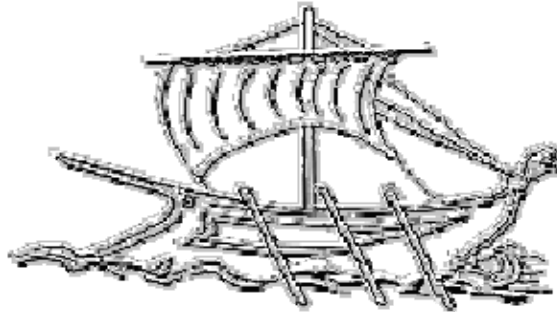


ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



**Φωτισμός Δρόμων με Υβριδικό Φωτοβολταϊκό
Σύστημα**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέφανος Φ. Ζιώτας

Στέφανος Β. Χαιρόπουλος

Επιβλέπων : Πέτρος Καραϊσάς
Καθηγητής εφαρμογών

ΠΕΙΡΑΙΑΣ – ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

*Ευχαριστούμε τον καθηγητή μας κ. Πέτρο Καραϊσά
για την παροχή των πολύτιμων επιστημονικών του συμβουλών και
επισημάνσεων κατά την επίβλεψη της εργασίας μας,
τους γονείς μας και όσους μας στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια
για την επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών μας.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	6
2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	8
2.1 Ηλιακή Ενέργεια-Φωτοβολταϊκά.....	10
2.1.1 Εισαγωγή.....	10
2.1.2 Ηλιακή Ενέργεια	10
2.1.3 Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας.....	11
2.1.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	14
2.1.5 Η Φωτοβολταϊκή Ενέργεια.....	15
2.1.6 Οι πρώτες Φωτοβολταϊκές Εφαρμογές.....	16
2.1.7 Η Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία.....	17
2.1.8 Βαθμός Απόδοσης.....	19
2.1.9 Η Ηλιακή τεχνολογία σήμερα.....	20
2.1.10 Χαρακτηριστικά Ηλιακού Κυττάρου (διαστάσεις, τάση, ρεύμα, διασύνδεση).....	21
2.1.11 Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης.....	22
2.1.12 Συμμετοχή Φωτοβολταϊκών σε Υβριδικά Συστήματα.....	24
2.1.13 Κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	25
2.1.14 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	26
2.1.15 Το παρόν και το μέλλον της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.....	27
3. Φωτισμός Δρόμων.....	29
3.1 Γενικά	29
3.1.1 Συντελεστής Χρησιμοποίησης.....	30
3.1.2 Επίπεδα Έντασης Φωτισμού.....	31
3.2 Επίπεδα Φωτισμού για Αστικές Περιοχές.....	33
3.3 Κριτήρια Φωτισμού δρόμου κατά CIE.....	36
3.3.1 Μέση Λαμπρότητα.....	36
3.3.2 Ομοιομορφία Λαμπρότητας.....	36
3.3.3 Θάμβωση.....	38

3.3.3.1 Μέθοδοι υπολογισμού θάμβωσης.....	38
3.3.4 Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου.....	39
3.4.5 Οπτική καθοδήγηση.....	39
3.4 Κατηγορίες Φωτισμού Δρόμου.....	40
3.4.1 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου κατά CIE.....	40
3.4.2 M-κλάσεις φωτισμού.....	42
3.4.3 Αμφισβητούμενες περιοχές.....	43
3.4.4 P-κλάσεις φωτισμού.....	46
3.5 Προτάσεις σχεδιασμού εγκατάστασης φωτισμού.....	48
3.5.1 Γενικές Αρχές Φωτισμού.....	48
3.5.2 Αξιολόγηση Δρόμου.....	50
3.5.3 Έλεγχος Θάμβωσης.....	50
3.5.4 Λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου (S_R).....	51
3.5.5 Επιφάνεια Δρόμου.....	51
3.5.6 Διακλαδώσεις Δρόμου.....	51
3.5.7 Τύποι Ιστών Φωτισμού.....	52
3.6 Διάχυση φωτός φωτιστικών δρόμων.....	53
3.7 Προδιαγραφές φωτισμού δρόμων.....	55
3.8 Φωτορύπανση και κατάχρηση φωτός	56
4. Φωτιστικά Σώματα-Λαμπτήρες.....	58
4.1 Φωτιστικά.....	58
4.2 Ballast, Βασικές αρχές.....	59
4.3 Λαμπτήρες.....	61
4.4 Λαμπτήρες για φωτισμό δρόμων.....	62
4.5 Σύγκριση φωτεινών πηγών.....	67
5. Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα Φωτισμού.....	69
5.1 Εισαγωγή.....	69
5.2 Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	70
5.2.1 Φωτοβολταϊκό Πάνελ.....	70

5.2.2	Συσσωρευτής.....	72
5.2.3	Αντιστροφή;.....	74
5.3	Απόδοση Φωτοβολταικού Συστήματος.....	75
5.3.1	Συντελεστής Απόδοσης Στοιχείων.....	75
5.3.2	Απόδοση Φωτοβολταικού Πάνελ.....	76
5.3.3	Απόδοσης Ισχύως Συστήματος.....	77
5.4	Σύστημα Φωτισμού.....	78
5.4.1	Εισαγωγή.....	78
5.4.2	Επιλογή λαμπτήρα και φωτιστικού σώματος.....	80
5.4.3	Ικανότητα Φωτισμού.....	81
5.5	Μονάδα Ελέγχου.....	82
5.5.1	Γενικά.....	82
5.5.2	Λειτουργίες της μονάδας ελέγχου.....	82
6.	Η Αυτονομία του Συστήματος.....	84
6.1	Έλεγχος Αυτονομίας.....	84
6.2	Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	85
7.	Συμπεράσματα- Προτάσεις.....	86
8.	Βιβλιογραφία.....	87

1 Εισαγωγή

Οτιδήποτε κινείται, μεταβάλλεται και αλλάζει μορφή εξαρτάται από την ενέργεια που έχει ή που προσδίδεται σε αυτό. Ο άνθρωπος από τη στιγμή που γεννιέται αναπτύσσεται και δρα σε ένα περιβάλλον ενέργειας. Η ανακάλυψη και η χρησιμοποίηση των διαφόρων μορφών ενέργειας έθεσε τις βάσεις για τη δημιουργία και την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Η ενέργεια σε οποιαδήποτε μορφή της έχει συνδεθεί στενά με την τεχνολογική ανάπτυξη και την ευημερία του ανθρώπου. Μέχρι την βιομηχανική επανάσταση οι χρησιμοποιούμενοι ενεργειακοί πόροι (ξύλα, νερό, άνεμος, ζώα) ήταν ανανεώσιμοι. Η ανακάλυψη όμως του ηλεκτρισμού με τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματά του, συντέλεσε ώστε η τελική διάθεση της ενέργειας να γίνεται σε μεγάλο ποσοστό με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση της συγκεκριμένης ενεργειακής επιλογής έχει ως σκοπό να κάνει τη ζωή του ανθρώπου απλούστερη, ευκολότερη και καλύτερη.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί ιδιαίτερη αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιτίας των πολλών επιπλέον χρήσεων που έχουν δημιουργηθεί με την ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας, αλλά και του υπερκαταναλωτισμού της εποχής μας. Οι φυσικοί πόροι, όμως, που μέχρι τώρα χρησιμοποιούνταν για να εξυπηρετήσουν τις καθημερινές ανάγκες της ανθρωπότητας πλέον δεν επαρκούν και για το λόγο αυτό η επιστημονική κοινότητα έχει στραφεί στην εύρεση λύσεων ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ενέργεια. Η Γη ανήκει σε ένα πλανητικό σύστημα, στο οποίο κύρια πηγή ενέργειας είναι η ενέργεια του ήλιου. Πολλές από τις μορφές ενέργειας που συναντούμε στη φύση αποτελούν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας.

Η επιστημονική προσπάθεια που καταβάλλεται παγκοσμίως κατατείνει στη μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης της ηλιακής και των άλλων πηγών ενέργειας, με παράλληλο στόχο το σεβασμό στο περιβάλλον. Η ενέργεια που λαμβάνεται από την ακτινοβολία του ηλίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την δημιουργία κατάλληλων συστημάτων για ποικίλες χρήσεις καθώς και για φωτισμό δρόμου. Η χαμηλή απόδοση των φωτοβολταϊκών περιορίζει τις χρήσεις των συστημάτων αυτών σε περιπτώσεις χαμηλής απαίτησης ισχύος.

Κύριος σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ημιαυτόνομου ή πλήρως αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για

το φωτισμό οδών χαμηλής κυκλοφορίας, αλλά και για παρόμοιες εφαρμογές, όπως φωτισμό πλατειών, πάρκων κλπ.

Για τη διεξαγωγή μιας μελέτης φωτισμού δρόμου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι παράμετροι που αφορούν κυρίως τις συνθήκες τη νύχτα που είναι ιδιαίτερες, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι επιτυχές, δηλαδή να παρέχεται τόσο στους οδηγούς των αυτοκινήτων όσο και στους πεζούς ασφάλεια και λειτουργικότητα του δρόμου και του περιβάλλοντος σε αυτόν χώρο. Εξαιτίας του χαμηλού κόστους συντήρησης και της εξοικονόμησης της ενέργειας που επιτυγχάνεται τα συστήματα φωτισμού με την χρήση των φωτοβολταϊκών μπορούν να αποτελέσουν και οικονομικά συμφέρουσα πρόταση για τον οδικό φωτισμό. Πολλές εφαρμογές έχουν πραγματοποιηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια ανά τον κόσμο, ενώ σε χώρες όπως η Ιταλία, η Αγγλία και η ΗΠΑ φωτοβολταϊκά συστήματα για φωτισμό δρόμων έχουν πραγματοποιηθεί με κύριο σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

Στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την χρήση, την εξέλιξη και κυρίως την εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας. Τα αποτελέσματα όμως δεν είναι ιδιαίτερος ικανοποιητικά. Η μεγάλη ανάγκη για φθηνή και καθαρή ενέργεια, σε μία χώρα πλούσια σε ηλιακή ενέργεια όπως η Ελλάδα, η οποία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, έχει οδηγήσει στην έρευνα και στην πραγματοποίηση συστημάτων φωτισμού δρόμου με χρήση φωτοβολταϊκών.

Στη συγκεκριμένη μελέτη αναπτύσσεται ένα σύστημα οδικού φωτισμού το οποίο εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια. Στο αρχικό στάδιο της μελέτης σκοπός μας είναι να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή που θα υλοποιήσουμε το σύστημα. Με την κατάλληλη φωτοτεχνική μεθοδολογία υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία κεκλιμένη επιφάνεια με παράμετρο την γωνία κλίσης της επιφάνειας αυτής ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Με βάση αυτό το δεδομένο γίνεται η επιλογή του φωτοβολταϊκού πάνελ που είναι κατάλληλο για την υλοποίηση του συστήματος.

2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε)

Ο αιώνας που πέρασε αδιαμφισβήτητα αποτελεί τον πιο «εποικοδομητικό» αιώνα της ανθρωπότητας αλλά συνάμα και τον πιο καταστροφικό. Η αλματώδης ανάπτυξη σε όλους σχεδόν τους τομείς επισκίασε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είχε οδηγώντας το πλανήτη στο σημερινό τέλμα-φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος, αύξηση της θερμοκρασίας, ακραία καιρικά φαινόμενα, συσσώρευση αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα, μείωση της βιοποικιλότητας. Ανατρέχοντας στο πρόσφατο παρελθόν, παρατηρούμε ενδεικτικά:

- Το 1952 στο Λονδίνο αναφέρονται χιλιάδες θάνατοι, όταν η άπνοια παγίδεψε τους αέριους ρύπους των εργοστασίων πάνω από την πόλη
- Το 1982 εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα καταστροφής των δασών της Κεντρικής Ευρώπης λόγω της όξινης βροχής. Αιτία η καύση των υδρογονανθράκων ή γαιανθράκων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το 1989, το ναυάγιο του πετρελαιοφόρου Exxon Valdez στον κόλπο Prince William Sound της Αλάσκας, μας υπενθύμισε το κόστος της χρήσης 60 εκ. βαρελιών πετρελαίου την ημέρα.
- Το 1986 στην Ουκρανία γίνεται έκρηξη στην πυρηνική μονάδα του Τσέρνομπιλ. Το ραδιενεργό νέφος, εκτός από την γύρω περιοχή, έπληξε το μεγαλύτερο μέρος της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης αλλά και μέρος της χώρας μας. Τα δυσμενή αποτελέσματα καταμετρούνται ακόμη και σήμερα.
- ❖ Στο διάστημα 1989-1995 παρατηρήθηκε ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός φυσικών καταστροφών, όπως οι θυελλώδεις άνεμοι που έπληξαν το 1990 τη Βόρεια Ευρώπη, οι μεγάλοι κυκλώνες που έπληξαν την Ασία το 1991, η καταιγίδα " Andrew" στις ΗΠΑ το 1992, αλλά και οι τρομακτικές πλημμύρες στην περιοχή του Μισισσιπή το 1993.

