**

Από όσα έχουν ήδη αναφερθεί και θα αναφερθούν στα επόμενα κεφάλαια, οι συσσωρευτές είναι αναπόσπαστο μέρος των υβριδικών συστημάτων. Για να βελτιστοποιηθεί η συνεργασία τους με το φωτοβολταϊκό panel και την

ανεμογεννήτρια είναι απαραίτητος ο ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών (charger controller) ο οποίος εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία.

Η πρωταρχική λειτουργία ενός ρυθμιστή φόρτισης σε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα είναι να διατηρεί την μπαταρία σε μια όσο το δυνατό μέγιστη κατάσταση φόρτισης προστατεύοντάς την ταυτόχρονα από υπερφόρτιση και από υπερβολική εκφόρτιση από το φορτίο. Αν και μερικά υβριδικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν χωρίς ρύθμιση φόρτισης, κάποιο σύστημα που περιλαμβάνει μη προβλέψιμο φορτίο, επέμβαση από τον χρήστη και βελτιστοποιημένη ως προς το κόστος μπαταρία, τυπικά χρειάζεται έναν ρυθμιστή φόρτισης μπαταρίας ώστε να υποβοηθείται η καλή λειτουργία και η αυξημένη απόδοση του.

### **Προστασία από υπερφόρτιση μέσω charger controller**

Σε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα, όταν το φωτοβολταϊκό και η ανεμογεννήτρια λειτουργούν κάτω από ιδανικές συνθήκες ηλιοφάνειας και έντασης ανέμου, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται πολλές φορές ξεπερνάει τις απαιτήσεις κατανάλωσης του φορτίου. Για να αποφευχθεί κάποια ζημιά στη μπαταρία από υπερφόρτιση, χρησιμοποιείται ο ρυθμιστής φόρτισης ο οποίος παράγει κατάλληλα σήματα και διακόπτει τη φόρτιση της, αποσυνδέοντας τη συστοιχία από αυτή και το φορτίο. Ένας ρυθμιστής φόρτισης θα πρέπει να αποτρέπει την υπερφόρτιση της μπαταρίας ανεξάρτητα από το μέγεθος σχεδίασης του συστήματος, τις μεταβολές στο προφίλ του φορτίου, τις μεταβολές στη θερμοκρασία λειτουργίας και τις μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία.

Ο έλεγχος φόρτισης είναι η πρωταρχική λειτουργία του ρυθμιστή και το πιο σημαντικό μέλημα που σχετίζεται με την απόδοση και διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Χωρίς έλεγχο φόρτισης, το ρεύμα από τη συστοιχία θα φόρτιζε ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ταχύτητα του ανέμου τη μπαταρία ανεξαρτητα αν αυτή χρειάζεται φόρτιση ή όχι. **Αν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, μια χωρίς έλεγχο φόρτιση θα προκαλούσε υπερβολική στάθμη της τάσης της μπαταρίας, προκαλώντας υπερθέρμανση και επιτάχυνση στην διάβρωση του πλέγματος της μπαταρίας, οπότε και σταδιακά την καταστροφή της μπαταρίας όπως και τη βλάβη στο φορτίο.** Η ρύθμιση φόρτισης πραγματοποιείται συνήθως με την οριοθέτηση της μέγιστης τιμής της τάσης της μπαταρίας, διακόπτοντας με την υπέρβαση του ορίου αυτού την τροφοδότησή της με ρεύμα από τη γεννήτρια. Ανάλογα με τη μέθοδο ρύθμισης, το ρεύμα είναι δυνατό να περιορίζεται σταδιακά όσο πλησιέστερα στην ανώτατη τιμή της βρίσκεται η τάση της μπαταρίας, όπως ακόμα υπάρχει η δυνατότητα να υπάρχει κάποιο όριο τάσης, μικρότερο από την τάση προστασίας από υπερφόρτιση, για το οποίο θα επανασυνδεθεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια στην μπαταρία όταν αυτή έχει πάψει να είναι πλήρως φορτισμένη, ξεκινώντας έναν νέο κύκλο φόρτισης. Η κατάλληλη επιλογή της τάσης πλήρους φόρτισης εξαρτάται κυρίως από τον τύπο και τη χωρητικότητα της συστοιχίας των συσσωρευτών.

### **Προστασία από υπερβολική εκφόρτιση μέσω charger controller**

Σε περίπτωση όπου η κατανάλωση υπερβαίνει την παραγωγή ενέργειας, το αποτέλεσμα θα είναι η εκφόρτιση των συσσωρευτών. Όταν η μπαταρία

εκφορτίζεται έντονα η χημική αντίδραση στην μπαταρία λαμβάνει μέρος κοντά στο πλέγμα και με τον τρόπο αυτό εξασθενεί η σύνδεση των ηλεκτροδίων και του πλέγματος. Όταν η μπαταρία επαναλαμβανόμενα εκφορτίζεται υπερβολικά, επιταχύνεται η απώλεια στη χωρητικότητα και στη διάρκεια ζωής. Επίσης όταν η μπαταρία εκφορτιστεί υπερβολικά, η τάση πέφτει κάτω από το όριο λειτουργίας του φορτίου του συστήματος και το φορτίο μπορεί να υπολειτουργήσει ή να μη λειτουργήσει καθόλου. **Για την προστασία των μπαταριών από την υπερβολική εκφόρτιση, οι περισσότεροι ρυθμιστές φόρτισης περιλαμβάνουν μία επιπλέον λειτουργία να αποσυνδέουν το φορτίο του συστήματος από τη στιγμή που η μπαταρία φτάσει μία χαμηλή τάση λειτουργίας ή ένα χαμηλό επίπεδο φόρτισης.** Το επίπεδο αυτό προσδιορίζει το μέγιστο βάθος εκφόρτισης και διαθέσιμης χωρητικότητας της μπαταρίας σε λειτουργία ενός υβριδικού συστήματος. Η κατάλληλη στάθμη τάσης αποκοπής του φορτίου θα διατηρήσει την καλή κατάσταση της μπαταρίας ενώ θα παρέχει τη μέγιστη χωρητικότητα και διαθεσιμότητα του φορτίου. Για να καθοριστεί αυτή η τάση, ο σχεδιαστής θα πρέπει να λάβει υπόψη τον βαθμό εκφόρτισης της μπαταρίας σε σχέση με την κατανάλωση του φορτίου.

Η προστασία από υπερβολική εκφόρτιση σε έναν ρυθμιστή φόρτισης, πραγματοποιείται συνήθως με την ανοιχτοκύκλωση της σύνδεσης μεταξύ της μπαταρίας και του φορτίου όταν η τάση φτάσει μία προεπιλεγμένη χαμηλή τιμή. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με κάποιο relay. Οι περισσότεροι ρυθμιστές έχουν κάποια φωτεινή ένδειξη ή κάποια ακουστική ειδοποίηση ώστε να προειδοποιούν τον χρήστη/διαχειριστή του συστήματος για την αποσύνδεση του φορτίου. Μόλις η μπαταρία επαναφορτιστεί σε κάποιο

επιθυμητό επίπεδο τάσης υψηλότερο από την τάση αποκοπής του φορτίου, ο ρυθμιστής φόρτισης επαναφέρει τη σύνδεση του φορτίου με τη μπαταρία, και αυτό διότι αμέσως μετά την αποκοπή του φορτίου από τη μπαταρία στην τάση αποκοπής του φορτίου, η τάση της μπαταρίας αυξάνει στην τιμή ανοιχτού κυκλώματος της, προκαλώντας έτσι μια πολύ πιθανή κυκλική σύνδεση και επανασύνδεση του φορτίου και ριψοκινδυνεύοντας μια πιθανή βλάβη του. Η επιλογή της τάσης επανασύνδεσης του φορτίου θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την τάση αποκοπής του, ώστε να εξασφαλιστεί η επαναφόρτιση της μπαταρίας χωρίς όμως να θυσιαστεί η διαθεσιμότητα του φορτίου.

### **Ρυθμιστής Φορτίσεως Συσσωρευτών από Φωτοβολταϊκά (Mpp Tracker)**

Στις υλοποιήσεις των ρυθμιστών φόρτισης συσσωρευτών με κύριο μέλημα τους την προστασία του συσσωρευτή από υπέρταση (διατηρώντας την τάση της μπαταρίας κοντά σε μια προκαθορισμένη από τον σχεδιαστή στάθμη πλήρους φόρτισης), όπως και την προστασία του συσσωρευτή από υπερβολική εκφόρτιση (αποκόπτοντας το φορτίο από το υβριδικό σύστημα όταν η τάση της μπαταρίας γίνει ίση με ένα προκαθορισμένο κατώτατο όριο), η ισχύς που τροφοδοτεί το φωτοβολταϊκό και η ανεμογεννήτρια στο σύστημα δεν είναι για όλες τις συνθήκες λειτουργίας η μέγιστη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, **η μεταφορά ισχύος από τη γεννήτρια στη μπαταρία και το φορτίο είναι αποδοτική μόνο για ορισμένες τιμές από μια σχετικά μεγάλη περιοχή τιμών των παραμέτρων λειτουργίας, όπως το μέγεθος του φορτίου, της μπαταρίας, τη θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών κυττάρων, την πυκνότητα ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, τον**



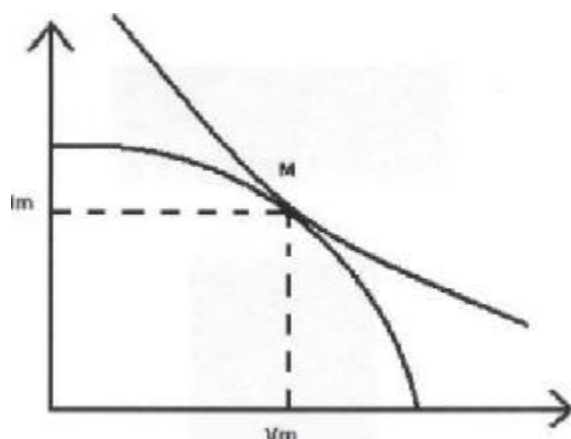
**βαθμό γήρανσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων, κλπ.** Έτσι παρουσιάζονται απώλειες οι οποίες κυμαίνονται από πολύ μικρές ως 10% κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ηλιόλουστης ημέρας. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (**maximum power point tracker**).

Η αρχή λειτουργίας ενός MPPT ρυθμιστή φόρτισης, βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση της δυναμικής αντίστασης  $R_m$  της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και στο κατάλληλο ταίριασμα της εμπέδησης του φορτίου του συστήματος, δηλαδή στην προσαρμογή του σημείου λειτουργίας της συστοιχίας-φορτίου, ώστε το σημείο αυτό λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στο αντίστοιχο με το επίπεδο ηλιοφάνειας σημείο μέγιστης ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με τον συνεχή έλεγχο των αλγεβρικών πρόσημων των παραγώγων της ισχύος και της τάσης στην έξοδο της γεννήτριας με τη βοήθεια των κατάλληλων κυκλωμάτων, τα οποία και παράγουν κατάλληλα σήματα που αλλάζουν την κατάσταση του διακόπτη ενός μετατροπέα dc / dc και διαμορφώνουν κατάλληλα τον κύκλο λειτουργίας του, ώστε να μετατοπίζεται το σημείο λειτουργίας στην I-V χαρακτηριστική της φωτοβολταϊκής γεννήτριας όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος, ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στα ηλιακά κύτταρα.

### **Ρυθμιστής Τάσεως - Εντάσεως**

Στο παρακάτω σχήμα προσδιορίζεται το σημείο μέγιστης ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την περίπτωση εκείνη όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται στους συσσωρευτές

Σχήμα2.3 Σημείο Μέγιστης Ισχύος Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας



Έτσι, με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται η τάση και το ρεύμα εξόδου του Φωτοβολταϊκού πάνελ.

Τα υβριδικά συστήματα διαθέτουν πλέον charger controller και ρυθμιστή φόρτισης είτε ξεχωριστά για το φωτοβολταϊκό και την ανεμογεννήτρια είτε ενιαίο ενώ πολλές φορές η συσκευή αυτή λειτουργεί και ως inverter για τη μετατροπή dc-ac ώστε να τροφοδοτείται το φορτίο ή ακόμα να φορτίζεται ο συσσωρευτής από το δίκτυο αν το σύστημα δεν είναι αυτόνομο.

### 2.10.3. Inverter(Τετραγωνικού παλμού & SPWM)

Οι ηλεκτρονικές αυτές διατάξεις ισχύος μετατρέπουν μία συνεχή τάση σε μονοφασική ή τριφασική εναλλασσόμενη μεταβλητής rms τιμής και

**μεταβλητής συχνότητας.** Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα συσσωρευτή των 12V και επιθυμούμε να παράγουμε εναλλασσόμενη τάση, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν αντιστροφέα ισχύος ο οποίος μπορεί να μας δώσει στην έξοδο του 220V rms συχνότητας 50HZ. Οι αντιστροφείς βρίσκουν εφαρμογές στις ακόλουθες περιοχές :

1. *συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου κινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος*
2. *συστήματα ήπιων μορφών ενέργειας*
3. *συστήματα αδιάκοπης παροχής ηλεκτρικής ισχύος (ups)*
4. *συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας*
5. *συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος*

Υπάρχουν 3 κατηγορίες αντιστροφών:

- μονοφασικοί αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας
- μονοφασικοί αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας
- τριφασικοί αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.

Η τάση εισόδου του αντιστροφέα μπορεί να προέρχεται από ένα συσσωρευτή, από την έξοδο μιας ανορθωτικής διάταξης ή από κάποια άλλη πηγή συνεχούς ρεύματος. Η τάση εξόδου του αντιστροφέα γίνεται εναλλασσόμενη μέσω των ημιαγωγικών διακοπών q. Αυτοί οι ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος ανοιγοκλείνουν έτσι ώστε να παράγεται εναλλασσόμενη τάση στην έξοδο τους και κατά συνέπεια στα άκρα του φορτίου.

Οι ημιαγωγικοί διακόπτες q μπορεί να είναι τρανζίστορ ισχύος, MOSFET ισχύος, IGBT's, GTO's, θυρίστορς ή κάποιο άλλο διακοπτικό στοιχείο ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ φορτίου. Θα πρέπει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι οι ημιαγωγικοί διακόπτες q λειτουργούν ως διακόπτες που μπορεί να βρίσκονται είτε σε κατάσταση αγωγής είτε σε κατάσταση

αποκοπής. Οι δίοδοι στα άκρα των διακοπών  $q$  χρειάζονται για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από το φορτίο προς την είσοδο, οπότε ο αντιστροφέας λειτουργεί ως ανόρθωση μέσω των διόδων. Ο αντιστροφέας έχει αμφίπλευρη δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Για να εξηγήσουμε την λειτουργία του αντιστροφέα θα χρησιμοποιήσουμε σαν παράδειγμα την λειτουργία του μονοφασικού αντιστροφέα. Αρχικά δίνοντας θετικούς παλμούς οδήγησης ή έναυσης στις πύλες των MOSFET  $q_1, q_4$ , αυτά μεταβαίνουν σε κατάσταση αγωγής με αποτέλεσμα να συνδέουν τη dc τάση εισόδου στα άκρα του φορτίου και να δημιουργείται ένας θετικός παλμός τάσης  $V$  και εύρους ίσου με τη χρονική διάρκεια αγωγής των  $q_1, q_4$ . Κατά τη φάση αυτή δεν άγουν οι διακόπτες  $q_2, q_3$  -στην συνέχεια αφαιρούμε τους παλμούς οδήγησης από τους  $q_1, q_4$  και εφαρμόζουμε θετικούς παλμούς οδήγησης ίδιας χρονικής διάρκειας στους διακόπτες  $q_2, q_3$  που έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργήσει στα άκρα του φορτίου έναν αρνητικό παλμό τάσης  $V$  και εύρους όσο είναι το εύρος του θετικού παλμού. Όταν θέλουμε η τάση στα άκρα του φορτίου να έχει μηδενική τιμή τότε γι' αυτή τη χρονική διάρκεια πρέπει να αναγκάσουμε με παλμούς οδήγησης να άγει είτε το ζευγάρι  $q_1, q_2$  είτε το ζευγάρι  $q_3, q_4$ .

Εξετάζοντας την κυματομορφή της διάταξης διαπιστώνουμε ότι αν και είναι τετραγωνικής μορφής παρά ταύτα είναι εναλλασσόμενη. Η κυματομορφή αυτή, εάν την αναπτύξουμε σε σειρά fourier θα δούμε ότι περιέχει συνιστώσες ημιτονοειδούς μορφής εκ των οποίων η πρώτη ή θεμελιώδης είναι αυτή η οποία παράγει έργο και ονομάζεται χρειαζόμενη συνιστώσα. Οι

υπόλοιπες συνιστώσες, οι οποίες ονομάζονται μη χρειαζόμενες ή παρασιτικές συνιστώσες, μπορούν να εξαλειφθούν ή να μειωθούν χρησιμοποιώντας ένα LC φίλτρο μεταξύ εξόδου του αντιστροφέα και του φορτίου.

Οι **παλμοί οδήγησης** των MOSFET είναι της τάξης των 12V και δημιουργούνται στην πλακέτα του κυκλώματος ελέγχου που είναι ένα από τα τμήματα του αντιστροφέα. Οι παλμοί αυτοί παράγονται από μικροεπεξεργαστές ή από ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος (**digital signal processors-dsp**) κι έχουν μεταβαλλόμενο εύρος ανάλογα με την αυξομείωση της τάσης εισόδου(**pulse width modulation**).

Με την τεχνική pulse width modulation, σε επίπεδο κυκλώματος ελέγχου παράγονται μια κυματομορφή αναφοράς και μια τριγωνική κυματομορφή(κυματομορφή φορέα). Αυτές οι 2 κυματομορφές εφαρμόζονται στην είσοδο ενός συγκριτή όπου η κυματομορφή εξόδου καταλήγει να είναι μια τετραγωνική εναλλασσόμενη κυματομορφή.

Εξετάζοντας την κυματομορφή μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αυξομειώνοντας το εύρος του θετικού και αρνητικού παλμού συμμετρικά ταυτόχρονα τότε έχουμε την δυνατότητα αυξομείωσης της rms τιμής της τάσης εξόδου του αντιστροφέα. Επίσης, αυξομειώνοντας την περίοδο λειτουργίας του αντιστροφέα έχουμε την δυνατότητα αυξομείωσης της συχνότητας της τάσης εξόδου. Επομένως, μέσω των παλμών οδήγησης των ημιαγωγικών διακοπών που προέρχονται από το κύκλωμα ελέγχου έχουμε

την δυνατότητα παραγωγής εναλλασσόμενης τάσης μεταβλητής rms τιμής και συχνότητας.

Η τάση εξόδου μετά από μετασχηματισμό fourier είναι:

$$v_o = \sum_{n=1,2,3}^{\infty} a_n \sin(nvt) + \sum_{n=1,2,3}^{\infty} b_n \cos(nvt) \quad (1)$$

όπου  $b_n=0$  και  $a_n=4V\sin(n\delta/2)/n\pi=V_{o,n}$ (πλάτη περιπτών αρμονικών).

Όπως βλέπουμε η έξοδος του αντιστροφέα δεν δίνει αρμονικές άρτιας τάξης.

Όπως αναφέραμε, όταν η τάση εξόδου του αντιστροφέα είναι τετραγωνικής μορφής, περιέχει παρασιτικές συνιστώσες(περιπτής τάξης) και η τάση εξόδου παρουσιάζει το μικρότερο THD(30%) για  $\delta=130^\circ$ . Επομένως,τις περισσότερες φορές λόγω της φύσης του φορτίου πρέπει να εξαλειφθούν ή να μειωθούν μέσω ενός LC φίλτρου,( του οποίου το βάρος, το κόστος και ο όγκος είναι αρκετά μεγάλο) καθώς ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης THD πρέπει να είναι μικρότερος από 5% όπου το THD δίνεται από τον τύπο:

$$THD\% = \frac{1}{V_{o,1}} \left( \sum_{n=3,5}^{\infty} (V_{o,n})^2 \right)^{1/2} * 100 \quad (2)$$

Για το λόγο αυτό σήμερα όλοι οι μοντέρνοι αντιστροφείς αντί να παράγουν τετραγωνικής μορφής τάση, παράγουν μία τάση πολλαπλών παλμών(τεχνική **SPWM**). Στη λειτουργία αυτού του τύπου των αντιστροφέων **δημιουργούνται 2 κυματομορφές αναφοράς και μια τριγωνική κυματομορφή**. Η κυματομορφή της διάταξης αρχίζει με παλμούς μικρού εύρους (το πλάτος είναι πάντοτε σταθερό) και όσο πλησιάζει το 1/2 της ημιπεριόδου οι παλμοί αυτοί έχουν μεγαλύτερο εύρος (άρα και μεγαλύτερη

μέση τιμή) όπως συμβαίνει και με μία ημιτονοειδή κυματομορφή. Επομένως, η **κυματομορφή αυτή έχει λιγότερο περιεχόμενο παρασιτικών συνιστωσών** και κατά συνέπεια, ο αντιστροφέας χρειάζεται μικρότερο φίλτρο εξόδου. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί αναλύοντας την κυματομορφή με σειρές fourier. Η τεχνική ελέγχου που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της κυματομορφής πολλαπλών παλμών ονομάζεται **Ημιτονοειδής Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (sinusoidal pulse width modulation-SPWM)**. Η τάση εξόδου στην περίπτωση της SPWM τεχνικής ελέγχεται από πλευράς rms τιμής με την αυξομείωση του εύρους των πολλαπλών παλμών ενώ η συχνότητα ελέγχεται με την αυξομείωση της περιόδου του κύκλου λειτουργίας του αντιστροφέα.

**Με την SPWM τεχνική επιτυγχάνουμε την μείωση των αρμονικών περιττής τάξης κι επομένως το συνολικό THD μειώνεται με αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα στο ρεύμα και στην τάση εξόδου.**

Το ρεύμα που τροφοδοτούμε στο δίκτυο είναι ημιτονοειδές, με πολύ μικρή αρμονική παραμόρφωση. Το σύστημα ελέγχου φροντίζει για την πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία και για το MPP-tracking maximum power point (μέγιστο σημείο ισχύος). Επίσης, ελαχιστοποιεί κάποιες απώλειες που παρουσιάζονται στην standby λειτουργία και στην τροφοδοσία του δικτύου.

## **Αποσύνδεση από το δίκτυο (msd)**

Ένα σημαντικό θέμα έχει να κάνει με την αποσύνδεση του αντιστροφέα από το δίκτυο και το κλείσιμο του, σε περίπτωση που χρειαστεί. Λόγοι που μπορούν να προκαλέσουν την αποσύνδεση του inverter από το δίκτυο:

- η τάση δικτύου μπορεί να κυμαίνεται από -15 % μέχρι +10 % της ονομαστικής τάσης (230V rms). Όταν η τάση υπερβεί τα παραπάνω όρια, ο inverter αποσυνδέεται μέσα σε 0.2 δευτερόλεπτα.
- η συχνότητα του δικτύου μπορεί να κυμαίνεται σε +- 0.2 Hz της ονομαστικής συχνότητας  $f_n=50$  Hz. Όταν η συχνότητα υπερβεί τα παραπάνω όρια, ο inverter αποσυνδέεται μέσα σε 0.2 δευτερόλεπτα.

\*Στο συγκεκριμένο σύστημα δεν ισχύουν τα παραπάνω κριτήρια αποσύνδεσης καθώς δεν υπάρχει διασύνδεση με το δίκτυο(αυτόνομο υβριδικό σύστημα).

## **Βαθμός Απόδοσης inverter**

Ο inverter, όπως αναλύσαμε παραπάνω είναι μια συσκευή που κάνει χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Τα διακοπτικά στοιχεία(θυρίστορς, IGBT's κτλ) που χρησιμοποιούνται προκαλούν απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια της αντιστροφής. Επομένως, οι βαθμοί απόδοσης κυμαίνονται από 80-97% ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και το κόστος του inverter.

Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται 2 ειδών inverter ανάλογα με την κυματομορφή εξόδου που θέλουμε. Υπάρχουν **inverter modified sine-wave(ή quadric-wave)** όπου το φορτίο αντέχει την καταπόνηση των αρμονικών και ενδείκνυται σε αυτόνομα συστήματα όπου η αρμονική



παραμόρφωση δεν επηρεάζει το δίκτυο, και **pure sine-wave** με υψηλότερο κόστος όπου η κυματομορφή εξόδου είναι ημιτονοειδής με πολύ χαμηλή αρμονική παραμόρφωση εξασφαλίζοντας καλή ποιότητα ισχύος.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι οι inverter που υπάρχουν στην αγορά ως επί το πλείστον λειτουργούν χωρίς κανένα πρόβλημα με τόσο μεωμικά όσο και με επαγωγικά φορτία  $\cos\phi\sim 0,6$ . Επομένως, στην περίπτωση του συστήματός μας όπου το συντελεστής ισχύος είναι μεγαλύτερος από 0,9 δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.

#### **2.10.4 Γείωση σε Εγκαταστάσεις Χαμηλής Τάσης**

Στις κτιριακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις διακρίνει κανείς γειώσεις λειτουργίας και προστασίας(μεταλλικών) ενώ αν προβλέπεται και προστασία από κεραυνούς τότε υπάρχει και γείωση για το αλεξικέραυνο. Η γείωση λειτουργίας είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του κυκλώματος ενώ η γείωση προστασίας του ανθρώπου από διαρροή ρεύματος προς το μεταλλικό περίβλημα μιας ηλεκτρικής συσκευής.

##### **Ορισμοί:**

Σύστημα γείωσης: Είναι το σύστημα της ηλεκτρικής εγκατάστασης που χρησιμεύει για να διοχετεύει και να διασκορπίζει στο έδαφος το ηλεκτρικό ρεύμα. Για την ραδιοερασιτεχνική χρήση των κεραιών η καλή γείωση είναι ένα από τα κρισιμότερα σημεία στο στήσιμο ενός σταθμού.

Ηλεκτρόδιο Γείωσης: Είναι το στοιχείο ή το σύνολο στοιχείων του συστήματος γείωσης που εξασφαλίζουν την απ' ευθείας ηλεκτρική σύνδεση με τη γη και διαχέουν το ηλεκτρικό ρεύμα στη γη.

Περιμετρικό καλώδιο Γείωσης: Είναι το ηλεκτρόδιο γείωσης που σχηματίζει ένα κλειστό βρόχο γύρω από την κατασκευή εγκατεστημένο μέσα στο έδαφος.

### **Τύποι Συστημάτων Γείωσης**

Σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ 1197 υπάρχουν οι παρακάτω συνήθεις τρόποι συστημάτων γείωσης, ο τύπου Α, ο τύπου Β και η θεμελιακή γείωση.

#### *1. Σύστημα γείωσης τύπου "Α":*

Το σύστημα γείωσης τύπου "Α" αποτελείται από ακτινικά ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης. Για την αντικεραυνική προστασία, κάθε αγωγός καθόδου πρέπει να συνδέεται σε ένα τουλάχιστον ακτινικό ή κατακόρυφο σύστημα γείωσης ενώ για τις άλλες εφαρμογές μπορεί να συνδέεται σε περισσότερα του ενός συστήματος προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Κατά βάσει τα ακτινικά συστήματα είναι δύο:

(α) με ταινίες σε ακτινικό σύστημα

(β) με γειωτές τύπου "Ε1" ή πλάκες

(α) Το ακτινικό σύστημα με ταινίες αποτελείται από τουλάχιστον τρεις ταινίες, (που έχουν υποστεί με επιτυχία τις προβλεπόμενες από το πρότυπο EN

50164-2 εργαστηριακές δοκιμές) μήκους 9 μέτρων που τοποθετούνται ακτινικά οριζόντια στο έδαφος σε όρυγμα βάθους 50 έως 70 cm, σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνία 45°. Για την καλύτερη απόδοση του συστήματος η τοποθέτηση των ταινιών πραγματοποιείται με κάθετη την μεγαλύτερη πλευρά και αυτό επιτυγχάνεται με ειδικά στηρίγματα. Η τιμή της αντίστασης της γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνει το πλήθος των ακτίνων ή το μήκος των ταινιών. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αγωγός κυκλικής διατομής αλλά συνήθως λόγω μικρής επιφάνειας επαφής του προς το έδαφος, η μετρούμενη τιμή αντίστασης γείωσης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από την αντίστοιχη ταινία ισοδύναμου διατομής. Τέλος δεν συνίσταται η χρήση του συρματόσχοινου ως αντικατάσταση της ταινίας γιατί διαβρώνεται εύκολα και δεν το συνιστούν Ευρωπαϊκά και Διεθνή Πρότυπα. Το ακτινικό σύστημα κατασκευάζεται και από πλάκες ελαχίστων διαστάσεων 500 X 500 X 2 mm από καθαρό ηλεκτρολυτικό χαλκό ή χάλυβα επιψευδαργυρωμένο ελαχίστων διαστάσεων 500X500X 3mm. Τοποθετείται κατακόρυφα εντός του εδάφους με ειδικά στηρίγματα σε βάθος τουλάχιστον 50 cm από την επιφάνεια του εδάφους.

