



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ –1314

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ**



**ΚΟΛΤΟΥΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΧΟΙΝΑΣ
ΠΑΤΡΑ-2013**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ:

ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΩΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΟΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ**

TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY RESEARCH OF
PHOTOVOLTAIC INSTALLATION FOR INTERCONNECTED
RESIDENTIAL SYSTEM

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΩΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΝΟΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΙΣΧΥΟΣ 10KW, ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ. ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΘΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ ΤΟΣΟ Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙ ΟΣΟ ΚΑΙ Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.

Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΜΕΤΑΞΥ ΑΛΛΩΝ ΤΗΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ. ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ, Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ. ΕΠΕΙΔΗ, ΣΕ ΕΝΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Η ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΩΛΗΘΕΙ ΕΑΝ

ΕΧΟΥΜΕ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ, Ο ΚΥΡΙΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΙ ΕΣΟΔΑ, ΠΟΥ ΔΙΝΟΥΝ ΤΗΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΤΕΙ ΤΟ ΕΡΓΟ ΩΣ ΕΝΑ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΕΠΩΣ ΘΑ ΓΙΝΕΙ Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΔΙΟΤΙ Η ΟΙΚΙΑ ΘΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .

ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΑΝΑΛΥΟΝΤΑΙ ΟΛΟΙ ΕΚΕΙΝΟΙ ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ, ΟΠΩΣ : ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ, ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΥΨΟΣ ΕΓΓΥΗΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ ΠΩΛΗΣΗΣ, ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ, ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ. ΑΚΟΛΟΥΘΩΣ, ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΟΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ ΟΠΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ. ΤΕΛΟΣ, ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΙΣ ΚΑΘΑΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ, ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΕΙΣΠΑΡΕΗΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ , ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΒΓΑΙΝΟΥΝ ΤΑ ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
1. Ο ΗΛΙΟΣ ΓΕΝΙΚΑ	9
1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	9
1.2. ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ	11
1.3. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	12
1.4. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	14
1.5. ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	16
1.6. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	19
1.7. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	21
1.8. ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	22
2. ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ	24
2.1. ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΕΙΞΗΣ	26
2.2. ΔΙΟΔΟΣ ΕΠΑΦΗΣ	28
3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ	30
3.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	32
3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	33
3.3. ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	35
3.4. ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	38
3.5. ΙΣΧΥΣ ΔΙΧΜΗΣ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	38
3.6. ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	39
3.7. ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΛΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	41
3.8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ	41
4. ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟ	42
4.1. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ	43

4.2.	ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	44
4.3.	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	45
4.4.	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ.....	48
5.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΕΙΣ	49
5.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	49
6.	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	50
6.1.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	52
7.	ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	53
7.1.	ΒΗΜΑ 1^ο : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΙΧΜΗΣ (ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ) $P_{p\Sigma}$ ΤΗΣ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ Β ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	54
7.2.	ΒΗΜΑ 2^ο : ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΤΑΣΕΩΣ DC –AC (INVERTER).....	61
7.3.	ΒΗΜΑ 3^ο : ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	65
7.4.	ΒΗΜΑ 4^ο : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	70
7.5.	ΒΗΜΑ 5^ο : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ.....	73
7.6.	ΒΗΜΑ 6^ο: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	74
7.7.	ΒΗΜΑ 7^ο : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ INVERTER ΣΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΙΝΑΚΑ (AC).....	74
7.8.	ΒΗΜΑ 8^ο : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	75
7.9.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	77

7.10.	ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΒ ΙΣΧΥΟΣ 10KW.....	80
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Ο ήλιος έχει λατρευτεί ως ζωοδότης για τον πλανήτη μας από τα αρχαία χρόνια. Οι βιομηχανική επανάσταση μας βοήθησε να κατανοήσουμε ότι οι ακτίνες του ήλιου είναι πηγή ενέργειας. Αυτή η ανακάλυψη δεν ήταν ποτέ τόσο σημαντική όσο σήμερα καθώς συνειδητοποιούμε ότι η εκμετάλλευση των παραδοσιακών πηγών ενέργειας ίσως επηρεάσει το περιβάλλον που ζούμε...

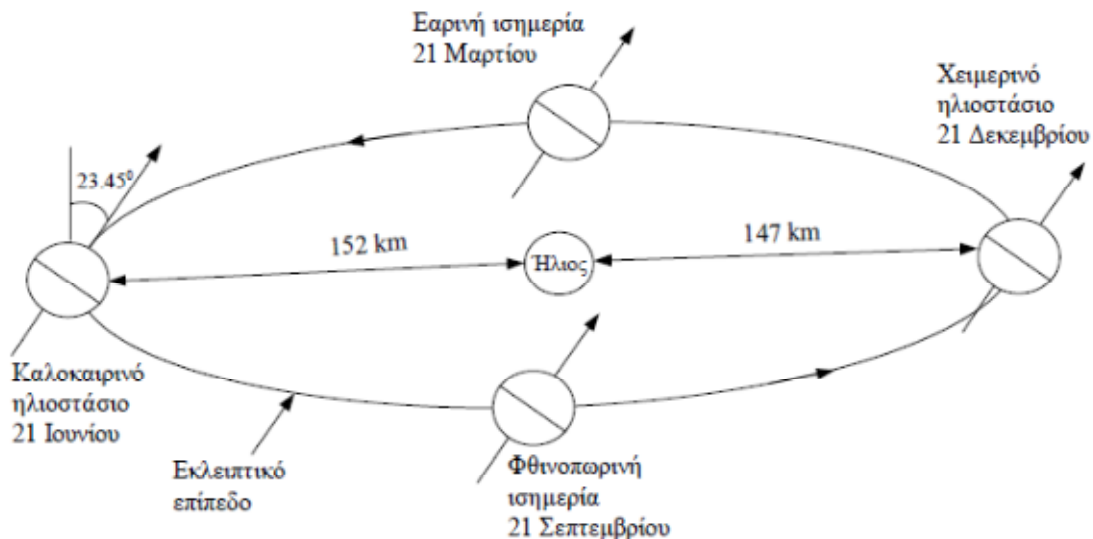
Ο ΗΛΙΟΣ ΓΕΝΙΚΑ

ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ :

Πριν από πέντε δισεκατομμύρια χρόνια, όταν η εξέλιξη ενός αρχέγονου νέφους δημιούργησε τον ήλιο, ο χώρος γύρω του φωτίστηκε με την ενέργεια, που άρχισε να ελκύει ο νέος αστέρας. Στη γειτονιά του θερμού πια αστέρα, δημιουργήθηκαν οι πρώτοι πλανήτες από τα υπόλοιπα της ύλης του νέφους, που δεν είχαν συμβάλει στη δημιουργία του ήλιου.

Η Γή, ένας από τους 9 μεγάλους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, περιφέρεται γύρω από τον ήλιο με περίοδο 365,25 ημερών σε ελαφρώς ελλειπτική τροχιά. Το επίπεδο της τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο τέμνει την ουράνια σφαίρα, που είναι μια σφαίρα με κέντρο τον εκάστοτε παρατηρητή και αυθαίρετα μεγάλη ακτίνα, κατά ένα μέγιστο κύκλο (Σχ.1.1), που ονομάζεται εκλειπτική. Η διάμετρος της ουράνιας σφαίρας, που είναι κάθετη προς την εκλειπτική ονομάζεται άξονας της εκλειπτικής και σχηματίζει γωνία $23,45^\circ$ με τον άξονα περιστροφής της Γής. Η γωνία αυτή ονομάζεται λόξωση της εκλειπτικής ή απόκλιση.

Σχήμα 1.1: Περιφορά της Γής γύρω από τον ήλιο.