Πέρα από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, χαρακτηριστικό του αιώνα αυτού είναι και το «παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα». Η πρώτη κρίση του 1973 ήταν απλά η αρχή καθώς η παγκόσμια οικονομία στηριζόταν σε μία μορφή ενέργειας-το πετρέλαιο- του οποίου τα αποθέματα μειώνονται συνεχώς. Επακολούθησε η κρίση του 1979 για να επιβεβαιώσει το «ενεργειακό χάσμα» και να δείξει το δρόμο προς νέες μορφές ενέργειας μεταξύ των οποίων είναι και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στην Ελλάδα, στις μέρες μας γίνεται μια προσπάθεια να υιοθετηθεί ένα δόγμα που θα δίνει έμφαση στην εξοικονόμηση, την ορθολογική χρήση των συμβατικών ενεργειακών πόρων και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς τα στοιχεία και οι δείκτες δείχνουν ότι τα οφέλη από τις ΑΠΕ είναι πολλά. Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια, το υψηλό κόστος αποτέλεσε τροχοπέδη στην ανάπτυξη και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στη χώρα, αλλά η ενεργειακή πολιτική της χώρας (κρατικές επιδοτήσεις κτλ) θα δώσει ώθηση στο μέλλον για επενδύσεις.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως το μέλλον ανήκει δικαιωματικά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η διεύθυνση των οποίων προβλέπεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια, και να δώσει τις λύσεις που χρειάζεται επιτακτικά ο πλανήτης. Εξάλλου, το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο έχει υπογραφεί από τις περισσότερες χώρες του πλανήτη, έχει θέσει ανώτατα όρια στα δικαιώματα εκπομπών ρύπων, καθιστώντας πιο συμφέρουσα λύση την επένδυση σε ανανεώσιμες από ότι την εξαγορά δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων από άλλες χώρες.

2.1 Ηλιακή Ενέργεια - Φωτοβολταϊκά

2.1.1 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.

2.1.2 Ηλιακή Ενέργεια

Ο Ήλιος είναι αστέρας μέσου μεγέθους που λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών των στοιχείων που τον συνθέτουν, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, τα μόρια αλλά και τα άτομά τους βρίσκονται σε μια κατάσταση "νέφους" θετικών και αρνητικών φορτίων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάζεται. Σ' αυτές τις θερμοκρασίες, μερικών εκατομμυρίων °C, οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου (H) συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση -σύντηξη πυρήνων- είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Αν και αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, ο ήλιος διαθέτει τεράστιες ποσότητες υδρογόνου και δεν αναμένεται να υπάρξει μείωση της ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτόν.

2.1.3 Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

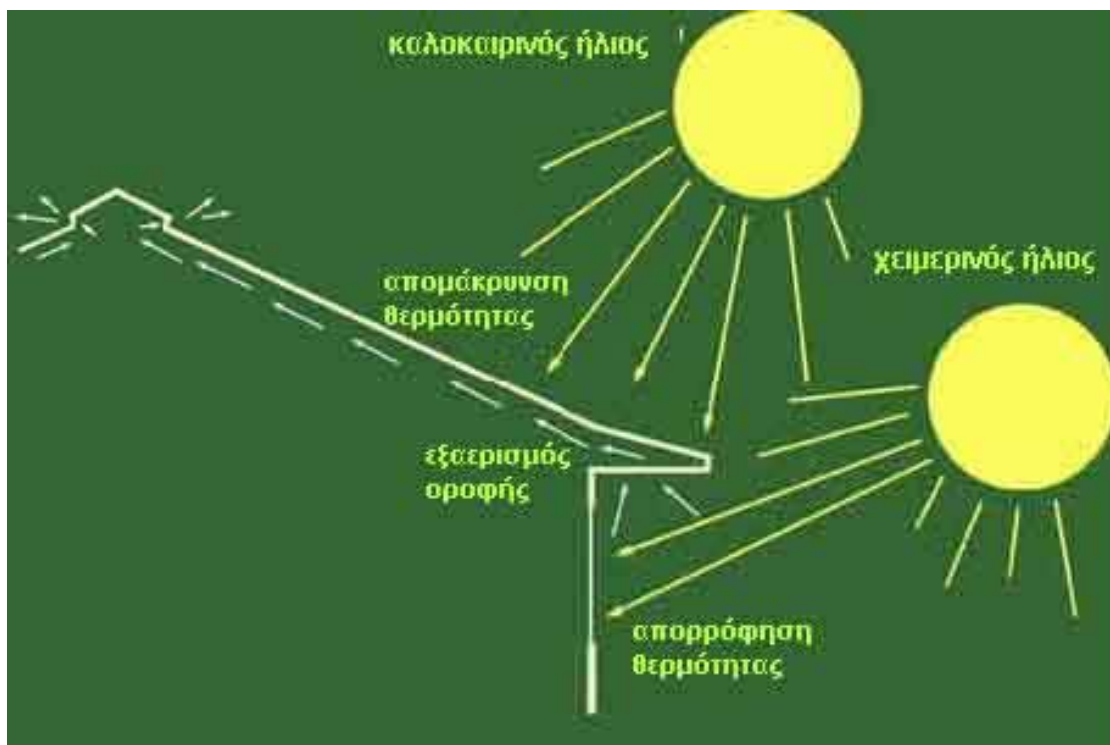
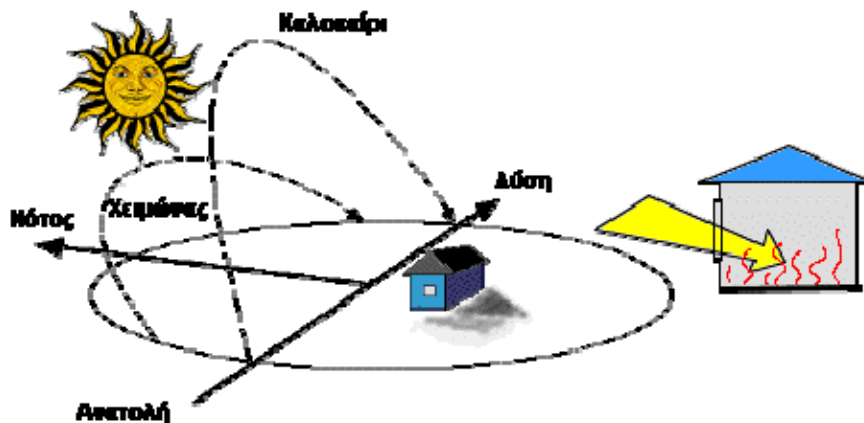
1. Με τη χρήση των **θερμικών ηλιακών συστημάτων** που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται ενεργητικά ηλιακά συστήματα (σχήμα 2.1)

Σχήμα 2.1: Ενεργητικό ηλιακό σύστημα



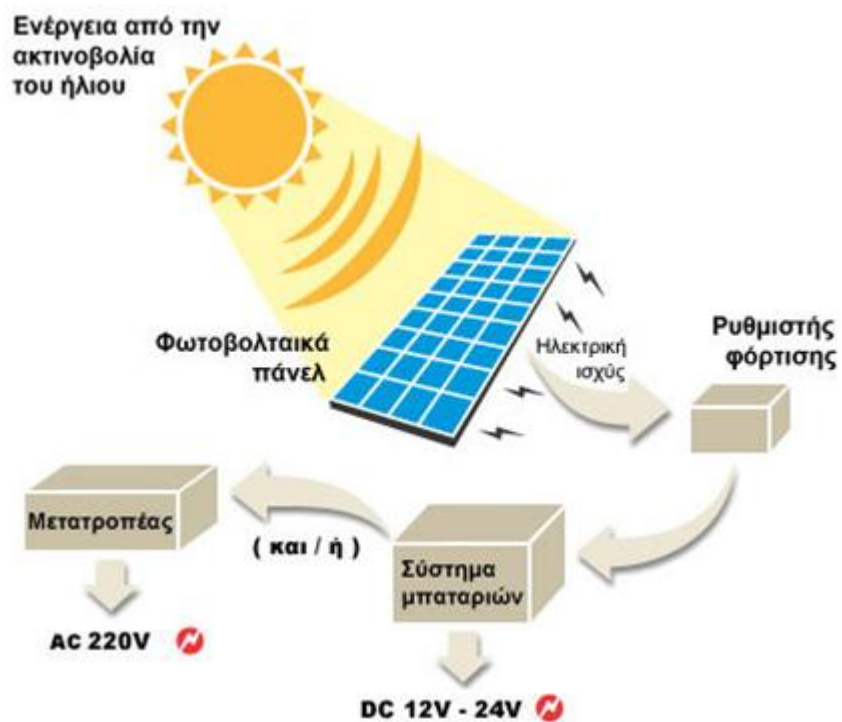
2. Με τα **παθητικά ηλιακά συστήματα** (σχήμα 2.2), δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για το δροσισμό τους το καλοκαίρι.

Σχήμα 2.2: Παθητικό Ηλιακό Σύστημα



3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των **φωτοβολταϊκών συστημάτων**. (σχήμα 2.3)

Σχήμα 2.3: Φωτοβολταϊκά Συστήματα



2.1.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

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 218.000m². 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, πάνω από 45 κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι ενεργοί, παράγοντας πάνω από 300.000m² συλλεκτών ετησίως.

2.1.5 Η 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:

- I. 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.
- II. 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. .
- III. 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.

2.1.6 Οι πρώτες φωτοβολταϊκές εφαρμογές

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, κίολας, αιώνα.

Οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής είναι οι ακόλουθοι:

- ❖ 1839: Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια λευκόχρυσου (Pt) - αργύρου (Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες.
- ❖ 1937: Κατασκευή ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου από γαληνίτη (PbS)
- ❖ 1939 :Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από σελήνιο (Se), με απόδοση 1%
- ❖ 1941: Κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου από πυρίτιο (Si)
- ❖ 1952: Ανακάλυψη της μεθόδου της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας.
- ❖ 1953: Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων
- ❖ 1954: Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από πυρίτιο (Si) με σχηματισμό ένωσης p-n με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση 6%.
- ❖ 1956: Εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων
- ❖ 1958: Εκτόξευση του αμερικανικού τεχνητού δορυφόρου Vanguard I, εξοπλισμένου με 6 μικρά στοιχεία πυριτίου (Si) ισχύος 5 mW ως βοηθητική ενεργειακή πηγή.
- ❖ 1958: Εκτόξευση σοβιετικού τεχνητού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδοσία από ηλιακά στοιχεία.
- ❖ 1959: Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από θειούχο κάδμιο (CdS), με απόδοση 5%
- ❖ 1972: Κατασκευή του «ιώδους» ηλιακού στοιχείου πυριτίου (Si), με απόδοση 14%.
- ❖ 1976: Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο πυρίτιο (Si), με απόδοση 0,01%.
- ❖ 1977: Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από αρσενικούχο κάλιο (GaAs), με απόδοση 16%
- ❖ 1981: Πτήση πάνω από τη Μάγχη του αεροπλάνου Solar Challenger, εξοπλισμένου με 16128 ηλιακά στοιχεία πυριτίου (Si), ισχύος 2,7 kW.
- ❖ 1983: Έναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Victroville, ισχύος 1 MW.