(β). Ο γειωτής τύπου "Ε" είναι ένα τυποποιημένο προϊόν και αποτελείται από πλάκες ηλεκτρολυτικού χαλκού ή χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένου οι οποίες συνιστούν δύο στοιχεία. Το πρώτο στοιχείο παίρνει την μορφή "Π" και το δεύτερο την μορφή "Γ". Τα δύο στοιχεία συναρμολογούνται σε μεταλλικές γωνίες ίδιου υλικού με τις πλάκες και κοχλίες περικόχλια ανοξειδωτα υψηλής ποιότητας. Ο γειωτής "Ε" τοποθετείται σε όρυγμα διαστάσεων 1,7X0,7m και βάθος τουλάχιστον 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

### *1.1. Σύστημα Γείωσης τύπου "B":*

Το σύστημα γείωσης τύπου "B", περιλαμβάνει κυκλικούς βρόγχους , δακτυλίους, όπως την περιφερειακή και την θεμελιακή γείωση και συνιστάται για σκληρά και βραχώδη εδάφη. Κατασκευάζεται από ταινίες και αγωγούς. Η μέση ακτίνα που περικλείεται από τη περιφερειακή γείωση ή την θεμελιακή πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση  $r > I_1$  όπου  $I_1$  το μήκος ηλεκτροδίου σύμφωνα με ορισμένους κανόνες. Η περιφερειακή γείωση κατασκευάζεται από γειωτή ταινίας και σπανιότερα από αγωγό κυκλικής διατομής, ο οποίος τοποθετείται σε όρυγμα βάθους 50 έως 70cm συνήθως και σε απόσταση 1m από το κτίριο περίπου. Και εδώ για καλύτερη απόδοση η ταινία τοποθετείται με τη μεγαλύτερη πλευρά κάθετα και αυτό επιτυγχάνεται με ειδικά στηρίγματα. Η τιμή αντίστασης της γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνει η μέση τιμή του δακτυλίου.

### **Χρήσιμα Στοιχεία Περί Γειώσεων**

Για την επιτυχημένη λειτουργία της γείωσης και καλύτερη προστασία του ανθρώπου θα πρέπει να επιδιώκεται τιμή της αντίστασης γείωσης που να προσεγγίζει θεωρητική τιμή  $R=0$ . Στην πράξη η συνολική τιμή της αντίστασης γείωσης είναι λίγα  $\Omega$ . Σύμφωνα με τα παραπάνω όταν δεν υπάρχει γείωση προστασίας σε μια εγκατάσταση, ή η τιμή της αντίστασης γείωσης είναι μεγάλη ή η αντίσταση του ανθρώπου είναι μικρή, τότε υπάρχουν κίνδυνοι για τον άνθρωπο, που έρχεται σε επαφή με τα μεταλλικά περιβλήματα των διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών. Στην περίπτωση αυτή το αποτέλεσμα της ηλεκτροπληξίας εξαρτάται κυρίως από την τιμή του ρεύματος. Σημασία έχουν

επίσης και άλλοι παράγοντες, όπως: η τιμή της τάσης, η συχνότητα, η χρονική διάρκεια του ηλεκτροφυσικού φαινομένου, η κατάσταση του εδάφους (υγρό, στεγνό) κ.λ.π. Στη βιβλιογραφία δίνονται διάφοροι πίνακες τιμών, ανάλογα με την περίπτωση ηλεκτροπληξίας. Οι πίνακες αυτοί έχουν καταρτιστεί από πειράματα, που έχουν γίνει σε ζώα. Ένας πίνακας, για το αποτέλεσμα της ηλεκτροπληξίας στον άνθρωπο από το εναλλασσόμενο ρεύμα 50 Hz είναι ο παρακάτω. Παρατηρεί κανείς, ότι η επικίνδυνη τιμή του ρεύματος διαρροής σε ασθενείς είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη στον υγιή άνθρωπο.

*Πίνακας 1 Ενδεικτικός Πίνακας*

|   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| 1 Ma  | όριο που γίνεται αντιληπτό  |                      |
| 16 mA   | σύσπαση μυών  |                      |
| 50 mA   | Σε ορισμένες περιπτώσεις απώλεια των αισθήσεων-τραυματισμούς  |                      |
| 100...300 mA  | κοιλιακός ινιδισμός (ταχύτατες συσπάσεις του μυοκαρδίου οι οποίες είναι ανεπαρκείς για την άντληση του αίματος) |                      |
| 5 ~1A   | κοιλιακός ινιδισμός, διακοπή της αναπνοής κατά <del>διαστήματα, εγκαύματα</del>                                 |                      |
| επικίνδυνη τιμή ρεύματος για ασθενείς σε μονάδες επείγουσας ιατρικής (π.χ. : μονάδα εντατικής θεραπείας, μονάδα αναπνευστικής ανεπάρκειας, κ.λ.π. |   | πάνω από 100 $\mu$ A |

### **Μέθοδοι προστασίας στις συνήθεις κτιριακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.**

Πρακτικά, η γείωση προστασίας σε κτιριακές εγκαταστάσεις γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους :

A) Με ηλεκτρόδιο γείωσης (ή άμεση γείωση).

B) Με ουδετέρωση (γείωση στον ουδέτερο του δικτύου όταν ο ουδέτερος του δικτύου είναι γειωμένος)

Γ) Με διακόπτες διαφυγής έντασης ή τάσης και γενικά με απόζευξη της εγκατάστασης

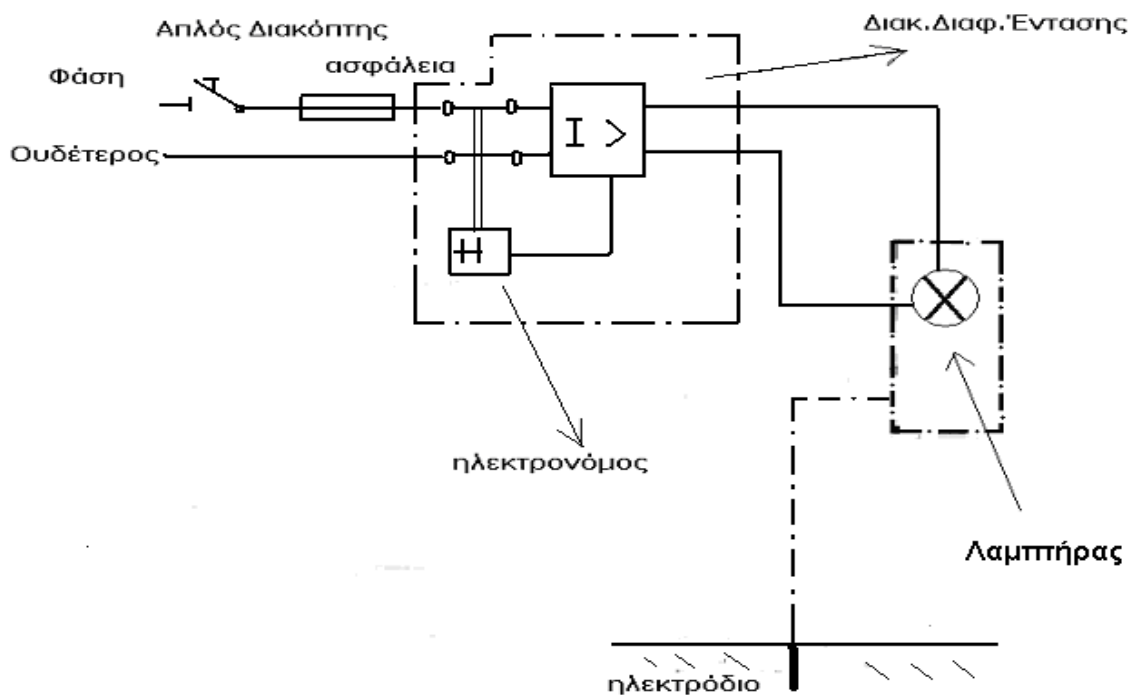
Η **γείωση λειτουργίας** είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του κυκλώματος ενώ η γείωση προστασίας προστατεύει τον άνθρωπο από τυχόν διαρροές ρεύματος προς το μεταλλικό περίβλημα μιας ηλεκτρικής συσκευής με το οποίο έρχεται αυτός σε επαφή.

Ο τρόπος με τον οποίο επενεργεί η **γείωση προστασίας** (ή γείωση μεταλλικών) στηρίζεται στο ότι η αντίσταση του ανθρώπου ( $R_a$ ) είναι από 500 έως 10000 $\Omega$  (πυρήνας-δέρμα) και η αντίσταση του ηλεκτροδίου  $R_{o\lambda}$ . Επομένως για να περιοριστεί το ρεύμα διαρροής προς τον άνθρωπο πρέπει  $R_{o\lambda} \ll R_a$ . Όσον αφορά το **διακόπτη διαφυγής έντασης ή τάσης**, η προστασία επιτυγχάνεται γενικά με την άμεση απόζευξη της εγκατάστασης σε τιμή της τάσης επαφής μικρότερη από 50V. Ο διακόπτης διαφυγής έντασης διακόπτει την παροχή της τάσης σε χρόνο 30ms και για τιμή του ρεύματος διαρροής μικρότερη από 30mA. Σε μονοφασικές παροχές χρησιμοποιούνται διπολικοί διακόπτες(φάση-ουδέτερο). Στο ακόλουθο **μονογραμμικό σχέδιο παρουσιάζεται μια εγκατάσταση μονοφασικής παροχής με διακόπτη διαφυγής έντασης**. (Η γείωση στους σωλήνες νερού είναι επίσης ένα είδος γείωσης με ηλεκτρόδιο, θα πρέπει πάντως να αποφεύγεται, τόσο για τα γαλβανικά φαινόμενα, που προκαλεί στους

σωλήνες ύδρευσης, όσο και για το λόγο χρησιμοποίησης πλαστικών σωλήνων στο δίκτυο ύδρευση της πόλης.)

Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις εφαρμόζεται συνήθως η άμεση γείωση. Ως ηλεκρόδιο γείωσης χρησιμοποιείται συνήθως ένα ή περισσότερα τρίγωνα γείωσης ( π.χ. τρεις σωλήνες γαλβανισμένοι εσωτερικής διατομής 1,1/4 " και μήκους 3 m, που συνδέονται μεταξύ τους με τον αγωγό γείωσης). Οι συνδέσεις γίνονται σε Φρεάτια γείωσης, για να ελέγχονται.

Σχήμα 2.4 Μονογραμμικό Σχέδιο



Ο υπολογισμός των ηλεκτροδίων γείωσης κατά τους Γερμανικούς κανονισμούς για ονομαστικές τάσεις μέχρι 1000 V ( VDE 0100 ) , γίνεται από την τιμή  $r$  , το είδος του ηλεκτροδίου .

Πίνακας 2 Αντίσταση Εδάφους

| Είδος εδάφους                | $r$ σε $\Omega$ |
|------------------------------|-----------------|
| πετρώδες έδαφος              | 3000            |
| στεγνή άμμος ή στεγνό χαλίκι | 1000            |
| υγρό χαλίκι                  | 500             |
| υγρή άμμος                   | 200             |
| χώμα αγρού (φυτική γή)       | 100             |
| βαλτώδες έδαφος              | 30              |

Αντίσταση ενός  $m^3$  γης μεταξύ των δύο πλευρών του (κατά VDE100 για ονομαστικές τάσεις μέχρι 1000 V).

Πίνακας 3 Αντίσταση γείωσης για  $r = 100 \Omega$

| είδος ηλεκτροδίου                               | διαστάσεις ηλεκτροδίου | $R_o$ σε $\Omega$ |
|---|------------------------|-------------------|
| <b>Σωλήνας γαλβανισμένος</b>                    | 1 m μήκος              | 70                |
|   | 2 m μήκος              | 40                |
|   | 3 m μήκος              | 30                |
|   | 5 m μήκος              | 20                |
| <b>κατακόρυφη πλάκα από St ή Cu πάχους 3 mm</b> | επιφάνεια σε $m^2$     |                   |
|   | 0,5 * 1 1              | 35                |
|   | 1 * 1                  | 25                |

Για τον υπολογισμό της επιθυμητής αντίστασης του ηλεκτροδίου έχουμε:

$$r/100=R/R_o \quad (6.17)$$

$$R_{o\lambda} = R + R_{cu} \quad (6.18)$$

όπου :  $R_o$  η αντίσταση του ηλεκτροδίου για τιμή διαφορετική  $r$  από  $100\Omega$ ,

$R_{cu}$  η αντίσταση του αγωγού γείωσης και  $R_{o\lambda}$  η ολική αντίσταση.



## 2.10.5 Καλωδίωση-Πίνακας Χαμηλής Τάσης

Στη μελέτη εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος συμπεριλαμβάνεται η καλωδίωση, ο υπολογισμός των απωλειών γραμμής αλλά και ο πίνακας χαμηλής τάσης. Όσον αφορά την καλωδίωση των μερών του συστήματος υπάρχει μια προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού της κατάλληλης διατομής ανάλογα με το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό. Πρέπει όμως ο αγωγός να «αντέχει» και τα ρεύματα εκκίνησης που πιθανόν να δημιουργούνται αλλά και γενικά να ενδείκνυται για ρεύματα έντασης λίγο μεγαλύτερης από την εκάστοτε ασφάλεια ώστε αν δημιουργηθεί οποιοδήποτε πρόβλημα η ασφάλεια να προστατεύσει το σύστημα χωρίς να λιώσουν οι αγωγοί στην ac πλευρά ενώ όσον αφορά την dc να λειτουργήσει εγκαίρως ο charger controller. Η απορροφούμενη ένταση από μια μονοφασική συσκευή (**ac**) είναι:  **$I=P/(U\phi\cos\phi)$  (6.19)** όπου P η ισχύς,  $U\phi=220V$  και  $\cos\phi$ : συντ. ισχύος.

Για **dc** έχουμε τον ακόλουθο τύπο:  **$I=P/V$  (6.20)** όπου P η ισχύς και V η τάση. Οι διατομές των χάλκινων αγωγών που χρησιμοποιούνται είναι από  $1,5-6mm^2$  και προκύπτουν από τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4 Υπολογισμός Ασφάλειας

| Διατομή( $mm^2$ ) | $I_{max}(A)$ | Ιον.ασφάλειας(A) |
|-------------------|--------------|------------------|
| 1,5               | 16           | 10               |
| 2,5               | 21           | 16               |
| 4                 | 27           | 20               |
| 6                 | 35           | 25               |

Παράλληλα, ένα πολύ σημαντικό στοιχείο αποτελεί η πτώση τάσης στους αγωγούς η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% της τάσης συνεχούς λειτουργίας(=2,2V) και η οποία υπολογίζεται ως εξής: $\Delta U = \rho \cdot (2L/A) \cdot I$  (6.19) όπου  $\rho = 0,0175 \Omega \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$  για αγωγούς χαλκού, L το μήκος της γραμμής, I η απορροφούμενη ένταση και A η διατομή.

Όσον αφορά τις απώλειες επί του καλωδίου, υπολογίζονται ως εξής:  $P_{\text{απ}} = (\rho \cdot 2L/A) \cdot I^2$  (6.22) και θέτουμε ως όριο το 3% επί της συνολικής ισχύος της εγκατάστασης.

Τέλος, ο πίνακας χαμηλής τάσης για το μονοφασικό αυτό σύστημα θα αποτελείται από ένα **μονοπολικό αποζεύκτη** και μια **ασφάλεια**, ενώ θα εμπεριέχεται και ο **διακόπτης διαφυγής έντασης** για τη γείωση. Για την επιλογή των μεγεθών συμβουλευόμαστε τον προηγούμενο πίνακα για τις ασφάλειες ενώ για τον αποζεύκτη υπάρχουν μεγέθη τυποποιημένα για 25, 35, 63A.

### **3.1 Γενικά**

Ο φωτισμός συχνά θεωρείται ως ένας από τους πιο σημαντικούς δείκτες ανάπτυξης, ενώ βρίσκεται πως είναι ένας από τους κύριους παράγοντες μέσω του οποίου οι άνθρωποι κρίνουν την ποιότητα της ζωής. Ο φωτισμός μπορεί να προσφέρει πολλές παραγωγικές ώρες εργασίας την ημέρα, ενώ στο σπίτι ο επαρκής φωτισμός βοηθά σε ποικίλες λειτουργίες, όπως το διάβασμα, χειρονακτικές εργασίες και άλλες οικιακές δραστηριότητες. Κρίσιμος είναι και ο σωστός φωτισμός δρόμων κατά τη διάρκεια της νύχτας, ώστε να αποφεύγονται πιθανά δυστυχήματα. Ο φωτισμός δρόμων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι ασφαλής και άνετη η κυκλοφορία τόσο από οδηγούς, όσο και από πεζούς. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ο κατάλληλος φωτισμός, ώστε να γίνονται έγκαιρα αντιληπτά τυχόν εμπόδια, τα όρια ή επικίνδυνα σημεία του δρόμου για τους οδηγούς, αλλά επιπλέον για τα αυτοκίνητα και για τους πεζούς.

### **3.2.Επίπεδα φωτισμού και διάκριση αντικειμένων σε συνθήκες καιρού, φυσιολογικές και μη φυσιολογικές**

Η απαιτούμενη στάθμη φωτισμού στις αστικές περιοχές κατηγοριοποιείται σε επτά επίπεδα, από P1 μέχρι P7, τα οποία παρατίθενται στον Πίνακα 3.1. 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.

**Πίνακας 3.1** Επίπεδα φωτισμού αστικών περιοχών κατά CIE

| <b>Περιγραφή δρόμου</b>   | <b>Επίπεδο φωτισμού</b> |
|---|-------------------------|
| 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. Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος. | P5                      |

|   |           |
|---|-----------|
| <p>Ελάχιστη νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες. Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος.</p> | <p>P6</p> |
| <p>Δρόμοι όπου η απαιτούμενη ορατότητα για την οδήγηση παρέχεται μόνο από το άμεσο φως των φωτιστικών.</p>  | <p>P7</p> |
|   |           |

Στον Πίνακα 3.2 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.

**Πίνακας 3.2** Προδιαγραφές για τα επίπεδα φωτισμού P1 έως P7

| Επίπεδο<br>Φωτισμού | Οριζόντια ένταση<br>φωτισμού (lux)<br>της ολικής<br>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   | Μη εφαρμόσιμο | Μη εφαρμόσιμο                             |

Στον Πίνακα 3.3 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 [14].

**Πίνακας 3.3** Προδιαγραφές Φωτισμού

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

Είναι προφανές πως δεν υπάρχουν οι ίδιες απαιτήσεις στην απόδοση του συστήματος φωτισμού για όλους τους δρόμους. Έτσι ανάλογα με το μέγεθος του, με τη θέση του, αλλά και την χρηστικότητα του δρόμου έχουμε και διαφορετική μελέτη. Για διευκόλυνση, αλλά και τυποποίηση των μελετών αυτών, έχει γίνει διάκριση αυτών σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

**Αυτοκινητόδρομοι ή εθνικοί δρόμοι:** Λόγω των μεγάλων ταχυτήτων είναι απαραίτητος ο καλός φωτισμός για την ασφαλή οδήγηση.

**Δρόμοι πόλεων:** Πρέπει να διασφαλίζεται φωτισμός τέτοιος ώστε να γίνονται αντιληπτοί οι πεζοί, τα σταυροδρόμια και τα εμπόδια.

**Τοπικοί δρόμοι:** Λόγω της περιορισμένης κίνησης αρκεί ο φωτισμός να εξασφαλίζει τον εύκολο εντοπισμό των ορίων του δρόμου, σταυροδρομιών, πεζών και εμποδίων.

Φωτισμός ειδικών θέσεων: Ο φωτισμός στα σημεία αυτά θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι σημάσεις κινδύνου, πληρωμής διοδίων, διασταύρωσης και έργων να γίνονται αντιληπτές από αρκετά μεγάλη απόσταση.

### ***Ικανότητα διάκρισης αντικειμένων - θάμβωση***

Όταν ένας δρόμος αναφέρεται πως είναι «ομαλά φωτισμένος», εννοείται πως όταν διανύεται από ένα αυτοκίνητο η επιφάνειά του είναι επαρκώς φωτεινή. Στην περίπτωση που ο λαμπτήρας είναι σε ύψος περίπου 10m πάνω από την επιφάνεια, μια κηλίδα φωτός αντανακλά από το δρόμο. Το σχήμα αυτής της κηλίδας εξαρτάται από την επίστρωση του δρόμου. Σε επιστρώσεις πολύ καλής ιδιοσυστασίας όπου υπάρχει αξιοσημείωτη στιλπνότητα, όπως είναι η ασφαλτος, η κηλίδα είναι ιδιαίτερα μακριά, τόσο ώστε να εξαπλώνεται μέχρι και τα πόδια του παρατηρητή. Στους πιο συνηθισμένους τραχείς δρόμους η κηλίδα αυτή εκτείνεται κυρίως εγκάρσια, παρά κατά μήκος του δρόμου. Οι κηλίδες φωτός δεν είναι εύκολο να καθοριστούν, παρόλα αυτά όμως μπορούν να παρατηρηθούν με ευκρίνεια. Στην περίπτωση που υπάρχει μια σειρά από πόλους που έχουν τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οι κηλίδες φωτός να συγχωνεύονται για να καλύψουν την περιοχή του δρόμου, τα αντικείμενα του δρόμου θα φαίνονται ως σκούρες φιγούρες, σε αντίθεση με την φωτισμένη επίστρωση. Αυτή αποτελεί και την βασική αρχή πάνω στην οποία βασίζεται ο φωτισμός δρόμων, μέχρι να αποδειχθεί πιο οικονομική η παραγωγή φιγούρας που να κάνει τα αντικείμενα να φωτίζονται, ενώ η επιφάνεια του δρόμου είναι σκοτεινή. Μέχρι σήμερα ο φωτισμός της επιφάνειας δρόμου είναι κατά προσέγγιση συνεχής κατά μήκος του. Κατά τη διάρκεια της νύχτας οι



ανακλάσεις είναι αρκετά διαφορετικές. Η μακριά φωτεινή κηλίδα συνήθως περιγράφεται ως σχήμα T, έχοντας μια «κεφαλή» και μια «ουρά». Η κεφαλή σχηματίζεται από το φως που εκπέμπεται από τον πόλο ανάλογα με το εύρος των γωνιών που κυμαίνονται από 90ο και κατεβαίνουν μέχρι τις 60ο. Ο φωτισμός ενός κυρίου δρόμου με σειρές ισχυρών λαμπτήρων μπορεί να παρουσιάσει το πρόβλημα της θάμβωσης. Μελέτες έδειξαν πως το φαινόμενο αυτό απορρέει από το φως που εκπέμπεται ανάμεσα στις 70ο και στον οριζόντιο άξονα. Από την IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) έχουν καθοριστεί 3 τύποι θάμβωσης ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας της διάκρισης αντικειμένων από τον παρατηρητή λόγω του φαινομένου αυτού. Στόχος του σωστού φωτισμού είναι να παρέχει μια επιφάνεια δρόμου με ίδιο φωτισμό όπως φαίνεται από το χρήστη του δρόμου, μέσα στα επιτρεπτά επίπεδα θάμβωσης από το σύστημα φωτισμού.

### **3.3 Σχεδιασμός εγκατάστασης φωτισμού**

Μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία σχεδιασμού έχει ορισθεί για να εξασφαλιστεί τόσο ο σωστός και ευθύς υπολογισμός όσο και οι διαδικασίες σχεδιασμού. Οι αρχές αυτές καθορίστηκαν από το British Standard BS 5489 Code of practice for road lighting 1992 και παρατίθενται παρακάτω

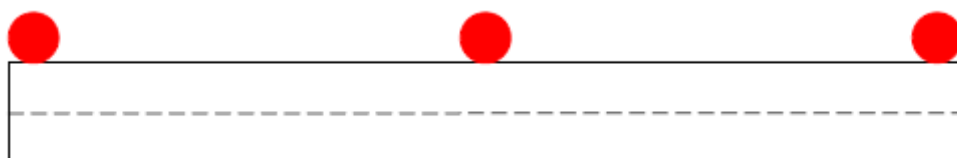
### 3.3.1 Γενικές αρχές φωτισμού δρόμου

Σκοπός του οδηγού είναι ο καθορισμός των αρχών πάνω στις οποίες οι επιμέρους διαδικασίες για το σωστό φωτισμό δρόμου βασίζονται. Περιλαμβάνει καθορισμό εννοιών, ταξινόμηση δρόμων, παρατήρηση συστήματος κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, σκοπός του φωτισμού δρόμων, κίνδυνο από την θέση των ιστών φωτισμού, νομοθεσία και τη συντήρηση .

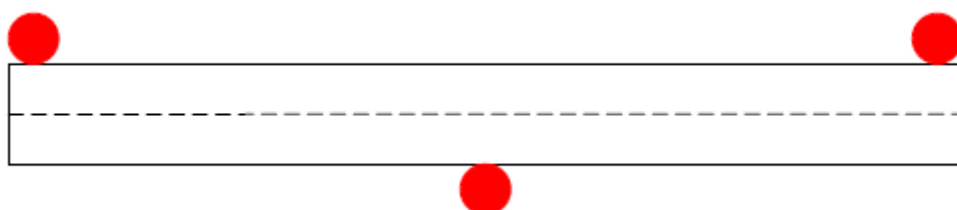
Οι βασικότερες έννοιες που είναι απαραίτητες για το φωτισμό δρόμων είναι οι εξής:

**Καθορισμός θέσης:** Ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιαστεί να τοποθετηθούν οι ιστοί φωτισμού, δηλαδή μονόπλευρη, χιαστί, αμφίπλευρη, αξονική.

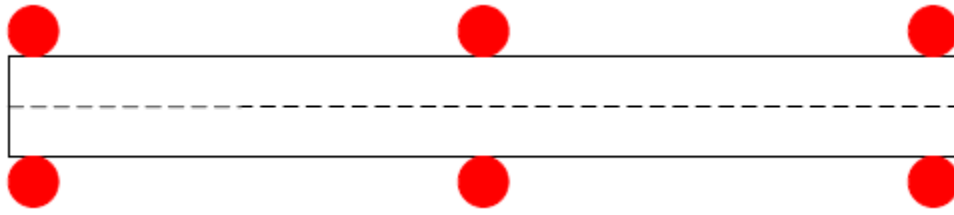
Μονόπλευρη



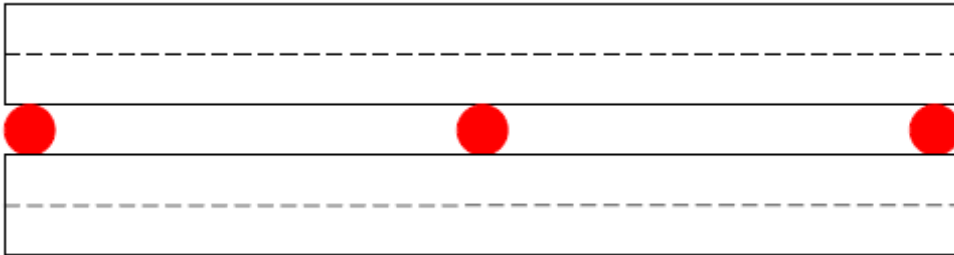
Χιαστί



Αμφίπλευρη



Αξονική



**Μέση λαμπρότητα:** Η λαμπρότητα σε μια καθορισμένη περιοχή της επιφάνειας του δρόμου όπως φαίνεται από συγκεκριμένη θέση παρατηρητή.