Εκτός από την περιφορά της γύρω από τον ήλιο, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της με σχεδόν σταθερή γωνιακή ταχύτητα, εκτελώντας μία πλήρη περιστροφή σε 24 ώρες περίπου. Είναι λοιπόν, προφανές ότι η περιφορά της γής γύρω από τον ήλιο εξασφαλίζει τη διαδοχή των εποχών και περιστροφή γύρω από τον άξονά της εξασφαλίζει τη διαδοχή ημέρας και νύχτας.

Ορίζοντας ενός τόπου είναι το επίπεδο, που εφάπτεται της σφαιρικής Γής στο σημείο του τόπου. Η κατακόρυφη διεύθυνση σε ένα τόπο είναι πάντοτε κάθετη προς τον ορίζοντα του τόπου και τέμνει την ουράνια σφαίρα σε δύο σημεία. Το σημείο, που βρίσκεται πάνω από τον

ορίζοντα του τόπου ονομάζεται Ζενίθ και είναι πάντοτε ορατό, ενώ το αντιδιαμετρικά αντίθετο ονομάζεται Ναδίρ και βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα.

Για τον προσδιορισμό της θέσης σημείων πάνω στην επιφάνεια τη Γης χρησιμοποιούνται οι γεωγραφικές συντεταγμένες . Στο σύστημα αυτό ως βασικοί κύκλοι λαμβάνονται ο ισημερινός της Γης και ο μεσημβρινός, που διέρχεται από την πόλη Γκρήνουιτς κοντά στο Λονδίνο. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες ενός τόπου είναι το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος. Γεωγραφικό πλάτος ϕ ονομάζεται η διεδρη γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της κατακόρυφου του τόπου και το γήινο ισημερινό. Μετριέται πάνω στο μεσημβρινό του τόπου και παίρνει τιμές από 90° βόρεια έως 90° νότια του ισημερινού. Γεωγραφικό μήκος λ ονομάζεται η γωνία, που σχηματίζεται από το μεσημβρινό του τόπου και το μεσημβρινό του Γκρήνουιτς. Μετριέται πάνω στον ισημερινό και παίρνει τιμές από -180° δυτικά του μεσημβρινού του Γκρήνουιτς.

Για τον προσδιορισμό της θέσης των ουράνιων σωμάτων χρησιμοποιούνται οι σφαιρικές συντεταγμένες , που είναι το αζιμούθιο και η γωνία ύψους. Αζιμούθιο α ονομάζεται η γωνία, που σχηματίζεται από την προβολή της θέσης του ουράνιου σώματος στο επίπεδο του ορίζοντα και το Βορά. Μετριέται πάνω στον ορίζοντα και παίρνει τιμές $0^\circ - 180^\circ$ ανατολικά και $0^\circ - 180^\circ$ δυτικά Βορά. Γωνία ύψους γ ονομάζεται η γωνία μεταξύ του ουράνιου σώματος και του επιπέδου του ορίζοντα. μετριέται πάνω στον κατακόρυφο του ουράνιου σώματος και παίρνει θετικές τιμές 0° έως 90° από το επίπεδο του ορίζοντα προς το Ζενίθ και αρνητικές τιμές 0° έως -90° από το επίπεδο του ορίζοντα προς το Ναδίρ. Αντί της γωνίας ύψους, πολλές φορές χρησιμοποιείται η Ζενθία απόσταση Z , που είναι η συμπληρωματική της γωνία ($Z=90^\circ - \gamma$) και μετριέται επίσης πάνω στην κατακόρυφο του ουράνιου σώματος από 0° έως 180° , με αρχή το Ζενίθ του παρατηρητή.

Η διερεύνηση των συνθηκών ηλιασμού ενός κτιρίου, προϋποθέτει τη γνώση της διεύθυνση των ηλιακών ακτινών σε διαφορετικές ώρες και ημέρες του έτους, ως προς ένα σημείο K στο οποίο υποτίθεται ότι βρίσκεται το κτίριο. Η φαινόμενη διαδρομή του ήλιου ως προς το σημείο αυτό, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

Σύμφωνα με τα όσα αναπτύξαμε παραπάνω, η διεύθυνση των ηλιακών ακτινών μπορεί να βρεθεί και να αποτυπωθεί στα αρχιτεκτονικά σχέδια με τη βοήθεια του αζιμούθιου και της γωνίας ύψους του ήλιου, που συμβολίζοντας με α_s και γ_s αντίστοιχα.

Επειδή η φαινόμενη διαδρομή του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα αλλάζει κάθε ημέρα, η διεύθυνση των ηλιακών ακτινών, ως προς το σημείο K , είναι διαφορετική για κάθε ημέρα και ώρα του έτους. Στο βόρειο ημισφαίριο της Γης στις 21 Ιουνίου γίνεται η μεγαλύτερη φαινόμενη διαδρομή, οπότε έχουμε τη μεγαλύτερη ημέρα του έτους (θερινό ηλιοστάσιο). Αντίθετα, στις 21 Δεκεμβρίου γίνεται η μικρότερη φαινόμενη διαδρομή και έχουμε τη μικρότερη ημέρα του έτους (χειμερινό ηλιοστάσιο). Τέλος, στις 21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου η φαινόμενη διαδρομή του ήλιου ξεκινά ακριβώς από την Ανατολή και καταλήγει ακριβώς στη Δύση, οπότε η μέρα και η νύχτα έχουν την ίδια διάρκεια (ισημερινές). Ο ήλιος λοιπόν δεν ανατέλλει πάντοτε από την Ανατολή και δεν δύει πάντοτε στη Δύση, γιατί στην πραγματικότητα, η διαδρομή Ανατολή- Δύση ισχύει μόνο για δύο ημέρες κάθε έτος.

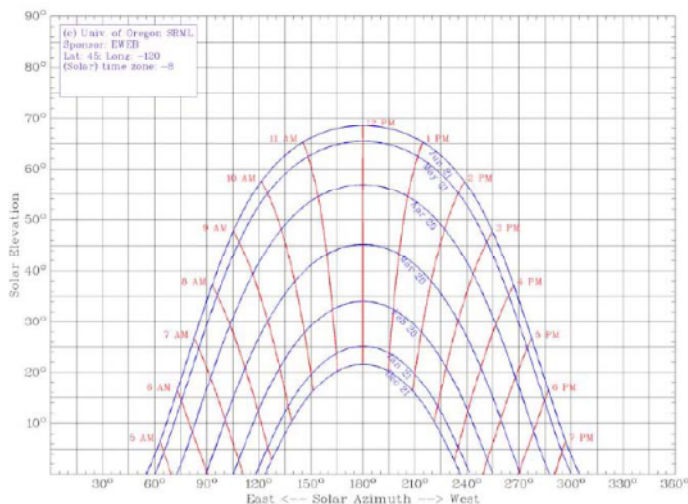
ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Η ορθή προβολή της τροχιάς του ήλιου στη διάρκεια ενός έτους, όπως φαίνεται από τη Γη, ονομάζεται ηλιακός χάρτης. Ο χάρτης αυτός προσδιορίζει τη θέση του ήλιου οποιαδήποτε ώρα της ημέρας κάθε μήνα (συνήθως την 21 του μήνα), στο συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου.

Η Ελλάδα, από τα νότια της Κρήτης μέχρι τα Βόρεια σύνορά της, βρίσκεται μεταξύ 32° και 41° βόρειο γεωγραφικό πλάτος. Οι ηλιακοί χάρτες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν απεικονίζονται στα σχήματα 8 – 10. Η κάτω οριζόντια ευθεία (τετμημένη) προσδιορίζει το αζιμούθιο α_s του Ήλιου ως προς τον Νότο, που βρίσκεται στο κέντρο. Η κάθετη ευθεία (τεταγμένη) προσδιορίζει τη γωνία ύψους γ_s του ήλιου για όλες τις ώρες της ημέρας και για όλους του μήνες.

Αν, λοιπόν, θέλουμε να προσδιορίσουμε τις γωνίες του ήλιου για την 21^η Δεκεμβρίου στις 10 π.μ. σε ένα τόπο με βόρειο γεωγραφικό πλάτος $\phi=40^\circ$, ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

Σχήμα 1.2: Ηλιακός χάρτης.