❖ 1984: Έναρξη βιομηχανικής παραγωγής ηλιακών στοιχείων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%.

2.1.7 Φωτοβολταϊκή 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 ημιαγώγιμο 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 διόδου.

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

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 φωτοβολταϊκού κυττάρου κάτω από τον ήλιο παράγεται ηλεκτρική ισχύς, ενώ μεταξύ των μεταλλικών επαφών του ηλιακού κυττάρου δημιουργείται μια συνεχή 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.**

2.1.8 Βαθμός Απόδοσης

Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να ορισθεί ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου, με βάση τον οποίο μπορούν να εξαχθούν κρίσιμα συμπεράσματα για το πότε ένα ηλιακό κύτταρο θεωρείται αποδοτικό. **Η απόδοση, λοιπόν, ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ορίζεται ως το επί της εκατό ποσοστό της φωτεινής ισχύος εισόδου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ εξόδου.**

Ο **βαθμός απόδοσης** εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης: η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.

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.

2.1.9 Η Ηλιακή τεχνολογία σήμερα

Στην σημερινή αγορά των ηλιακών κυττάρων και συστημάτων χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικοί τύποι ημιαγώγιμων υλικών: **το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, το άμορφο πυρίτιο και πιο πρόσφατα τα CuInSe_2 και CdTe .**

Η φωτοβολταϊκή ισχύς μπορεί να παραχθεί με πολλούς τρόπους, με ποικιλία αποδοτικότητας και δαπάνης. Η ηλιακή τεχνολογία μπορεί να διααιρεθεί σε δύο βασικές κατηγορίες: διακριτή τεχνολογία κυττάρων και ενσωματωμένη τεχνολογία λεπτών ταινιών.

Ας μελετήσουμε αναλυτικότερα τους 4 διαφορετικούς τύπους:

1. **Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο**: μονοκρυσταλλικά κύτταρα αυξημένου πυριτίου, (200 μm). Τα ερευνητικά κύτταρα έχουν φθάσει σχεδόν σε αποδοτικότητα 24%, με τις εμπορικές ενότητες των μονοκρυσταλλικών κυττάρων να υπερβαίνουν το 15%.

2. **Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο**: Τεμαχισμένα κομμάτια χυτού πυριτίου. Τα κύτταρα αυτά είναι λιγότερο ακριβά να κατασκευαστούν και λιγότερο αποδοτικά από τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου. Η αποδοτικότητα προσεγγίζει το 18% των ερευνητικών κυττάρων, και οι εμπορικές ενότητες πλησιάζουν αποδοτικότητα 14%.

3. **CuInSe_2** : πολυκρυσταλλικό υλικό με ενσωματωμένη τεχνολογία λεπτών ταινιών Copper Indium Diselenide (CuInSe_2). Έχει φθάσει σε ερευνητική αποδοτικότητα το 17,7%, παραδίδει την υψηλότερη ολοκληρωμένη αποδοτικότητα ενότητας για τις πλήρεις μεγέθους ενότητες δύναμης, που φθάνουν πάνω από 11%.

4. **Telluride καδμίου (CdTe)**: λεπτό πολυκρυσταλλικό υλικό, που προέρχεται από την ηλεκτροαπόθεση. Οι μικρές εργαστηριακές συσκευές εξάτμισης υψηλού ποσοστού πλησιάζουν την αποδοτικότητα 16%, με τις εμπορικώς ταξινομημένες ενότητες (7200m^2) που μετριούνται στις ενότητες αποδοτικότητας και παραγωγής 8,34% σε περίπου 7%.

2.1.10 Χαρακτηριστικά Ηλιακού Κυττάρου (διαστάσεις, τάση, ρεύμα, διασύνδεση)

Το ηλιακό κύτταρο είναι σχετικά μικρό σε διαστάσεις, περίπου 10x10cm, και παράγει χαμηλή τάση. Η τάση που παράγει το φωτοβολταϊκό 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. Το βασικό χαρακτηριστικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η φ/β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φ/β ηλιακά στοιχεία.

Η τάση και η ισχύς των Φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φ/β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5V περίπου και ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4W περίπου. Για αυτό, τα Φ/β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φ/β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης, π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει περίπου 15-20 V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες, για την φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4V μέχρι 22V, και ένταση ρεύματος από περίπου 0,5 A μέχρι 2,5A.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν σκούρο χρώμα, γεγονός που βοηθά στην απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοστών ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και στην αύξηση της θερμοκρασίας τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας όμως, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της τάσης που δημιουργείται στα άκρα του φωτοβολταϊκού κυττάρου, συγκεκριμένα πάνω από τους 25⁰C για κάθε ένα παραπάνω βαθμό υπάρχει αντίστοιχη μείωση της απόδοσης κατά 0,4%.

2.1.11 Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης

Όπως είδαμε η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φ/β πλαίσια αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 20 °C που συχνά, ιδίως τους θερινούς μήνες διαφέρει σημαντικά από την πραγματική θερμοκρασία .

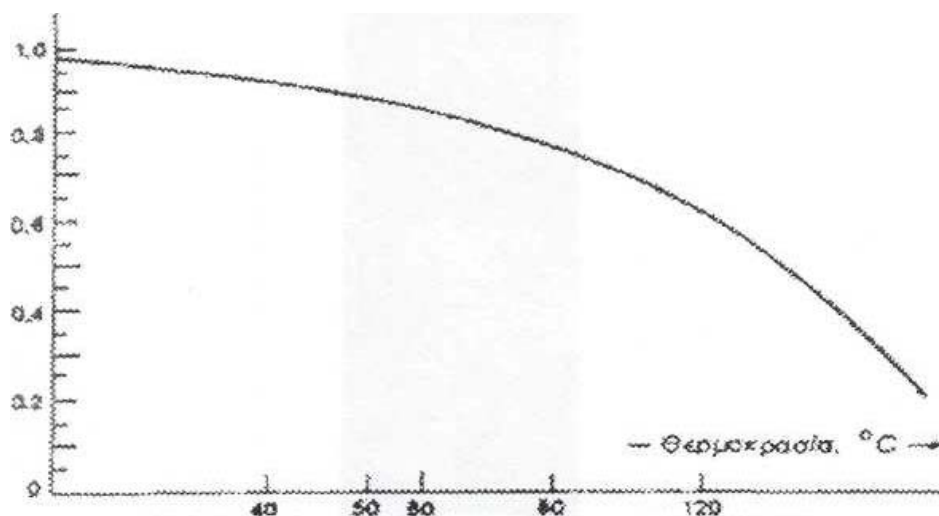
Πιο συγκεκριμένα, έχει μετρηθεί ότι αφενός, και κυρίως, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 °C ως 30 °C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο στους υπολογισμούς μας, παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30 °C . Είδαμε επίσης ότι για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα φ/β πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο $\eta_{\pi} \cdot \sigma_{\theta}$.

Σε συμβατική θερμοκρασία ο σ_{θ} είναι ίσος με την μονάδα, και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Π.χ. στην Αθήνα, τον μήνα Ιούλιο που έχουμε μέση θερμοκρασία του αέρα, στις φωτεινές ώρες της ημέρας, σχεδόν 30 °C η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του Φ/β πλαισίου θα είναι περίπου:

$$\sigma_{\theta} = 1,00 - (60 - 20) * 0,005 = 0.8 \quad (2.1)$$

Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα του θερμοκρασιακού συντελεστή σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας. (σχήμα 2.4)

Σχήμα 2.4: Διάγραμμα Θερμοκρασιακού Συντελεστή



Για να εξασφαλίσουμε τις επιθυμητές τιμές τάσης και ρεύματος, τοποθετούμε αντίστοιχα πολλά φωτοβολταϊκά 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 σταθερότητα της, με τον τρόπο αυτό κατασκευάζεται η ηλιακή γεννήτρια ή διαφορετικά το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Το συνηθέστερο μέγεθος μιας ηλιακής γεννήτριας κυμαίνεται μεταξύ του 0.25 έως 1m². Για μεγαλύτερη ισχύ χρειαζόμαστε περισσότερες ηλιακές γεννήτριες συνδεδεμένες μεταξύ τους. Μια τέτοια σύνθεση λέγεται φωτοβολταϊκό panel. Πολλά τέτοια σε σειρά ή παράλληλα μας κάνουν μια φωτοβολταϊκή 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:

- 1) **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.
- 2) **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.

2.1.12 Συμμετοχή Φωτοβολταϊκών σε Υβριδικά Συστήματα

Τα Υβριδικά συστήματα αποτελούνται από διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ανανεώσιμες και συμβατικές. Για παράδειγμα, αναφέρεται το Φωτοβολταϊκό Πάρκο των 97 MW στο Οντάριο του Καναδά. Ας σημειωθεί, ότι αυτό και μόνο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες 40.000 σπιτιών, ενώ το κάρβουνο που θα καιγόταν για να τις καλύψει θα απελευθέρωνε περί τους 39.000 τόνους CO₂ το χρόνο.

Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν 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 απευθείας 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:

I. 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.

II. 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.

III. 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.

IV. 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.



2.1.13 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.

2.1.14 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ❖ Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- ❖ Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- ❖ Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- ❖ Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- ❖ Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- ❖ Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- ❖ Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- ❖ Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου
- ❖ Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

Τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ❖ Υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών Κυττάρων αλλά και των συσσωρευτών.
- ❖ Απαιτήση 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 φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το κλειδί για την παραγωγή αποκεντρωμένης ενέργειας.

2.1.15 Το παρόν και το μέλλον της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στην Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως προς την ηλιοθερμική ενέργεια η Ελλάδα ήταν πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες με περίπου ένα εκατομμύριο εγκατεστημένου ηλιακού θερμοσίφωνες, που συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας το ανεξάντλητο ηλιακό δυναμικό. Τώρα μένει να γίνει το ίδιο και ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις μάλιστα για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι ακόμα καλύτερες, αφού τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν την μέγιστη παραγωγή ακριβώς εκείνες τις ώρες της ημέρας που και η κατανάλωση (ζήτηση) φτάνει στο μέγιστο και η ΔΕΗ ζητά από όλους τους καταναλωτές να περιορίσουν την ζήτηση ή αναγκάζεται να κάνει περικοπές (ελεγχόμενη συσκότιση). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιδοτούνται από το Ελληνικό κράτος μέσω του νέου επενδυτικού νόμου Ν.3522/06 και του αναπτυξιακού νόμου Ν. 3299/04 για επενδυτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας (επιδότηση αγοράς εξοπλισμού έως και 40% ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης και τα επιχειρηματικά κριτήρια που ικανοποιούνται). Στη συνέχεια, με βάση το νόμο Ν. 3468/06 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ο επενδυτής συνάπτει δεκαετές συμβόλαιο – με μονομερή δυνατότητα ανανέωσης της σύμβασης από την πλευρά του επενδυτή για ακόμη δέκα χρόνια

για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει στον ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για τις διασυνδεδεμένες περιοχές, ή απευθείας στη ΔΕΗ για τις μη-διασυνδεδεμένες περιοχές. Η τιμή πώλησης κυμαίνεται από 0,40 έως 0,50 Ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh) ανάλογα με το μέγεθος και την περιοχή της εγκατάστασης. Όμως, και ο ιδιώτης μπορεί να επωφεληθεί του νόμου 3468, πουλώντας την πλεονάζουσα ενέργεια της εγκατάστασης ιδιόχρησης που διαθέτει στις ίδιες ανταγωνιστικές τιμές, με επιπλέον όφελος φοροελάφρυνση έως και 700 Ευρώ.