**Σχεδιασμός:** Ο καθορισμός του κατάλληλου ιστού φωτισμού είναι σημαντικός για την ορθή λειτουργία του συστήματος, αφού ανάλογα με το ύψος του έχουμε αύξηση ή μείωση της αποτελεσματικότητας του φωτιστικού. Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα θα πρέπει να συνυπολογίζονται η απόσταση και η πλευρική θέση των φωτιστικών όπως και ο τύπος και η απόδοση του φωτιστικού. Αυξάνοντας το ύψος του ιστού μπορεί, αλλά όχι απαραίτητα, να μειωθεί η ανεπιθύμητη θάμβωση και να καλυφθεί η φωτεινότητα.

**Απόσταση φωτιστικών:** Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών συχνά επηρεάζεται από την θέση των χρησιμοποιούμενων πόλων, την διαθέσιμη περιοχή και την γεωμετρία του δρόμου.

### 3.3.2 Αξιολόγηση δρόμου

Στο τμήμα αυτό παρατίθενται οι σπουδαιότερες οδηγίες για τον σχεδιασμό φωτισμού για δρόμους πλάτους μέχρι 15m εφόσον πρόκειται για μια λωρίδα

σε κάθε κατεύθυνση ή μέχρι 2×11m για δρόμους με δύο λωρίδες για κάθε κατεύθυνση.

Ύψος στήριξης φωτιστικού(H): Γενικά με την αύξηση του H επιτρέπεται μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των ιστών φωτισμού. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό και βοηθά για ανοιχτούς και μεγάλους δρόμους, αλλά όχι τόσο για αστικές συνθήκες όπου υπάρχουν πολλές διασταυρώσεις και εμπόδια. Το ύψος των ιστών είναι συνήθως από 7m έως 12m. Το ύψος των 10m είναι αυτό που ενδείκνυται για την πλειοψηφία των δρόμων, ενώ αυτό των 12 m κυρίως για πλατύς και μεγάλης κυκλοφορίας δρόμους, όπως είναι οι κύριες οδοί μεταξύ δύο πόλεων.

### **3.3.3 Έλεγχος της θάμβωσης**

Η θάμβωση είναι αποτέλεσμα της πηγής φωτισμού και της έντασης φωτισμού του περιβάλλοντος χώρου του δρόμου. Ένα αντικείμενο που είναι μόλις ορατό, όταν εμφανίζεται το φαινόμενο της θάμβωσης συγχωνεύεται με τον χώρο και είναι δύσκολο να διακριθεί. Το ποσοστό κατά το οποίο η ένταση φωτισμού του περιβάλλοντα χώρου πρέπει να μειωθεί, για να κάνει το αντικείμενο οριακά ορατό ξανά είναι γνωστό ως δείκτης θάμβωσης (TI) και παρέχει μια ιδεατή μέτρηση του επιπέδου της θάμβωσης.

Η τιμή του δείκτη θάμβωσης εξαρτάται από τη διάχυση του φωτός του φωτιστικού με ανύψωση από τις 70° μέχρι τις 90° στο κάθετο επίπεδο στο οποίο παρατηρείται. Εξαρτάται επίσης από την ένταση φωτισμού του δρόμου, από τη διάταξη του πόλου, το ύψος κρεμάσεως και τη θέση του παρατηρητή. Είναι, επίσης, θετικό να λαμβάνεται υπόψη σε αγροτικές περιοχές, όπου η

απουσία ανακλώμενου φόντου, όπως είναι τα κτίρια, μπορεί να αυξήσει τη πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης. Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις εγκατάστασης η τιμή του δείκτη θάμβωσης δεν πρέπει να ξεπερνά το 30%.

### **3.3.4 Λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου (SR)**

Είναι ο δείκτης που αναφέρεται στην ικανότητα των οδηγών και των πεζών να διακρίνουν αντικείμενα και ανθρώπους παραπλεύρως του δρόμου. Η τιμή του δείκτη SR προτείνεται να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0,5 για τις περισσότερες κλάσεις φωτισμού που έχει θεσπίσει η CIE, η οποία μπορεί να υπολογιστεί και από τα διαγράμματα κατανομής έντασης φωτισμού στην επιφάνεια του δρόμου.

### **3.3.5 Επιφάνεια δρόμου**

Οι τιμές της έντασης φωτισμού και της λαμπρότητας στην επιφάνεια του δρόμου εξαρτώνται από το προσπίπτον φως και τις ανακλαστικές ιδιότητες της επιφάνειας του δρόμου. Η τελευταία εμπεριέχει την ολική αντανάκλαση, αλλά και την κατοπτρική ανάκλαση σε διάφορες γωνίες. Η ολική ανάκλαση είναι κυρίως καθορισμένη από το χρώμα ανακλαστικές ιδιότητες του οδοστρώματος.

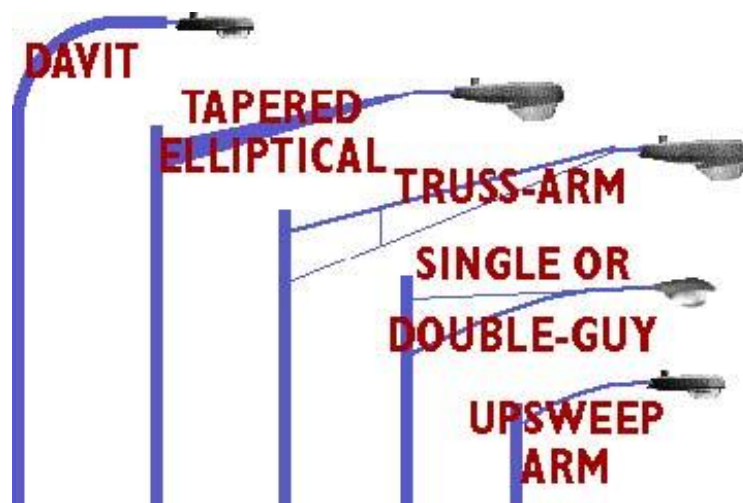
### **3.3.6 Διακλαδώσεις δρόμου**

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τύπων διασταυρώσεων, οι οποίες αποτελούν και τα πιο πιθανά μέρη για ατυχήματα, για το λόγο αυτό ο φωτισμός θα πρέπει :

- να προειδοποιεί τον οδηγό που πλησιάζει την διασταύρωση
- να αποκαλύπτει κάθε έκτακτο πρόβλημα οδικής κίνησης δευτερευόντων δρόμων
- να μην παρέχει επιπρόσθετο κίνδυνο με τους ιστούς φωτισμού που βρίσκονται στην διασταύρωση εμποδίζοντας την ορατότητα.

### 3.3.7 Τύποι ιστών φωτισμού

Υπάρχουν πολλοί τύποι ιστών φωτισμού δρόμου και δεκάδες κατασκευαστές. Είναι προφανές, πως κάποιοι από αυτούς τους τύπους χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε σχέση με κάποιους άλλους. Ορισμένοι από αυτούς, που συναντούμε συχνότερα φαίνονται στην Εικόνα 3-1:



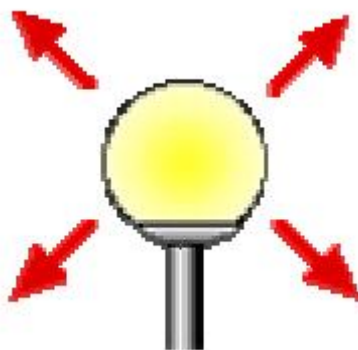
**Εικόνα 3-1** Συνήθεις τύπου ιστών φωτισμού δρόμων

Ανάλογα, λοιπόν, με την επιθυμητή χρήση, με τον κατασκευαστή αλλά και με τις προδιαγραφές που έχει καθορίσει κάθε χώρα για τους πόλους που πρέπει να χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος από τους τύπους πόλων που παρουσιάζονται παραπάνω (ή ακόμα και άλλοι που δεν παρατίθενται στην Εικόνα 3-1).

### 3.3.8 Διάχυση φωτός φωτιστικών δρόμων

Τα περισσότερα φωτιστικά δρόμων είναι σχεδιασμένα για να ελέγχουν την διάχυση του φωτός. Υπάρχουν τέσσερα είδη φωτιστικών που παρέχουν διαφορετικές γωνίες ελέγχου. Αυτά είναι τα εξής: Non-cutoff, cutoff, semi-cutoff και full-cutoff .

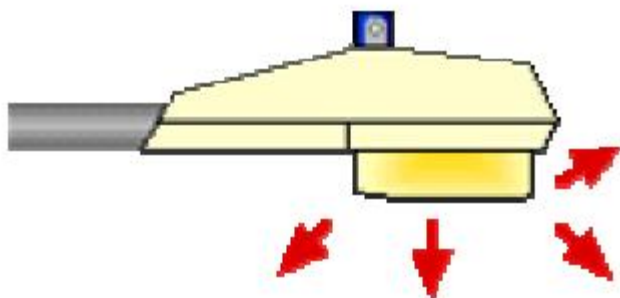
Τα φωτιστικά Non-cutoff, (Εικόνα 3-2) επιτρέπουν την διάχυση του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις. Πολλά διακοσμητικά φωτιστικά χρησιμοποιούν φωτιστικά της κατηγορίας αυτής. Τα Non-cutoff φωτιστικά είναι ο λιγότερο αποδοτικός τρόπος για να φωτιστεί το έδαφος. Είναι γενικώς αποδοτικά στο να διοχετεύουν φως στα δέντρα, και δημιουργούν ένα μεγάλο ποσοστό φωτεινής ρύπανσης και έντονου φωτός. Αυτά τα φωτιστικά δεν χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό των δρόμων γιατί έχουν την τάση να τυφλώνουν τους οδηγούς



Εικόνα 3-2 Φωτιστικό τύπου Non-cutoff

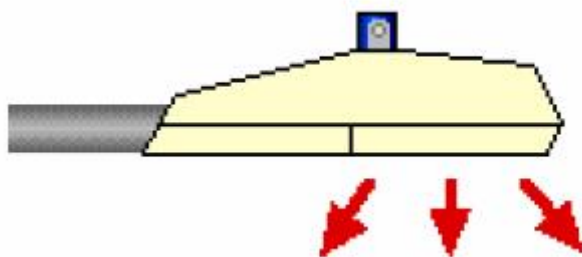
Τα φωτιστικά Semi-cutoff, (Εικόνα 3-3) επιτρέπουν το φως να διαχυθεί κάτω από το επίπεδο των  $90^{\circ}$  , ενώ ένα ποσοστό (έως 5%) διαχέεται πάνω από το επίπεδο των  $90^{\circ}$  . Αυτά τα φωτιστικά χρησιμοποιούνται συχνά σε φωτιστικά

δρόμων του τύπου που φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Είναι αρκετά αποτελεσματικά στη διάχυση του φωτός πέρα από μια μεγάλη, κατευθυνόμενη περιοχή στο έδαφος. Υπάρχει ακόμα σημαντικό έντονο φως από αυτά τα φωτιστικά, αλλά συχνά, τοποθετούνται στους πιο ψηλούς ιστούς, οι οποίοι φέρουν ψηλότερα από το πεδίο οράσης του οδηγού.



**Εικόνα 3-3** Φωτιστικό τύπου semi-cutoff

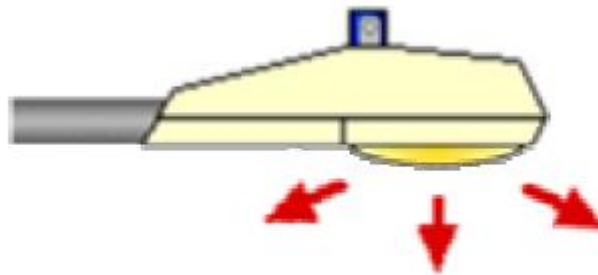
Τα φωτιστικά Full-cutoff (Εικόνα 3-4) κατευθύνουν το φως προς το έδαφος, κάτω από το φωτιστικό μόνο. Τα φωτιστικά αυτά δεν επιτρέπουν την διάχυση φωτός άνω του επιπέδου των  $90^{\circ}$ . Τα οπτικά αυτά κατευθύνουν το φως σε μια καθορισμένη επιφάνεια στο έδαφος. Τυπικά για να επιτευχθεί ένας ενδιάμεσος φωτισμός αρκεί η χρησιμοποίηση φωτιστικών τύπου full-cutoff (σε μεγαλύτερο ποσοστό) ή να αυξηθεί το ύψος στήριξης των φωτιστικών ώστε να επιτευχθούν αποτελέσματα συγκρίσιμα με τα φωτιστικά τύπου cutoff ή semi-cutoff.



**Εικόνα 3-4** Φωτιστικό τύπου full-cutoff



Τα φωτιστικά Cutoff (Εικόνα 3-5) επιτρέπουν μεγαλύτερο έλεγχο του διαχυμένου φωτός από ότι semi-cutoff. Με τα φωτιστικά αυτά λιγότερο από 2,5% του φωτός διαφεύγει πάνω από το επίπεδο των  $90^{\circ}$ . Τα φωτιστικά τύπου Cutoff ενδείκνυνται για φωτισμό χώρων στάθμευσης όπου οι ιστοί στήριξης των φωτιστικών απαιτείται να έχουν μεγάλη απόσταση. Προσφέρουν μεγαλύτερη διάχυση φωτός σε σχέση με τα full-cutoff και επιπλέον, δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε μεγάλα ύψη όπως συμβαίνει με τα semi-cutoff. Τα φωτιστικά αυτά επιτρέπουν πολύ μικρό ποσοστό να διαφύγει πάνω από το φωτιστικό.



Εικόνα 3-5 Φωτιστικό τύπου cutoff

### 3.4 Προδιαγραφές φωτισμού δρόμων

Στην προσπάθεια εύρεσης κάποιων κανονισμών πάνω στους οποίους πρέπει να στηριχτεί κανείς για την διεξαγωγή μελέτης φωτισμού δρόμων, καταλήξαμε πως δεν υπάρχουν προδιαγραφές για την Ελλάδα. Για να είναι όμως δυνατή η εκτίμηση των μεγεθών δίνονται παρακάτω οι προδιαγραφές που έχουν καθοριστεί για τη Μ. Βρετανία.

Συγκεκριμένα:

1. Απόσταση πόλων

ο Οι πόλοι θα πρέπει να χωριστούν σε διαστήματα που δεν θα υπερβαίνουν τα 50m μεταξύ τους όταν αυτοί εγκαθίστανται στην ίδια πλευρά

της οδού.

- ο Οι πόλοι θα πρέπει να χωριστούν σε διαστήματα που να μην υπερβαίνουν τα 100 m μεταξύ τους, όταν αυτοί βρίσκονται σε μια πλευρά της οδού και να μην υπερβαίνουν τα 50m μεταξύ εναλλασσόμενων πόλων όταν αυτοί βρίσκονται σε αντίθετη πλευρά της οδού όταν χρησιμοποιείται η διάταξη χιαστί.

- ο Εξαιρέσεις: Αν ο μηχανικός διαπιστώνει ότι παρουσιάζονται ιδιαίτερες περιστάσεις, μπορεί να απαιτήσει ένα διαφορετικό διάστημα μεταξύ των πόλων απ' ότι θα ίσχυε στις παραγράφους 1 ή 2 του παρόντος.

2. Απόσταση πόλου-συγκράτησης: Οι πόλοι θα πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε η κεντρική γραμμή του καθενός να μην απέχει περισσότερο από 0,66m από την πρόσοψη της συγκράτησης.

3. Ύψος στήριξης φωτιστικού σώματος:

- ο Μέγιστο: 10m
- ο Ελάχιστο: 5,3 m

4. Μέγεθος λαμπτήρων:

- ο Γενικά: 70 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης
- ο Εξαιρέσεις:
  - Ø Κύριοι δρόμοι: 70, 100, 150 ή 200W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.
  - Ø Διασταυρώσεις: 70 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.
  - Ø Περιοχές με ομίχλη: 100, 150 ή 200 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης
  - Ø Εξαιρετικές ή ασυνήθιστες καταστάσεις: Όπου ο μηχανικός πόλεων διαπιστώνει ότι παρουσιάζονται εξαιρετικές ή

ασυνήθιστες καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης να παρασχεθεί ο εντατικότερος φωτισμός για να προωθηθεί η ασφαλής είσοδος και έξοδος, μπορεί να απαιτήσει 100,200 ή 250 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.

- Ø Ανάλυση κόστους-κέρδους: Θα πρέπει να εγκριθεί ή να απαιτηθεί μια εξαίρεση στη γενική απαίτηση μεγέθους λαμπτήρων, μετά από ανάλυση κόστους-κέρδους.

### 3.5 Φωτορύπανση

Με την αύξηση των δραστηριοτήτων των ανθρώπων κατά τις νυχτερινές ώρες το θέμα της φωτορύπανσης και της κατάχρησης του φωτός έγινε ιδιαίτερα σημαντικό. Αυτά τα ζητήματα θα πρέπει να εκτιμώνται κάθε φορά που φωτιστικό εξωτερικού χώρου, συμπεριλαμβανομένου και του φωτιστικού δρόμου, τοποθετείται.

Η φωτορύπανση μπορεί να είναι είτε αστρονομική είτε ατμοσφαιρική, ή και τα δύο. Προκαλείται από το αδέσποτο ή ανακλώμενο φως. Η σκόνη, η υγρασία και άλλες ρυπαντικές ουσίες ανακλούν αυτό το φως, προκαλώντας λάμψη του ουρανού πάνω από πολλές αστικές περιοχές. Παρόλο που η λάμψη αυτή δεν είναι επιβλαβής για τους ανθρώπους, μπορεί να προκαλέσει περισπασμό σε αστρονομικές παρατηρήσεις αλλά και στην συμπεριφορά των ζώων.

Η αστρονομική φωτορύπανση αφορά περιοχές όπου εδρεύουν αστεροσκοπεία. Εκτός από τα μεγάλα αστεροσκοπεία, υπάρχουν πολλά μικρότερα κοντά ή σε πανεπιστήμια που ασχολούνται με τη διδασκαλία ή την έρευνα. Η χρήση μονοχρωματικής φωτεινής πηγής, όπως είναι ο λαμπτήρας

ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, που μπορούν να εξαιρεθούν με ειδικά φίλτρα, προτιμάται από τους αστρονόμους. Παρόλα αυτά το εγχείρημα αυτό δεν μπορεί να μειώσει την ατμοσφαιρική φωτορύπανση. Για τον έλεγχο της καλό είναι τα συστήματα φωτισμού δρόμου, αλλά και γενικότερα τα συστήματα φωτισμού εξωτερικού χώρου, να σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση ή ακόμα και η εξάλειψη της εκπομπής φωτός πάνω από τον οριζόντιο άξονα. Πρέπει, όμως, να γίνει αντιληπτό πως δεν είναι δυνατό να εξαλειφθεί πλήρως το ανοδικό φως, αφού το ανακλώμενο φως από το έδαφος ή το οδόστρωμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ανοδική εκπομπή. Η κατάχρηση του φωτός είναι ένα υποκειμενικό ζήτημα, αφού σχετίζεται με μια αμέτρητη ή απροσδιόριστη ποσότητα σε πολλές περιπτώσεις, που συχνά δεν μπορεί να ελεγχθεί. Η κατάχρηση φωτός μπορεί να ταξινομηθεί σε ανεπιθύμητο φως που φωτίζει μια περιοχή και σε υπερβολική λαμπρότητα στο κανονικό πεδίο όρασης. Για την αποφυγή του ανεπιθύμητου αυτού φαινομένου προτείνεται η επιθεώρηση των παρακείμενων περιοχών του συστήματος, για την εξακρίβωση πιθανών προβλημάτων, τα οποία θα μελετηθούν για το σχεδιασμό του συστήματος. Επίσης, θα πρέπει να επιλεγεί εξοπλισμός ο οποίος δεν θα έχει υψηλή απόδοση φωτισμού, ενώ θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή της θέσης του συστήματος, του ύψους του ιστού φωτισμού και της απόδοσης του φωτιστικού, ώστε να επιτευχθεί ο περιορισμός του φωτός στην περιοχή που είναι επιθυμητό με βάση τον σχεδιασμό του συστήματος.

## 4 Λαμπτήρες

### 4.1 Γενικά

Η επιλογή ενός λαμπτήρα εξαρτάται από ορισμένα μεγέθη με τα οποία είναι απαραίτητο να υπάρχει εξοικείωση, ώστε να ληφθεί η καταλληλότερη απόφαση για τον ζητούμενο λαμπτήρα. Τα θεμελιώδη αυτά μεγέθη δίνονται παρακάτω και εξηγούνται περιληπτικά [20]:

- ∅ Φωτεινή ένταση (cd) : ορίζεται ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που εκπέμπει μια σημειακή πηγή μέσα σε μια στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$ , προς τη γωνία αυτή
- ∅ Βαθμός απόδοσης φωτεινής πηγής  $\eta$  (lm/ W) : είναι μέγεθος αντίστοιχο του βαθμού απόδοσης των κινητήρων για τις φωτεινές πηγές, όπου  $\eta$  αποδιδόμενη ενέργεια είναι η φωτεινή και δίνεται από τη σχέση:  $\eta = \Phi / P_{\eta\lambda}$ , όπου  $\Phi$  η φωτεινή ροή του λαμπτήρα και  $P_{\eta\lambda}$  η καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα Ηλεκτρική ισχύς.

Σε μερικά είδη λαμπτήρων δεν καταναλώνεται όλη η ηλεκτρική ισχύς για την παραγωγή φωτός και αυτό γιατί ο λαμπτήρας συνοδεύεται από διάφορα εξαρτήματα όπως είναι το στραγγαλιστικό πηνίο και ο πυκνωτής διόρθωσης συνημίτονου, τα οποία κυρίως ευθύνονται για τις απώλειες του συστήματος. Είναι καλό αυτές οι απώλειες να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη για την εκτίμηση της ποιότητας των φωτιστικών σωμάτων.

Στον Πίνακα 4-1 που ακολουθεί δίνεται η φωτεινή απόδοση ορισμένων τύπων λαμπτήρων, έτσι όπως προσφέρονται από τους κατασκευαστές.

Πίνακας 4-1 Φωτεινή απόδοση κοινών τύπων λαμπτήρων

| ΕΙΔΟΣ<br>ΛΑΜΠΤΗΡΑ | ΑΠΟΔΟΣΗ<br>[lm/W] | ΟΝΟΜΑ<br>ΙΣΧΥΣ<br>[W] | ΤΥΠΙΚΗ<br>ΑΠΟΔΟΣΗ<br>H [lm/W] | ΛΑΜΠΤΗΡΑ<br>ΦΩΤ.ΙΣΧΥΣ<br>[lm] |
|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ       | 9-20              | 40                    | 10                            | 430                           |
|                   |                   | 100                   | 13,8                          | 1380                          |
| ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ         | 40-80             | 40                    | 80                            | 3200                          |
|                   |                   | 65                    | 77                            | 5000                          |
| ΝΑΤΡΙΟΥ           | 100-200           | 180                   | 183                           | 33000                         |
| ΑΛΟΓΟΝΟΥ          | 10-30             | 1000                  | 22                            | 22000                         |

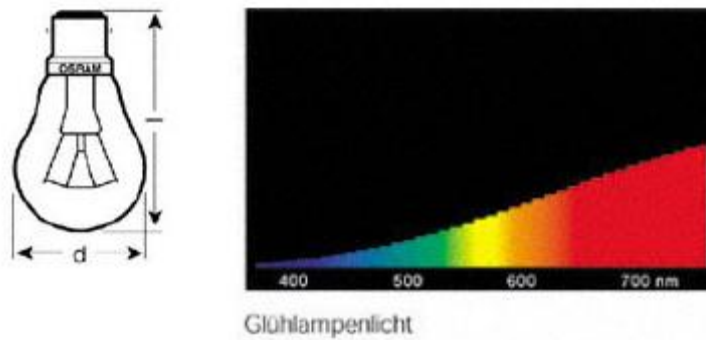
#### 4.2 Λαμπτήρες για φωτισμό δρόμων

Γενικά οι τύποι λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές φωτισμού δρόμων δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4-2 [21]:

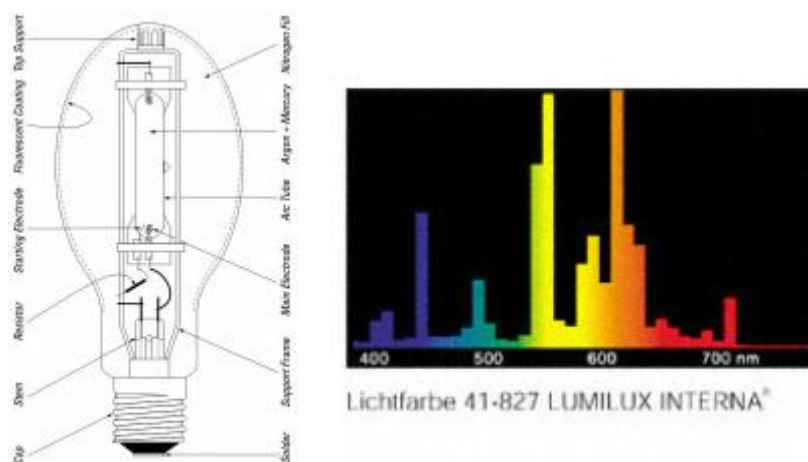
Πίνακας 4-2 Χαρακτηριστικά λαμπτήρων φωτισμού δρόμων

| 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                                   |

1. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης (Εικόνα 4-1) χρησιμοποιούνταν ευρύτατα στο παρελθόν. Παρόλα αυτά η χαμηλή τους απόδοση και η μικρή χρονική διάρκεια ζωής τους, έκαναν τους λαμπτήρες πυράκτωσης ανεπιθύμητους για νέες εγκαταστάσεις.



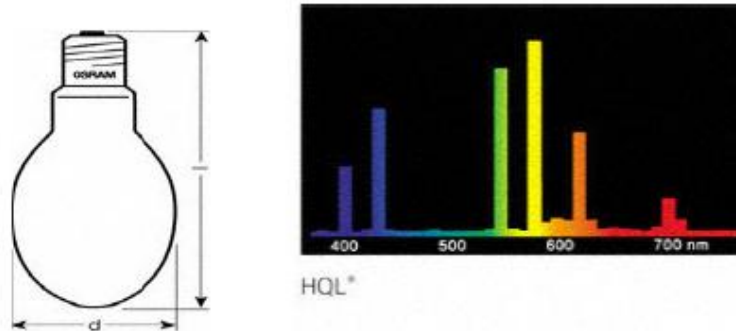
Εικόνα 4-1 Λαμπτήρας Πυράκτωσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του



Εικόνα 4-2 Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

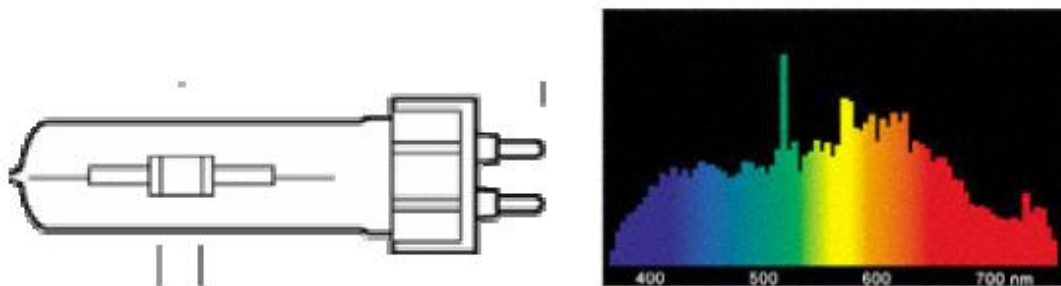
2. Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου (Εικόνα 4-2) αντικατέστησαν στην πλειοψηφία τους, τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Το αρχικό τους κόστος είναι υψηλό και απαιτείται και η χρήση ballast, όμως η υψηλή τους απόδοση και η μεγάλη χρονική διάρκεια ζωής τους, τους κάνουν περισσότερο επιθυμητούς από τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Το μπλε-λευκό χρώμα του καθαρού λαμπτήρα είναι γενικά αποδεκτό. Ένας λαμπτήρας φωσφορούχου επίστρωσης (Εικόνα 43) χαρακτηρίζεται από υψηλότερη έξοδο και περισσότερο ευχάριστη απόδοση χρώματος. Παρόλα αυτά η πηγή φωτός είναι το μέγεθος του περιβλήματος του λαμπτήρα, που παρουσιάζει το πρόβλημα στον έλεγχο του φωτός.