- Επιλέγουμε τον ηλιακό χάρτη που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος
- Βρίσκουμε την τροχιά ήλιου της 21^{ης} Δεκεμβρίου και την καμπύλη της ώρας 10 π.μ.
- Από το σημείο τομής της τροχιάς του ήλιου και της καμπύλης της ώρας, χαράζουμε κάθετη ευθεία προς την τετμημένη. Προκύπτει αζιμούθιο ήλιου $\alpha_s = 30^\circ$ ανατολικότερα του Νότου.
- Από το παραπάνω σημείο τομής χαράζουμε οριζόντια ευθεία κάθετη προς την τεταγμένη. Προκύπτει γωνία ύψους ήλιου $\gamma_s = 30^\circ$.

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ : ΓΕΝΙΚΑ

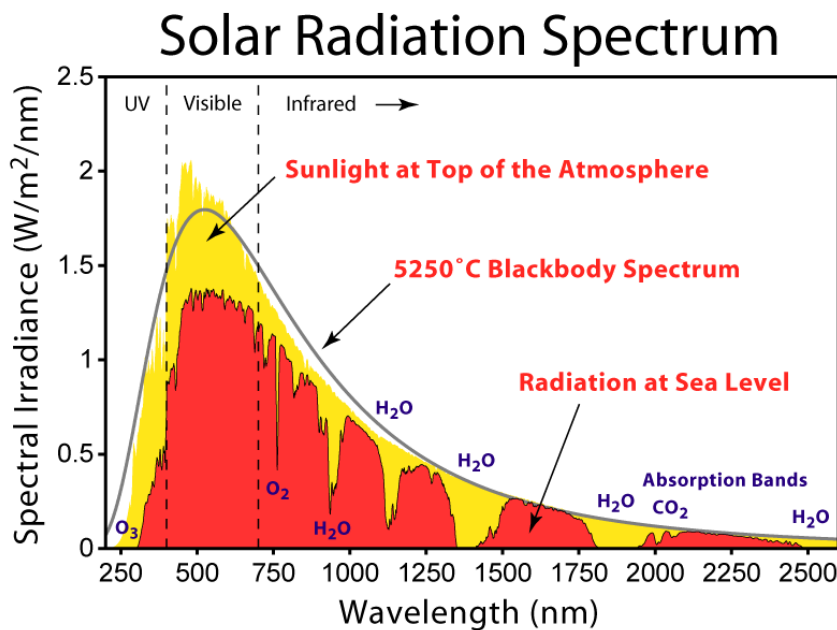
Ο ήλιος είναι ένας αστέρας με μάζα $2 * 10^{30}$ kg, ακτίνα 700.000 km, ηλιακή 5 δισεκατομμύρια χρόνια και προσδιορισμό χρόνο ζωής άλλα τόσα χρόνια περίπου. Η επιφανειακή θερμοκρασία του εκτιμάται σε 5.800 K, η θερμοκρασία του πυρήνα του σε 14.000.000 K και η μέση απόσταση από τη Γή είναι 150.000.000 km.

Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως , με την ταχύτητα των 300.000 km/s , απαιτούνται περίπου 8,5 min.

Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Αυτές μετατρέπουν κάθε δευτερόλεπτο 564 εκατ. Τόνους υδρογόνου. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια. Υπολογίζεται ότι από τη μετατροπή 1 g υδρογόνου σε ήλιο παράγεται ενέργεια ίση με $1,67 * 10^5$ kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, άλλα και με σωματιδιακή μορφή. Η σωματιδιακή ακτινοβολία αποτελείται από πλευράς ενεργειακής εκμετάλλευσης. Τέλος, η ηλιακή ενέργεια που εκπέμπεται σε 20 min είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνεται ο πληθυσμός της Γής σε ένας ολόκληρο χρόνο.

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος, προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μελανού σώματος θερμοκρασίας 5.800 K. Στην επιφάνεια της γης το ηλιακό φως αποκτά τελικά μία πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή (Σχ.1.3), η οποία οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει.

Σχήμα 1.3 : Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας (γράφημα κατανομής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος).



Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη – ήλιου σε ένα ηλιακό σύστημα, ονομάζεται ηλιακή σταθερά του πλανήτη. Στο ηλιακό μας σύστημα η ηλιακή σταθερά της γής είναι 1367 W/m^2 .

Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταδίδεται με τη μορφή διακεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα φωτός. Τα φωτόνια κινούνται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ($c = 300.000 \text{ km/s} = 3 * 10^8 \text{ m/s}$) και κάθε ένα από αυτά μεταφέρει ενέργεια E .

$$E = h * \nu = h * c/\lambda \text{ [j]}$$

Όπου $h = 6,67 * 10^{-34} \text{ j*s}$ (σταθερά του Planck), $\nu \text{ [s}^{-1}\text{]}$ η συχνότητα της ακτινοβολίας και $\lambda \text{ [m]}$ το μήκος κύματος. Δεδομένου ότι το μήκος κύματος λ εκφράζεται συνήθως σε $[\text{nm}]$, όπου $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ και η ενέργεια φωτονίου $E \text{ se [eV]}$, η προηγούμενη σχέση γράφεται

$$E = 1240 / \lambda \text{ [eV]} \lambda \text{ [nm]}$$

Γενικά η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα σε ένα υλικό, οφείλεται στη διέγερση των ταλαντευόμενων ηλεκτρικών φορτίων του υλικού (ηλεκτρόνια – πυρήνες ατόμων) σε ανώτερες ενεργειακές καταστάσεις. Αν E_{Π} είναι η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός σώματος (Σχ13), E_A είναι το μέρος της που ανακλάται, E_{Δ} είναι το μέρος της που διαπερνά την επιφάνεια πρόσπτωσης και $E_{\text{ΑΠ}}$ το μέρος της E_{Δ} που απορροφάται από το υλικό του σώματος, μπορούμε να ορίσουμε τα παρακάτω μεγέθη :

$n = c_0 / c \text{ [-]}$ δείκτης διάθλασης υλικού

c_0 / c , ταχύτητα φωτός στο κενό και στο μέσο αντίστοιχα ($c_0 < c$)

- Απορροφητικότητα σώματος

$$A = E_{\text{ΑΠ}} / E_{\Pi} \text{ [-]}$$

- Ανακλαστικότητα σώματος

$$\rho = E_A / E_{\Pi} \text{ [-]}$$

- Διαπερατότητα σώματος

$$\tau = E_{\Delta} / E_{\Pi} \text{ [-]}$$

Σύμφωνα με τη διατήρηση της ενέργειας $a + \rho + \tau = 1$

Η συχνότητα της ακτινοβολίας δεν αλλάζει κατά τη διαδοχή του φωτός από ένα υλικό μέσο σε ένα άλλο, καθώς επίσης και κατά την ανάκλασή του στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων. Τέλος, η ταχύτητα του φωτός ορισμένου μήκους κύματος μέσα σε ένα μέσο, καθορίζεται από τη φύση του μέσου αυτού.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ελαττώνεται με το ύψος λόγω της συμπεριφοράς του αέρα και της ελάττωσης του βάρους του υπερκείμενου τμήματος της ατμόσφαιρας, το οποίο συμπίεζει το υποκείμενο αέριο στρώμα στο συγκεκριμένο ύψος.

Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης p με το ύψος δίνεται από τη σχέση.

$$p = p_0 * e * (-\rho_0 * g_0 * h) / p_0 \quad [\text{N/m}^2]$$

όπου :

p_0 [N/m^2] : ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της γης.