Τα κίνητρα αυτά έχουν ήδη δείξει τα πρώτα αποτελέσματα, και πλέον βλέπουμε τη δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας, και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε καινούργια ή και παλιότερα σπίτια. Με την τρέχουσα νομοθεσία η Ελληνική πολιτεία στοχεύει στην δημιουργία μεγάλων ως πολύ μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων, σε αντίθεση με άλλες χώρες, που όπως η Γερμανία στοχεύουν στην ανάπτυξη πολλών μικρών συστημάτων. Μία σχετική σύγκριση φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Τα στοιχεία του διαγράμματος προέρχονται από τον σύνδεσμο εταιρειών ηλιακής ενέργειας της Γερμανίας (BSW) και από την Ελληνική Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).

3 Φωτισμός δρόμου

3.1 Γενικά

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

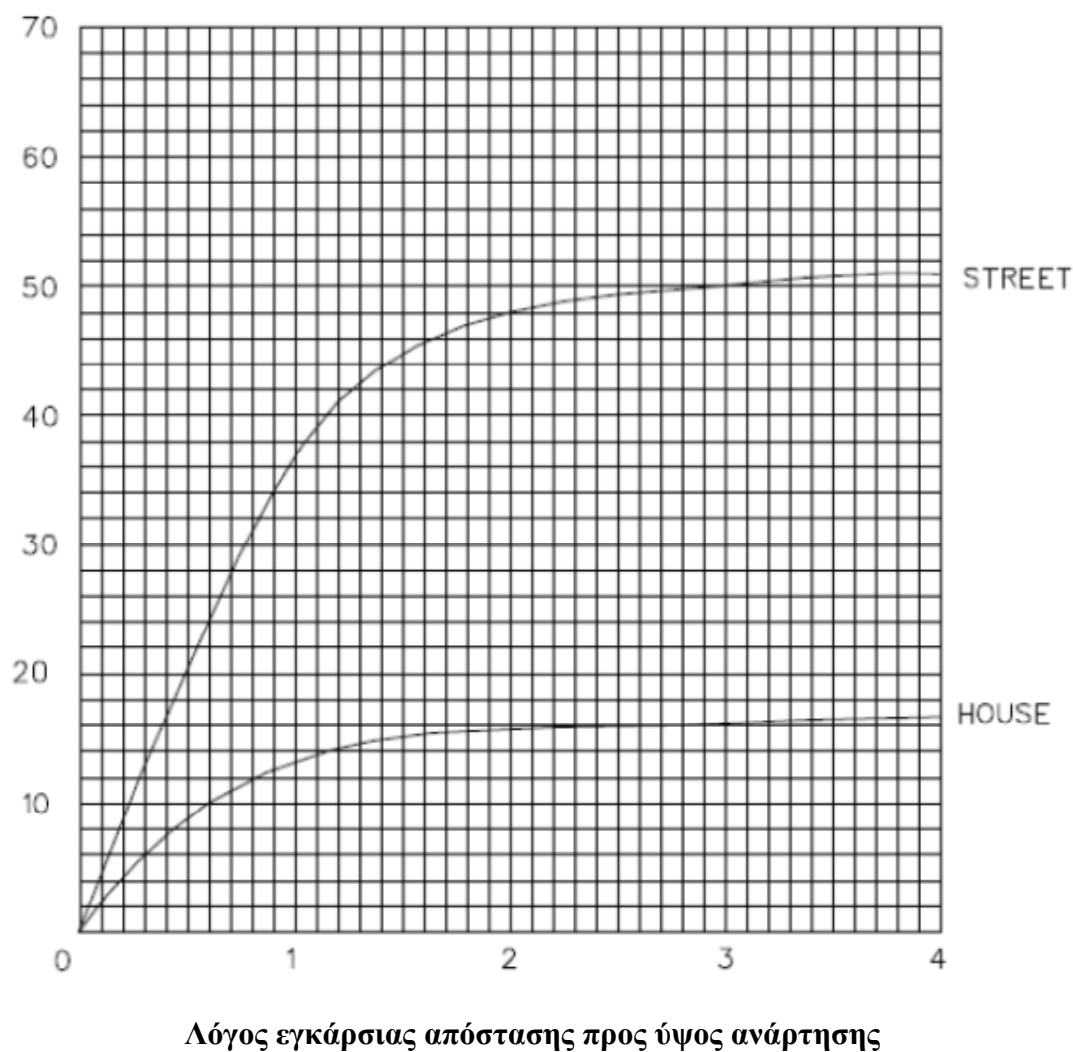
- η μέθοδος της μέσης έντασης φωτισμού και
- η μέθοδος της λαμπρότητας.

Η πρώτη μέθοδος, η οποία είναι η επικρατούσα στις ΗΠΑ, στηρίζεται στην υπόθεση ότι παρέχοντας ένα συγκεκριμένο επίπεδο έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα και κατάλληλη ομοιομορφία, μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική ορατότητα. Η δεύτερη μέθοδος, η οποία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ευρώπη, στηρίζεται στην υπόθεση ότι η ορατότητα συνδέεται με την λαμπρότητα του οδοστρώματος και των αντικειμένων πάνω στο οδόστρωμα.

3.1.1 Συντελεστής χρησιμοποίησης

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

Στο Σχήμα 3.1 δίνεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης τυπικού φωτιστικού δρόμου.



3.1.2. Επίπεδα Έντασης Φωτισμού

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

Πίνακας 1

Ταξινόμηση Δρόμου	¹ Ταξινόμηση Περιοχών	² Μέση ένταση φωτισμού E_{ave} (lx)	Ομοιομορφία
Αρτηρίες (Δευτερεύουσες & κύριες)	Εμπορική	12	3:1
	Ενδιάμεση	9	
	Αστική	6	
	Εμπορική	8	4:1
	Ενδιάμεση	6	
	Αστική	4	
Τοπικοί Δρόμοι	Εμπορική	6	6:1
	Ενδιάμεση	5	
	Αστική	3	
Μικροί Δρόμοι (σοκάκια)	Εμπορική	4	6:1
	Ενδιάμεση	3	
	Αστική	2	
Πεζοδρόμια (κράσπεδα)	Εμπορική	3	3:1
	Ενδιάμεση	6	4:1
	Αστική	2	6:1
³ Πεζόδρομοι & λωρίδες ποδηλάτων		15	3:1

- 1 Εμπορική περιοχή:** Εκείνη η περιοχή ενός δήμου με ανάπτυξη επιχειρήσεων όπου συνήθως υπάρχει μεγάλος αριθμός πεζών και υψηλή απαίτηση για χώρο στάθμευσης κατά τη διάρκεια των περιόδων μέγιστης κυκλοφορίας ή διαρκούς υψηλού όγκου πεζών και μια διαρκείας υψηλή απαίτηση για χώρους στάθμευσης εκτός δρόμου κατά τη διάρκεια των ωρών γραφείου. Αυτός ο ορισμός ισχύει για τις πυκνές, αναπτυγμένες εμπορικές περιοχές έξω αλλά και εντός της κεντρικής ζώνης ενός δήμου.
- 2 Ενδιάμεση περιοχή:** Εκείνη η περιοχή ενός δήμου που είναι έξω από το κέντρο της πόλης αλλά γενικά μέσα στη ζώνη της επιρροής μιας επιχείρησης ή μιας βιομηχανικής εγκατάστασης, η οποία χαρακτηρίζεται συχνά από μια μέτρια νυχτερινή κυκλοφορία πεζών και μια πιο μικρή χρήση χώρων στάθμευσης από την αντίστοιχη εντός εμπορικής

περιοχής. Αυτός ο ορισμός περιλαμβάνει τις πυκνά δομημένες περιοχές διαμερισμάτων, τα νοσοκομεία, τις δημόσιες βιβλιοθήκες, και τα συνοικιακά ψυχαγωγικά κέντρα.

- 3 **Αστική περιοχή:** Μια κατοικημένη περιοχή, ή ένα μίγμα κατοικημένων και εμπορικών εγκαταστάσεων, που χαρακτηρίζεται από λίγους πεζούς και χαμηλή ζήτηση ή χρήση χώρων στάθμευσης τη νύχτα. Αυτός ο ορισμός περιλαμβάνει περιοχές με οικογενειακές μονοκατοικίες, οικήματα, ή/και τα μικρά διαμερίσματα. Επίσης, περιλαμβάνονται περιφερειακά πάρκα, νεκροταφεία και οικόπεδα χωρίς κτίσματα.

Πίνακας 2

Ταξινόμηση δρόμου	Ταξινόμηση Περιοχών	Μέση Ένταση Φωτισμού E_{ave} (lx)		
		Ταξινόμηση Οδοστρωμάτων		
		R ₁	R ₂ , R ₃	R ₄
Δρόμοι εκτός πόλεων	C	6	9	8
	I	4	6	5
	R	-	-	-
Κύριες Αρτηρίες	C	10	14	13
	I	8	12	10
	R	6	9	8
Λεωφόροι Μεγάλης Κυκλοφορίας	C	12	17	15
	I	9	13	11
	R	6	9	8
Τοπικοί Δρόμοι Πόλεων	C	6	9	8
	I	5	7	6
	R	3	4	4

Ως γενικό κριτήριο ομοιομορφίας θεωρούμε τον λόγο $E_{ave}/E_{min} < 3$

Για τον έλεγχο της ομοιομορφίας υπολογίζεται ο λόγος της μέσης έντασης φωτισμού προς την ελάχιστη. Συνεπώς, θα πρέπει να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή της έντασης φωτισμού κάτι που γίνεται είτε με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού είτε χρησιμοποιώντας τις καμπύλες ISOLUX του συγκεκριμένου φωτιστικού.

3.2 Επίπεδα φωτισμού για αστικές περιοχές

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 μμεγάλη, 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 Επίπεδα φωτισμού αστικών περιοχών κατά CIE

Περιγραφή δρόμου	Επίπεδο φωτισμού
Δρόμοι υψηλού κύρους	P1
Έντονη νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες	P2
Μέτρια νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες	P3
Μικρή νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες	P4
Μικρή νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος.	P5

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

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 μμονοπάτι, 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 φωτισμού	Οριζόντια ένταση φωτισμού (lux) Της ολικής χρησιμοποιούμενης επιφάνειας		Ημικυλινδρική ένταση φωτισμού (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		

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.

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

3.3 Κριτήρια Φωτισμού δρόμου κατά CIE

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

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

3.3.1 Μέση λαμπρότητα

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

3.3.2 Ομοιομορφία λαμπρότητας

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

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

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

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

$$UO=Lmin/Lav$$

όπου

Lmin : η ελάχιστη λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας

Lav : μέση λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.

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

$$UI= \min(Lmin/Lmax)$$

όπου

Lmin : η ελάχιστη λαμπρότητα σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

Lmax : η μέγιστη λαμπρότητα σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

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

$$Uv= \min(Lmin/Lmax)$$

όπου

Lmin : η ελάχιστη λαμπρότητα σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

Lmax : η μέγιστη λαμπρότητα σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα του οδοστρώματος.

3.3.3. Θάμβωση

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

Θάμβωση εμφανίζεται συχνά σε εξωτερικούς χώρους και κυρίως με την μορφή της φυσιολογικής θάμβωσης περισσότερο από ότι με την μορφή της ψυχολογικής θάμβωσης. Ωστόσο, σε εξωτερικούς χώρους εργασίας η ψυχολογική θάμβωση μπορεί να εμφανιστεί σε ανθρώπους που εργάζονται εκεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

3.3.3.1. Μέθοδοι υπολογισμού θάμβωσης

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

3.3.4. Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου

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

$$SR = \frac{\bar{L}_{street}}{\bar{L}_{backg}}$$

Όπου

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

\bar{L}_{backg} : η μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων πάνω στο οδόστρωμα.

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

3.3.5. Οπτική καθοδήγηση

Η οπτική καθοδήγηση είναι ένα σημαντικό ποιοτικό κριτήριο στον φωτισμό ενός δρόμου γιατί σχετίζεται άμεσα με την οδική ασφάλεια. Η καλή οπτική καθοδήγηση επιτυγχάνεται όταν η διάταξη των φωτιστικών σωμάτων δίνει μια σαφή και μη παραπλανητική ένδειξη της πορείας του δρόμου.