Εικόνα 4-3 Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου φωσφορούχου επίστρωσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

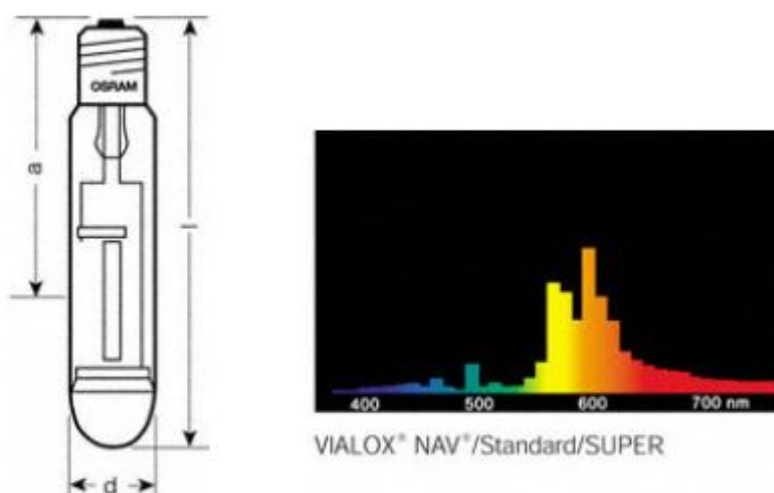
3. Ο λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων (Εικόνα 4-4) είναι ένας τύπος λαμπτήρα υδραργύρου του οποίου ο σωλήνας τόξων περιέχει συγκεκριμένα μεταλλικά αλογονίδια που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση του χρώματος, χωρίς τη χρήση λαμπτήρα φωσφορούχου επίστρωσης. Το μέγεθος της πηγής φωτός είναι αυτό ενός σωλήνα τόξων, επιτρέποντας τον καλό έλεγχο του φωτός με το ίδιο προσάρτημα που χρησιμοποιείται για τους λαμπτήρες καθαρού υδραργύρου.



Εικόνα 4-4 Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

4. Ο λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης (Εικόνα 4-5) 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

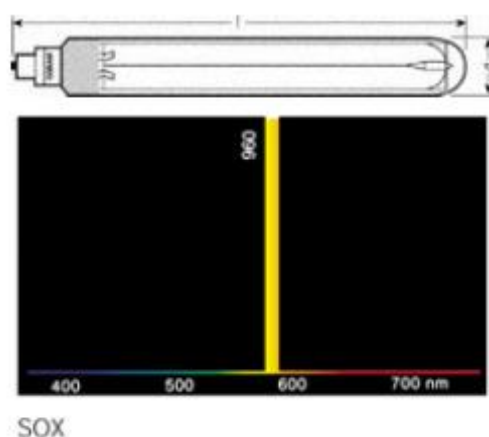
λαμπτήρες είναι διαθέσιμοι να χρησιμοποιούν ballast από ορισμένους τύπους λαμπτήρων ατμών υδραργύρου, αλλά με φτωχότερη απόδοση και πιο σύντομη ζωή. Υπάρχουν ακόμα λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης που παρέχουν βελτιωμένη απόδοση χρώματος ή σχεδόν στιγμιαίο καινούριο ξεκίνημα μετά από μια διακοπή ισχύος καθένα από τα χαρακτηριστικά έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εκτιμημένης ζωής.



Εικόνα 4-5 Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής

5. Ο λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης (Εικόνα 4-6) χαρακτηρίζεται από την παραγωγή ενός μονοχρωματικού κίτρινου χρώματος φωτός. Αυτοί οι λαμπτήρες απαιτούν ειδικά ballast και αυξάνουν σε μέγεθος ως προς το υλικό τους με την αύξηση των Watt, για παράδειγμα ένας λαμπτήρας 185W έχει μήκος 1,118m. Εξαιτίας του μεγάλου αυτού μεγέθους είναι δύσκολο να εξασφαλιστεί ένας καλός έλεγχος φωτός για ένα εύλογο μέγεθος προσαρτήματος. Για αρκετό καιρό η φτωχή χρωματική απόδοση των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης την οδήγησε να μην είναι δημοφιλής για χρήση σε άλλες εφαρμογές, εκτός των βιομηχανικών και ασφάλειας. Παρόλα αυτά η σύγχρονη τάση απέναντι στην συντήρηση της ενέργειας σε

συνδυασμό με την υψηλή αποτελεσματικότητα των λαμπτήρων έχουν οδηγήσει στην αύξηση της δεκτικότητας των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης για φωτισμόεμπορικών και κατοικημένων περιοχών. Προς το παρόν οι διαθέσιμοι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης έχουν σημαντική διατήρηση των lumen, χωρίς να έχει πτώση στην παραγωγή του φωτός, αν και η καταναλισκόμενη ενέργεια αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου.



Εικόνα 4-6 Λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής

Όλοι οι λαμπτήρες φωτισμού δρόμων, με εξαίρεση τους λαμπτήρες πυράκτωσης κυκλώματος σειράς και ορισμένους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, πάσχουν από το κοινό πρόβλημα της υποτίμησης των lumen, δηλαδή τη μείωση της παραγωγής φωτός κατά τη διάρκεια της ζωής του λαμπτήρα. Η μείωση της παραγωγής φωτός ποικίλει ανάλογα με τη λειτουργική κατάσταση του λαμπτήρα.

### 4.3 Σύγκριση φωτεινών πηγών

Η επιλογή της κατάλληλης πηγής φωτισμού είναι ιδιαίτερα σημαντική για το σχεδιασμό φωτισμού αστικών περιοχών. Στον Πίνακα 4-3 δίνονται τα βασικά

χαρακτηριστικά των λαμπτήρων αυτών. Τα μεγέθη περιορίζονται σε αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αστικές περιοχές.

Πίνακας 4-3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας διαφόρων λαμπτήρων

| Κατηγορία λαμπτήρα       |                                     | Wattages      | Ονομαστικές τιμές φωτεινής ροής | Απόδοση (lm/watt) | Απόδοση χρώματος                 | Θερμοκρασία χρώματος | Διάρκεια ζωής |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------|---------------|
| Παράκτωσης               | βολφραμίου                          | 40- 200       | 400- 2730                       | 10- 14            | A                                | X                    | σύντομη       |
|                          | Αλογονιδίου                         | 150- 1500     | 2100- 33000                     | 14- 22            | A                                | X                    | σύντομη       |
|                          | Καθαρού και χρωματιστού ανακλαστήρα | 100- 500      | 820- 5600                       | 8- 11             | A (καθαρό)                       | X                    | σύντομη       |
| Φθορισμού                | Βασικός τύπος                       | 8- 65         | 420- 4750                       | 30-61             | Ποικίλλει ανάλογα με τον φάσφορο | Πλήρες φάσμα         | Μεγάλη        |
|                          | Συμπαγής τύπος                      | 9- 37         | 600-2757                        | 44-66             | Ποικίλλει ανάλογα με τον φάσφορο | Πλήρες φάσμα         | Μεσαία        |
| Υδραργύρου υψηλής πίεσης | Καθαρό μπλε                         | 80-400        | 3650- 18000                     | 39-42             | E                                | Z                    | Μεγάλη        |
|                          | Επίστρωση φθορίου                   | 50-400        | 1900- 21500                     | 30-42             | D                                | X-Y                  | Μεγάλη        |
|                          | Μίγμα βολφραμίου - υδραργύρου       | 100-500       | 1100- 11500                     | 11-23             | D                                | Y                    | Μεγάλη        |
|                          | ανακλαστήρας                        | 50-400        | 1800- 20000                     | 28-46             | D                                | X-Y                  | Μεγάλη        |
| Metal halide             | Καθαρό                              | 250-400       | 16000- 24000                    | 57-55             | B-C                              | Y                    | Μεγάλη        |
|                          | Με επίστρωση γραμμικό               | 250-400       | 17500- 25000                    | 63-57             | C                                | Y                    | Μεγάλη        |
|                          | 750- 1600                           | 58500- 115000 | 71-72                           | B                 | Y-Z                              | Μεσαία               |               |
|                          | Συμπαγής πηγή και ανακλαστήρας      | 400- 1000     | 27000- 81000                    | 61-74             | B                                | Y                    | Μεγάλη        |
| Νατρίου υψηλής πίεσης    | βασικός                             | 50-400        | 3100- 47000                     | 56-107            | E                                | X                    | Μεγάλη        |
|                          | Βελτιωμένο φάσμα χρώματος           | 150-400       | 12500- 44000                    | 74-100            | C-D                              | X                    | Μεγάλη        |
|                          | Υψηλό φάσμα χρώματος                | 110-400       | 10440- 40000                    | 60-88             | B                                | X                    | Μεγάλη        |
| Νατρίου χαμηλής πίεσης   | βασικός                             | 18-180        | 1800- 33000                     | 68-155            | -                                | -                    | Μεγάλη        |

| <b>Επεξήγηση στοιχείων του πίνακα 4-3</b> |  |
|---|--|
| Πίνακας φάσματος χρώματος:                | A= μεγαλύτερο από 90<br>B=80-90<br>C=60-80<br>D=40-60<br>E=μικρότερο από 40          |
| Θερμοκρασία χρώματος:                     | X= χαμηλότερο από 3300 K<br>Y= 3300-5500 K<br>Z= μεγαλύτερη από 5500 K               |
| Διάρκεια ζωής:                            | Σύντομη= λιγότερο από 2000 h<br>Μεσαία= 2000- 7000h<br>Μεγάλη= περισσότερες από 7000 |

## 5. Καταγραφή και Επεξεργασία καιρικών συνθηκών

### 5.1 Αναζήτηση μετρήσεων και επεξεργασία

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ο υπολογισμός της προσφερόμενης από τον ήλιο ενέργειας. Δεδομένα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκονται στην διεθνή βιβλιογραφία καθώς και στις βάσεις δεδομένων των μετεωρολογικών υπηρεσιών. Οι εμπειρικοί τύποι για τον υπολογισμό της απολαβής από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες βασίζονται στην ονομαστική ισχύ που δίνεται από τον κατασκευαστή και την στατιστικά μέση ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας της εξεταζόμενης περιοχής που εξάγονται από τους χάρτες ηλιακού δυναμικού. Οι χάρτες του ηλιακού δυναμικού παρουσιάζουν τις διάφορες γεωγραφικές ζώνες όπου η ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο είναι ίση. Όπως αναφέρθηκε οι χάρτες αναφέρουν μόνο το μέσο όρο για ολόκληρο το έτος κάτι που δεν είναι επαρκές για μελέτη της ηλιακής ενέργειας ανά μήνα ή και πιο λεπτομερειακά. Ένα χρήσιμο συμπέρασμα που εξάγεται όμως από τους χάρτες ηλιακού δυναμικού είναι ότι δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη είναι η ηλιακή ακτινοβολία από περιοχή σε περιοχή. Για παράδειγμα η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Κρήτης είναι κατά 10% μεγαλύτερη από ότι στην περιοχή της Πάτρας. Στην συγκεκριμένη μελέτη επιλέγεται να μελετηθεί και να διαστασιολογηθεί το σύστημα στην περίπτωση που εγκαθίσταται στην περιοχή της Πάτρας και της ευρύτερης περιοχής της κεντρικής Ελλάδας. Τα δεδομένα από την βιβλιογραφία και τους χάρτες ηλιακού δυναμικού περιορίζονται σε μια μέση ετήσια ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό αποτελεί στατιστικό μέγεθος

που δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη μελέτη όπου χρειάζονται πιο αναλυτικά δεδομένα. Η αναζήτηση έγινε σε μετεωρολογικές υπηρεσίες και αστεροσκοπεία. Αναλυτικές καταγραφές βρέθηκαν στην Μετεωρολογική Υπηρεσία του Μετσοβίου Πολυτεχνείου (N.T.U.A. METEO) [23].

Οι μετρήσεις εισάγονται σε λογιστικό φύλλο εργασίας και με κατάλληλη εφαρμογή της Visual Basic επεξεργάζονται. Στο σύνολο των μετρήσεων περιέχονται μηδενικές καθώς και αρκετά μικρές μετρήσεις που αντιπροσωπεύουν τις νυχτερινές ώρες. Οι μετρήσεις αυτές διαγράφονται καθώς δεν συνεισφέρουν στην αποδιδόμενη από την φωτοβολταϊκή κυψέλη ενέργεια. Οι μετρήσεις του πυρανομέτρου που είναι μεγαλύτερος από  $0.002\text{kW/m}^2$  αποτελούν τις τιμές από τις οποίες εξάγονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας. Η διάρκεια της ηλιοφάνειας για κάθε ημέρα υπολογίζεται από τον αριθμό των μετρήσεων για την συγκεκριμένη ημέρα (που είναι μεγαλύτερες από  $0.002\text{kW/m}^2$ ) πολλαπλασιαζόμενες με τα 10 λεπτά που μεσολαβεί μεταξύ δύο μετρήσεων. Υπολογίζοντας την ημερήσια διάρκεια ηλιοφάνειας συγχρόνως υπολογίζεται και η διάρκεια του σκότους, δηλαδή η διάρκεια της νύχτας.

Το βασικότερο αποτέλεσμα από της επεξεργασία των μετρήσεων είναι η εξαγωγή της μέσης ημερήσιας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που γίνεται από τον μέσο όρο των μετρήσεων για κάθε ημέρα του έτους. Σε σχέση με τους χάρτες ηλιακού δυναμικού και την βιβλιογραφία στην συγκεκριμένη μελέτη έγινε ακριβής υπολογισμός της ημερήσιας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας για ένα έτος που αποτελεί ένα κανονικό μετεωρολογικό έτος. Οι τιμές των μετρήσεων όπως αναφέρθηκε είναι σε  $\text{kW/m}^2$ . Έχοντας υπολογίσει την μέση ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας και την διάρκεια που ο ήλιος δίνει την ισχύ αυτή μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε και την μέση ημερήσια ενέργεια που προσπίπτει σε  $1\text{ m}^2$ . Το

μέγεθος αυτό είναι ανεξάρτητο από το τι είδους φωτοβολταϊκή κυψέλη θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα και δίνει μια τάξη μεγέθους για την μέγιστη ηλιακή ενέργεια που διατίθεται ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά ημέρα στην περιοχή της Πάτρας.

## 5.2 Επιλογή Χρονοσειράς



Εικόνα 5-1 Το πυρανόμετρο με το οποίο έγιναν οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας

Η επιλεγμένη μετεωρολογική υπηρεσία είναι μια ολοκληρωμένη υπηρεσία του Πολυτεχνείου που με κατάλληλους αισθητήρες καταγράφει όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα όλο το 24ωρο για όλη την διάρκεια του έτους. Στον τομέα της ηλιακής ακτινοβολίας η υπηρεσία διαθέτει ένα πυρανόμετρο ακριβείας. Το όργανο αυτό είναι τοποθετημένο στην περιοχή του πολυτεχνείου στην Πάτρα. Το EP08 Πυρανόμετρο έχει σχεδιαστεί ως ένα αξιόπιστο και εύχρηστο όργανο. Δίδει αξιόπιστες μετρήσεις της ακτινοβολίας του ήλιου και ικανοποιεί τις προδιαγραφές ενός ISO9060 A τάξης πυρανομέτρου. Επίσης ικανοποιεί τα κριτήρια του WMO A τάξης πυρανομέτρου. Το σώμα του EP08 είναι κατασκευασμένο από ειδικό βαθμονομημένο αλουμίνιο το οποίο έχει επιμελώς ανοδιοθεί με σκοπό την απόκτηση ενός ανθεκτικού στη διάβρωση υλικού. Το ομοιόμορφα κατανεμημένο πλαστικό βάθρο του απομονώνει θερμικά τη μονάδα από τη βάση στήριξής της και είναι εύκολα προσβάσιμο για εύκολη οριζοντίωση. Το αλουμινένιο σκέπαστρο που είναι επικαλυμμένο με πολυουρεθάνη ενώνεται με το σώμα με συνδετήρες. Το ξηραντικό υλικό είναι ορατό μέσω ενός διαφανούς καλύμματος και μετά την απομάκρυνση του δίσκου μπορούμε να έχουμε άμεση πρόσβαση σε αυτό. Το

ξηραντικό υλικό εμποδίζει την εσωτερική συμπύκνωση εντός των θόλων. Το επίπεδο της φουσαλίδας που χρησιμεύει για την οριζοντίωση του οργάνου είναι επίσης ορατό διαρκώς για να εξασφαλίζεται η απόλυτη οριζοντίωση του αισθητήρα. Οι θόλοι, εσωτερικός και εξωτερικός, είναι πολύ λεπτοί για να σταθεροποιούνται από άποψη θερμοκρασίας πολύ γρήγορα. Ο εσωτερικός γυάλινος θόλος περιέχει αέρα που δεν κινείται, γύρω από τον αισθητήρα για την ελαχιστοποίηση της απόκλισης κατά την απώλεια ενέργειας λόγω μεταγωγής από τον αισθητήρα. Ο εξωτερικός θόλος απομονώνει τον εσωτερικό από τον άνεμο, τη βροχή και από θερμικά ρεύματα. Ο αισθητήρας αποτελείται από μια κυλινδρική με πολλές ενώσεις (κόμβοι) θερμοπύλη. Οι ζεστές ενώσεις της θερμοπύλης είναι συγκολλημένες σταθερά σε μια μαύρη αισθητήρια πλάκα ενώ οι κρύες ενώσεις είναι στέρεα συνδεδεμένες σε μια αλουμινένια βάση που έρχεται άμεσα σε επαφή με το σώμα του οργάνου. Η βάση του αισθητήρα έχει στην περίμετρό της ένα αγκιστρωμένο κάλυμμα. Η έκθεση του καλύμματος αυτού σε χαμηλές ηλιακές ακτινοβολίες ελέγχεται από το ύψος της ρυθμιζόμενης αλουμινένιας βάσης έτσι ώστε το συνημίτονο απόκρισης κάθε οργάνου να μπορεί να τεθεί ξεχωριστά κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Σε δέκα βαθμούς ανύψωσης το σφάλμα του συνημίτονου αλλάζει κατά 5% του ιδεατού για κάθε 0.1mm αλλαγής του ύψους του αισθητήρα. Η έξοδος από τον αισθητήρα εξισορροπείται θερμικά με τη χρήση ενός καμπύλου θερμίστορ εμπεδωμένου στη βάση του αισθητήρα. Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από το μαυρισμένο δίσκο του αισθητήρα προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας του. Αυτό στη συνέχεια προκαλεί μια βαθμωτή μεταβολή θερμοκρασίας μεταξύ των ζεστών και των κρύων ενώσεων της θερμοπύλης που τελικά δημιουργεί μια γραμμική έξοδο ανάλογη προς το μέγεθος της ακτινοβολίας. Ο επισκιασμένος δίσκος βοηθά το



σώμα του οργάνου να διατηρεί θερμική ισορροπία μονώνοντας το από την άμεση ακτινοβολία ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει το φυσικό αερισμό διαμέσου μικρών διακένων στο λαιμό του δίσκου. Ταχεία μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μπορεί επίσης να προκαλέσει αρνητικά ή θετικά σήματα σφάλματος κατά τη διάρκεια που το όργανο δεν ευρίσκεται σε θερμική ισορροπία.

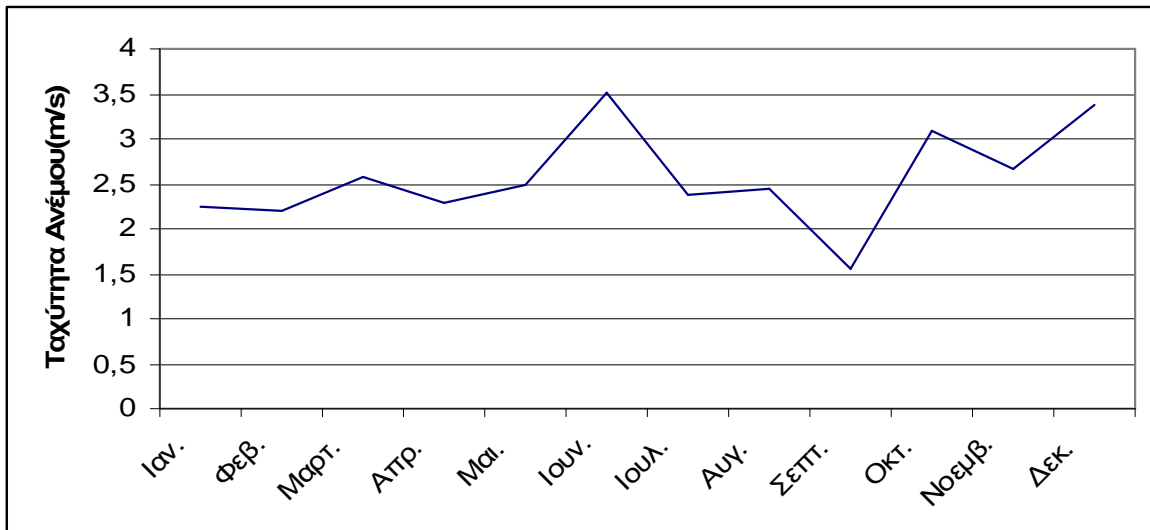
Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της χρονοσειράς του μετρητή. Για τον σκοπό αυτό γίνεται η επιλογή ενός συγκεκριμένου έτους το οποίο και θεωρείται κανονικό μετεωρολογικά έτος. Το έτος αυτό είναι το 2001 και θεωρείται ως βάση για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και την διαστασιολόγησης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο συγκεκριμένος μετρητής παίρνει μετρήσεις κάθε 10 λεπτά και καταγράφονται σε βάση δεδομένων της υπηρεσίας. Για μεγαλύτερη ακρίβεια ζητήθηκε η χρονοσειρά καταγραφών από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου έως 31 Δεκεμβρίου του 2001. Ως βήμα επιλέχθηκε το μικρότερο δυνατό, δηλαδή ανά 10 λεπτά της ώρας. Το σύνολο της χρονοσειράς αποτελείται από περίπου 53.000 μετρήσεις για ολόκληρο το έτος.

### **5.3 Μετρήσεις Ταχύτητας Ανέμου**

Οι μετρήσεις που παρέχονται από το σταθμό διαχωρίζονται σε παράγωγες χρονοσειρές μέρας, μήνα και υδρολογικού έτους . Η μετακίνηση του σταθμού στη νέα θέση επέτρεψε την χρησιμοποίηση ιστού 6 m.

Αρχικά, γίνεται επιλογή ενός συγκεκριμένου έτους το οποίο και θεωρείται κανονικό μετεωρολογικά έτος. Το έτος αυτό είναι το 2001 .Στο διάγραμμα φαίνεται η μέση μηνιαία τιμή του ανέμου για το υδρολογικό έτος 2001.

#### Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Ανέμου(m/s)



#### Μετασχηματισμός Τιμών για ύψος Ανεμογεννήτριας

Ο ιστός του σταθμού έχει ύψος 6 μέτρα και η ανεμογεννήτρια θα τοποθετηθεί σε ύψος 11 μέτρων .

Οι μετρήσεις του σταθμού όπως παρουσιάζονται παραπάνω χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία για να χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη μελέτη.

Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου  $u(t)$  συναρτήσει με το ύψος μπορεί να παρασταθεί από τη λογαριθμική σχέση:

$$\bar{u}(z) = \left(\frac{u}{k}\right) * \ln \frac{z}{z_0}$$

Άρα, αν σε ύψος  $H$  πραγματοποιηθεί με ανεμόμετρο μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου  $U(H)$ , τότε η αντίστοιχη σε ύψος  $Z$ ,  $U(Z)$  θα είναι :

$$\frac{\overline{U}(Z)}{\overline{U}(H)} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(H/z_0)}$$

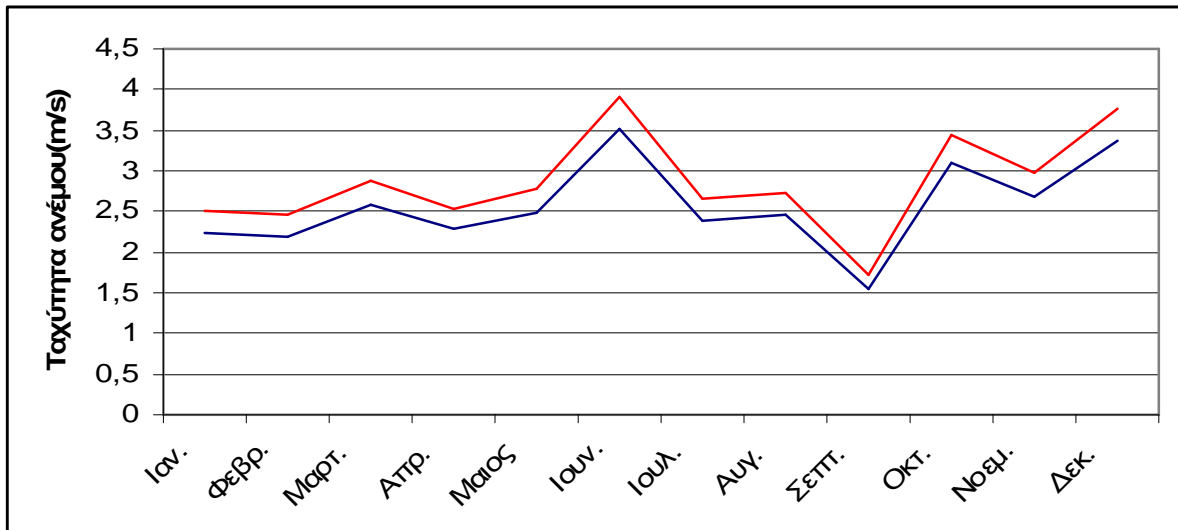
Επομένως, για το 2001 προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου σε ύψος 6 και 11 μέτρων.

*Μέση Ημερήσια Ταχύτητα Ανέμου(m/s)*

| <b>Μήνας</b> | <b>Ταχύτητα(Ύψος 6 μέτρα)</b> | <b>Ταχύτητα(Ύψος 11 μέτρα)</b> |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Ιαν.         | 2,24                          | 2,50                           |
| Φεβρ.        | 2,20                          | 2,45                           |
| Μαρτ.        | 2,58                          | 2,88                           |
| Απρ.         | 2,28                          | 2,54                           |
| Μαιος        | 2,49                          | 2,78                           |
| Ιουν.        | 3,51                          | 3,92                           |
| Ιουλ.        | 2,38                          | 2,66                           |
| Αυγ.         | 2,45                          | 2,73                           |
| Σεπτ.        | 1,55                          | 1,73                           |
| Οκτ.         | 3,09                          | 3,45                           |
| Νοεμ.        | 2,67                          | 2,98                           |
| Δεκ.         | 3,38                          | 3,77                           |

Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω διάγραμμα όπου με κόκκινο είναι η αναπροσαρμοσμένη σε ύψος 11 μέτρων καμπύλη.

*Αναπροσαρμοσμένη Καμπύλη Ταχύτητας Ανέμου(11m)*



Στο παράρτημα (10<sup>ο</sup> κεφάλαιο) υπάρχει αναλυτικός πίνακας με τις μέσες ημερήσιες τιμές ταχύτητας ανέμου για ύψος 11 μέτρων. Με χρήση του αναλυτικού πίνακα γίνεται στη συνέχεια ο αναλυτικός υπολογισμός των καμπυλών ισχύος.

#### **5.4 Μετασχηματισμός τιμών για κεκλιμένο επίπεδο**

Το πυρανόμετρο, από το οποίο προήλθαν οι μετρήσεις, μετρά την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια σε σχέση με το έδαφος επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή η περαιτέρω επεξεργασία των μετρήσεων θα αναφέρεται σε φωτοβολταϊκό πάνελ το οποίο είναι τοποθετημένο σε οριζόντιο επίπεδο.

Στις εφαρμογές που γίνεται χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας το φωτοβολταϊκό πάνελ έχει μια ορισμένη κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο καθώς και έναν προσανατολισμό, τα οποία εξαρτώνται από την γεωγραφική θέση της εγκατάστασης. Η ρύθμιση της κλίσης και του προσανατολισμού γίνονται με σκοπό την μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια του έτους ή σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Υπάρχουν διάφορες τυποποιημένες κλίσεις για κάθε περιοχή ώστε να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του ηλιακού δυναμικού. Στην περίπτωση της έρευνας αυτής τα δεδομένα που έχουν επεξεργαστεί αναφέρονται στο οριζόντιο επίπεδο. Για αυτόν τον λόγο δεν είναι δυνατόν να βγει κάποιο άμεσο συμπέρασμα για την συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού πάνελ σε διάφορες κλίσεις σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.