ρ_0 [kg/m^3] : πυκνότητα αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας ($h = 0$)

g_0 [m/s^2] : επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης

($g_0 = 9.81 \text{ m/s}^2$).

h [m] : ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Για μικρά ύψη μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται κατά $1 \text{ torr} = 133 \text{ Pa} = 1,33 * 10^{-3} \text{ bar}$ κάθε 10 m .

Εξετάζοντας την ατμόσφαιρα καθ' ύψος έχουμε τα ακόλουθα στρώματα:

- Τροπόσφαιρα

Αποτελεί το πρώτο στρώμα της ατμόσφαιρας και σε αυτό αναπτύσσονται τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως τα σύννεφα, οι άνεμοι, οι βροχές κ.λπ. Έχει πάχος $7 - 17 \text{ km}$ και η θερμοκρασία μειώνεται γραμμικά με το ύψος από τους 20°C (επιφάνεια της θάλασσας) στους -60°C (όρια στρώματος).

- Στρατόσφαιρα

Βρίσκεται πάνω από την Τροπόσφαιρα, έχει πάχος 30 km και η θερμοκρασία αυξάνεται από τους -60°C στους 0°C .

- Μεσόσφαιρα

Βρίσκεται πάνω από τη Στρατόσφαιρα, έχει πάχος 30 km και η θερμοκρασία μειώνεται από τους 0°C στους -90°C .

- Θερμόσφαιρα

Βρίσκεται πάνω από τη Μεσόσφαιρα, έχει πάχος 210 km και φτάνει σε ύψος 300 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Μέσα σε αυτήν η θερμοκρασία αυξάνεται εκθετικά από τους -90°C στους 1200°C .

- Εξώσφαιρα

Είναι το τελευταίο στρώμα πάνω από τα 300 km ύψος και η θερμοκρασία παραμένει στους 1200°C .

Το 99% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας βρίσκεται μέσα στα πρώτα 37 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, δηλαδή, στην Τροπόσφαιρα και τη Στρατόσφαιρα. Η Ιονόσφαιρα, που έχει μεγάλη σημασία για τις τηλεπικοινωνίες λόγω των ιονισμών ατόμων και ηλεκτρονίων τα οποία περιέχει, εκτείνεται από 80 – 500 km και βρίσκεται κατά ένα μέρος στη θερμοκρασία και κατά το υπόλοιπο στην Εξώσφαιρα.

Τα κύρια συστατικά των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας είναι το άζωτο (N) και το οξυγόνο (O_2) σε ποσοστά 78% και 21% κατ' όγκο αντίστοιχα στην επιφάνεια της θάλασσας. Εκτός αυτών, αλλά σε πολύ μικρότερα ποσοστά, υπάρχουν και άλλα αέρια όπως οι υδρατμοί (H_2O),

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), το μεθάνιο (CH_4) το όζον (O_3) κ.λπ.

Το όζον δημιουργείται από τη δράση των υπεριωδών ακτινών (UV)

Της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του ηλίου στα αέρια οξείδια του αζώτου και τους υδρογονάνθρακες, που περιέχονται στην τροπόσφαιρα. Συσσωρεύεται σε ένα στρώμα 20 – 40

km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και ο ρυθμός δημιουργίας του αυξάνεται πάνω από τις μεγάλες πόλεις, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε αυτές τις περιοχές. Έτσι, μαζί με άλλους ρύπους, συμβάλει δραστικά στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανησυχητική μείωση της πυκνότητας του όζοντος πάνω από ορισμένες περιοχές και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται τρύπα του όζοντος. Έτσι μειώνεται η δυνατότητα προστασίας των γήινων οργανισμών δεδομένου ότι το όζον απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διασπαστική δράση των χλωροφθορανθράκων (CFC), δηλαδή, των ουσιών εκείνων που χρησιμοποιούνται στην ψύξη, τους πυροσβεστήρες, τα προϊόντα ψεκάσμου (σπρέι), τα καθαριστικά κ.λπ. Μόλις οι χλωροφθοράνθρακες φτάσουν στη Στρατόσφαιρα, διασπώνται από την υπεριώδη ακτινοβολία και ελευθερώνουν το χλώριο (Cl). Στη συνέχεια κάθε άτομο χλωρίου διασπά πολλά μόρια όζοντος (O₃) που βρίσκονται εκεί, παράγοντας οξυγόνο.

ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

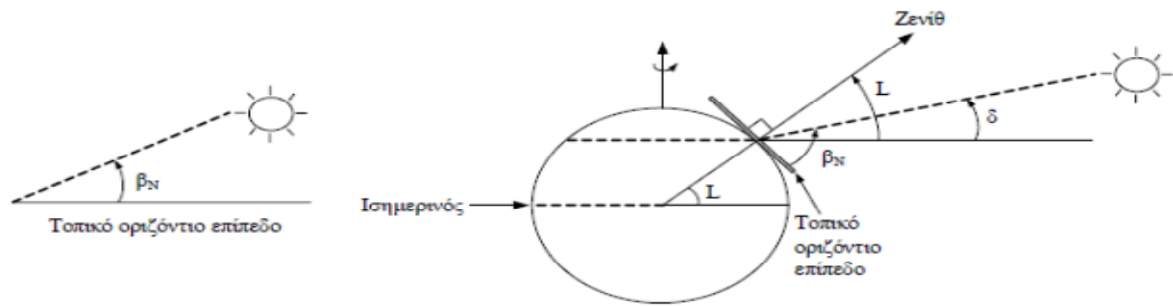
Η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει στην επιφάνεια της Γής, εξαρτάται από το υψόμετρο, τη γεωγραφική θέση, την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας, χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται μάζα αέρα AM (air mass) και υπολογίζεται από τη σχέση.

$$AM = 1 / \cos Z \quad [-]$$

Όπου $Z[^\circ]$ είναι η ζενίθια γωνία (Σχ 1.4), δηλαδή η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτινών και της διεύθυνσης του ζενίθ του τόπου. Μπορούμε, λοιπόν να πούμε ότι η μάζα αέρα δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της. Ορισμένες ενδεικτικές τιμές της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας δίνονται στο Πίνακα 1, ενώ τα αντίστοιχα φάσματα ακτινοβολίας φαίνονται στο σχήμα 1.5

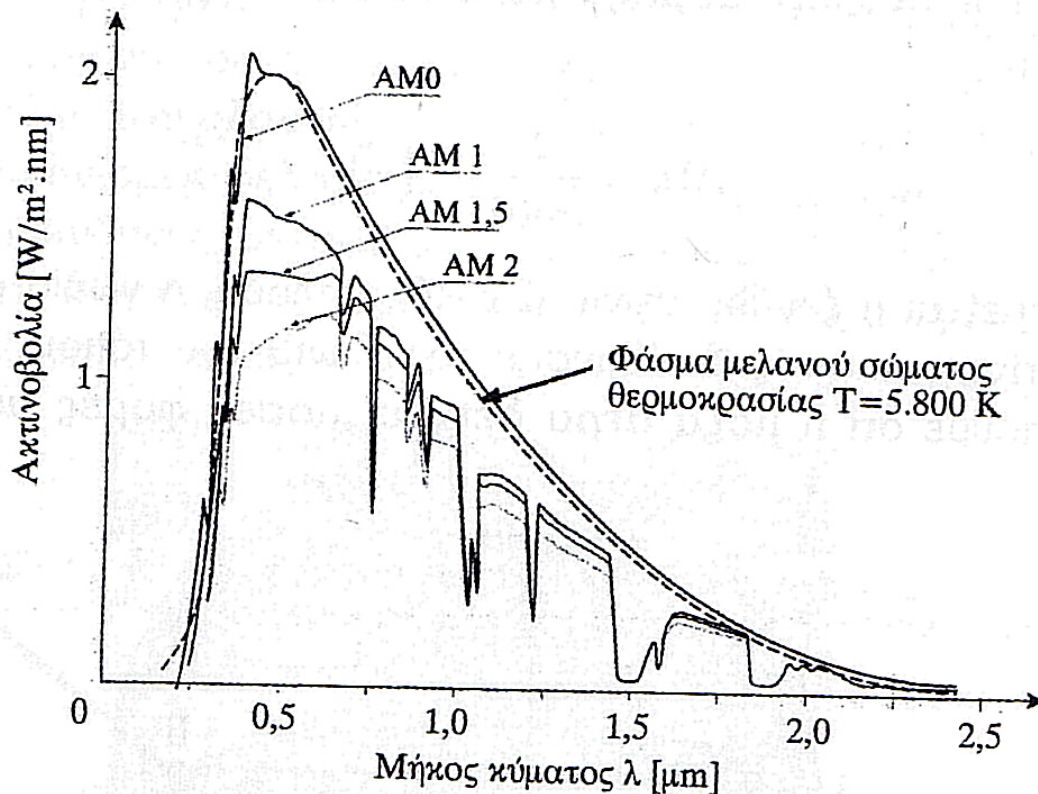
Σχήμα 1.4 : Πάχος ατμόσφαιρας H και μήκος διαδρομής ακτινών ηλίου L μέσα σε αυτήν.



ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΜΑΖΑ ΑΕΡΑ(AM)	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΙΣΧΥΣ [W/m ²]
AM0	Στο διάστημα σε απόσταση ίση με την απόσταση γης- ήλιου	1367
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ ($Z=0^\circ$)	1000
AM1,5	Ζενίθια γωνία $Z=48,19^\circ$	830
AM2	Ζενίθια γωνία $Z=60^\circ$	700

Σχήμα 1.5 : Φάσματα ηλιακής ακτινοβολίας.



Οι χαρακτηριστικές περιοχές της ατμόσφαιρας μέσω των οποίων διέρχεται με σχετικά μικρή απορρόφηση η ηλιακή ακτινοβολία, ονομάζονται φασματικά παράθυρα (ΦΠ).

- 1^ο ΦΠ ($\lambda = 0,4\text{ }\mu\text{m} - 2,5\text{ }\mu\text{m}$)

Στην περιοχή αυτή η απορροφητική δράση των αερίων της ατμόσφαιρας είναι μειωμένη, οπότε έχουμε την είσοδο του ηλιακού φωτός (ορατή περιοχή του φάσματος).

- 2^ο ΦΠ ($\lambda = 8\text{ }\mu\text{m} - 14\text{ }\mu\text{m}$)

Στην περιοχή αυτή η απορροφητική δράση των αερίων της ατμόσφαιρας είναι μειωμένη, οπότε εξέρχεται η ακτινοβολία που εκπέμπει η γη προς την ατμόσφαιρα, ως σώμα μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας 288 K (15°C). Δηλαδή η ακτινοβολία της γης απορροφάται ασθενικά στην περιοχή αυτή και το μεγαλύτερο μέρος της διαπερνά την ατμόσφαιρα ακτινοβολούμενο στο διάστημα. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι το διάστημα $8 - 14\text{ }\mu\text{m}$ είναι το παράθυρο για ψύξη της γης.

- 3^ο ΦΠ ($\lambda = 0,3 \text{ cm} - 30 \text{ m}$)

Η περιοχή αυτή επιτρέπει την ηλεκτρονική επικοινωνία των επίγειων σταθμών με το υπόλοιπο σύμπαν και τα διαστημικά οχήματα, δεδομένου ότι τα μικροκύματα και οι ραδιοσυχνότητες παίρνουν χωρίς απορρόφηση.

Τέλος, η ανθρώπινη όραση προκαλείται από τη δράση του φωτός σε μικροσκοπικά αισθητήρια όργανα, που βρίσκονται στον αμφιβληστροειδή του ματιού. Τα όργανα αυτά διακρίνονται στους κόνους και τα ραβδία. Οι κόννοι ευαισθητοποιούνται στην περιοχή μηκών κύματος 380 – 77- nm και τα αποτελέσματα χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα διάκρισης των χρωμάτων . Τα ραβδία ευαισθητοποιούνται σε συνθήκες πολύ χαμηλού φωτισμού και η καμπύλη ευαισθησίας τους είναι μετατοπισμένη προς μικρότερα μήκη κύματος. Έτσι η όραση με λίγο φως χαρακτηρίζεται από μειωμένη χρωματική απόδοση, ενώ η όραση στο σκοτάδι από σκούρο μπλε χρώμα για όλα τα αντικείμενα.

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Καθώς οι ηλιακές ακτίνες παίρνουν από τη γήινη ατμόσφαιρα, τα φωτόνια σκεδάζονται στους υδρατμούς, τη σκόνη, το καπνό και τα διάφορα σωματίδια. Ένα μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης και το υπόλοιπο διαχέεται προς το διάστημα . Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως για παράδειγμα η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται στα σύννεφα και στη συνέχεια διαχέεται προς το έδαφος.

Έτσι σε κάθε τόπο γης, και φυσικά σε κάθε ηλιακό συλλέκτη, φτάνουν τρεις συνιστώσες της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας :

- Η απευθείας ή άμεση B.
- Η διάχυτη D.
- Η διάχυτη ανακλώμενη από το έδαφος GR.

Η απευθείας και η διάχυτη ακτινοβολία εξαρτώνται από α) τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια (γωνία ύψους ήλιου), β) την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους και γ) την κατάσταση της ατμόσφαιρας (υγρασία, αιωρήματα κ.λπ.) Η διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από την πυκνότητα των νεφών και τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψης του. Ο συντελεστής διάχυτης ανάκλασης ονομάζεται albedo και φυσικά εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 : ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ (ALBEDO)

ΕΙΔΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	ALBEDO
Λίμνη, θάλασσα	0,05
Άσφαλτος	0,07
Χώμα	0,08
Γρασίδι	0,15
Άσφαλτος βρεγμένη	0,18
Βράχος	0,20
Τσιμέντο	0,24-0,30
Κεραμίδια	0,33
Χιόνι	0,60

Η ολική οριζόντια ακτινοβολία G , δηλαδή, η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία οριζόντια επιφάνεια, δίνεται από τη σχέση

$$G = B_n \cdot \cos Z + D \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Όπου :

$B_n \text{ [W/m}^2\text{]}$: απευθείας κάθετη ακτινοβολία (η επιφάνεια είναι προσανατολισμένη κάθετα προς τις ακτίνες του ήλιου)

$D \text{ [W/m}^2\text{]}$: Διάχυτη ακτινοβολία στην επιφάνεια

$Z[^\circ]$: ζενίθια γωνία .

Η Απευθείας ακτινοβολίας B_n σε μία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ηλίου, είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την απευθείας ακτινοβολία B σε μία οριζόντια επιφάνεια. Αντίθετα, η διάχυτη ακτινοβολία D μπορεί να είναι προτιμότερο να εκμεταλλευτούμε το μέγιστο της διάχυτης ακτινοβολίας και γι' αυτό τοποθετούμε τον ηλιακό συλλέκτη σε οριζόντια θέση.

Τέλος, όταν αναφέρουμε στην ολική ή στην απευθείας ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας, όταν δηλαδή η ατμόσφαιρα δεν επιδρά στη διέλευση του φωτός, στα σύμβολα G και B χρησιμοποιούμε τον δείκτη ext από την αγγλική λέξη extraterrestrial, που σημαίνει πέραν της γης.

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Από το σύνολο της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας G_{ext} , που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας, το 70% περίπου τη διαπερνά και καταλήγει στην επιφάνεια της γης, ενώ το υπόλοιπο 30% σκεδάζεται προς το διάστημα.