Γενικά είναι δύσκολο να δοθεί κάποιος κανόνας βασισμένος σε τεχνικά μεγέθη για το σχεδιασμό του φωτισμού ενός δρόμου, ο οποίος θα παρέχει σωστή οπτική καθοδήγηση. Η χρήση προοπτικών σχεδίων σε κατάλληλη κλίμακα μπορεί να αποκαλύψει πιθανά προβλήματα. Είναι κοινά αποδεκτό ότι η κακή οπτική καθοδήγηση σε ένα δρόμο μπορεί να αποβεί επικίνδυνη.

3.4 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου

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

3.4.1 Κατηγορίες φωτισμού δρόμου κατά CIE

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω η διεθνής Επιτροπή Φωτισμού έχει διακρίνει τους δρόμους σε κλάσεις ανάλογα με τη χρήση τους και οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 3-4:

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

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

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

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

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

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

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

3.4.2 Μ-κλάσεις φωτισμού

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

Πίνακας 3-4

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

Ο αριθμός της Μ-κλάσης = 6 – ΑΣΒ

Στο πίνακα 3-5 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε μια κλάση αυτής της ομάδας.

Κλάση φωτισμού	Ξηρό			Υγρό*	ΤΙ (%)	SR
	L_{av} (cd/m ²)	U_0	U_1	U_0		
M1	2,	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1	0,40	0,60	0,15	10	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

* Εφαρμόζεται όπου η επιφάνεια του δρόμου είναι υγρή για ένα σημαντικό μέρος των ωρών απουσίας φωτός και τα δεδομένα ανάκλασης της επιφάνειας του δρόμου είναι διαθέσιμα.

3.4.3 Αμφισβητούμενες περιοχές

Οι αμφισβητούμενες περιοχές εμφανίζονται όποτε ρεύματα κυκλοφορίας οχημάτων κόβουν το ένα το άλλο ή συναντούν περιοχές που εμφανίζονται συχνά πεζοί, ποδηλάτες, ή άλλοι χρήστες δρόμων, ή όταν ο υπάρχων δρόμος συνδέεται με έναν ανοικτό χώρο με γεωμετρία κατώτερη των προτύπων όπως: μειωμένος αριθμός λωρίδων ή λωρίδες ή δρόμος μειωμένου πλάτους. Για τις αμφισβητούμενες περιοχές, η λαμπρότητα είναι το συνιστώμενο μέγεθος σχεδίασης. Εντούτοις, όπου οι αποστάσεις θέασης είναι μικρές και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση της λαμπρότητας, η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μέρος της αμφισβητούμενης περιοχής, ή ολόκληρης της περιοχής εάν τα κριτήρια λαμπρότητας δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Η επιλογή της C-κλάσης μπορεί να γίνει με την βοήθεια του πίνακα 3-6.

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

Ο αριθμός της Μ-κλάσης = 6 – ΑΣΒ

Στο πίνακα 3-7 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε μια κλάση αυτής της ομάδας.

Κλάση φωτισμού	Μέση ένταση φωτισμού σε όλη την επιφάνεια (lx)	Ομοιομορφία έντασης φωτισμού U_0	Κατώφλι αύξησης ΤΙ(%)*	
			Υψηλή και μέτρια ταχύτητα	Χαμηλή και πολύ χαμηλή ταχύτητα
C1	50	0,40	10	15
C2	30	0,40	10	15
C3	20	0,40	10	20
C4	15	0,40	10	20
C5	10	0,40	15	25
C6	7,5	0,40	15	25

* Εφαρμόζεται εκεί όπου οπτικές εργασίας, οι οποίες συνήθως λαμβάνονται υπόψη για τον φωτισμό δρόμων με μηχανοκίνητη κυκλοφορία (M- κλάσεις), είναι σημαντικές.

3.4.4 P-κλάσεις φωτισμού

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

Πίνακας 3-8

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

Ο αριθμός της P-κλάσης = 6 – ΑΣΒ

Στο πίνακα 3-9 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε μια κλάση αυτής της ομάδας.

Πίνακας 3-9

Κλάση φωτισμού	Μέση οριζόντια ένταση φωτισμού (lx)	Ελάχιστη οριζόντια ένταση φωτισμού $E_{h,min}$ (lx)	Κατώφλι αύξησης ΤΙ(%)*	Εάν η αναγνώριση προσώπου είναι απαραίτητη	
				Ελάχιστη κατακόρυφη ένταση φωτισμού $E_{v,min}$ (lx)	Ελάχιστη ημι-κυλινδρική ένταση φωτισμού $E_{sc,min}$ (lx)
P1	15	3	20	5	3
P2	10	2	25	3	2
P3	7,5	1,50	25	2,5	1,5
P4	5	1	30	1,5	1
P5	3	0,60	30	1	0,6
P6	2	0,40	35	0,6	0,4

* Εφαρμόζεται εκεί όπου οπτικές εργασίες, οι οποίες συνήθως λαμβάνονται υπόψη για τον φωτισμό δρόμων με μηχανοκίνητη κυκλοφορία (M- κλάσεις) και αμφισβητούμενες περιοχές, (C- κλάσεις) είναι σημαντικές.

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

3.5 Προτάσεις σχεδιασμού 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 στο British Standard BS 5489 Code of practice for road lighting 1992 και παρατίθενται παρακάτω:

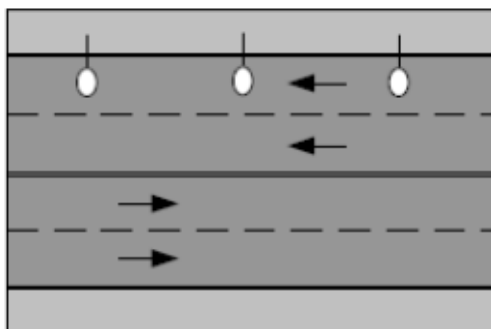
3.5.1 Γενικές αρχές φωτισμού δρόμου

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 .

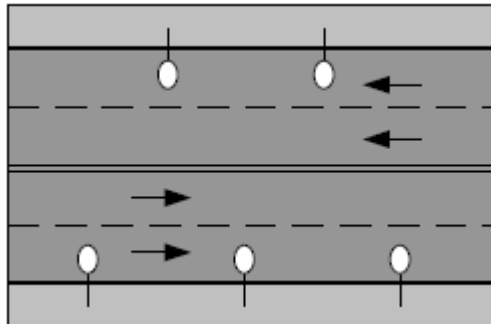
Οι βασικότερες έννοιες που είναι απαραίτητες για το φωτισμό δρόμων είναι οι εξής:

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

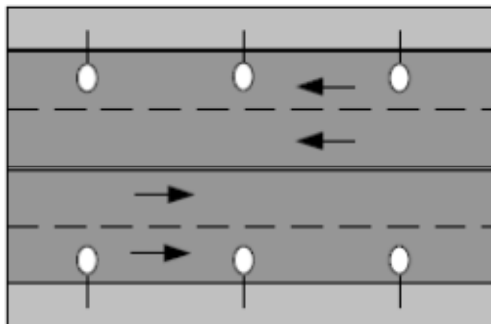
Μονόπλευρη



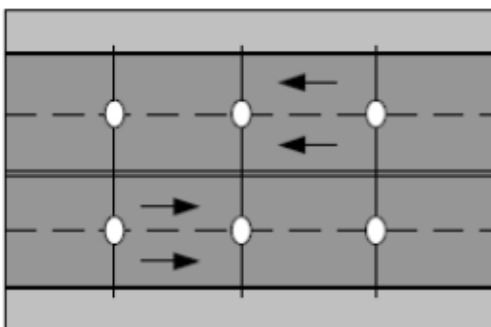
Χιαστί



Αμφίπλευρη



Αξονική



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.

3.5.2 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 * 1 Im 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 πλατείες και μεγάλης κυκλοφορίας δρόμους, όπως είναι οι κύριες οδοί μεταξύ δύο πόλεων.

3.5.3 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 (H) 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 την πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης. Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις εγκατάστασης η τιμή του δείκτη θάμβωσης δεν πρέπει να ξεπερνά το 30%.

3.5.4 Λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου (S_R)

Η τιμή του δείκτη S_R 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 της έντασης φωτισμού στην επιφάνεια του δρόμου.

3.5.5 Επιφάνεια δρόμου

Οι τιμές της έντασης φωτισμού και της λαμπρότητας στην επιφάνεια του δρόμου εξαρτώνται από το προσπίπτον φως και τις αντανάκλαστικές 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 και τις ανακλαστικές ιδιότητες του οδοστρώματος.

3.5.6 Διακλαδώσεις δρόμου

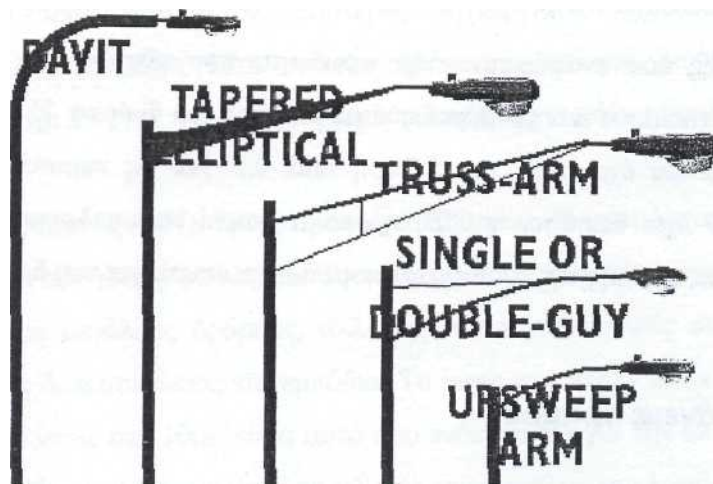
Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τύπων διασταυρώσεων, οι οποίες αποτελούν και τα πιο πιθανά μέρη για ατυχήματα, για το λόγο αυτό ο φωτισμός θα πρέπει:

- 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.

3.5.7 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 στο Σχήμα 3.1:

Σχήμα 3.1 Συνήθεις τύποι ιστών φωτισμού δρόμων



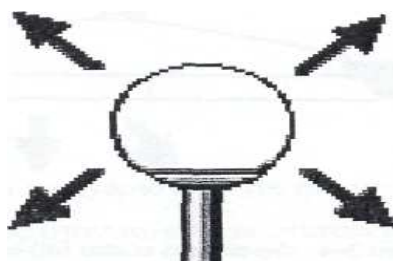
Ανάλογα, λοιπόν, με την επιθυμητή χρήση, με τον κατασκευαστή αλλά και με τις προδιαγραφές που έχει καθορίσει κάθε χώρα για τους πόλους που πρέπει να χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιος από τους τύπους πόλων που παρουσιάζονται παραπάνω (ή ακόμα και άλλοι που δεν παρατίθενται στο Σχήμα 3.1).

3.6 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**.

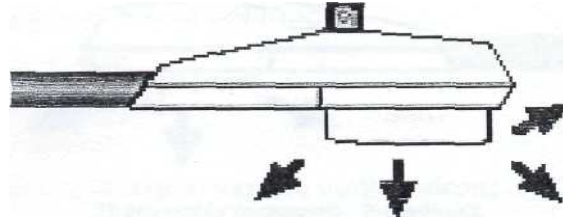
Τα φωτιστικά Non-cutoff, (Σχήμα 3.2) επιτρέπουν την διάχυση του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις. Πολλά διακοσμητικά φωτιστικά χρησιμοποιούν φωτιστικά της κατηγορίας αυτής. Τα Non-cutoff φωτιστικά είναι ο λιγότερο αποδοτικός τρόπος για να φωτιστεί το έδαφος. Είναι γενικώς αποδοτικά στο να διοχετεύουν 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.