Η μοναδική λύση είναι να μετασχηματιστούν οι μετρήσεις από το πυρανόμετρο (οριζόντιο επίπεδο) σε κεκλιμένο επίπεδο υπό συγκεκριμένη γωνία. Για τον μετασχηματισμό των μετρήσεων υπάρχουν ορισμένες μαθηματικές μεθοδολογίες από τις οποίες με δεδομένα μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο μετασχηματίζονται σε τιμές τις προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη στηρίζεται στους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$H_t = (H - H_d)R_b + H_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + H^*r_s \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right),$$

όπου

$H_t$  = η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κεκλιμένο επίπεδο

$H$ : οι τιμές των μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας (από το πυρανόμετρο)

$\beta$ : η κλίση του φωτοβολταϊκού πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ( $0^\circ$  έως  $90^\circ$ )

$r_s$ : συντελεστής ανάκλασης (= 0.2)

$$R_b = \frac{(\cos(\varphi - \beta)\cos(\delta)\sin(\omega_{ss}) + (\omega_{ss})\sin(\varphi - \beta)\sin(\delta))}{(\cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s) + \omega_{ss}\sin(\varphi)\sin(\delta))}$$

$\varphi$ : το γεωγραφικό πλάτος (= 38° για την κεντρική Ελλάδα)

$\delta$ : η ηλιακή απόκλιση (= 23.45sin(2π((284+n)/365)))

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\varphi)\tan(\delta))$$

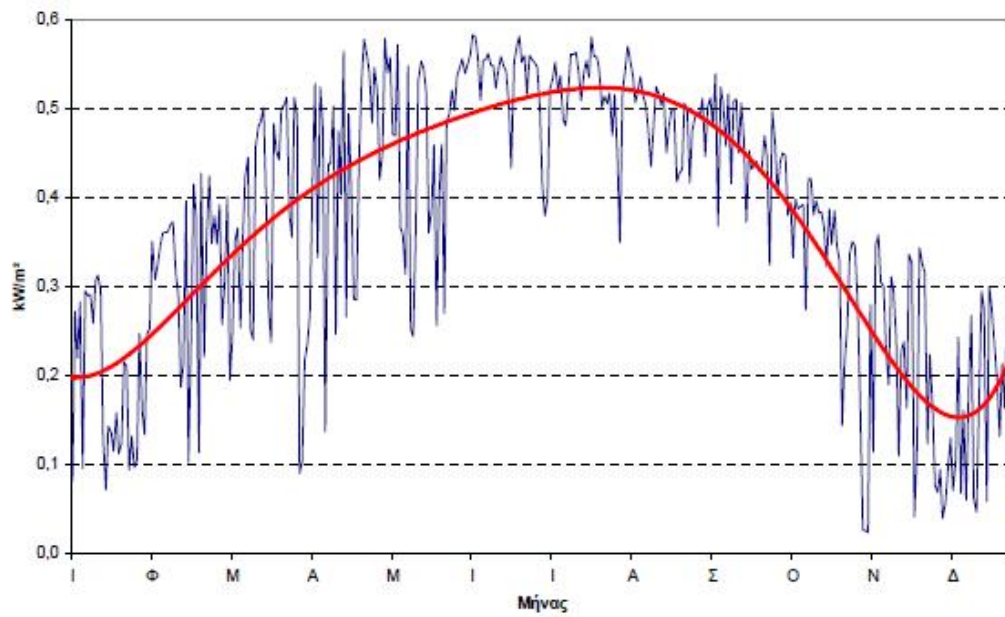
$$\omega_{ss} = \min(\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta)\tan(\delta)))$$

$$H_d = H(1.391 - 3.569K + 4.189K^2 - 2.137K^3), \omega_s < 81,4^\circ$$

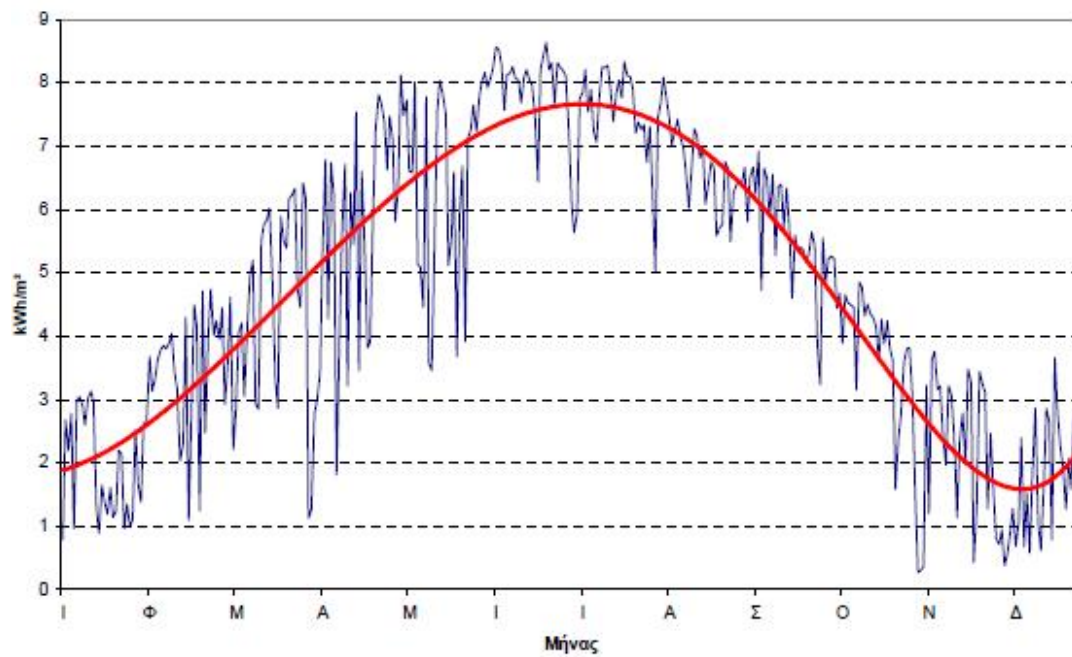
$$H_d = H(1.311 - 3.022K + 3.427K^2 - 1.82K^3), \omega_s > 81,4^\circ$$

$K$  = ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την ατμόσφαιρα προς την ηλιακή ακτινοβολία πριν από την ατμόσφαιρα.

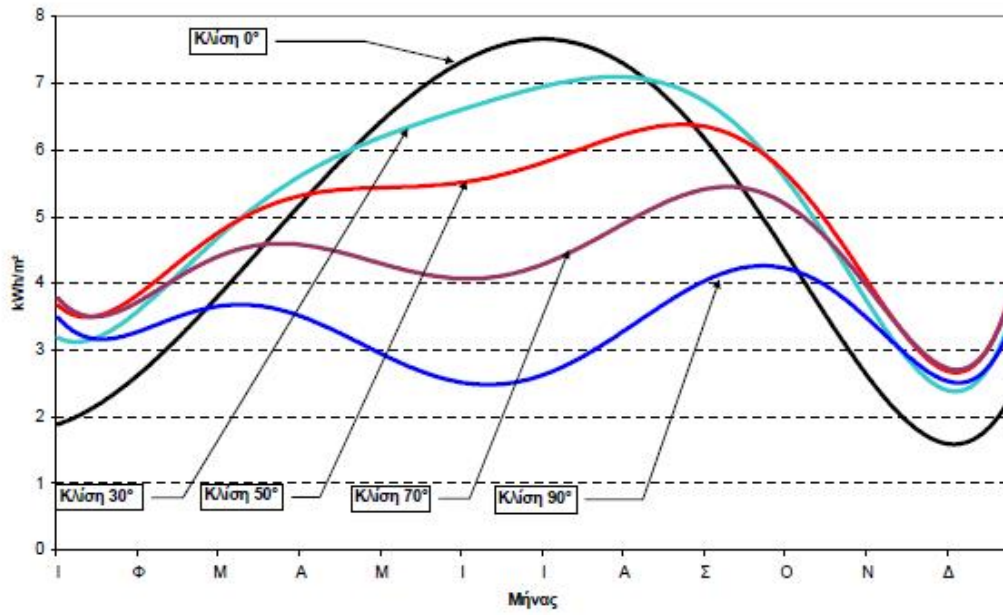
Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω τύπους υπολογίζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσκύπτει σε κεκλιμένο επίπεδο για διάφορες γωνίες του φωτοβολταϊκού πάνελ. Από το διάγραμμα είναι φανερό ότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα κεκλιμένο επίπεδο αυξανόμενης της κλίσης μειώνεται κατά τους θερινούς μήνες και αυξάνεται κατά τους χειμερινούς με αποτέλεσμα την ομαλοποίηση της καμπύλης του Διαγράμματος 5.2. Η αυξομείωση αυτή όμως έχει ένα όριο κλίσης περίπου στις 80° πάνω από το οποίο η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά τους θερινούς μήνες γίνεται μικρότερη ακόμα και από ότι κατά τους χειμερινούς μήνες στους οποίους η ηλιακή ακτινοβολία είναι περίπου σταθερή σε αυτές τις κλίσεις.



Διάγραμμα 5-1 Ετήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο (μετρήσεις από πυρανόμετρο)



Διάγραμμα 5-2 Ετήσια μετρούμενη ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο



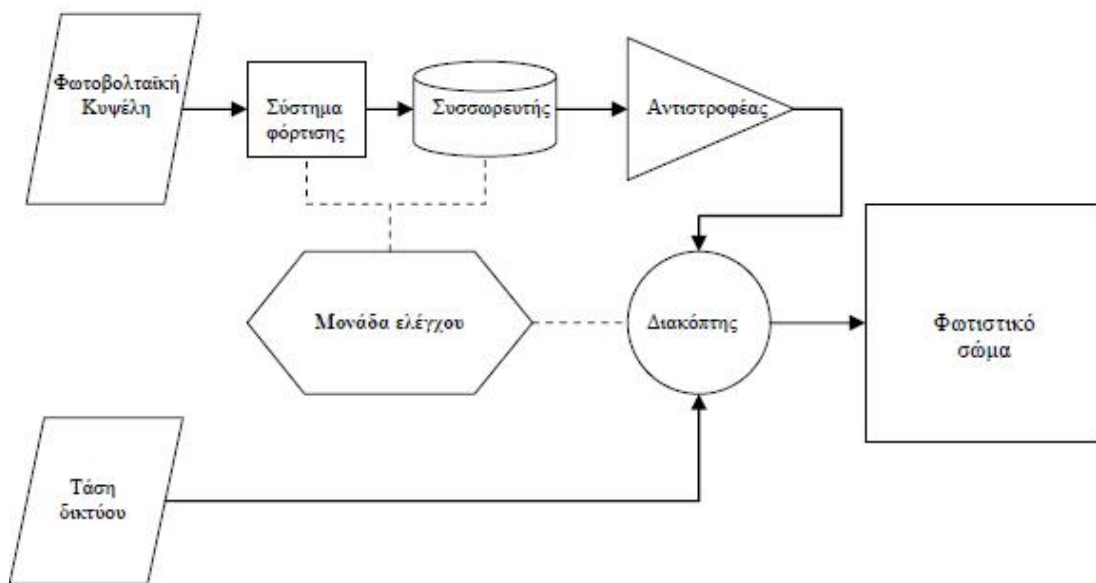
Διάγραμμα 5-3 Υπολογιζόμενη ετήσια ηλιακή ενέργεια που προσκύπτει σε κεκλιμένο επίπεδο (υπολογισμοί για διάφορες κλίσεις του φωτοβολταϊκού πάνελ, από 0 έως 90 μοίρες)



## 6 Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα Φωτισμού

### 6.1 Εισαγωγή

Βασικός στόχος της μελέτης, όπως αναφέρθηκε είναι η δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος φωτισμού για τον φωτισμό δρόμου χαμηλής κυκλοφορίας. Για να είναι το σύστημα ολοκληρωμένο πρέπει κάθε μονάδα του να είναι τοποθετημένη σε κάθε ιστό φωτισμού. Για τον λόγο αυτό πρέπει να σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο και να διαστασιοποιηθεί κατάλληλα ώστε να μπορεί με ασφάλεια να τοποθετηθεί στον κάθε ιστό. Η βασική διασύνδεση και τα μέρη του συστήματος φαίνονται στην Εικόνα 6-1.



Εικόνα 6-1 Ολοκληρωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού

## **6.2 Φωτοβολταϊκό Σύστημα**

Το βασικότερο μέρος του ολοκληρωμένου συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα. Είναι η πηγή ενέργειας και αυτονομίας για το σύστημα [26], [27].

Αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- Την φωτοβολταϊκό πάνελ
- Τον συσσωρευτή
- Το σύστημα φόρτισης
- Τον αντιστροφέα (DC/AC Inverter)

Στις επόμενες ενότητες ακολουθεί περαιτέρω ανάλυση του φωτοβολταϊκού συστήματος

### **6.2.1 Φωτοβολταϊκό Πάνελ**

Στις συνηθισμένες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων ο τρόπος εργασίας είναι συγκεκριμένος. Αρχικά υπολογίζεται η συνολική απαίτηση ισχύος της εγκατάστασης που χρειάζεται να τροφοδοτηθεί με ηλιακή ενέργεια. Στη συνέχεια με εμπειρικούς τύπους προσδιορίζεται ο αριθμός των φωτοβολταϊκών κυψελών που χρειάζονται. Κατόπιν προσδιορίζονται τα μεγέθη για τα μέσα αποθήκευσης της ενέργειας και του αντιστροφέα.

Στην περίπτωση όμως της ανάπτυξης ενός συστήματος φωτισμού δρόμου υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί. Όπως έχει αναφερθεί το σύστημα πρέπει να βρίσκεται ολοκληρωμένο σε κάθε ιστό φωτισμού ώστε να αποτελεί μια αυτόνομη μονάδα φωτισμού. Αυτό επιβάλλει την χρήση όσο το δυνατόν μικρότερου αριθμού φωτοβολταϊκών πάνελ ώστε η στήριξη να γίνεται με ασφάλεια έναντι σε ανέμους και άλλες μηχανικές και φυσικές καταπονήσεις.

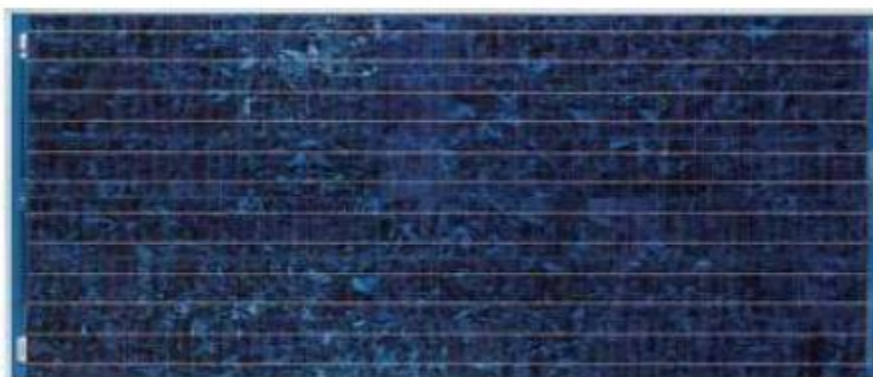
Επίσης για τον ίδιο λόγο το συνολικό βάρος της όλης κατασκευής πρέπει να βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια ασφαλείας.

Για τον λόγο αυτό η μελέτη του φωτοβολταϊκού μέρους του συστήματος δεν ακολουθεί την συνηθισμένη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως αλλά την αντίστροφη. Η βασική υπόθεση είναι πως σε κάθε ιστό φωτισμού θα προσαρμοσθεί ένα πάνελ φωτοβολταϊκών κυψελών και πάνω σε αυτό θα γίνει η περαιτέρω μελέτη. Η μελέτη δηλαδή βασίζεται στην υπόθεση της ύπαρξης μόνο ενός φωτοβολταϊκού πάνελ ανά ιστό φωτισμού, ενώ σε αυτό βασίζεται και ο υπολογισμός των επιμέρους στοιχείων του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στην αγορά των φωτοβολταϊκών υπάρχουν πολλές επιλογές όσο αναφορά τις διαστάσεις, το υλικό κατασκευής κλπ. Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πάνελ μπορεί να γίνει αυθαίρετα για οποιοδήποτε μέγεθος και συνολική ισχύ που δίνεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή. Το πλέον λογικό είναι να επιλεγθεί ένα πάνελ που οι διαστάσεις του θα του επιτρέπουν να στηριχθεί στον ιστό φωτισμού και η απόδοσή του να είναι η μεγαλύτερη δυνατή για τις συγκεκριμένες διαστάσεις. Συνήθως τα πάνελ είναι σε μεγέθη των 0.5, 1, 1.5, 2 τετραγωνικών μέτρων περίπου. Η διάσταση του ενός τετραγωνικού μέτρου είναι ιδανική για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Το πάνελ των φωτοβολταϊκών κυψελών που επιλέχθηκε είναι από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και έχει επιφάνεια 1.2m<sup>2</sup> περίπου που φαίνεται στην Εικόνα 6-2. Τα χαρακτηριστικά του αναγράφονται στον Πίνακα 6-1.

Πίνακας 6-1 Χαρακτηριστικά επιλεγμένου φωτοβολταϊκού πάνελ

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Κωδικός Πάνελ                      | BP SX 150                        |
| Μέγιστη Ισχύς (Pmax)               | 150W                             |
| Τάση για Pmax                      | 34.5V                            |
| Ρεύμα για Pmax                     | 4.35A                            |
| Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)          | 4.75A                            |
| Ρεύμα ανοιχτοκύκλωσης (Voc)        | 43.5V                            |
| Temperature coefficient of Isc     | $(0.065 \pm 0.015)\% / ^\circ C$ |
| Temperature coefficient of Voltage | $-(160 \pm 20)mV / ^\circ C$     |
| Temperature coefficient of Power   | $-(0.5 \pm 0.05)\% / ^\circ C$   |
| NOCT                               | $47 \pm 2^\circ C$               |
| Μήκος                              | 1,593m                           |
| Πλάτος                             | 0.790m                           |
| Βάρος                              | 15.4Kgr                          |



Εικόνα 6-2 Επιλεγμένο φωτοβολταϊκό πάνελ

### 6.2.2 Συσσωρευτής

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. Αν και μερικές εξειδικευμένες εφαρμογές (π.χ., άντληση και συστήματα εξαερισμού, υπολογιστές) δεν απαιτούν αποθήκευση ενέργειας, τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα χρειάζονται συσσωρευτές. Η επιλογή του μεγέθους και του τύπου του συσσωρευτή είναι, επομένως, ένα σημαντικό στοιχείο προς

εκτίμηση-ιδιαίτερα για τα συστήματα χωρίς back-up πηγή ενέργειας. Οι συσσωρευτές μπορούν να αποτελέσουν μόνο το 25% έως 50% των συνολικών δαπανών των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Οι διαφορετικοί τύποι επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών (επίσης γνωστών ως δευτεροβάθμιοι συσσωρευτές) μπορούν να επιλεγθούν και να χρησιμοποιηθούν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Οι συσσωρευτές που είναι αποδοτικοί απαιτούν την ελάχιστη συντήρηση και έχουν μια μακρά αναμενόμενη ζωή. Το υψηλό αρχικό κόστος τους, εντούτοις, θα πρέπει να αποσβεσθεί μακροπρόθεσμα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι στην αγορά που σχεδιάζονται για τη χρήση στα συστήματα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά και αιολικά.

Τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν συσσωρευτές lead-acid, όπως μόλυβδου-ασβεστίου ή μόλυβδου-αντιμονίου κι όχι τύπου αυτοκινήτων, που δεν σχεδιάζονται για την επαναλαμβανόμενη βαθιά φόρτιση.

Για ορισμένες χρήσεις, οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (Ni-Cad) είναι περισσότερο κατάλληλες. Αυτοί μπορούν να φορτίζονται πολλές φορές χωρίς ζημιές και επηρεάζονται λιγότερο από τις αλλαγές θερμοκρασίας σε σχέση με τους συσσωρευτές lead-acid. Εντούτοις, οι Ni-Cad είναι αρκετά ακριβότεροι, έτσι το προστιθέμενο κόστος πρέπει να σταθμιστεί ενάντια στην αυξανόμενη αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος συντήρησής τους.

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. Στην συγκεκριμένη μελέτη απαιτείται ο συσσωρευτής να αποθηκεύει ενέργεια αρκετή για την μεγαλύτερη περίοδο λειτουργίας της, που είναι τον χειμώνα και σε φορτίο 44W. Σύμφωνα με τα γραφόμενα στην παράγραφο 6.3 το μεγαλύτερο ωράριο λειτουργίας είναι περίπου 14 ώρες. Οπότε με απλούς υπολογισμούς ο συσσωρευτής που θα χρειαστεί το σύστημα έχει χωρητικότητα 60Ah και τύπου lead-acid. Τα χαρακτηριστικά του και ο επιλεγμένος συσσωρευτής φαίνονται στον Πίνακα 6-2 και στην Εικόνα 6-3.

Πίνακας 6-2 Χαρακτηριστικά επιλεγμένου συσσωρευτή

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| Τάση Λειτουργίας | 12V-AC                   |
| Χωρητικότητα     | 60Ah                     |
| Βάρος            | 20kgr                    |
| Διαστάσεις       | 25 εκ. X 17 εκ. X 20 εκ. |



Εικόνα 6-3 Ο επιλεγμένος συσσωρευτής

### 6.2.3 Αντιστροφέας (inverter)

Το τελικό στάδιο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η αντιστροφή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο για την τροφοδοσία του συστήματος φωτισμού της εγκατάστασης, που γίνεται με τον αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας (inverter) DC/ AC αποτελεί μια ηλεκτρονική διάταξη μετατροπής της συνεχούς τάσης των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενη τάση με κατάλληλα χαρακτηριστικά (συνήθως 220V/ 50 Hz τριφασικό). Η επιλογή του αντιστροφέα γίνεται με βάση την ισχύ.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα παράγουν συνεχές ρεύμα (DC), και οι συσσωρευτές αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια ως συνεχές ρεύμα, αλλά η λειτουργία του

φωτιστικού σώματος απαιτεί εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Ένα ποσοστό της ισχύος χάνεται στη μετατροπή, δεδομένου ότι οι αναστροφείς έχουν, κατά μέσον όρο, περίπου 90% απόδοση. Παρόλα αυτά, προκειμένου να αποφευχθούν οι απώλειες αποδοτικότητας μέσω των πτώσεων τάσης γραμμών, τα DC συστήματα απαιτούν μεγαλύτερη διάμετρο καλωδίου από τα συγκρίσιμα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος. Το καλώδιο, τα επιμέρους τμήματα και οι συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ευκολότερα διαθέσιμα και γενικά λιγότερο ακριβά από τα αντίστοιχα για συστήματα συνεχούς ρεύματος. Συνεπώς, οι αναστροφείς είναι απαραίτητοι για πολλά συστήματα. Το υπό μελέτη σύστημα χρησιμοποιεί έναν inverter χαμηλής ισχύος 60W που φαίνεται στην Εικόνα 6-4.



Εικόνα 6-4 Ο επιλεγμένος inverter

## 6.3 Απόδοση Φωτοβολταϊκού συστήματος

### 6.3.1 Συντελεστής απόδοσης στοιχείων

Ο υπολογισμός της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυψελών γίνεται συνήθως εμπειρικά με την χρήση ενός κατάλληλου τύπου, ο οποίος βασίζεται στα χαρακτηριστικά του. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η μέγιστη ισχύς του φωτοβολταϊκού πάνελ που δίνεται από τον κατασκευαστή και οι διάφοροι



συντελεστές απόδοσης, που αφορούν το υλικό και τις απώλειες από ρύπανση γήρανση κλπ. Στον τύπο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως η μέση ετήσια ή μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία της υπό μελέτη χώρας ή περιοχής. Το αποτέλεσμα περιέχει ένα σφάλμα το οποίο είναι αποδεκτό σε περιπτώσεις που γίνεται διαστασιολόγηση συστήματος μεγάλης ισχύος όπου συνήθως υπολογίζονται τα μεγέθη με κάποια ανοχή. Στην περίπτωση του συστήματος φωτισμού λόγω των πολλών ανεξάρτητων μικρής ισχύος ιστών απαιτείται μια πιο ακριβής προσέγγιση της ισχύος που αποδίδει το σύστημα. Ο εμπειρικός τύπος χρησιμοποιείται μόνο για μια σύγκριση με την αναλυτική διαδικασία.

Για τον υπολογισμό της απολαβής του πάνελ χρησιμοποιείται ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάνελ σήμερα. Σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν γίνει, καθώς και με αναφορές από τις κατασκευάστριες εταιρίες τα φωτοβολταϊκά φτάνουν σε απόδοση το 13%. Αυτό αναφέρεται στα φωτοβολταϊκά του εμπορίου εφόσον σε πλαίσια ερευνών και εξέλιξης έχουν κατασκευασθεί και λειτουργούν φωτοβολταϊκά με απόδοση κοντά στο 25%. Για το χρησιμοποιούμενο φωτοβολταϊκό θεωρείται μια μέση απόδοση του 12% ώστε να ομαλοποιούνται οι διακυμάνσεις σε απόδοση σε περιπτώσεις αλλαγής θερμοκρασίας, εποχής κλπ. Η τιμή αυτή της απόδοσης αντιπροσωπεύει ένα κοινό φωτοβολταϊκό με κανονική απόδοση.

Το επόμενο μέρος του συστήματος είναι τα μέσα αποθήκευσης της ενέργειας. Οι συσσωρευτές δεν έχουν σταθερή απόδοση και εξαρτάται από τον τύπο του συσσωρευτή και από τον τρόπο χρήσης. Παίζει σημαντικό ρόλο το υλικό κατασκευής των συσσωρευτών καθώς και το αν είναι βαθιάς εκφόρτισης ή όχι. Οι συσσωρευτές των φωτοβολταϊκών συστημάτων και παράλληλα ο τύπος που χρησιμοποιείται στο σύστημα της συγκεκριμένης μελέτης έχουνε συντελεστή

απόδοσης 85%. Ο συντελεστής αναφέρεται στις απώλειες ενέργειας κατά την φόρτιση καθώς και κατά την εκφόρτιση.

Τέλος απώλειες υπάρχουν και κατά το στάδιο της μετατροπής του συνεχούς ρεύματος των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο για την τροφοδοσία του φωτιστικού σώματος της εγκατάστασης. Ο inverter που χρησιμοποιείται έχει απώλειες που φτάνουν το πολύ στο 10% της εισερχόμενης σε αυτόν ενέργειας. Έτσι η απόδοση του inverter ορίζεται στο ελάχιστο δυνατό δηλαδή 90%

Οι συντελεστές απόδοσης για όλα τα στοιχεία του συστήματος επιλέγονται κάτω από το γενικό μέσο όρο ώστε τα αποτελέσματα να αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές συνθήκες καθώς και για να περιέχονται και οι λοιπές απώλειες του συστήματος, από τα συστήματα ελέγχου, τα συστήματα εποπτείας, τις καλωδιώσεις κλπ.

### **6.3.2 Απόδοση φωτοβολταϊκού πάνελ**

Ο υπολογισμός της απόδοσης του συστήματος συνίσταται στον υπολογισμό των συνολικών απωλειών καθώς και στον προσδιορισμό της δυνατότητας του φωτοβολταϊκού συστήματος να τροφοδοτήσει διάφορα φορτία. Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στη συνέχεια υπολογίζει την απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ όταν αυτό βρίσκεται τοποθετημένο σε οριζόντιο επίπεδο.