Από το σύνολο της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας G που φτάνει στη γη, ένα μέρος απορροφάται από αυτήν με προφανές αποτέλεσμα τη θέρμανση της, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται και ξεπερνά την ατμόσφαιρα προς το διάστημα. Παράλληλα, η γη εκπέμπει προς την ατμόσφαιρα προς το διάστημα. Παράλληλα, η γη εκπέμπει προς την ατμόσφαιρα ακτινοβολία αντίστοιχη της επιφανειακής θερμοκρασίας της (15°C). όπως είδαμε παραπάνω μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας αυτής περνά μέσα από το 2^ο ΦΠ (φασματικό παράθυρο) προς το διάστημα, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τα αέρια της ατμόσφαιρας και , στη συνέχεια ακτινοβολείται προς το διάστημα και τη γη.

Η ύπαρξη λοιπόν των αέριων της ατμόσφαιρας (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 κ.λπ.), τα οποία έχουν περιορισμένη απορροφητική δράση στα μεγάλα μήκη κύματος δηλαδή, σε αυτά που αντιστοιχεί η ακτινοβολία της γης (μέγιστης σε $\lambda = 9,6 \mu\text{m}$), συμβάλλει στη διατήρηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας του πλανήτη μας στους 15°C . Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κανονικό φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων συστατικών της ατμόσφαιρας από την υπερβολική χρήση συμβατικών καυσίμων καθώς και η παρούσα των χλωροφθορανθράκων, προκαλούν σημαντική περιβαλλοντική αλλαγή που ονομάζεται κακό φαινόμενο του θερμοκηπίου και έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης, τα αέρια εμποδίζουν την αποβολή της γήινης ακτινοβολίας.

Οι επιπτώσεις από τη διατάραξη των περιβαλλοντικών συνθηκών στην επιφάνεια της γης είναι προφανείς, θα πρέπει, λοιπόν να ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα γνωρίζοντας ότι οι όποιες βελτιώσεις θα γίνουν αντιληπτές ύστερα από πολλά χρόνια λόγω της θερμικής αδράνειας της γης.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία, που φτάνει στη γη, μετρείται με τη βοήθεια οργάνων. Τα σπουδαιότερα όργανα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι τα ακόλουθα :

- Πυρανόμετρο

Αποτελείται από δύο πλάκες και ένα μεγάλο αριθμό θερμοηλεκτρικών ζευγών και μετράει την ολική ηλιακή ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda = 0,3 - 3 \mu\text{m}$. Η πάνω πλάκα έχει μαύρο χρώμα και θερμαίνεται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, ενώ εκείνη που βρίσκεται στο εσωτερικό παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Δύο ομόκεντρα κρυστάλλινα ημισφαίρια προστατεύουν την πάνω πλάκα από την υγρασία και την ψύξη λόγω αερίων ρευμάτων. Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη συνδέονται σε σειρά και οι μισές επαφές του είναι εντυπωμένες στην πάνω πλάκα και οι άλλες μισές στην κάτω. Ο μεγάλος αριθμός των θερμοηλεκτρικών ζευγών εξασφαλίζει τάση μερικών mV στα δύο ελεύθερα άκρα τους, έτσι ώστε να μπορεί να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο.

- Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στο πυροηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή στην ηλεκτρίση ενός διηλεκτρικού υλικού (μονωτή) όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και το παραγόμενο ρεύμα μετράται με ένα αμπερόμετρο.

- Βολτόμετρο

Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού (Si, Ge , Bi κ.λπ.) όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

- Φωτοδίοδος

Είναι μία δίοδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτιστεί στο εσωτερικό της παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετράται με τη βοήθεια αμπερομέτρου. Στο κύκλωμα, εκτός από τη δίοδο, περιλαμβάνονται μία ηλεκτρική πηγή και μία αντίσταση .

ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

ΓΕΝΙΚΑ

Κάθε στερεό σώμα αποτελείται από άτομα και κάθε άτομο περιλαμβάνει έναν πυρήνα και έναν αριθμό ηλεκτρονίων, που περιφέρονται γύρω από αυτόν. Ο πυρήνας φέρει θετικό ηλεκτρικό φορτίο του πυρήνα είναι ίσο και αντιθέτο με το αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων, τα οποία διατάσσονται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεκριμένους φλοιούς ή στοιβάδες. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας ονομάζονται ειδικότερα ηλεκτρόνια σθένους. Κάθε ηλεκτρόνιο σθένους έχει μία συγκεκριμένη ενέργεια δηλαδή, βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη στάθμη ενέργειας.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα σώμα. Ανάλογα με την ηλεκτρική της αγωγιμότητα, τα στερεά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες : α) μονωτές, β) αγωγούς γ) ημιαγωγούς.

Από την άποψη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς τα ηλεκτρόνια των ημιαγωγών είναι τριών ειδών:

- Ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων

Τα ηλεκτρόνια αυτά είναι τα λιγότερο ενεργά και δεν συμμετέχουν σε μηχανισμούς αγωγιμότητας.

- Ελεύθερα ηλεκτρόνια

Είναι τα ηλεκτρόνια που διαθέτουν αρκετή ενέργεια για να αποσπαστούν από τους δεσμούς του σώματος.

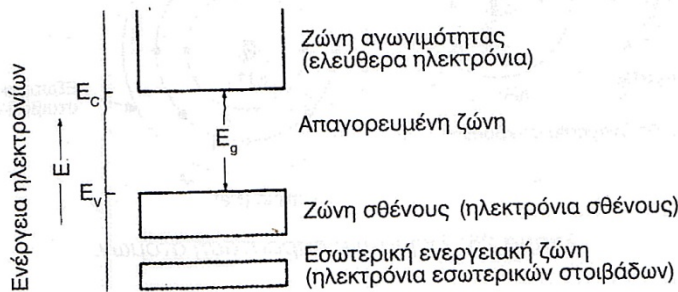
- Ηλεκτρόνια σθένους

Είναι τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας των ατόμων, τα οποία μπορούν να κινηθούν προς τις οπές γειτονικών δεσμών, που δημιουργήθηκαν επειδή τα εκεί ηλεκτρόνια σθένους εγκατέλειψαν τη θέση τους, ή να ανταλλάξουμε θέσεις με άλλα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών δεσμών.

Οι διάφορες ζώνες ενέργειας σε ένα ημιαγωγό φαίνονται στο σχήμα 2.1. Στο κάτω μέρος βρίσκεται η ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων των ατόμων. Στο μέσον βρίσκεται η ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων σθένους των ατόμων του ημιαγωγού, η οποία ονομάζεται ζώνη σθένους. Τέλος, στο πάνω μέρος έχουμε την ενεργειακή ζώνη των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δηλαδή, των ηλεκτρονίων που είναι

υπεύθυνα για την εκδήλωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό και ονομάζεται ζώνη αγωγιμότητας.

Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα ενεργειακών ζωνών σε ημιαγωγούς.



Η απόσταση ανάμεσα στις δύο πάνω ζώνες ονομάζεται ενεργειακό διάκενο E_g ή ενεργειακό χάσμα. Η ενέργεια της κορυφής της ζώνης σθένους συμβολίζεται με E_v και η ενέργεια του πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας με E_c . Έτσι, το ενεργειακό χάσμα E_g είναι η διαφορά μεταξύ της ενέργειας του λιγότερο ενεργού από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, στον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας, και της ενέργειας του περισσότερο ενεργού από τα ηλεκτρόνια σθένους, στην κορυφή της ζώνης σθένους ($E_g = E_c - E_v$). Είναι προφανές ότι το ενεργειακό χάσμα εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους και τη μετατροπή του σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Σε ένα απολύτως καθαρό σώμα, χωρίς προσμίξεις και με τέλειο κρυσταλλικό πλέγμα η περιοχή μεταξύ E_v και E_c ονομάζεται απαγορευμένη ενεργειακή ζώνη για τα ηλεκτρόνια. Κοντά στο απόλυτο μηδέν ($t=0$ K) το ενεργειακό χάσμα των ημιαγωγών κυμαίνεται από κλάσμα του eV έως 2,5 eV. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ($t=300$ K), το ενεργειακό χάσμα για διάφορους κρυσταλλικούς ημιαγωγούς είναι : 0,66 eV για το Γερμάνιο (Ge) 1,12 eV για το πυρίτιο (Si), 1,42 eV για το Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).