Σχήμα 3.2 Φωτιστικό τύπου Non-cutoff



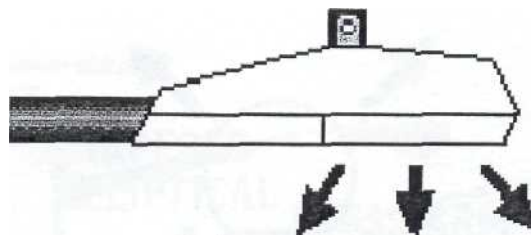
Τα φωτιστικά Semi-cutoff, (Σχήμα 3.3) επιτρέπουν το φως να διαχυθεί κάτω από το επίπεδο των 90° , ενώ ένα ποσοστό (έως 5%) διαχέεται πάνω από το επίπεδο των 90° . Αυτά τα φωτιστικά χρησιμοποιούνται συχνά σε φωτιστικά δρόμων του τύπου που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Είναι αρκετά αποτελεσματικά στη διάχυση 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 τα φέρουν ψηλότερα από το πεδίο όρασης του οδηγού.

Σχήμα 3.3 Φωτιστικό τύπου semi-cutoff



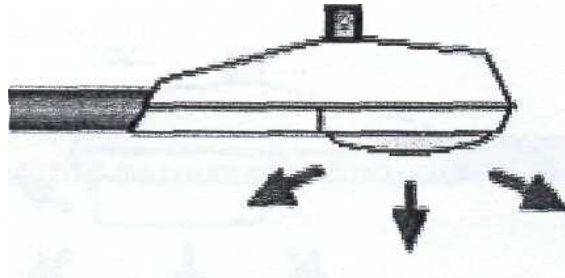
Τα φωτιστικά Full-cutoff (Σχήμα 3.4) κατευθύνουν το φως προς το έδαφος, κάτω από το φωτιστικό μόνο. Τα φωτιστικά αυτά δεν επιτρέπουν την διάχυση φωτός άνω του επιπέδου των 90°. Τα οπτικά αυτά κατευθύνουν το φως σε μια καθορισμένη επιφάνεια στο έδαφος. Τυπικά για να επιτευχθεί ένας ενδιάμεσος φωτισμός 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.

Σχήμα 3.4 Φωτιστικό τύπου full-cutoff



Τα φωτιστικά Cutoff (Σχήμα 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°. 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.

Σχήμα 3.5 Φωτιστικό τύπου cut-off



Τα φωτιστικά αυτά επιτρέπουν πολύ μικρό ποσοστό να διαφύγει πάνω από το φωτιστικό.

3.7 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

- οι πόλοι θα πρέπει να χωριστούν σε διαστήματα που δεν θα υπερβαίνουν τα 50m μεταξύ τους όταν αυτοί εγκαθίστανται στην ίδια πλευρά της οδού.
- 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,
- Εξαιρέσεις: Αν ο μηχανικός διαπιστώνει ότι παρουσιάζονται ιδιαίτερες περιστάσεις, μπορεί να απαιτήσει ένα διαφορετικό διάστημα μεταξύ των πόλων απ' ότι θα ίσχυε κανονικά.

2. Απόσταση πόλου-πρόσοψης 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:

- Μέγιστο: 10m
- Ελάχιστο: 5,3 m

4. Μέγεθος λαμπτήρων:

- Γενικά: 70 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης
 - Εξαιρέσεις:
- Κύριοι δρόμοι: 70, 100, 150 ή 200W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.
- Διασταυρώσεις: 70 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.
- Περιοχές με ομίχλη: 100, 150 ή 200 W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.
- 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.
- Ανάλυση κόστους-κέρδους: θα πρέπει να εγκριθεί ή να απαιτηθεί μια εξαίρεση στη γενική απαίτηση μεγέθους λαμπτήρων, μετά από ανάλυση κόστους-κέρδους.

3.8 Φωτορύπανση και κατάχρηση φωτός

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 μη μετρήσιμη 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 Φωτιστικά Σώματα - Λαμπτήρες

4.1 Φωτιστικά

Γενικά

Φωτιστικό σώμα εννοούμε τη διάταξη που διαμορφώνει ή μεταβάλλει τη διανομή της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα. Με άλλα λόγια, το φωτιστικό σώμα είναι ο εξοπλισμός που περιέχει τον λαμπτήρα. Οι λειτουργίες του μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

1. Σύνδεση του λαμπτήρα με την τροφοδοσία ηλεκτρισμού.
2. Καθορισμός συγκεκριμένης μορφής στη φωτεινή ροή, χωρίς να προκαλεί σοβαρές απώλειες σε αυτή.
3. Προστασία του λαμπτήρα από μηχανικές κακώσεις (σκόνη, νερό, καιρικές συνθήκες, εξωτερική φθορά).
4. Να παρέχει δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης και συντήρησης.

Το σχήμα του φωτιστικού και η μεθοδολογία κατασκευής του σχετίζονται με το σχήμα του λαμπτήρα και με την χρήση για την οποία προορίζονται. Στην κατηγορία των φωτιστικών σωμάτων φωτισμού δρόμων προορίζονται για συνεχή παραμονή και λειτουργία στο ύπαιθρο.

Στην προσπάθεια της επιτυχίας ενός καλού και ομοιόμορφου φωτισμού δρόμων, επιδιώκουμε για λόγους οικονομικούς να χρησιμοποιούμε μικρό αριθμό ιστών στήριξης των φωτιστικών σωμάτων. Αυτό σημαίνει ότι τα τελευταία πρέπει να είναι υψηλής φωτιστικής απόδοσης, να στέλνουν το φως εκεί που το χρειαζόμαστε, δηλαδή σε μεγάλες αποστάσεις, ώστε χρησιμοποιώντας μικρό αριθμό φωτιστικών να επιτυγχάνουμε όχι μόνο την επιθυμητή φωτιστική ένταση αλλά και την απαραίτητη ομοιομορφία.

Τα φωτιστικά σώματα δρόμων κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους. Προφανώς δεν μπορεί να δεχθεί κάθε φωτιστικό σώμα όλους τους τύπους λαμπτήρων.

4.2 Ballast, Βασικές Αρχές

Γενικά

Το Ballast ή αλλιώς στραγγαλιστική διάταξη ή κιβώτιο ζεύξεως αποτελεί βοηθητικό αλλά απαραίτητο τμήμα του εξοπλισμού των λαμπτήρων εκκένωσης (discharge lamps) οι οποίοι διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Στους λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης αερίου (low pressure gas discharge), οι οποίοι είναι οι γνωστοί ως λαμπτήρες φθορισμού (fluorescent lamps), και
- Στους λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης (High intensity discharge lamp - HID), στους οποίους ανήκουν οι λαμπτήρες :

1. Ατμών Υδράργυρου (mercury vapor),
2. Μεταλλικών αλογονιδίων (metal halide), και
3. Νατρίου υψηλής πίεσης (high pressure sodium).

Οι φωτεινές πηγές εκκένωσης παράγουν φως μέσω της διέγερσης ενός αερίου σε αντίθεση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως όπου αυτό επιτυγχάνεται με την θέρμανση ενός νήματος. Η διέγερση του αερίου παρουσιάζει σημαντικές λειτουργικές διαφορές σε σύγκριση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, και ιδιαίτερα ότι παρουσιάζουν «αρνητική αντίσταση» της εκκένωσης αερίου. Τα ballasts γενικά παρέχουν αρκετές λειτουργίες που καθιστούν δυνατή την ομαλή λειτουργία των λαμπτήρων εκκένωσης αναφορικά με το χαρακτηριστικό αυτό.

Μία από αυτές τις λειτουργίες είναι η εξασφάλιση επαρκούς τάσης για την έναυση του τόξου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα, δηλαδή την εκκένωση του αερίου. Για πολλούς τύπους λαμπτήρων, η απαιτούμενη τάση έναρξης της εκκένωσης είναι πιο υψηλή από την τάση του δικτύου και για το λόγο αυτό το ballast θα πρέπει να μετασχηματίσει την τάση στο αναγκαίο επίπεδο.

Μια δεύτερη λειτουργία του είναι να περιορίσει το ρεύμα μετά την αποκατάσταση της εκκένωσης. Εξαιτίας της αρνητικής χαρακτηριστικής αντίστασης του λαμπτήρα, με τη μείωση της αντίστασης του αερίου, το ρεύμα θα αυξανόταν συνέχεια κάτω από

ανεξέλεγκτες συνθήκες. Για το λόγο αυτό, το ballast λειτουργεί σαν αντίσταση για τον περιορισμό του ρεύματος μετά τη δημιουργία του τόξου.

Αυτές οι λειτουργίες μπορεί να διαφέρουν ανάμεσα στους διάφορους τύπους ballasts, και σε κάποιες περιπτώσεις επιπρόσθετες λειτουργίες, όπως η θέρμανση των ηλεκτροδίων, μπορεί να εφαρμόζονται. Τα ballast διακρίνονται σε ηλεκτρομαγνητικά και σε υψηλής συχνότητας και χαμηλής συχνότητας. Τα τελευταία διακρίνονται σε κανονικά και ρυθμιζόμενα. Ο βοηθητικός εξοπλισμός καταναλώνει ισχύ και η απόδοση μειώνεται.

4.3 Λαμπτήρες

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 :

- ❖ 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 n (lm/W) : είναι μέγεθος αντίστοιχο του βαθμού απόδοσης των κινητήρων για τις φωτεινές πηγές, όπου η αποδιδόμενη ενέργεια είναι η φωτεινή και δίνεται από τη σχέση: $n = \Phi/P_{ηλ}$ όπου Φ η φωτεινή ροή του λαμπτήρα και $P_{ηλ}$ 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

Είδος Λαμπτήρα	Απόδοση (lm/W)	Ονομαστική Ισχύς (W)	Τυπική απόδοση (lm/W)	Φωτεινή Ισχύς Λαμπτήρα (lm)
Πυρακτώσεως	9-20	40 -100	10 -13,8	430 -1380
Φθορισμού	40-80	40 - 65	80-77	3200- 5000
Νατρίου	100-200	180	183	33000
Αλογόνου	10-30	1000	22	22000

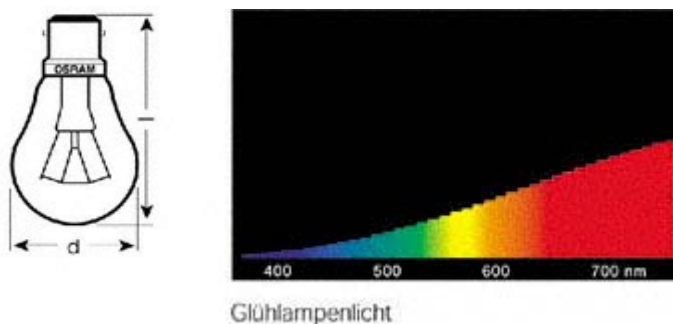
4.4 Λαμπτήρες για φωτισμό δρόμων

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

Πίνακας 4-2 Χαρακτηριστικά λαμπτήρων φωτισμού δρόμων

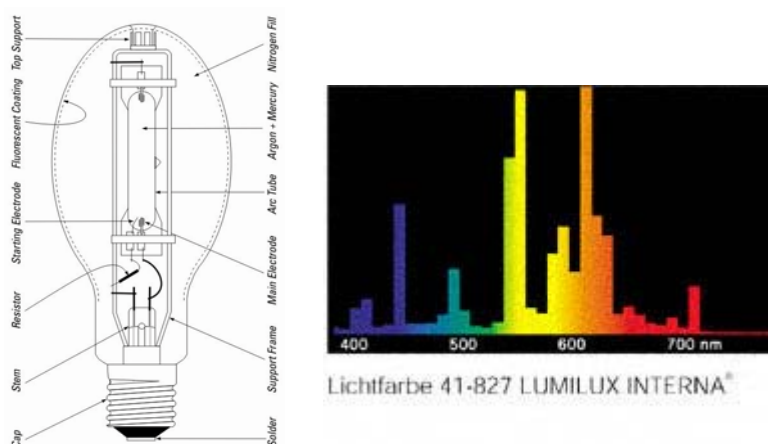
ΕΙΔΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ	ΦΩΤ.ΙΣΧΥΣ [lm*10 ³]	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ [lm/W]	ΖΩΗ ΛΑΜΠ. [hour*10 ³]
ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ	0,6-15	9,7-17,4	1-2
ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ	3,7-57	37-57	18-28
ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΥ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ	4,0-63	40-63	18-28
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ	34-100	85-100	10-15
ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	9,5-140	95-140	15-28
ΝΑΤΡΙΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ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

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

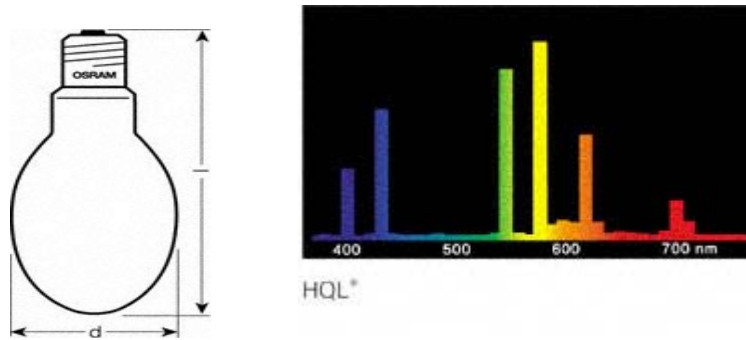


Εικόνα 4-1 Λαμπτήρας Πυράκτωσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

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 4-3) 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.