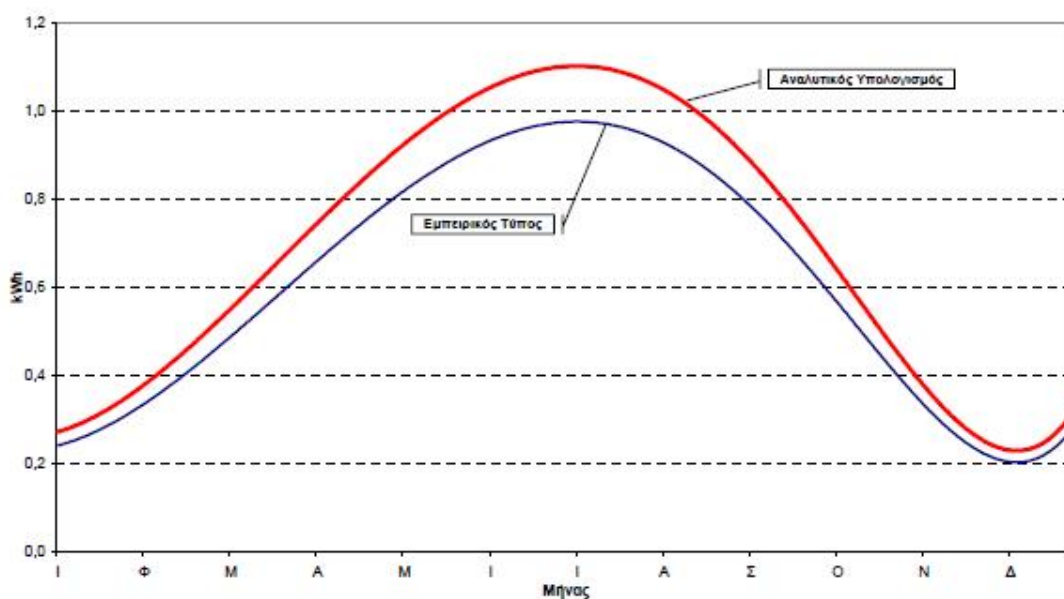
Αρχικά υπολογίζεται η απολαβή του φωτοβολταϊκού πάνελ, η απόδοση του οποίου ορίστηκε στο 12%. Τα δεδομένα που έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρονται στην ημερήσια ηλιακή ενέργεια που αντιστοιχεί σε επιφάνεια εμβαδού ενός τετραγωνικού μέτρου. Η ενεργή

επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ, δηλαδή η επιφάνεια που πραγματικά συμβάλει στην απορρόφηση της ηλιακής υπολογίζεται στα 1.2m<sup>2</sup>.

Με την χρήση ενός πολλαπλασιασμού για κάθε ημέρα προκύπτει η ημερήσια απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Ο τρόπος αυτός όπως αναφέρθηκε υπολογίζει την απόδοση του πάνελ χρησιμοποιώντας τον συντελεστή απόδοσης και το εμβαδόν του (ενεργό εμβαδόν) και τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αυτά που λαμβάνονται υπόψη για τους επόμενους υπολογισμούς.

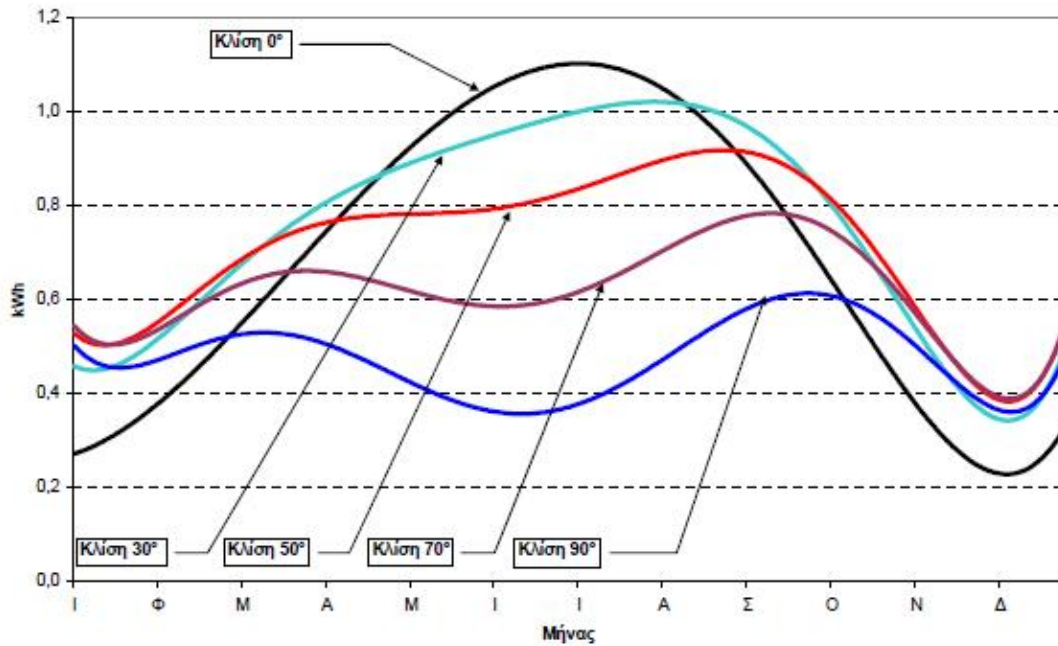
Ως μέτρο σύγκρισης για τον προηγούμενο υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη ο εμπειρικός τύπος υπολογισμού της απόδοσης των φωτοβολταϊκών. Ο υπολογισμός των τιμών με τον εμπειρικό τύπο γίνεται χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα από την επεξεργασία των μετεωρολογικών μετρήσεων και όχι τις στατιστικές τιμές των χαρτών ηλιακού δυναμικού.

Οι τιμές των αποτελεσμάτων των δύο υπολογισμών συγκεντρώνονται στο κοινό Διάγραμμα 6-1.



Διάγραμμα 6-1 Ετήσια απολαβή φωτοβολταϊκού πάνελ τοποθετημένο σε οριζόντιο επίπεδο

Οι καμπύλες που εμφανίζονται στο παραπάνω διάγραμμα αποτελούν τις ομαλοποιημένες καμπύλες των αποτελεσμάτων των υπολογισμών. Αυτό βοηθά στο να γίνεται σαφέστερη η μορφή των καμπύλων και να ερμηνεύονται καλύτερα. Η ανώτερη καμπύλη από τις δύο, αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα του αναλυτικού τρόπου υπολογισμού της απόδοσης, ενώ η κατώτερη τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό με τον εμπειρικό τύπο. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι τα αποτελέσματα των δύο τρόπων υπολογισμού είναι παραπλήσια για τους μήνες του χειμώνα και του φθινοπώρου και έχουν μια μικρή απόκλιση κατά του μήνες του καλοκαιριού και της άνοιξης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας τον συντελεστή απόδοσης των φωτοβολταϊκών και την επιφάνεια του πάνελ προκύπτουν μεγαλύτερες γενικά τιμές από ότι με τον εμπειρικό τύπο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην επιλογή του συγκεκριμένου έτους για την συγκέντρωση των μετεωρολογικών δεδομένων και την διαφοροποίηση της μεθόδου από τον στατιστικό χαρακτήρα του εμπειρικού τύπου. Η υπολογιζόμενη διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι περίπου στο 10%. Χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία υπολογίζεται η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ όταν αυτό τοποθετείται σε διάφορες γωνίες ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Οι γωνίες στις οποίες γίνονται οι υπολογισμοί είναι αυτές για τις οποίες προέκυψαν και τα αποτελέσματα του Διαγράμματος 5-3. Η υπολογιζόμενη ετήσια απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ για τις διάφορες κλίσεις φαίνεται στο Διάγραμμα 6-2.



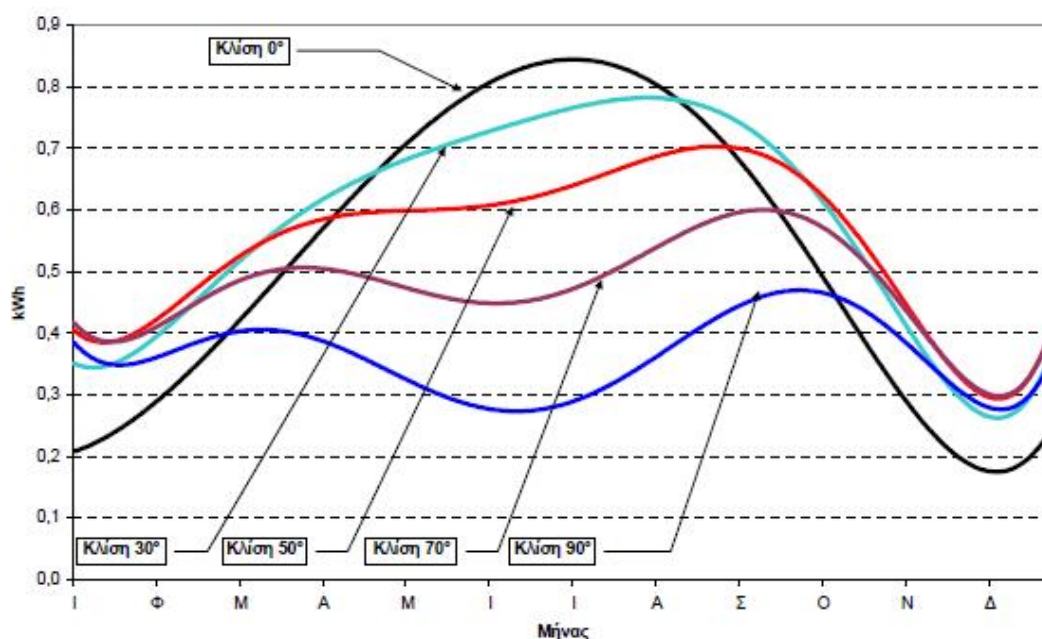
Διάγραμμα 6-2 Ετήσια υπολογιζόμενη απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ για διάφορες γωνίες στήριξής του

### 6.3.3 Απόδοση ισχύος συστήματος

Η τελική απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας και τους συντελεστές απόδοσης και των υπολοίπων μερών του συστήματος [28], [29], [30].

Με τους συντελεστές 0.85 για την απόδοση των συσσωρευτών και 0.9 για την απόδοση του inverter προκύπτουν οι τιμές της ημερήσιας απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν την μέγιστη δυνατή ενέργεια που είναι δυνατόν το σύστημα να συλλέξει κατά την διάρκεια της ημέρας, να την αποθηκεύσει στους συσσωρευτές και να την αποδώσει κατά την διάρκεια της νύχτας. Από τις τιμές έχουν προφανώς αφαιρεθεί όλες οι απώλειες. Το Διάγραμμα 6-3 παρουσιάζει την ετήσια απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος για το έτος 2001 όταν το φωτοβολταϊκό πάνελ

στηρίζεται σε διάφορες γωνίες σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και με προσανατολισμό πάντα προς τον Νότο.



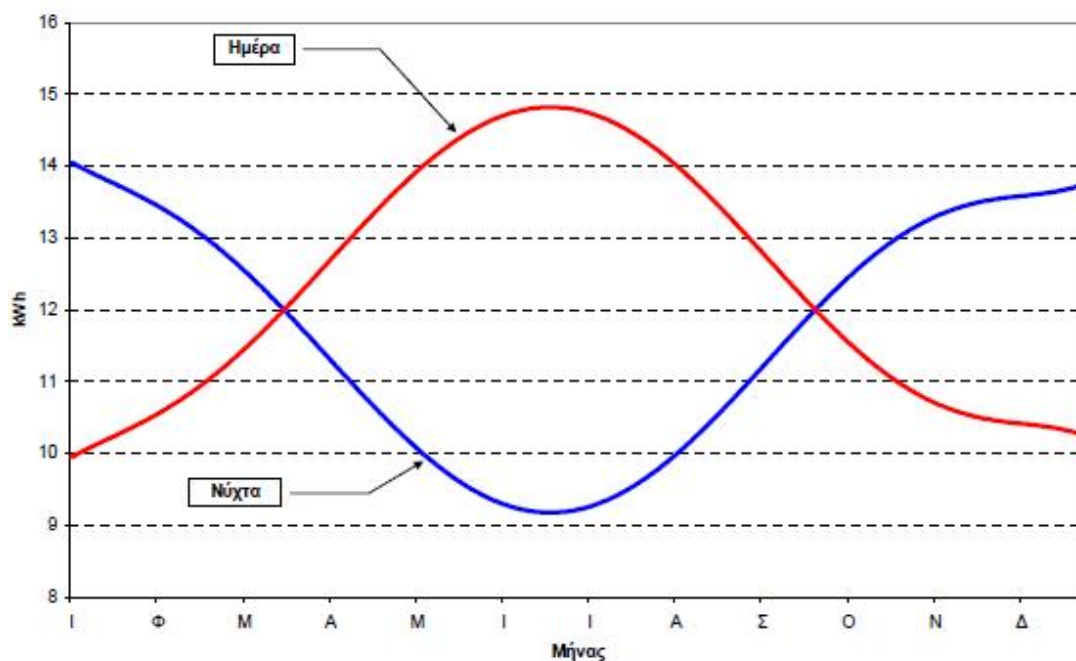
Διάγραμμα 6-3 Ετήσια υπολογιζόμενη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος για διάφορες γωνίες στήριξης του φωτοβολταϊκού πάνελ.

Η ενέργεια που μπορεί να αποδώσει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο φωτιστικό, όπως φαίνεται από το διάγραμμα ποικίλει ανάλογα με την εποχή του έτους και τη γωνία στήριξης του φωτοβολταϊκού πάνελ. Παρατηρείται ότι για κλίσεις του πάνελ μεγαλύτερης των  $0^\circ$  η ενέργεια που απορροφά το σύστημα ελαττώνεται κατά τους θερινούς μήνες, όπου η ηλιακή ενέργεια είναι περισσότερη. Παράλληλα κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η ηλιακή ενέργεια είναι μικρότερη με την μεταβολή της κλίσης του πάνελ αυξάνεται η απορροφούμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να ομαλοποιείται η καμπύλη απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η συνολική απαίτηση ισχύος του συστήματος φωτισμού εξαρτάται από την επιλογή του λαμπτήρα που θα χρησιμοποιηθεί για τον φωτισμό του δρόμου. Για να γίνει αποδοτικότερη η αναζήτηση του κατάλληλου συστήματος φωτισμού αναλύεται περισσότερο το διάγραμμα της

ενεργειακής απόδοσης. Στόχος είναι να μετατραπεί το διάγραμμα ενέργειας σε διάγραμμα ισχύος.

Για την μετατροπή του διαγράμματος χρειάζεται ο χρόνος. Ο χρόνος στον οποίο το φωτοβολταϊκό σύστημα θα αποδίδει την ενέργεια στο σύστημα φωτισμού. Το φωτοβολταϊκό σύστημα συλλέγει την ηλιακή ενέργεια καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και την αποθηκεύει. Το σύστημα φωτισμού λειτουργεί κατά την διάρκεια της νύχτας οπότε ο χρόνος λειτουργίας του δεν είναι σταθερός, μιας και η διάρκεια της νύχτας μεταβάλλεται με την εποχή.

Στην αρχική επεξεργασία των μετρήσεων της έντασης φωτισμού υπολογίστηκε η χρονική διάρκεια της ημέρας για κάθε ημέρα του έτους. Από τον υπολογισμό αυτόν εύκολα προκύπτει η διάρκεια της νύχτας. Στο Διάγραμμα 6-4 έχουν σχεδιαστεί οι καμπύλες που αντιπροσωπεύουν την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας για όλο το έτος.



Διάγραμμα 6-4 Ετήσια χρονική διάρκεια ημέρας και νύχτας

Διαιρώντας την διάρκεια της νύχτας με το ποσό της διαθέσιμης ενέργειας προκύπτει η μέγιστη ισχύς που μπορεί να απαιτεί μια συσκευή για να λειτουργήσει αδιάλειπτα καθ' όλη την διάρκεια της νύχτας. Για παράδειγμα αν από τους υπολογισμούς εξαχθεί το αποτέλεσμα των 50W για μία συγκεκριμένη ημέρα σημαίνει ότι το βράδυ που ακολουθεί μετά από αυτή την ημέρα το σύστημα μπορεί να τροφοδοτήσει αδιάλειπτα και καθ' όλη την διάρκεια της νύχτας μια συσκευή συνολικής ισχύος 50W. Έχοντας τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς της ετήσιας απολαβής ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος μπορούμε να κάνουμε τον παραπάνω υπολογισμό ισχύος για κάθε μέρα του έτους και για κάθε διαφορετική κλίση του φωτοβολταϊκού πάνελ.

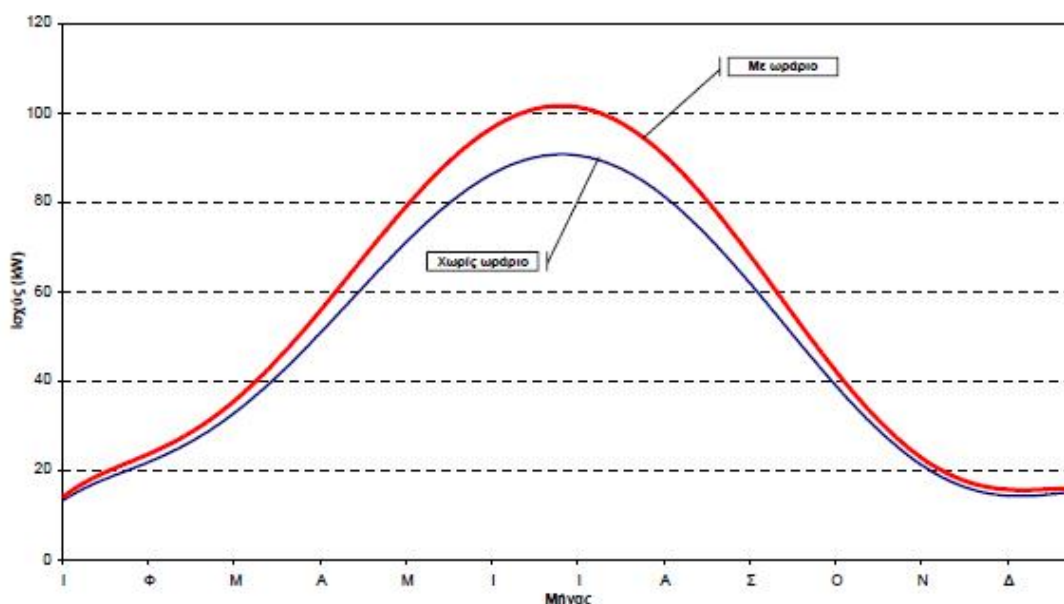
Για ένα σύστημα φωτισμού οδικών αρτηριών υπάρχει η απαίτηση να λειτουργεί αδιάλειπτα κάθε νύχτα για ολόκληρο το έτος. Ο φωτισμός ενός δρόμου είναι μια προγραμματισμένη εργασία από τον κατά τόπο και κάθε φορά αρμόδιο φορέα. Το ωράριο λειτουργίας των φωτιστικών των δρόμων μεταβάλλεται σε κάθε εποχή καθώς αλλάζει και η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Στις περισσότερες περιοχές το ωράριο αλλάζει κάθε ορισμένο αριθμό μηνών. Στην περιοχή της Αττικής, όπως και στις περισσότερες περιοχές, γίνεται καθημερινή ρύθμιση της λειτουργίας των φωτιστικών με την χρήση αστρονομικών αισθητήρων. Συγκεκριμένα το σύστημα φωτισμού των δρόμων τίθεται σε λειτουργία 30 λεπτά μετά την ημερολογιακά οριζόμενη δύση του ηλίου ενώ τίθενται εκτός λειτουργίας 30 λεπτά πριν την ημερολογιακή ανατολή.

Για να εισαχθεί το ωράριο στην λειτουργία του συστήματος πρέπει να μεταβληθεί ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας του φωτιστικού κατά την διάρκεια της νύχτας. Αρχικά υπάρχει η παραδοχή ότι η διάρκεια της νύχτας, για κάθε μέρα του έτους, που έχει υπολογισθεί είναι περίπου ίση με την



ημερολογιακά οριζόμενη διάρκεια. Ο χρόνος που χρειάζεται να λειτουργεί η διάταξη φωτισμού σύμφωνα με το ωράριο είναι κατά 60 λεπτά μικρότερος από ότι υπολογίσθηκε. Με μικρότερο τον νέο χρόνο λειτουργίας και την ίδια αποδιδόμενη ενέργεια το διάγραμμα απόδοσης ισχύος μεταβάλλεται. Πιο συγκεκριμένα με μικρότερο χρόνο απαιτούμενης λειτουργίας το σύστημα θα μπορεί να τροφοδοτήσει αδιάλειπτα μεγαλύτερα φορτία.

Ένα παράδειγμα του επηρεασμού του ωραρίου στην ικανότητα τροφοδοσίας του συστήματος δίνεται στο Διάγραμμα 6-5 όπου έχει γίνει ο υπολογισμός της ικανότητας τροφοδοσίας του φωτοβολταϊκού συστήματος (με κλίση του πάνελ στις  $0^\circ$ ). Στο ίδιο διάγραμμα επίσης διατηρείται και η καμπύλη της ισχύος που υπολογίσθηκε χωρίς την χρήση του ωραρίου για να μπορεί να γίνει μια γρήγορη σύγκριση της διαφοράς. Με την χρήση του συγκεκριμένου ωραρίου το σύστημα μπορεί να τροφοδοτήσει αδιάλειπτα συσκευές μεγαλύτερης ισχύος από ότι χωρίς να γίνει υπολογισμός του ωραρίου.



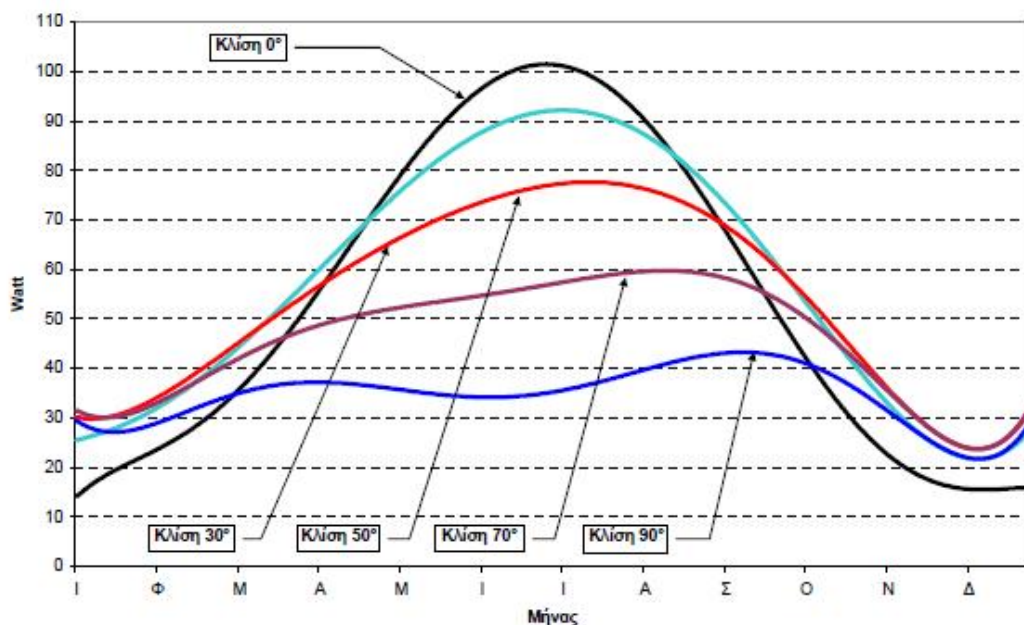
Διάγραμμα 6-5 Ετήσια υπολογιζόμενη απόδοση ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος για κλίση του φωτοβολταϊκού πάνελ  $0^\circ$

Το επόμενο βήμα της μελέτης είναι ο υπολογισμός της ετήσιας ικανότητας τροφοδοσίας του συστήματος για τις διάφορες γωνίες κλίσης του φωτοβολταϊκού πάνελ, συνυπολογιζομένου και του ωραρίου λειτουργίας του οδικού φωτισμού. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται είναι εκείνες που υπολογίσθηκαν στα Διαγράμματα 6-3 και 6-4. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Διάγραμμα 6-6.

#### 6.3.4 Παρατηρήσεις

- Η μορφή των διαγραμμάτων είναι η ομαλοποιημένη γραμμή των υπολογιζόμενων τιμών. Η μορφή αυτή επιλέγεται για να γίνεται ευκολότερη ερμηνεία των διαγραμμάτων, καθώς η διαφοροποίηση μερικών αρχικών μετεωρολογικών μετρήσεων, λόγω ακραίων καιρικών συνθηκών σε σχέση με την εποχή, κάνουν τα διαγράμματα δύσκολα στην κατανόηση και στην εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων.
- Στο Διάγραμμα 6-6 παρατηρείται ότι για την μεταβαλλόμενη κλίση το πάνελ η ικανότητα τροφοδοσίας από το φωτοβολταϊκό σύστημα μεταβάλλεται σημαντικά τόσο στους θερινούς όσο και στους χειμερινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τους χειμερινούς μήνες η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος αυξάνεται για γωνίες του πάνελ από 30-70° περίπου και παράλληλα το ωράριο λειτουργίας του οδικού φωτισμού τον χειμώνα είναι μικρότερο. Κατά τους θερινούς μήνες το ωράριο λειτουργίας είναι μεν μεγαλύτερο αλλά η περίσσεια της ηλιακής ενέργειας επιτρέπει στο σύστημα να τροφοδοτεί συσκευές μεγαλύτερης ισχύος από ότι τον χειμώνα παρά την μειωμένη απόδοση. Έτσι ανάλογα με τις ανάγκες της τροφοδοσίας γίνεται και η κατάλληλη ρύθμιση του

φωτοβολταϊκού πάνελ ώστε να συλλέγεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενέργεια τον χειμώνα, ενώ παράλληλα η απορροφημένη ενέργεια το καλοκαίρι να βρίσκεται σε ικανοποιητικά για την εκάστοτε εφαρμογή επίπεδα.



Διάγραμμα 6-6 Ετήσια υπολογιζόμενη απόδοση ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος για διάφορες κλίσεις του φωτοβολταϊκού πάνελ.

## 6.4 Σύστημα Φωτισμού

### 6.4.1 Εισαγωγή

Το σύστημα φωτισμού δρόμου που αναπτύσσεται καλείται να φωτίσει επαρκώς έναν επιλεγμένο δρόμο χωρίς διακοπή κατά την διάρκεια της νύχτας. Η αυτονομία του συστήματος έγκειται στο πόσες ημέρες μπορεί να λειτουργήσει με την αποθηκευμένη από τον ήλιο ενέργεια κατά την διάρκεια του έτους. Η σχετικά χαμηλή απόδοση ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος ειδικότερα κατά τους χειμερινούς μήνες καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη ενός συστήματος φωτισμού με όσο το δυνατόν μικρότερη απαίτηση ισχύος. Από την άλλη το

σύστημα αυτό πρέπει να είναι ικανό να φωτίσει τον επιλεγμένο τύπο δρόμου επαρκώς και να ακολουθεί τις διεθνείς προδιαγραφές για τον φωτισμό δρόμων. Συνήθως για τον φωτισμό ενός δρόμου μέσης κυκλοφορίας απαιτούνται λαμπτήρες με μεγάλη απαίτηση σε ισχύ της τάξης των 150 - 400W. Συνυπολογίζοντας και τις καταναλώσεις των υπόλοιπων μερών του φωτιστικού συστήματος η απαίτηση ισχύος γίνεται ακόμα μεγαλύτερη. Παρατηρώντας το διάγραμμα απόδοσης ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος προκύπτει πως το σύστημα φωτισμού που πρέπει να αναπτυχθεί πρέπει να έχει συνολική απαίτηση ισχύος από 20 έως 100W περίπου. Στην περίπτωση χαμηλής απαίτησης ισχύος, της τάξης των 20 με 30 W το σύστημα αποκτά μεγάλη αυτονομία μιας και τις περισσότερες ημέρες του έτους η απόδοση του συστήματος είναι ίση ή μεγαλύτερη τις απαιτούμενης. Ένα σύστημα φωτισμού όμως της τάξης των 20 με 30W είναι δύσκολο να φωτίσει επαρκώς τυπικό δρόμο, εκτός και αν πρόκειται για εφαρμογές φωτισμού πάρκων και μονοπατιών ή διακοσμητικού φωτισμού. Από την άλλη ένα σύστημα με απαίτηση ισχύος της τάξης των 80 με 100W έχει καλύτερη απόδοση για τον φωτισμό δρόμου, παράλληλα όμως η αυτονομία του για τα δεδομένα του φωτοβολταϊκού συστήματος θα ήταν μικρή μιας και υψηλή απόδοση υπάρχει για ελάχιστες ημέρες κυρίως κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Τα συστήματα με απαίτηση μεγαλύτερη των 100W έχουν την δυνατότητα να φωτίσουν με καλύτερη απόδοση κοινούς δρόμους μόνο που η αυτονομία τους θα είναι μικρή διότι χρειάζονται περισσότερες από 1 ή 2 ημέρες ώστε να φορτιστούν πλήρως οι συσσωρευτές και να λειτουργήσει το σύστημα φωτισμού καθ' όλη την διάρκεια της νύχτας. Το σύστημα φωτισμού λοιπόν πρέπει να έχει απαίτηση

ισχύος που να είναι μέσα στα όρια της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και παράλληλα να έχει μια ικανοποιητική αυτονομία.