Τα ηλεκτρόνια σθένους των ημιαγωγών μπορούν να απορροφήσουν σημαντική ποσότητα φωτός. Η απορρόφηση καθορίζεται από το μέγεθος της ενέργειας των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού. Έχουμε, λοιπόν τρεις περιπτώσεις :

- $h \cdot \nu < E_g$

Η ενέργεια του φωτονίου $h \cdot \nu$ είναι μικρότερη από αυτή του ενεργειακού χάσματος του ημιαγωγού, οπότε το φωτόνιο δεν απορροφάται.

- $h \cdot \nu = E_g$

Η ενέργεια του φωτονίου είναι ίση με αυτή του ενεργειακού χάσματος, οπότε το φωτόνιο απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο σθένους του ημιαγωγού. Έτσι το ηλεκτρόνιο αυτό

δέχεται ενέργεια και ανεβαίνει ενεργειακά στη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μια οπή.

- $h \cdot \nu = E_g$

Η ενέργεια του φωτονίου είναι μεγαλύτερη από αυτή του ενεργειακού χάσματος, οπότε δημιουργείται ξανά ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής. Η περίσσεια ενέργεια $h \cdot \nu - E_g$ μεταφέρεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας ως κινητική ενέργεια, συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας του ημιαγωγού.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως όταν ένας ημιαγωγός φωτιστεί, τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στη ζώνη σθένους, που ονομάζονται και οι φορείς ρεύματος, αυξάνονται, οπότε τότε αυξάνεται και η αγωγιμότητα του. Η αύξηση της αγωγιμότητας ενός ημιαγωγού με την επίδραση του φωτός, ονομάζεται φωτοαγωγιμότητα. Τέλος, η διακοπή του φωτισμού του ημιαγωγού συνεπάγεται την επαναφορά της αγωγιμότητας στα αρχικά επίπεδα.

ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΕΙΞΗΣ

Σύμφωνα με τα όσα αναπτύξαμε στην προηγούμενη παραπάνω, όταν ένας ημιαγωγός φωτιστεί, τα φωτόνια μεταφέρουν την ενέργεια τους στα ηλεκτρόνια σθένους του ημιαγωγού, τα οποία κατορθώνουν τελικά να αποδεσμευθούν από την έλξη του πυρήνα τους. Καθώς ένα ηλεκτρόνιο απελευθερώνεται, δημιουργεί μία κενή θέση στον δεσμό, που κατείχε προηγουμένως. Η θέση αυτή ονομάζεται οπή. Αν καταφέρουμε να αποσπάσουμε το ηλεκτρόνιο αυτό έξω από τον ημιαγωγό, τότε ένα ηλεκτρόνιο γειτονικού ατόμου θα καταλάβει ένα άλλο ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο και ο μηχανισμός αυτός θα συνεχιστεί. Θα έχουμε, δηλαδή, μία κίνηση ηλεκτρονίων προς μία κατεύθυνση και μία κίνηση οπών προς την άλλη.

Για να κατανοήσουμε εύκολα αυτό το φαινόμενο μπορούμε να φανταστούμε ένα σταθμό αυτοκινήτων, όπου ένας οδηγός αλλάζει θέση και πηγαίνει το αυτοκίνητο του σε μία καλύτερη. Στη θέση που άφησε έρχεται ένα άλλο αυτοκίνητο. Τη θέση του αυτοκινήτου αυτού καταλαμβάνει ένα τρίτο αυτοκίνητο και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται. Παρατηρώντας τη σκηνή διαπιστώνουμε ότι έχουμε μία κίνηση αυτοκινήτων προς τη μία κατεύθυνση και μία κίνηση κενών θέσεων προς την άλλη.

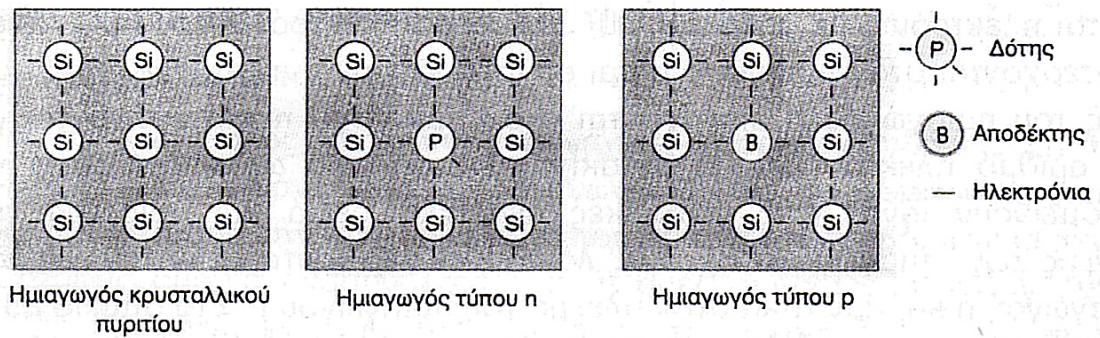
Η κίνηση των ηλεκτρονίων έξω από τον ημιαγωγό, Δηλαδή, η παραγωγή ρεύματος, εξασφαλίζεται με τους ημιαγωγούς πρόσμειξης. Οι αγωγοί αυτοί περιέχουν μέσα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα διασπαρμένα άτομα από επιλεγμένο διαφορετικό υλικό. Διακρίνουμε δύο τύπους τέτοιων ημιαγωγών:

- Ημιαγωγός τύπου n

Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό, αν αντικατασταθούν μερικά από τα άτομά του με άτομα άλλου υλικού μεγαλύτερου σθένους. Για παράδειγμα, αν μερικά άτομα κρυσταλλικού πυριτίου (Si) με σθένους 4 αντικατασταθούν με άτομα

φωσφόρου (P) σθένους 5, δημιουργείται ο ημιαγωγός τύπου n, Στον ημιαγωγό αυτό ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης δεν συμμετέχει σε δεσμό και είναι ελεύθερο (Σχ.2.2). Έτσι, ο ημιαγωγός τύπου n περιέχει περισσότερα ηλεκτρόνια από τον καθαρό αγωγό και τα άτομα της πρόσμειξης ονομάζονται δότες.

Σχήμα 2.2 : Σχηματισμός ημιαγωγών πρόσμειξης.



• ΗΜΙΑΓΩΓΟΣ ΤΥΠΟΥ p

Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό αν αντικατασταθούν μερικά από τα άτομά του, με άτομα άλλου υλικού μικρότερου σθένους. Για παράδειγμα, αν μερικά άτομα κρυσταλλικού πυριτίου (Si) με σθένος 4 αντικατασταθούν με άτομα Βορίου (B) σθένους 3, δημιουργείται ο ημιαγωγός τύπου p . Στον ημιαγωγό αυτό τα άτομα πρόσμειξης μπορούν να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο για να συμπληρωθεί ο ελεύθερος δεσμός (Σχ.2.2) και ονομάζονται αποδεκτές.