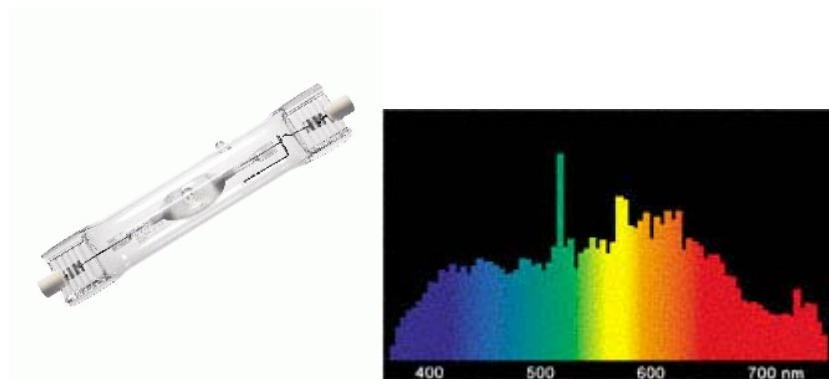


Εικόνα 4-2 Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του



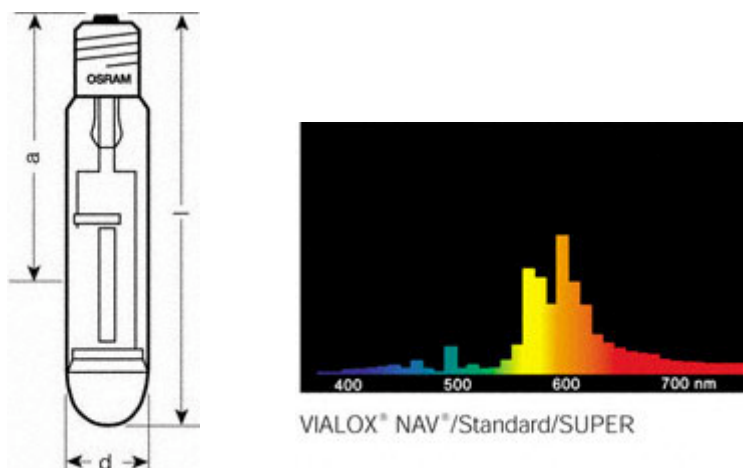
Εικόνα 4-3 Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου φωσφορούχου επίστρωσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

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 Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

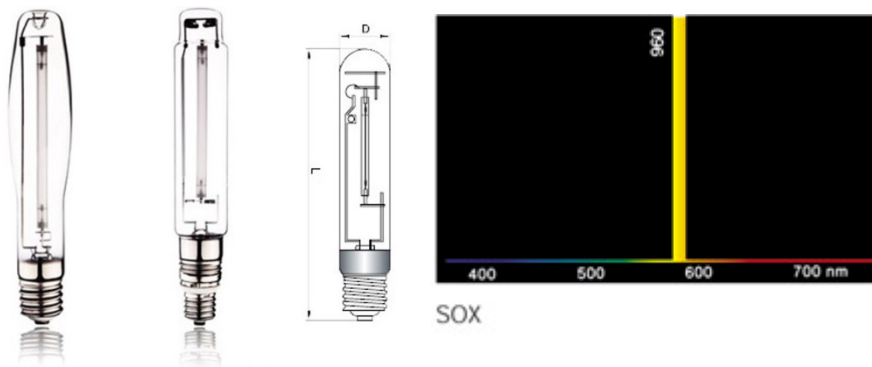
4. Ο λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης (Εικόνα 4-5) έχει προς το παρόν αντικαταστήσει τον λαμπτήρα υδραργύρου. Χαρακτηρίζεται από την παραγωγή χρυσού- λευκού χρώματος φωτός. Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης είναι συνήθως χρησιμοποιούμενοι με ειδικά ballast που παρέχουν την απαιτούμενη υψηλή τάση για 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 την 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 φωτισμό εμπορικών 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.

4.5 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		Watt	Ονομαστικές τιμές Φωτεινής ροής	Απόδοση (lm/watt)	Απόδοση χρώματος	Θερμοκρασία χρώματος	Διάρκεια ζωής
Πυράκτωσης	Βολφραμίου	40- 200	400- 2730	10- 14	A	X	σύντομη
	Αλογονιδίου βολφραμίου	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 φωσφόρο	Πλήρες φάσμα	Μεγάλη
	Συμπαγής τύπος	9- 37	600-2757	44-66	Ποικίλλει ανάλογα με τον φωσφόρο	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 -	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	250-400	17500-25000	63-57	C	Y	Μεγάλη
	Γραμμικό	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

Επεξήγηση στοιχείων του πίνακα 4-3

Πίνακας φάσματος χρώματος:	A= μεγαλύτερο από 90 B=80-90 C=60-80 D=40-60 E= μικρότερο από 40
Θερμοκρασία χρώματος:	X= χαμηλότερο από 3300 K Y= 3300-5500 K Z= μεγαλύτερη από 5500 K
Διάρκεια ζωής:	Σύντομη= λιγότερο από 2000 h Μεσαία= 2000- 7000h Μεγάλη= περισσότερες από 7000

5 Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα Φωτισμού

5.1 Εισαγωγή

Βασικός στόχος της μελέτης 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.



5.2 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Το βασικότερο μέρος του ολοκληρωμένου συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα. Είναι η πηγή ενέργειας και αυτονομίας για το σύστημα. Αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

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

5.2.1 Φωτοβολταϊκό Πάνελ

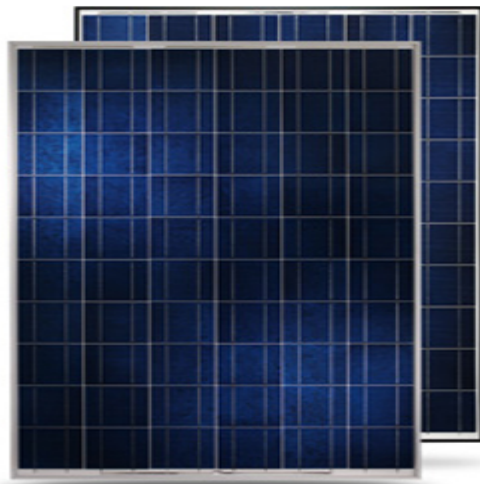
Στις συνηθισμένες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων ο τρόπος εργασίας είναι συγκεκριμένος. Αρχικά υπολογίζεται η συνολική απαίτηση ισχύος της εγκατάστασης που χρειάζεται να τροφοδοτηθεί με ηλιακή ενέργεια. Στη συνέχεια με εμπειρικούς τύπους προσδιορίζεται ο αριθμός των φωτοβολταϊκών κυψελών που 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 φωτισμό. Αυτό επιβάλλει την χρήση όσο το δυνατόν μικρότερου αριθμού 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 επιλεγεί 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.

Εικόνα 6-2 Φωτοβολταϊκό πάνελ



5.2.2 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.

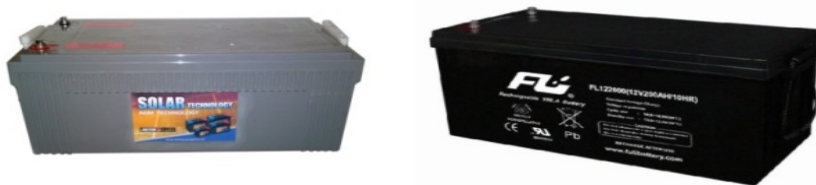
Για ορισμένες χρήσεις, οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (Ni-Cad) είναι περισσότερο κατάλληλες. Αυτοί μπορούν να φορτίζονται πολλές φορές χωρίς ζημιές και επηρεάζονται λιγότερο από τις αλλαγές θερμοκρασίας σε σχέση με τους συσσωρευτές lead-acid. Εντούτοις, οι Ni-Cad είναι αρκετά ακριβότεροι, έτσι το προστιθέμενο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



Εικόνα 6-3 Συσσωρευτές

5.2.3 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.

Εικόνα 6-4 Αντιστροφέας (inverter)



5.3 Απόδοση Φωτοβολταϊκού συστήματος

5.3.1 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%.

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 έχουν 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.

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.

5.3.2 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 1.2m².

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.

5.3.3 Απόδοση ισχύος συστήματος

Η τελική απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας και τους συντελεστές απόδοσης και των υπολοίπων μερών του συστήματος. 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.

Η ενέργεια που μπορεί να αποδώσει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο φωτιστικό ποικίλει ανάλογα με την εποχή του έτους και τη γωνία στήριξης του φωτοβολταϊκού πάνελ. Για κλίσεις του πάνελ μεγαλύτερης των 0° 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. Η συνολική απαίτηση ισχύος του συστήματος φωτισμού εξαρτάται από την επιλογή του λαμπτήρα που θα χρησιμοποιηθεί για τον φωτισμό του δρόμου.

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 100W 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 100W. 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 υπολογίστηκε. 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.

5.4 Σύστημα Φωτισμού

5.4.1 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. 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.

5.4.2 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.

5.4.3 Ικανότητα φωτισμού

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

<u>Κλάση φωτισμού</u>	<u>Λαμπρότητα (Μέση)(Cd/m²)</u>	<u>Λαμπρότητα (Ελάχιστη/Μέση)(Cd/m²)</u>	<u>Δείκτης θάμβωσης (%)</u>	<u>SR left</u>	<u>SR right</u>
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
<i>SR left-right</i>		Δείκτης που αναφέρεται στο αν ο φωτισμός στον δεξιά και αριστερά περιβάλλοντα χώρο του δρόμου είναι επαρκής για την αναγνώριση αντικειμένων			

Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων κάθε κλάσεως φωτισμού απαιτείται διαφορετικός τρόπος εγκατάστασης και διάταξης και διαφορετικός αριθμός φωτιστικών σωμάτων ανά περίπτωση.

5.5 Μονάδα Ελέγχου

5.5.1 Γενικά

Το μέσο διασύνδεσης του συστήματος φωτισμού του υπό μελέτη συστήματος αποτελεί η μονάδα ελέγχου. Κύριος σκοπός της μονάδος αυτής είναι η διασύνδεση του συστήματος φωτισμού με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η διασύνδεση είναι αναγκαία στις περιπτώσεις που το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν αποδίδει την απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία του φωτιστικού. Αυτό συμβαίνει σε ημέρες με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία, σε συνεχόμενες συνεφιασμένες ημέρες, όταν υπάρχει πρόβλημα απόδοσης του φωτοβολταϊκού πάνελ κλπ.