#### **6.4.2 Επιλογή λαμπτήρα και φωτιστικού σώματος**

Η επιλογή του κατάλληλου για την εφαρμογή λαμπτήρα είναι μια περίπλοκη διαδικασία καθώς υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων και απαίτησης ισχύος. Παράλληλα το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης σε ένα σύστημα φωτισμού έχει ο λαμπτήρας. Οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως για τον φωτισμό δρόμων είναι νατρίου χαμηλής ή υψηλής πίεσης οι οποίοι απαιτούν ισχύ της τάξης των μερικών εκατοντάδων Watt. Όπως αναφέρθηκε η συνολική ισχύς το συστήματος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 20 και 100W. Επόμενο είναι οι λαμπτήρες αυτοί να απορρίπτονται κατά την αναζήτηση του κατάλληλου λαμπτήρα.

Ιδανική λύση είναι η χρήση ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων οι οποίοι σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες είναι ιδανικοί για τον φωτισμό δρόμων στο πεδίο της μεσοπικής όρασης. Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν λαμπτήρες οι οποίοι καταναλώνουν από 35 έως και μερικές εκατοντάδες Watt. Ικανοί να τροφοδοτηθούνε επαρκώς είναι λαμπτήρες των 35 και 70W. Ο λαμπτήρας των 70W έχει σχετικά υψηλή απαίτηση ισχύος για τα δεδομένα του συστήματος και προβλέπεται να έχει μικρή αυτονομία.






Ο επιλεγμένος για την εφαρμογή λαμπτήρας είναι κατανάλωσης 35W την μικρότερη δυνατή κατανάλωση για λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων που χρησιμοποιείται για τον φωτισμό δρόμων. Από συγκριτική μελέτη λαμπτήρων 35W επιλέγεται ο λαμπτήρας της Εικόνας6-5 τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον Πίνακα 6-3.

Το φωτιστικό σώμα που χρησιμοποιεί τον επιλεγμένο λαμπτήρα αναζητείται στον ίδιο κατασκευαστή. Υπάρχει μια οικογένεια φωτιστικών που μπορούν να δεχτούν το λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων. Τα φωτιστικά που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον συγκεκριμένο λαμπτήρα είναι 8 και αφορούν τους συνδυασμούς του ανακλαστήρα, του οπτικού και άλλων παραμέτρων. Στον Πίνακα 6-4 αναγράφονται τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών δωματίων που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν. Οι συνδυασμοί των φωτιστικών που προκύπτουν δοκιμάζονται σε πρόγραμμα φωτισμού δρόμων για την επιλογή του καταλληλότερου.

Πίνακας 6-3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου λαμπτήρα

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| Κατασκευαστής         | Philips                          |
| Τύπος                 | Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων |
| Κωδικός               | CDM-T35W                         |
| Κατανάλωση (Λαμπτήρα) | 35W                              |
| Χρώμα                 | 830                              |
| Φωτεινή ροή           | 3300 lumen                       |
| Τύπος μπάλαστ         | Ηλεκτρονικό                      |

Πίνακας 6-4 Χαρακτηριστικά του επιλεγμένου φωτιστικού σώματος

|                   |  |
|-------------------|--|
| Κατασκευαστής     | Philips  |
| Οικογένεια        | IRIDIUM (SGS252)   |
| Τύποι ανακλαστήρα |  GB<br> FG<br> PC |
| Τύποι οπτικών     |  CR<br> OR   |



Εικόνα 6-5 Ο επιλεγμένος λαμπτήρας για το σύστημα φωτισμού

### 6.4.3 Ικανότητα φωτισμού

Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο «Φωτισμός δρόμων» υπάρχουν 5 κλάσεις όσο αφορά τον φωτισμό ενός δρόμου. Οι κατηγορίες αυτές έχουν τεθεί από την CIE και αφορούν στο επίπεδο φωτισμού του δρόμου. Οι απαιτήσεις για κάθε κλάση (M1 έως και M5) καθώς και η περιγραφή των δρόμων που αντιπροσωπεύουν οι κλάσεις αυτές αναγράφονται στον Πίνακα 6-5.

Πίνακας 6-5 Προδιαγραφές φωτισμού δρόμου κατά την CIE

| Κλάση φωτισμού | Λαμπρότητα (Μέση)(Cd/m <sup>2</sup> )   | Λαμπρότητα (Ελάχιστη/Μέση)(Cd/m <sup>2</sup> ) | Δείκτης θάμβωσης (%) | SR left | SR right |
|----------------|---|--|----------------------|---------|----------|
| M1             | ≥2.00   | ≥0.40  | <10                  | ≥0.5    | ≥0.5     |
| M2             | ≥1.50   | ≥0.40  | <10                  | ≥0.5    | ≥0.5     |
| M3             | ≥1.00   | ≥0.40  | <10                  | ≥0.5    | ≥0.5     |
| M4             | ≥0.75   | ≥0.40  | <15                  | ≥0.5    | ≥0.5     |
| M5             | ≥0.50   | ≥0.40  | <15                  | ≥0.5    | ≥0.5     |
| SR left-right  | Δείκτης που αναφέρεται στο αν ο φωτισμός στον δεξιά και αριστερά περιβάλλοντα χώρο του δρόμου είναι επαρκής για την αναγνώριση αντικειμένων |  |                      |         |          |

Το επόμενο βήμα είναι να εξεταστεί το αν και κατά πόσο οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται στον φωτισμό ενός κοινού δρόμου. Λόγω της μικρής ισχύος του λαμπτήρα η μελέτη γίνεται σε δρόμο πλάτους 6 μέτρων με δύο λωρίδες και τύπο οδοστρώματος σύμφωνα με το πρότυπο CIE R3. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων κάθε κλάσεως φωτισμού απαιτείται διαφορετικός τρόπος

εγκατάστασης και διάταξης και διαφορετικός αριθμός φωτιστικών σωμάτων ανά περίπτωση. Στη συνέχεια εξετάζεται χωριστά η δυνατότητα φωτισμού του δρόμου με κάθε διαφορετική απαίτηση φωτισμού ξεκινώντας από την κλάση M5. Η μελέτη του φωτισμού γίνεται με την χρήση ενός κατάλληλου λογισμικού για τον φωτισμό δρόμων της εταιρίας Philips (Philips Calculux Road 5.0)

#### 6.4.3.1 Κλάση φωτισμού M5

Τα χαρακτηριστικά του δρόμου στον οποίο γίνεται η μελέτη φαίνονται στον Πίνακα 6-6.

Πίνακας 6-6 Χαρακτηριστικά του υπό εξέταση δρόμου

|                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| Πλάτος                             | 6 μέτρα         |
| Λωρίδες κυκλοφορίας                | 2               |
| Τύπος οδοστρώματος                 | Ασφαλτος CIE R3 |
| Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος | 0.070           |

Στο λογισμικό φωτισμού εξετάζονται όλοι οι συνδυασμοί φωτιστικών σωμάτων που αναφέρονται στον Πίνακα 6-7. Για το κάθε συνδυασμό γίνεται βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών εγκατάστασης ώστε να τηρούν τα κριτήρια της κλάσης αυτής. Τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης αφορούν το ύψος στήριξης των φωτιστικών σωμάτων πάνω στους ιστούς φωτισμού, την απόσταση μεταξύ των ιστών, τον τρόπο διάταξης στις δύο πλευρές του δρόμου, το μήκος της επικάλυψης του δρόμου από την κάθετη προβολή του φωτιστικού (Overhang) και την κατακόρυφη γωνία του φωτιστικού (Tilt90).



Πίνακας 6-7 Συνδυασμοί φωτιστικών σωμάτων

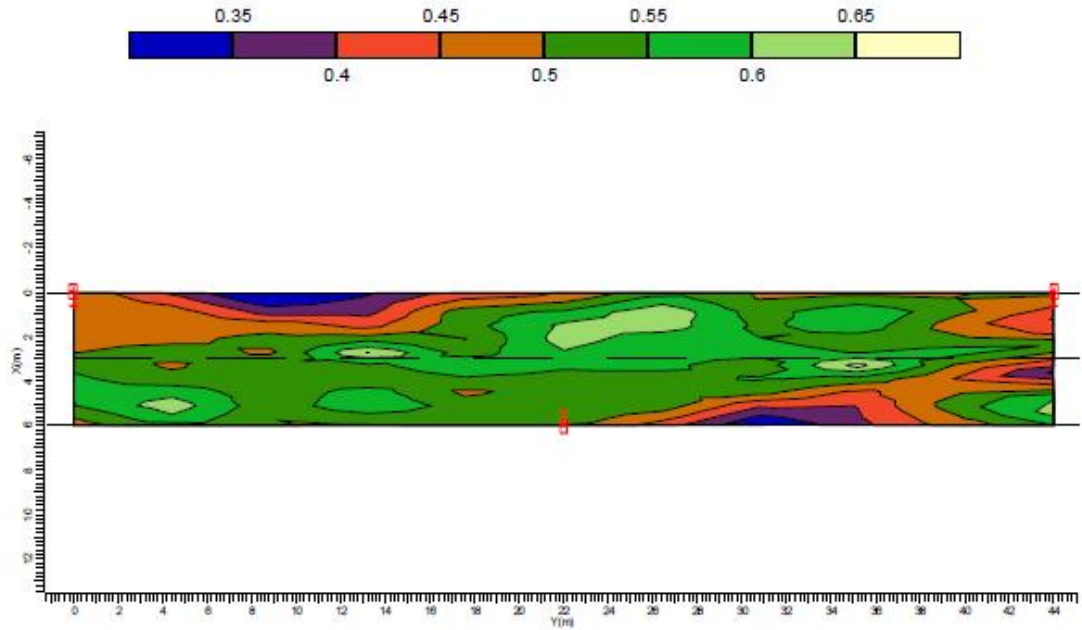
|             |                           |            |
|-------------|---------------------------|------------|
| Φωτιστικό 1 | SGS252/GB CR CT-POT P.5 X | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 2 | SGS252/FG CR CT-POT P.3   | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 3 | SGS252/FG CR CT-POT P.5 X | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 4 | SGS252/GB CR CT-POT P.3   | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 5 | SGS252/GB OR CT-POT P.3   | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 6 | SGS252/PC CR CT-POT P.3   | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 7 | SGS252/PC CR CT-POT P.5 X | 1xCDM-T35W |
| Φωτιστικό 8 | SGS252/PC OR CT-POT P.3   | 1xCDM-T35W |

Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης δείχνουν πως όλα τα φωτιστικά με την κατάλληλη εγκατάσταση τηρούν τα κριτήρια της κλάσης M5. Ο Πίνακας 6-8 αναφέρεται στα αποτελέσματα αυτά για κάθε φωτιστικό.

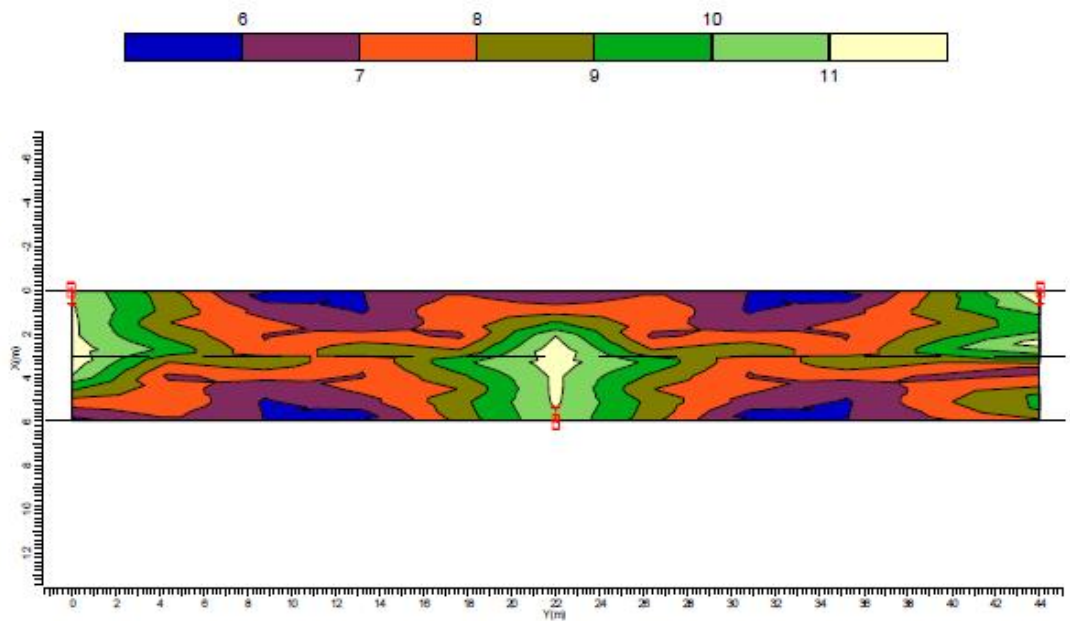
**Πίνακας 6-8** Αποτελέσματα εξομοίωσης φωτισμού για τις απαιτήσεις της κλάσης CIE-M5

|                        | <b>Φωτιστικό 1</b> | <b>Φωτιστικό 2</b> | <b>Φωτιστικό 3</b> | <b>Φωτιστικό 4</b> |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Διάταξη                | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             |
| Ύψος                   | 8.00               | 7.00               | 7.00               | 7.00               |
| Απόσταση Ιστών         | 22.00              | 21.00              | 22.00              | 21.00              |
| Επικάλυψη (m)          | 0.50               | 0.00               | 0.50               | 0.50               |
| Tilt90 (°)             | 5.0                | 0.0                | 5.0                | 0.0                |
| Λαμπρότητα (Μέση)      | 0.52               | 0.50               | 0.52               | 0.53               |
| Λαμπρότητα (Ελάχ/Μέση) | 0.54               | 0.52               | 0.56               | 0.60               |
| Θάμβωση (ΤΙ%)          | 9.5                | 6.9                | 11.3               | 7.4                |
| SR-left                | 0.51               | 0.51               | 0.50               | 0.55               |
| SR-right               | 0.51               | 0.51               | 0.50               | 0.55               |
|                        | <b>Φωτιστικό 5</b> | <b>Φωτιστικό 6</b> | <b>Φωτιστικό 7</b> | <b>Φωτιστικό 8</b> |
| Διάταξη                | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             |
| Ύψος                   | 7.00               | 7.00               | 7.00               | 6.00               |
| Απόσταση Ιστών         | 21.00              | 21.00              | 22.00              | 20.00              |
| Επικάλυψη (m)          | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               |
| Tilt90 (°)             | 0.0                | 0.0                | 5.0                | 0.0                |
| Λαμπρότητα (Μέση)      | 0.51               | 0.51               | 0.54               | 0.53               |
| Λαμπρότητα (Ελάχ/Μέση) | 0.53               | 0.53               | 0.52               | 0.55               |
| Θάμβωση (ΤΙ%)          | 10.1               | 9.2                | 13.1               | 10.5               |
| SR-left                | 0.56               | 0.53               | 0.52               | 0.56               |
| SR-right               | 0.56               | 0.53               | 0.52               | 0.50               |

Από τα παραπάνω φωτιστικά σώματα το ιδανικότερο για την περίπτωση είναι το φωτιστικό Νο1 το οποίο εμφανίζει και τα καλύτερα αποτελέσματα στο επίπεδο φωτισμού με τον καλύτερο δείκτη λαμπρότητας (ελάχιστη/μέση), χαμηλό ποσοστό θάμβωσης και τους καλύτερους δείκτες SR. Παράλληλα στηρίζεται σε μέγιστο ύψος 8 μέτρα και με απόσταση ιστώντα 22 μέτρα. Στα Διαγράμματα 6-7 και 6-8 φαίνεται η κατανομή του φωτισμού για το φωτιστικό αυτό πάνω στον υπό εξέταση δρόμο.



Διάγραμμα 6-7 Κατανομή της λαμπρότητας στο επίπεδο του δρόμου (cd/m<sup>2</sup>)



Διάγραμμα 6-8 Κατανομή της έντασης φωτισμού στο επίπεδο του δρόμου (lux)

#### 6.4.3.2 Κλάση φωτισμού M4

Για την κλάση φωτισμού M4 γίνονται παρόμοια βήματα όπως και για την M5. Τα φωτιστικά του Πίνακα 6-7 δοκιμάζονται και βελτιστοποιούνται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης για τον δρόμο που περιγράφεται στον Πίνακα 6-

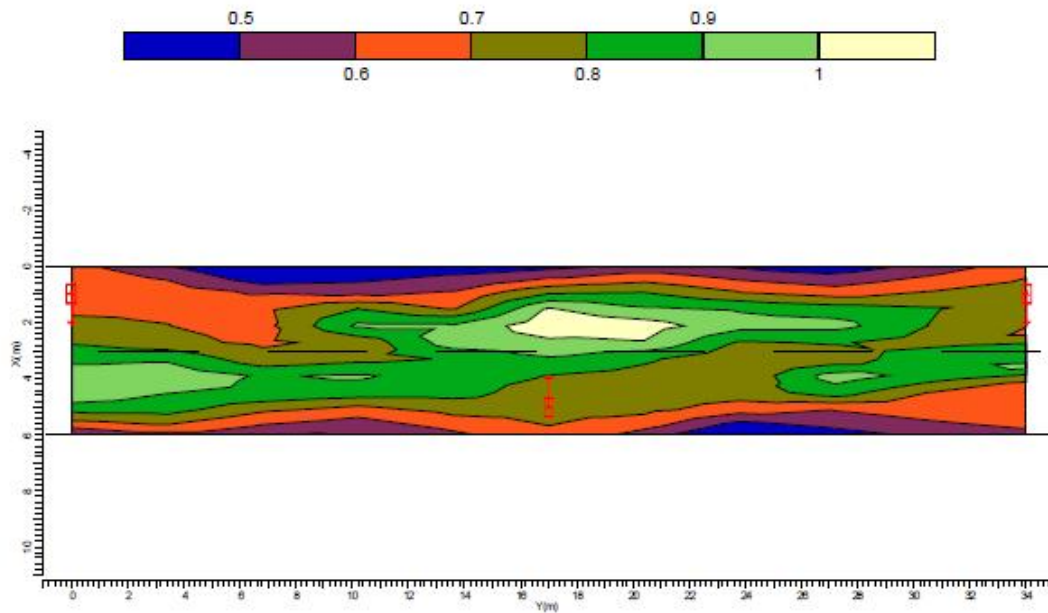
6. Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης δείχνουν πως όλα τα φωτιστικά με την κατάλληλη εγκατάσταση τηρούν τα κριτήρια και της κλάσης M4. Στον Πίνακα 6-9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτά για κάθε φωτιστικό.

**Πίνακας 6-9** Αποτελέσματα εξομοίωσης φωτισμού για τις απαιτήσεις της κλάσης CIE-M4

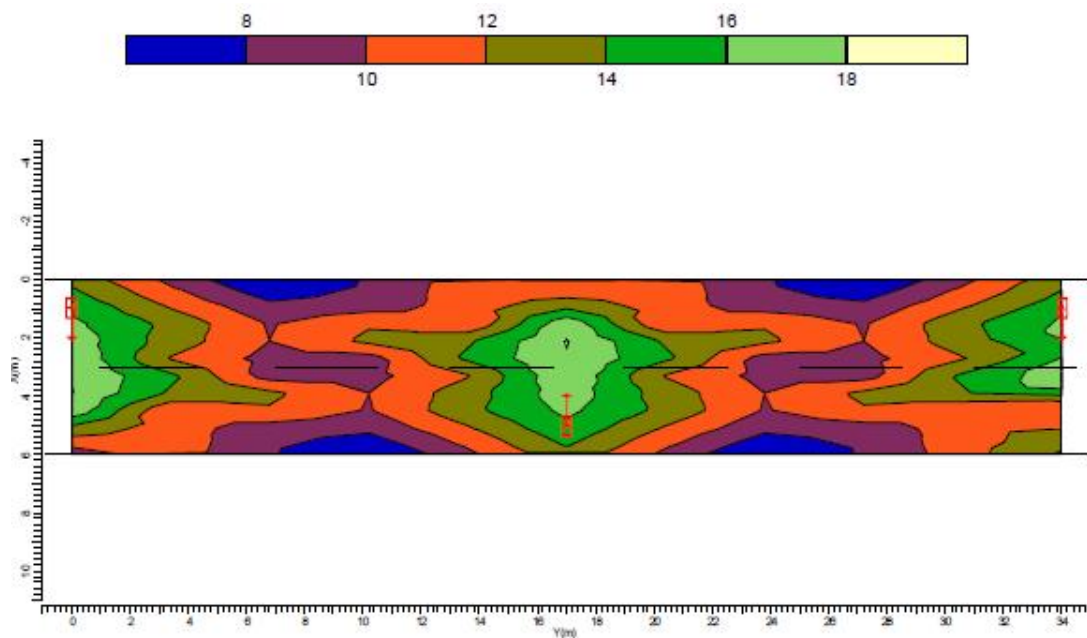
|                        | <b>Φωτιστικό 1</b> | <b>Φωτιστικό 2</b> | <b>Φωτιστικό 3</b> | <b>Φωτιστικό 4</b> |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Διάταξη                | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             |
| Ύψος                   | 6.00               | 6.00               | 6.00               | 6.00               |
| Απόσταση Ιστών         | 17.00              | 15.00              | 16.00              | 15.00              |
| Επικάλυψη (m)          | 1.00               | 0.50               | 1.00               | 0.50               |
| Tilt90 (°)             | 10.0               | 5.0                | 10.0               | 5.0                |
| Λαμπρότητα (Μέση)      | 0.75               | 0.72               | 0.75               | 0.76               |
| Λαμπρότητα (Ελάχ/Μέση) | 0.54               | 0.62               | 0.57               | 0.60               |
| Θάμβωση (TI%)          | 13.5               | 7.8                | 11.8               | 8.4                |
| SR-left                | 0.53               | 0.53               | 0.52               | 0.53               |
| SR-right               | 0.53               | 0.53               | 0.52               | 0.53               |
|                        | <b>Φωτιστικό 5</b> | <b>Φωτιστικό 6</b> | <b>Φωτιστικό 7</b> | <b>Φωτιστικό 8</b> |
| Διάταξη                | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             | Χιαστί             |
| Ύψος                   | 6.00               | 6.00               | 6.00               | 6.00               |
| Απόσταση Ιστών         | 15.00              | 15.00              | 16.00              | 15.00              |
| Επικάλυψη (m)          | 0.00               | 1.00               | 1.00               | 1.00               |
| Tilt90 (°)             | 5.0                | 0.0                | 10.0               | 0.0                |
| Λαμπρότητα (Μέση)      | 0.76               | 0.80               | 0.79               | 0.75               |
| Λαμπρότητα (Ελάχ/Μέση) | 0.58               | 0.57               | 0.54               | 0.56               |
| Θάμβωση (TI%)          | 10.3               | 9.3                | 13.7               | 11.0               |
| SR-left                | 0.51               | 0.50               | 0.54               | 0.51               |
| SR-right               | 0.51               | 0.50               | 0.54               | 0.51               |

Από τα παραπάνω φωτιστικά σώματα το ιδανικότερο για την περίπτωση είναι το φωτιστικό No1 το οποίο εμφανίζει και τα καλύτερα αποτελέσματα στο επίπεδο φωτισμού με τον καλύτερο δείκτη λαμπρότητας (ελάχιστη/μέση), χαμηλό ποσοστό θάμβωσης και τους καλούς δείκτες SR. Παράλληλα στηρίζεται

σε μέγιστο ύψος 6 μέτρα και με απόσταση ιστών τα 17 μέτρα. Στα Διαγράμματα 6-9 και 6-10 φαίνεται η κατανομή του φωτισμού για το φωτιστικό αυτό πάνω στον υπό εξέταση δρόμο.



Διάγραμμα 6-9 Κατανομή της λαμπρότητας στο επίπεδο του δρόμου (cd/m<sup>2</sup>)



Διάγραμμα 6-10 Κατανομή της έντασης φωτισμού στο επίπεδο του δρόμου (lux)

#### **6.4.3.3 Κλάσεις φωτισμού M3 έως και M1**

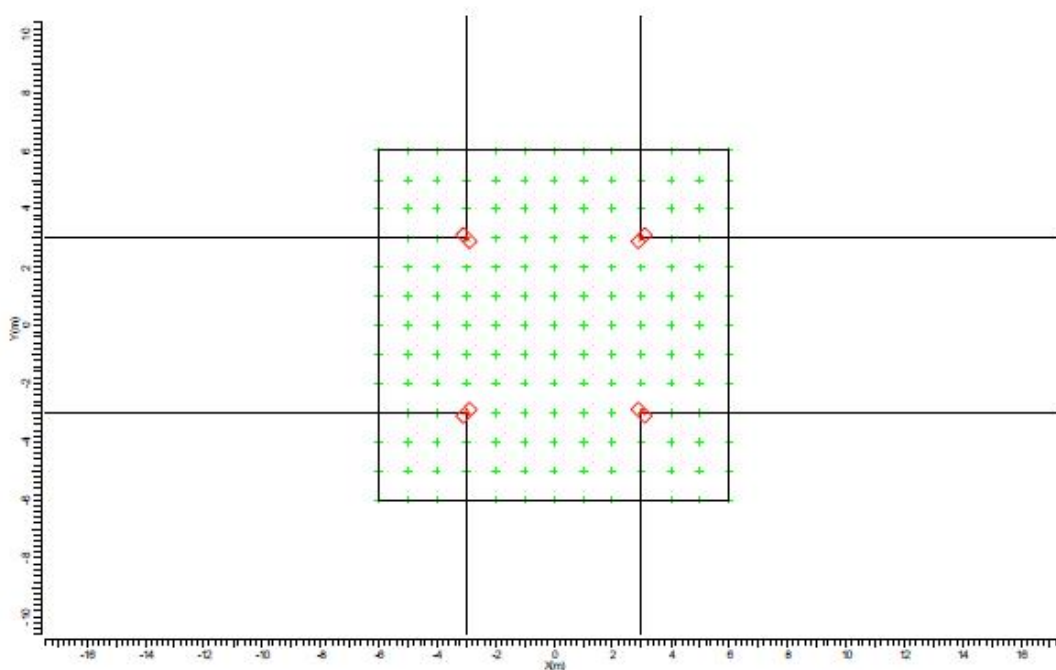
Οι προδιαγραφές τις CIE για τις κλάσεις φωτισμού M1 έως και M3 αναφέρονται κατά βάση σε δρόμους υψηλής κυκλοφορίας. Οι δρόμοι αυτοί είναι συνήθως διπλής κυκλοφορίας, έχουν πλάτος από 10 μέτρα και περισσότερο και διαθέτουν 4 ή και περισσότερες λωρίδες κυκλοφορίας συνολικά.

Στο πρόγραμμα μελέτης φωτισμού εξετάζεται αν τα επιλεγμένα φωτιστικά είναι σε θέση να φωτίσουν τους συγκεκριμένους δρόμους μέσα στο προδιαγεγραμμένα όρια από την CIE. Τα αποτελέσματα είναι αρνητικά και αυτό οφείλεται προφανώς στην περιορισμένη ισχύ, κατά συνέπεια και απόδοση, του επιλεγμένου λαμπτήρα. Παράλληλα ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι ο φωτισμός δρόμων χαμηλής κυκλοφορίας καθώς και παρόμοιες εφαρμογές με μικρότερες απαιτήσεις από αυτές που έχουν οι δρόμοι υψηλής κυκλοφορίας.