5.5.2 Λειτουργίες της μονάδας ελέγχου

Η λειτουργία της μονάδας ελέγχου βασίζεται σε ηλεκτρονικές διατάξεις που σκοπό έχουν τον έλεγχο και την εποπτεία του συστήματος. Τα μέρη του συστήματος που ελέγχονται είναι το σύστημα φόρτισης του συσσωρευτή, ο συσσωρευτής και ο διακόπτης επιλογής της πηγής τροφοδοσίας για το σύστημα φωτισμού. Οι αρχές της λειτουργίας της μονάδας ελέγχου είναι οι εξής:

- Η τροφοδοσία του συστήματος φωτισμού πρέπει να είναι επαρκής για ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας. Σε αντίθετη περίπτωση ο χρόνος που μεσολαβεί για την απανένανση του λαμπτήρα με την τάση του ηλεκτρικού δικτύου είναι αρκετός για τα προκαλέσει προβλήματα ασφάλειας (απροειδοποίητη διακοπή φωτισμού) και προβλήματα λειτουργικότητας της εγκατάστασης. Συνεπώς ο έλεγχος και η επιλογή της πηγής τροφοδοσίας οφείλει να γίνεται πριν από την αρχή του κύκλου λειτουργίας.
- Στην περίπτωση που η αποθηκευμένη ενέργεια στους συσσωρευτές επαρκεί για την λειτουργία του συστήματος φωτισμού καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου λειτουργίας τότε η πηγή τροφοδοσίας επιλέγεται να είναι ο συσσωρευτής.

- Στην περίπτωση που η αποθηκευμένη ενέργεια στον συσσωρευτή δεν επαρκεί για την πλήρη λειτουργία του συστήματος φωτισμού τότε γίνεται μεταγωγή στο ηλεκτρικό δίκτυο και το σύστημα λειτουργεί με την τάση του δικτύου για όλο τον κύκλο λειτουργίας.

Ακολουθώντας τις παραπάνω αρχές λειτουργίας η μονάδα ελέγχου διαχειρίζεται το σύστημα με τον ευνοϊκότερο τρόπο κάθε φορά. Η επιλογή της πηγής τροφοδοσίας γίνεται πριν από την έναρξη του κάθε κύκλου λειτουργίας του συστήματος φωτισμού. Ο κύκλος λειτουργίας έχει μεταβαλλόμενη διάρκεια ανά εποχή οπότε η χρήση χρονοδιακόπτη είναι δύσκολη στην εφαρμογή. Στην περιοχή της Αττικής, όπως και σε πολλές άλλες περιοχές την Ελλάδα, η έναυση των λαμπτήρων γίνεται με την χρήση ηλεκτρικών παλμών που αποστέλλονται μέσω του ηλεκτρικού δικτύου. Η μονάδα ελέγχου διαθέτει την κατάλληλη συσκευή για την υποδοχή του παλμού και αναγνωρίζει την αρχή του κύκλου λειτουργίας

Η πρώτη λειτουργία είναι ο έλεγχος της αποθηκευμένης ενέργειας του συσσωρευτή. Γίνεται έλεγχος για το αν η στάθμη φόρτισης του συσσωρευτή είναι τουλάχιστον ίση με την στάθμη ασφαλείας που έχει προκαθοριστεί. Η στάθμη ασφαλείας αντιπροσωπεύει το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας που είναι αναγκαία για την αδιάλειπτη τροφοδοσία του συστήματος φωτισμού για έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας. Όπως αναφέρθηκε ο κύκλος λειτουργίας δεν είναι σταθερός οπότε η στάθμη ασφαλείας μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή ώστε να αντιπροσωπεύει τις πραγματικές ανάγκες για ενέργεια σε κάθε περίπτωση.

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της κατάλληλης πηγής τροφοδοσίας για το σύστημα φωτισμού. Αυτό γίνεται μέσω ενός διακόπτη που ελέγχεται από την μονάδα ελέγχου και επιλέγει μεταξύ της εξόδου του inverter και της τάσης του δικτύου. Παράλληλα γίνεται και ο έλεγχος της λειτουργίας του φορτιστή του συσσωρευτή. Σε περιπτώσεις μεγάλης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχει μεγάλη περίσσεια σε ηλιακή ενέργεια. Στην περίπτωση αυτή ο συσσωρευτής φορτίζεται σε μικρότερο σχετικά χρόνο. Η μονάδα ελέγχου σταματά την διαδικασία της φόρτισης σε ένα επίπεδο ασφαλείας τέτοιο ώστε αφενός να εξασφαλίζεται η αυτονομία του συστήματος, αφετέρου να προστατεύεται ο συσσωρευτής από συνεχή φόρτιση που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσής της και του χρόνου ζωής της.

6 Η αυτονομία του συστήματος

6.1 Έλεγχος αυτονομίας

Η αυτονομία του συστήματος αντιπροσωπεύει την δυνατότητα που έχει να λειτουργεί μόνο με την χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας που συλλέγει σε μία ή και περισσότερες ημέρες του έτους. Η αυτονομία του συστήματος υπολογίζεται με βάση την δυνατότητα ισχύος του συστήματος, την συνολική κατανάλωση του φωτιστικού σώματος καθώς και την βοήθεια της μονάδας ελέγχου. Υπολογισμός της αυτονομίας σε ημέρες ανά έτος μπορεί να γίνει με την βοήθεια στατιστικών υπολογισμών για το έτος 2001 στο οποίο έχουν γίνει και οι προηγούμενοι υπολογισμοί του συστήματος. Η αντιπροσωπευτικότητα του συγκεκριμένου έτους δίνει την δυνατότητα να εξαχθούν συμπεράσματα ικανά να προσομοιάσουν την συμπεριφορά του συστήματος για να οποιοδήποτε έτος λειτουργίας υπό φυσιολογικές συνθήκες (κλιματολογικές, λειτουργικές κλπ). Η συνολική κατανάλωση του συστήματος φωτισμού είναι αυτή που καθορίζει το ποσοστό της αυτονομίας.

6.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας

Πρωταρχικός σκοπός αυτής της μελέτης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος φωτισμού που κάνει χρήση της ηλιακής ενέργειας με σκοπό να εξοικονομηθεί ηλεκτρική ενέργεια και με ό,τι αυτό συνεπάγεται για το περιβάλλον. Στην παράγραφο αυτή γίνεται ο έλεγχος για το πόση τελικά ενέργεια είναι σε θέση να εξοικονομήσει το σύστημα. Οι υπολογισμοί αναφέρονται, όπως γίνεται κατανοητό, στο έτος 2001 αλλά εύκολα δίνουν μια τάξη μεγέθους των δυνατοτήτων του συστήματος.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την χρήση του φωτοβολταϊκού συστήματος φωτισμού υπολογίζεται με βάση την ενέργεια που θα καταναλώνει το ίδιο σύστημα φωτισμού αν λειτουργούσε μόνο με τροφοδοσία από το ηλεκτρικό δίκτυο. Για το σύνολο του έτους το σύστημα με τροφοδοσία από το δίκτυο χρειάζεται $44\text{W} \cdot 365\text{Ημέρες} \cdot 11\text{h} = 176\text{kWh/έτος}$.

7 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Όλη η μελέτη που παρουσιάζεται στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρεται στην θεωρητική προσέγγιση και ανάπτυξη του συστήματος. Το επόμενο βήμα, που δεν αποτελεί βέβαια μέρος της παρούσας μελέτης, είναι η δοκιμή στην πράξη του συστήματος που έχει αναπτυχθεί. Αυτό αναφέρεται στην κατασκευή του συστήματος, την τοποθέτησή του σε κατάλληλο εξωτερικό χώρο και την πιλοτική του εφαρμογή. Η προτεινόμενη περίοδος της δοκιμαστικής λειτουργίας είναι τουλάχιστον 2 έτη για να είναι το δείγμα αντιπροσωπευτικό. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας πρέπει να γίνεται καταγραφή των ηλεκτρικών και φωτομετρικών μεγεθών του φωτοβολταϊκού συστήματος και του συστήματος φωτισμού και η συγκέντρωσή τους σε βάση δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία.

Παράλληλα με την δοκιμαστική λειτουργία του συστήματος πρέπει να γίνει και εξέλιξη του υπάρχοντος συστήματος βελτιώνοντας το κάθε μέρος του ή εφαρμόζοντας νέες ιδέες πάνω σε αυτό. Αυτό συνιστά στην έρευνα για νέους λαμπτήρες περισσότερο αποδοτικούς που πιθανότατα θα εμφανιστούν στο μέλλον, φωτοβολταϊκά πάνελ με καλύτερο συντελεστή απόδοσης, εύκαμπτα πάνελ και άλλα. Με την μελέτη των αποτελεσμάτων της δοκιμαστικής λειτουργίας θα γίνει φανερή η απόδοση του συστήματος στην πράξη καθώς και αν υπάρχουν σημεία που μπορούν να βελτιωθούν με νέα υλικά και εφαρμογές.

8 Βιβλιογραφία

- [01] R.Barlow, J.P. Louineau, P.L. Fraenkel, “*Design of PV Lighting systems for developing countries*”, 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting
- [02] Trinh Quang Dung, Le Hoang To, “*Photovoltaic lighting in the rural development of Vietnam*”, 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting
- [03] D.G.D.C. Wijeratna, “*Rural Lighting With SPV systems: Sri Lankan experience and strategy for development*”, 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting
- [04] J. Moesslein, “*Photovoltaics in the light of sustainable development and qualitative growth*”, Photovoltaic Energy Conversion, 1994., Conference Record of the 24th, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1, pp. 788-791, 1994.
- [05] N.P. Singh, B. Bhargava, “*Photovoltaic powered lights for Indian villages*”, Photovoltaic Specialists Conference 1990, Conference Record of the 21st IEEE, Vol. 2, pp. 991-993, 1990.
- [06] R Barlow, J.P. Louineau, P.L. Fraenkel: “*Design of PV Lighting Systems for Developing Countries*” Proceeding of 3th Right Light Conference, Newcastle, UK, 1995
- [07] Βόκας Γεώργιος, “*Φωτοβολταϊκά Κύτταρα και Εφαρμογές*”, Σημειώσεις σεμιναρίου, εκδόσεις ΕΜΠ, 2001.
- [08] *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*, Κ. Καγκαράκη, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
- [09] ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ : <http://www.rae.gr/>
- [10] Androutsos A.I., P.G. Pligoropoulos, E.K. Bakis 2001, “*Beyond Kythnos Island - Advanced Autonomous Power Supply Systems with High Wind and Solar Penetration*”, Proceedings of NTUA/RENES International Conference “Renewable Energies for Islands - Towards 100% RES Supply”, Chania, Greece, June 14-16, 2001.
- [11] Πληγορόπουλος Π., Ε. Καλαγκιά, Γ. Βέργος, Α. Ανδρούτσος 1992, “*Στοιχεία Λειτουργίας Φ/Β Σταθμού Αρκών. Αξιολόγηση Λειτουργίας του - Μελλοντικές Προοπτικές*”, Δ' Εθν. Συνέδριο “*Ηπιες Μορφές Ενέργειας*”, Ξάνθη, 6-8 Οκτωβρίου 1992, ΙΗΤ, ΑΠΘ, Τομ. Β, σ. 14-21.
- [12] “*Photovoltaic Technologiew and their Future Potential*” EAB-OPET.
- [13] M. S. Rea, “*Lighting Handbook*”, Illuminating Engineering Society (IES) of North America, 9th ed., New York, 2000.
- [14] Commission Internationale de l' Eclairage, “*Design methods for lighting of roads*”, publication CIE No.132, 1999.
- [15] *British Standard BS 5489*: http://www.oxfordshire.gov.uk/annex_2-2.pdf
- [16] “*Urban design standards manual*”, Street lighting, 1998.
- [17] Commission Internationale de l' Eclairage, “*Glare and uniformity in road lighting installations*”, publication CIE No.31, 1990.
- [18] *OPTICS FOR STREETLIGHTING*: <http://www.eskimo.com/~jrterry/optics.Html>

- [19] *Light pollution*: <http://www.darksky.org/links/lighpoll.html>
- [20] Φ. Β. Τοπαλής, “ Φωτοτεχνία, Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1994.
- [21] OSRAM: <http://www.osram.com/>