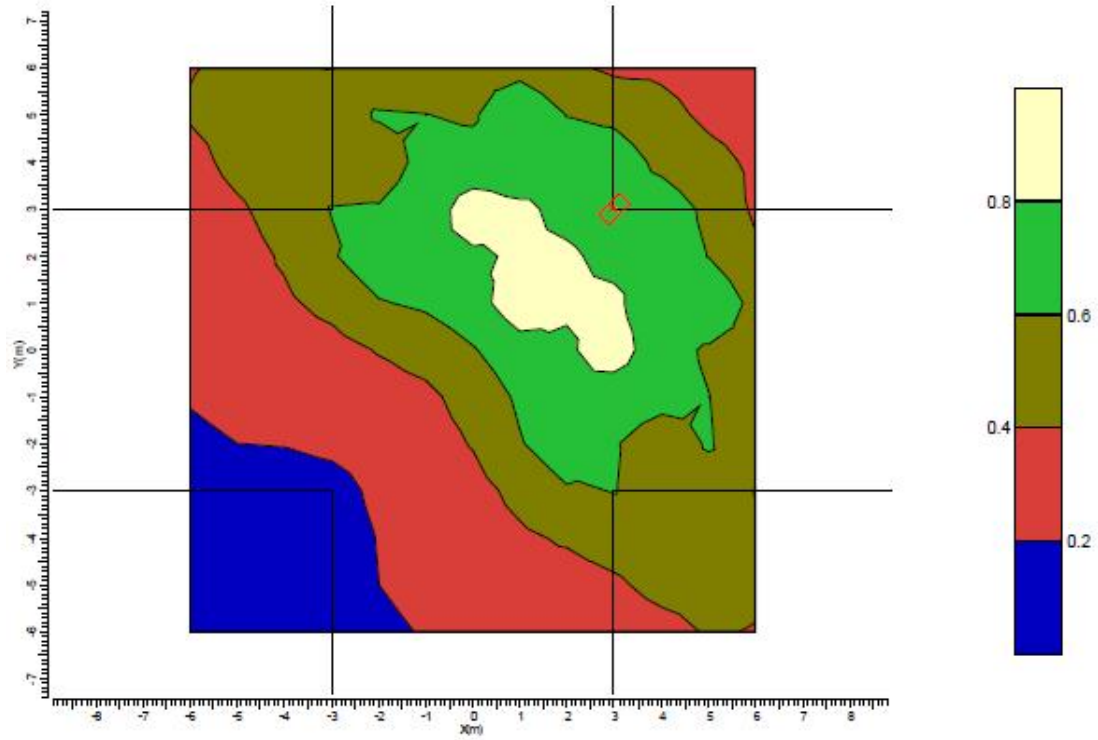
Για τους παραπάνω λόγους η εκτενέστερη αναφορά στην μελέτη των δρόμων που έχουν τις παραπάνω προδιαγραφές καθώς και τα αποτελέσματα της μελέτης φωτισμού παραλείπονται σκοπίμως.

#### **6.4.3.4 Φωτισμός Διασταύρωσης**

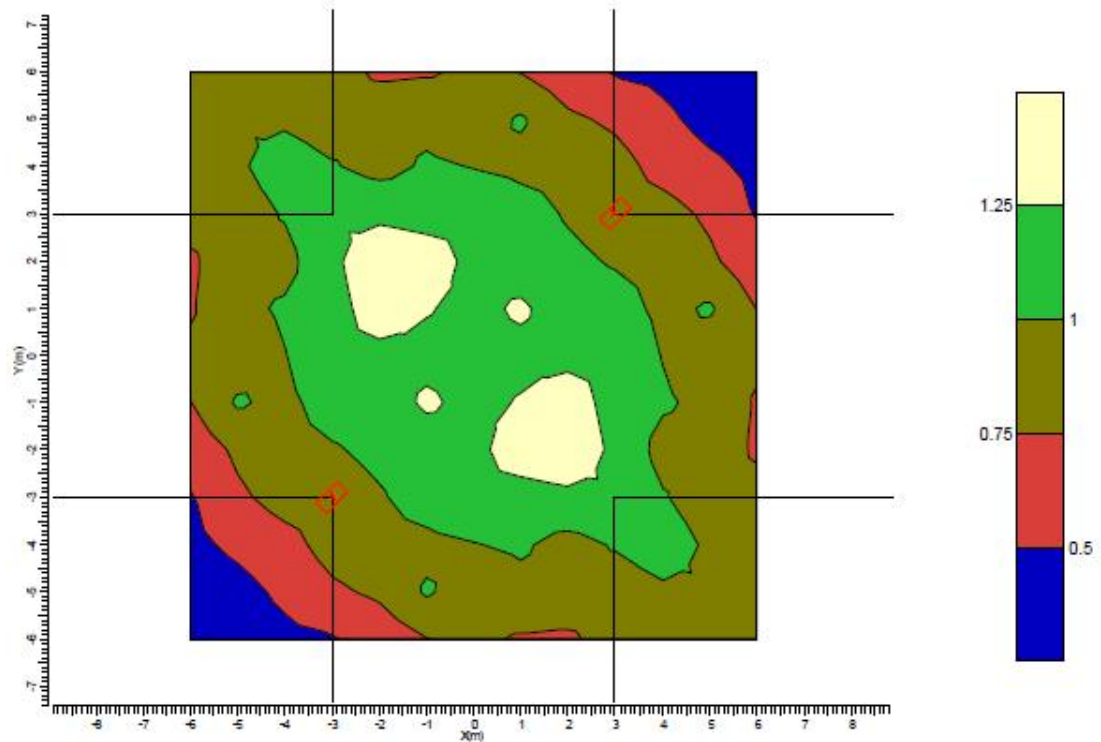
Μια επιπλέον εξέταση είναι αυτή του φωτισμού μια διασταύρωσης δύο δρόμων πλάτους 6 μέτρων. Η μελέτη αυτή προστίθεται στις προηγούμενες με την ιδέα ότι το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φωτίζει αυτόνομα μη απομακρυσμένα σημεία του οδικού δικτύου και κυρίως σταυροδρόμια, ώστε να παρέχεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια για οδηγούς και πεζούς. Η υπό εξέταση διασταύρωση φαίνεται στο Διάγραμμα 6-11



Για τον φωτισμό της διασταύρωσης επιλέγεται το φωτιστικό Νο1 του Πίνακα 6-6. Χρησιμοποιούνται έως και 4 φωτιστικά, ένα σε κάθε γωνία με προσανατολισμό στο κέντρο της διασταύρωσης και κατακόρυφη προβολή φωτιστικού στις  $0^\circ$ . Στη συνέχεια γίνεται μελέτη φωτισμού ώστε να διαπιστωθεί η επάρκεια της χρήσης από 1 έως 4 φωτιστικά για τον φωτισμο της διασταύρωσης. Οι δοκιμές είναι 3 και αφορούν την λειτουργία 1,2 και 4 φωτιστικών ταυτόχρονα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα Διαγράμματα 6-12 έως και 6-14. Ανάλογα με το επίπεδο που χρειάζεται να δοθεί στον φωτισμό της διασταύρωσης επιλέγεται ένας από τους παραπάνω συνδυασμούς λειτουργίας των φωτιστικών. Οι περιπτώσεις μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με συχνότητα χρήσης της διασταύρωσης, την τοποθεσία που βρίσκεται, την χρήση του από πεζούς κλπ. Όλα αυτά ακολουθούν τους κανονισμούς τοπικού φωτισμού σύμφωνα με την CIE, οι οποίοι χωρίζονται σε 7 κατηγορίες (P1 – P7).

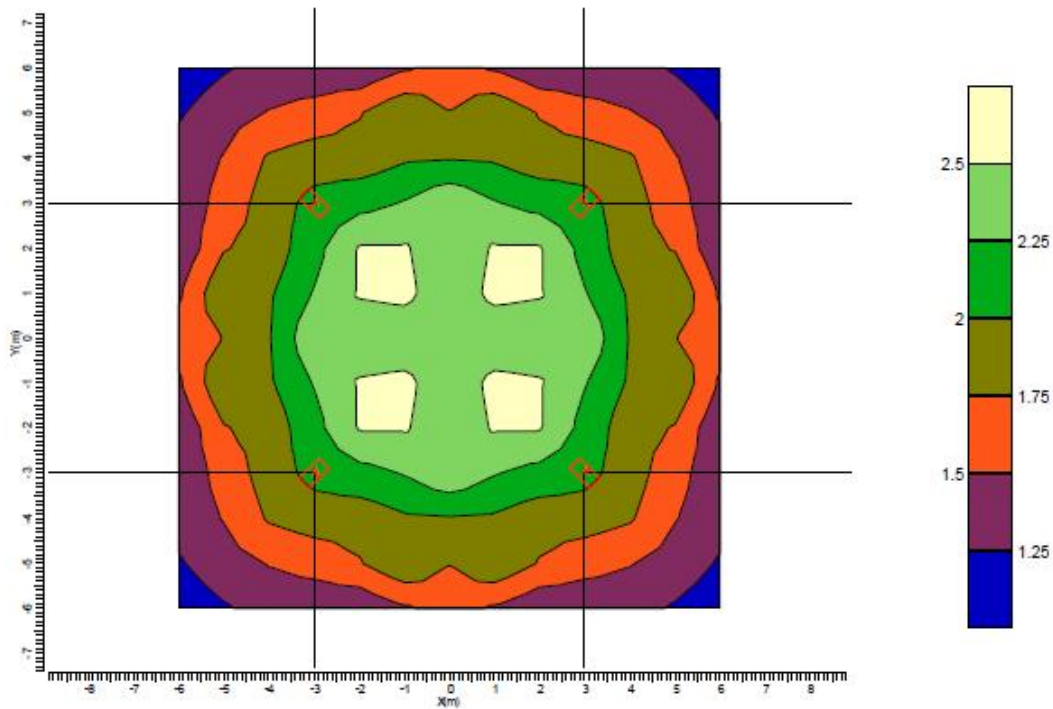


Διάγραμμα 6-12 Κατανομή της λαμπρότητας στο επίπεδο του δρόμου (cd/m<sup>2</sup>) με τη χρήση ενός φωτιστικού



Διάγραμμα 6-13 Κατανομή της λαμπρότητας στο επίπεδο του δρόμου (cd/m<sup>2</sup>) με τη χρήση δύο φωτιστικών





Διάγραμμα 6-14 Κατανομή της λαμπρότητας στο επίπεδο του δρόμου ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) με τη χρήση τεσσάρων φωτιστικών

#### 6.4.3.5 Παρατηρήσεις

- Σε κάθε περίπτωση φωτισμού οι διαστάσεις του δρόμου μπορούν να μεταβληθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις και να γίνει πάλι μελέτη για το αν ικανοποιούνται και πόσοι διάφορες κλάσεις φωτισμού.
- Τα αποτελέσματα της μελέτης φωτισμού γίνονται με σκοπό την χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων φωτιστικών ενώ παράλληλα τηρούνται οι εκάστοτε προδιαγραφές. Είναι φανερό πως για να επιτευχθούν μεγαλύτερα επίπεδα φωτισμού πρέπει να γίνει διαφοροποίηση στην εγκατάσταση των φωτιστικών (Μικρότερο ύψος και απόσταση μεταξύ ιστών κτλ.)

## 7 Κόστος και Επιπτώσεις

### 7.1 Υπολογισμός Κόστους Συνολικής Εγκατάστασης και Κόστους Ευκαιρίας

Ένα πολύ σημαντικό θέμα στη μελέτη είναι να υπολογιστεί το συνολικό κόστος πιλοτικής εφαρμογής του συστήματος καθώς πρέπει να δούμε αν η επένδυση είναι βιώσιμη και σε πόσα χρόνια μπορεί να γίνει απόσβεση. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε τη διαφορά μεταξύ του **Συνολικού Κόστους Εγκατάστασης** και του **Κόστους Ευκαιρίας**. Το **Συνολικό Κόστος** της Εγκατάστασης περιλαμβάνει τα κόστη όλων των μερών που απαρτίζουν το **Αυτόνομο Σύστημα Φωτισμού**. Το **Κόστος Ευκαιρίας** υπολογίζεται διότι στη συνέχεια της μελέτης χρειάζεται να υπολογίσουμε την απόσβεση. Επομένως, αναφέρεται στο κόστος της ανεμογεννήτριας, του Φωτοβολταϊκού, της μπαταρίας, του ρυθμιστή φόρτισης και του inverter, δηλαδή του επιπλέον κόστους που χρειάζεται ένα σύστημα φωτισμού ώστε να είναι αυτόνομο υβριδικό(με χρήση ΑΠΕ), και όχι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συνολικός πίνακας:

Πίνακας 7.1 Πίνακας Υπολογισμού Κόστους

| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>   |                      |
|--|----------------------|
| <b>Μέρος του Συστήματος</b>  | <b>Κόστος(euros)</b> |
| Ανεμογεννήτρια air 403   | 550                  |
| Φωτοβολταϊκό 110Wp   | 650                  |
| Charger controller(για φωτ/κο κι ανεμ/νήτρια)  | 54                   |
| Συσσωρευτής gel lead-acid expanded   | 246                  |
| Inverter 150W  | 45                   |
| Φωτιστικό σώμα PHILIPS+Λαμπτήρας+Ballast   | 200                  |
| Καλώδια 1,5 mm <sup>2</sup> ,10 mm <sup>2</sup> και 4mm <sup>2</sup> (ac-dc current) | 25                   |
| Πυλώνας (+βραχιόνες+μεταλλικό κουτί+βάση+εργατικά)                                   | 800                  |
| Αποζεύκτης/Ασφάλεια/Διακόπτης Διαφ.Έντασης   | 20                   |
| Γείωση με Χάλκινα ηλεκτρόδια   | 55                   |
| <b>Φ.Π.Α</b>   | <b>19%</b>           |

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Συνολικό κόστος</b>                    | <b>3147</b> |
| <b>Κόστος Ευκαιρίας =ΚΕ(για απόσβεση)</b> | <b>1838</b> |

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο υπολογισμός του Συνολικού Κόστους γίνεται για την παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης εικόνας του συνολικού συστήματος. Όμως, στην προκειμένη περίπτωση που μελετούμε την βιωσιμότητα μιας τέτοιου είδους επένδυσης είναι σκόπιμο να μιλάμε για το κόστος ευκαιρίας το οποίο δεν πρέπει να περιέχει όλα τα κόστη για τη συνολική εγκατάσταση αλλά μόνο το κόστος της ανεμογεννήτριας, Φωτοβολταϊκού, inverter, charge controller, μπαταρίας, καλωδίωσης και πίνακα χαμηλής τάσης δεδομένου ότι αναζητούμε αν το σύστημα ΑΠΕ αποτελεί μια συμφέρουσα οικονομικά λύση έναντι της χρήσης του ήδη υπάρχοντος δικτύου.

## **7.2 Ωφέλιμη Ενέργεια**

Ολοκληρώνοντας την μελέτη, ας εξετάσουμε την ωφέλιμη ενέργεια του υβριδικού συστήματος. **Ως «ωφέλιμη ενέργεια» ορίζουμε την ενέργεια που καταναλώνεται στο φορτίο/λαμπτήρα και ισούται με την διαφορά της συνολικά παραγόμενης ενέργειας και της ενέργειας απωλειών.**

Στην περίπτωση όπου το σύστημα είναι αυτόνομο η ωφέλιμη ενέργεια είναι η καταναλισκόμενη ενέργεια στο λαμπτήρα και οι απώλειες είναι η διαφορά της συνολικής παραγόμενης ενέργειας του συστήματος και της ωφέλιμης ενέργειας.

Στην περίπτωση όπου διασυνδέεται το υβριδικό σύστημα με το δίκτυο της ΔΕΗ τότε η ωφέλιμη ενέργεια ισούται με την διαφορά της παραγόμενης ενέργειας και της ενέργειας απωλειών.

Ας εξετάσουμε την **1η περίπτωση** εκτενέστερα. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε αναλυτικά την καταναλισκόμενη ενέργεια του συστήματος, την καταναλισκόμενη ενέργεια του λαμπτήρα και τις ετήσιες απώλειες.

Πίνακας 7.2 Υπολογισμός Ωφέλιμης Ενέργειας στο Αυτόνομο Σύστημα

| Μέση Ημερήσια Ενέργεια (Wh)     |       |      |            |       |           | Μέση Μηνιαία Ενέργεια(Wh) |               |               |              |               |
|---------------------------------|-------|------|------------|-------|-----------|---------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Μήνας                           | Επαρ. | Εκατ | Εωφελ      | Εαπωλ | Συν.Απωλ. | Επαρ                      | Εκατ          | Εωφελ         | Εαπωλ        | Συν.Απωλ.     |
| Ιανουάριος                      | 1003  | 752  | <b>462</b> | 290   | 541       | 31098                     | 23324         | <b>14322</b>  | 9002         | 16776         |
| Φεβρουάριος                     | 927   | 695  | <b>427</b> | 268   | 500       | 25965                     | 19471         | <b>11956</b>  | 7515         | 14009         |
| Μάρτιος                         | 1289  | 633  | <b>389</b> | 244   | 900       | 39956                     | 19614         | <b>12044</b>  | 7570         | 27913         |
| Απρίλιος                        | 1044  | 561  | <b>344</b> | 216   | 700       | 31324                     | 16826         | <b>10332</b>  | 6494         | 20992         |
| Μάιος                           | 1056  | 507  | <b>312</b> | 196   | 745       | 32744                     | 15726         | <b>9657</b>   | 6070         | 23088         |
| Ιούνιος                         | 890   | 467  | <b>287</b> | 180   | 603       | 26712                     | 14022         | <b>8610</b>   | 5412         | 18102         |
| Ιούλιος                         | 1349  | 502  | <b>308</b> | 194   | 1041      | 41804                     | 15550         | <b>9548</b>   | 6002         | 32256         |
| Αύγουστος                       | 889   | 542  | <b>333</b> | 209   | 556       | 26666                     | 16245         | <b>9975</b>   | 6270         | 16691         |
| Σεπτέμβριος                     | 1384  | 610  | <b>375</b> | 235   | 1010      | 42907                     | 18907         | <b>11610</b>  | 7297         | 31298         |
| Οκτώβριος                       | 761   | 667  | <b>410</b> | 257   | 351       | 22818                     | 20007         | <b>12285</b>  | 7722         | 10533         |
| Νοέμβριος                       | 766   | 735  | <b>452</b> | 284   | 315       | 23746                     | 22794         | <b>13997</b>  | 8798         | 9750          |
| Δεκέμβριος                      | 832   | 758  | <b>466</b> | 293   | 367       | 25792                     | 23501         | <b>14431</b>  | 9071         | 11362         |
| <b>Συνολική Ετήσια Ενέργεια</b> |       |      |            |       |           | <b>371532</b>             | <b>225988</b> | <b>138765</b> | <b>87223</b> | <b>232767</b> |

Στην **2η περίπτωση** ωφέλιμη ενέργεια θεωρείται το άθροισμα της καταναλισκόμενης στο λαμπτήρα και της πωλούμενης στη ΔΕΗ οπτε έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 7.3 Υπολογισμός Ωφέλιμης Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα

| Μέση Ημερήσια Ενέργεια (Wh)     |       |      |             |       |           | Μέση Μηνιαία Ενέργεια(Wh) |               |               |              |              |
|---------------------------------|-------|------|-------------|-------|-----------|---------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Μήνας                           | Επαρ. | Εκατ | Εωφελ       | Εαπωλ | Συν.Απωλ. | Επαρ                      | Εκατ          | Εωφελ         | Εαπωλ        | Συν.Απωλ.    |
| Ιανουάριος                      | 1003  | 752  | <b>711</b>  | 290   | 290       | 31098                     | 23324         | <b>22055</b>  | 9002         | 9002         |
| Φεβρουάριος                     | 927   | 695  | <b>658</b>  | 268   | 268       | 25965                     | 19471         | <b>18416</b>  | 7515         | 7515         |
| Μάρτιος                         | 1289  | 633  | <b>1044</b> | 244   | 244       | 39956                     | 19614         | <b>32351</b>  | 7570         | 7570         |
| Απρίλιος                        | 1044  | 561  | <b>827</b>  | 216   | 216       | 31324                     | 16826         | <b>24800</b>  | 6494         | 6494         |
| Μάιος                           | 1056  | 507  | <b>860</b>  | 196   | 196       | 32744                     | 15726         | <b>26647</b>  | 6070         | 6070         |
| Ιούνιος                         | 890   | 467  | <b>709</b>  | 180   | 180       | 26712                     | 14022         | <b>21276</b>  | 5412         | 5412         |
| Ιούλιος                         | 1349  | 502  | <b>1154</b> | 194   | 194       | 41804                     | 15550         | <b>35775</b>  | 6002         | 6002         |
| Αύγουστος                       | 889   | 542  | <b>679</b>  | 209   | 209       | 26666                     | 16245         | <b>20367</b>  | 6270         | 6270         |
| Σεπτέμβριος                     | 1384  | 610  | <b>1148</b> | 235   | 235       | 42907                     | 18907         | <b>35576</b>  | 7297         | 7297         |
| Οκτώβριος                       | 761   | 667  | <b>502</b>  | 257   | 257       | 22818                     | 20007         | <b>15061</b>  | 7722         | 7722         |
| Νοέμβριος                       | 766   | 735  | <b>481</b>  | 284   | 284       | 23746                     | 22794         | <b>14908</b>  | 8798         | 8798         |
| Δεκέμβριος                      | 832   | 758  | <b>538</b>  | 293   | 293       | 25792                     | 23501         | <b>16680</b>  | 9071         | 9071         |
| <b>Συνολική Ετήσια Ενέργεια</b> |       |      |             |       |           | <b>371532</b>             | <b>225988</b> | <b>283912</b> | <b>87223</b> | <b>87223</b> |

Από τον 2<sup>ο</sup> πίνακα συμπεραίνουμε άμεσα ότι η ωφέλιμη ενέργεια είναι σαφώς μεγαλύτερη καθώς οι συνολικές απώλειες μειώνονται δεδομένου ότι η περισσευούμενη ενέργεια δεν χάνεται αλλά «πωλείται» στη ΔΕΗ.

### 7.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις-Μείωση Εκπομπών Ρύπων

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς στην εισαγωγή της διπλωματικής, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ως στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. **Δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε λιγνιτικούς και πετρελαιοκούς κατά το πλείστον σταθμούς όπου η καύσιμη ύλη είναι το μαζούτ, το ντήζελ και ο λιγνίτης, οι εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC κι άλλων σωματιδίων επιβαρύνουν το περιβάλλον με πολύ βλαβερές συνέπειες για την παγκόσμια υγεία και ισορροπία.** Επομένως, όσο μεγαλώνει το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών στην παγκόσμια παραγωγή τόσο περισσότερο μειώνονται οι εκπομπές ρύπων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη όπου εγκαθίσταται αυτόνομο σύστημα φωτισμού με φωτοβολταϊκό κι ανεμογεννήτρια, πετυχαίνουμε προφανώς μείωση των εκπομπών ρύπων. Πρέπει όμως να αναφερθούμε στη διαδικασία υπολογισμού. Οι αέριοι ρύποι που λαμβάνονται υπόψη είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οι υδρογονάνθρακες (HC) και τα σωματίδια. Για τις ανάγκες της αξιολόγησης η μείωση εκπομπών ρύπων δίνεται από τη σχέση: **MEAP<sub>v</sub> = λ<sub>H,v</sub> \* AHE<sub>ΠΡΙΝ</sub>** (7.7) όπου MEAP<sub>v</sub> είναι η μείωση των εκπομπών του αερίου ρύπου, AHE<sub>ΠΡΙΝ</sub> η καταναλωθείσα ενέργεια πριν την επένδυση και λ<sub>H,v</sub> είναι ο συντελεστής εκπομπής του ρύπου v από τους υφιστάμενους πετρελαϊκούς σταθμούς, σε g/kWh (Πίνακας 7.4)

Η συνολική μείωση εκπομπών όλων των εξεταζόμενων αερίων ρύπων δίνεται από το άθροισμα των επιμέρους:

$$\Sigma \text{ΜΕ} = 0.5 * (\text{ΜΕΑΡ}_{\text{CO}_2}) + 0.5 * (\text{ΜΕΑΡ}_{\text{SO}_2} + \text{ΜΕΑΡ}_{\text{CO}} + \text{ΜΕΑΡ}_{\text{NO}_x} + \text{ΜΕΑΡ}_{\text{HC}} + \text{ΜΕΑΡ}_{\text{σωματίδια}})$$

Πίνακας 7.4. Εκπομπές αερίων ρύπων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής  
(g ρύπου ανά kWh)

| ΡΥΠΟΣ  | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | CO   | NO <sub>x</sub> | HC   | Σωματίδια |
|--|-----------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------|
| Περιοχές που είναι διασυνδεδεμένες ή πρόκειται να διασυνδεθούν με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο μέχρι το 2006 | 850             | 15,5            | 0,18 | 1,2             | 0,05 | 0,8       |
| Νησιά που δεν πρόκειται να διασυνδεθούν με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο μέχρι το 2006                        | 1062,5          | 19,4            | 0,18 | 1,5             | 0,05 | 1,0       |

- ο 1<sup>η</sup> περίπτωση: για την εγκατάσταση μόνο ενός πυλώνα αυτόνομου φωτισμού η ΣΜΕ είναι για 1 χρόνο: **ΣΜΕ=105.328gr=105,3kg** ενώ αναλυτικά για κάθε ρύπο έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 7.5

Αναλυτικός Πίνακας Ρύπων (1<sup>η</sup> περίπτωση)

Αναλυτικός Πίνακας Ρύπων (2<sup>η</sup> περίπτωση)

| ΡΥΠΟΣ           | kg/ρύπο |
|-----------------|---------|
| CO <sub>2</sub> | 370     |
| SO <sub>2</sub> | 6,7     |
| CO              | 0,78    |
| No <sub>x</sub> | 0,523   |
| HC              | 0,021   |

| ΡΥΠΟΣ           | kg/ρύππο |
|-----------------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 206      |
| SO <sub>2</sub> | 3,6      |
| CO              | 0,43     |
| Nox             | 0,290    |
| HC              | 0,012    |
| Σωματιδ.        | 0,193    |

|          |       |
|----------|-------|
| Σωματιδ. | 0,349 |
|----------|-------|

**-Αν θεωρήσουμε ότι εγκαθιστούμε 30 τέτοιους πυλώνες στο Πολυτεχνείο τότε: ΣΜΕ=3.1tn**

ο 2<sup>η</sup> περίπτωση: αν θεωρήσουμε ότι το υβριδικό σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ για να μην πηγαίνει χαμένη η παραγόμενη ενέργεια τότε η ΣΜΕ υπολογίζεται ως εξής: **ΣΜΕ=189.328gr=189,3Kg** ενώ αναλυτικά για κάθε ρύππο έχουμε τα ακριβή αποτελέσματα στον προηγούμενο πίνακα.

**- Αν θεωρήσουμε ότι εγκαθιστούμε 30 τέτοιους πυλώνες στο Πολυτεχνείο τότε η συνολική μείωση εκπομπών ρύπων ανέρχεται σε : ΣΜΕ=5.6tn**

Παρατηρώντας τους παραπάνω υπολογισμούς καταλαβαίνουμε ότι έστω και με ένα μικρής ισχύος υβριδικό σύστημα ανανεωσίμων πηγών ενέργειας μειώνουμε τους εκπεμπόμενους ρύπους κατά κάποιους τόνους. Επομένως, αναδεικνύεται κατ'αυτόν τον τρόπο η συμβολή των ΑΠΕ στην προσπάθεια να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι στην ατμόσφαιρα στην οποία συμβάλουν όχι μόνο αιολικά πάρκα εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των MW αλλά και απλοί ιδιώτες με εγκαταστάσεις ολίγων KW ή ακόμα και λίγων W.

## 7.4 Βιβλιογραφία

[01] <http://Google.com/>

Λέξεις κλειδιά: Φωτοβολταϊκά , Υβριδικά Συστήματα , Συσσωρευτές ενέργειας , Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας , Solar panel, Inverter, Batteries, charge controller.

[02] Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Κ. Καγκαράκη, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.

[03] Βόκας Γεώργιος, *“Φωτοβολταϊκά Κύτταρα και Εφαρμογές”*, Σημειώσεις σεμιναρίου, εκδόσεις ΕΜΠ, 2001.

[04] Δημ. Π. Λάλα, Δημ. Κ. Πισιμάνη, Βασ. Α. Νοταρίδου, *“Μέθοδοι υπολογισμού εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας σε αυθαίρετης κλίσεως επίπεδο και πίνακες για 30°, 45° και 60° στον Ελληνικό χώρο”*, Εργαστήριο Μετεωρολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών, Μάιος 1982.

[05] Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π Αθηνών Κωνσταντίνος Απ. Μπουρούσης - Μαρία Δ. Αθανασοπούλου

[06] ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ : <http://www.rae.gr/>

[07] OSRAM: <http://www.osram.com/>

[08] PHILLIPS: <http://www.phillips.com/>



[09] Glasscon Εταιρία μελέτης, εγκατάστασης και επίβλεψης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες, τάρτσες και κάθε είδους χώρο

<http://Glasscon.com/>

[10] <https://www.Google.com/>

Λέξεις κλειδιά για εικόνες: Φωτοβολταϊκά , Υβριδικά Συστήματα , Συσσωρευτές ενέργειας , Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας , Solar panel, Inverter, Batteries, charge controller.