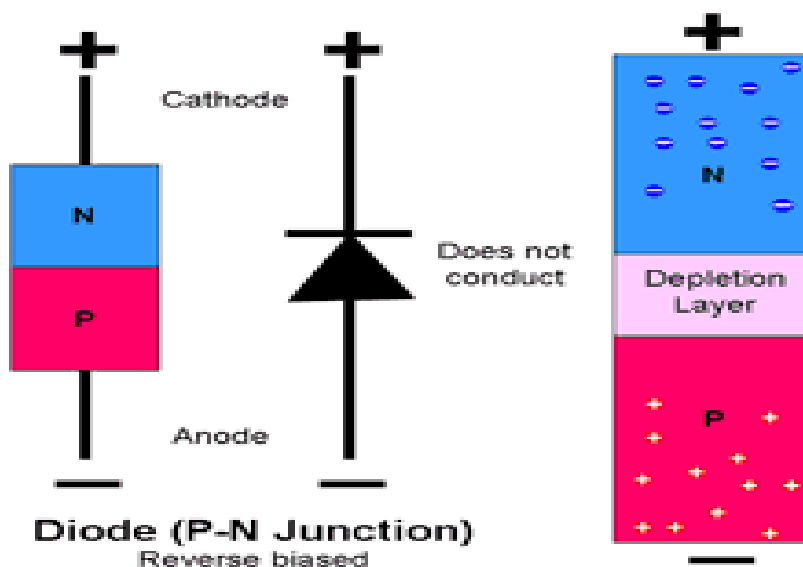
Τέλος, για τις ενεργειακές ζώνες των ημιαγωγών πρόσμειξης συμπληρώνεται με τις στάθμες δοτών και αποδεκτών , που τοποθετούνται μέσα στην απαγορευμένη ζώνη και σε αποστάσεις από τις ζώνες αγωγιμότητας και σθένους, όσες είναι οι αντίστοιχες ενέργειες για τη διέγερση των προσμείξεων.

ΔΙΟΔΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

Όταν φέρουμε σε επαφή έναν ημιαγωγό τύπου p με έναν ημιαγωγό τύπου n , δημιουργείται στη θέση επαφής μία ζώνη στην οποία εναλλάσσονται ηλεκτρόνια με οπές (Σχ.2.3). Ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού n εισέρχονται στον ημιαγωγό p και συμπληρώνουν αντίστοιχες οπές, ενώ οπές του ημιαγωγού p εισέρχονται στον ημιαγωγό n και ενώνονται με ίσο αριθμό ηλεκτρονίων, Η μετακίνηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να παραμείνουν ιόντα στις γειτονικές περιοχές, δεξιά και αριστερά της επαφής των ημιαγωγών. Έχουμε λοιπόν, θετικά ιόντα στην πλευρά του ημιαγωγού n και αρνητικά στην πλευρά του ημιαγωγού p. Στο σημείο αυτό υπενθυμίζουμε ότι ιόν ονομάζεται ένα άτομο που προσλάβει ή έχει απολέσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια.

Έτσι η πλευρά n αποκτά θετικό δυναμικό και η πλευρά p αρνητικό. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών εμποδίζει τη ροή ηλεκτρονίων από τον ημιαγωγό n στον ημιαγωγό p και οπών αντίστροφα. Έτσι, γύρω από τη θέση επαφής δημιουργείται μία ζώνη αντίστασης (Σχ.2.3), που απαγορεύει την ανταλλαγή ηλεκτρονίων – οπών και ονομάζεται περιοχή απογύμνωσης ή ζώνη φραγής.

Σχήμα 2.3 : Επαφή ημιαγωγού τύπου p με ημιαγωγό τύπου n.



Η παραπάνω διάταξη των ημιαγωγών p και n σε επαφή, ονομάζεται δίοδος επαφής ή κρυσταλλοδίοδος ή ημιαγωγική επαφή p-n. Η χαρακτηριστική της ιδιότητα είναι ότι όταν εφαρμοστεί στα άκρα της ηλεκτρική τάση κατά τη μία ή την άλλη φορά, έχει ηλεκτρικό ρεύμα διαφορετικής έντασης σε κάθε περίπτωση.

- **Πόλωση κατά την ορθή φορά :**

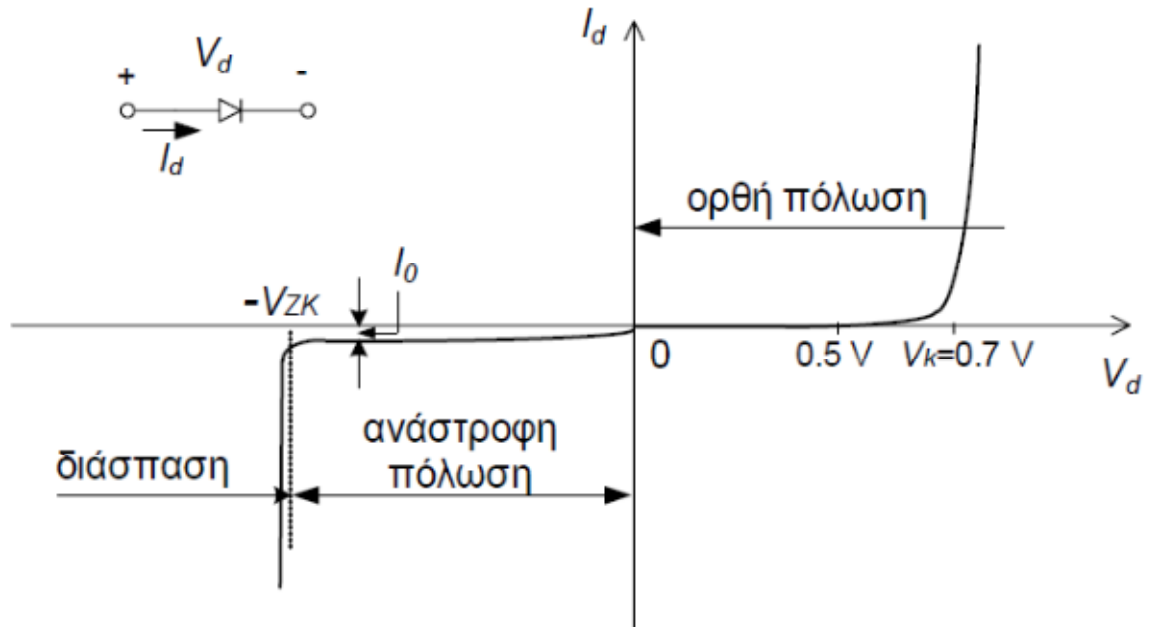
Ο θετικός πόλος της πηγής συνεχούς τάσεως συνδέεται με τον ημιαγωγό p και ο αρνητικός με τον αγωγό n προς την περιοχή ανεμπόδιστα από την πηγή διαμέσου του ημιαγωγού n προς την περιοχή της επαφής, όπου επανασυνδέονται με τις οπές, οι οποίες δημιουργούνται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής διαμέσου του ημιαγωγού p.

- **Πόλωση κατά την ανάστροφη φορά.**

Ο αρνητικός πόλος της πηγής συνεχούς τάσεως συνδέεται με τον ημιαγωγό p και ο θετικός με τον αγωγό n. Τότε, τα ηλεκτρόνια που έρχονται από την πηγή διαμέσου του ημιαγωγού p επανασυνδέονται με τις οπές του ημιαγωγού p, ενώ τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού n κινούνται προς το θετικό πόλο της πηγής.

Έτσι, κατά την ορθή πόλωση της διόδου επαφής καταργείται η ζώνη φραγής και επιτρέπεται η διέλευση ρεύματος από την επαφή των ημιαγωγών (Σχ.2.4). Αντίθετα, κατά την ανάστροφη πόλωση της διόδου επαφής η ζώνη φραγής και εμποδίζεται η διέλευσης ρεύματος από την επαφή των ημιαγωγών. Το μόνο ρεύμα που διέρχεται από τη δίοδο έχει μικρή και σταθερή τιμή I_0 , οφείλεται στις οπές του ημιαγωγού n και στα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού p και ονομάζεται ρεύμα κόρου. Η ιδιαιτερότητα αυτή της διόδου επαφής, δηλαδή, το γεγονός ότι επιτρέπει τη δίοδο ρεύματος προς μία μόνο κατεύθυνση, εφ' όσον πολωθεί κατά την ορθή φορά, δικαιολογεί απόλυτα τη χρήση της ως διάταξη ανόρθωσης για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές.

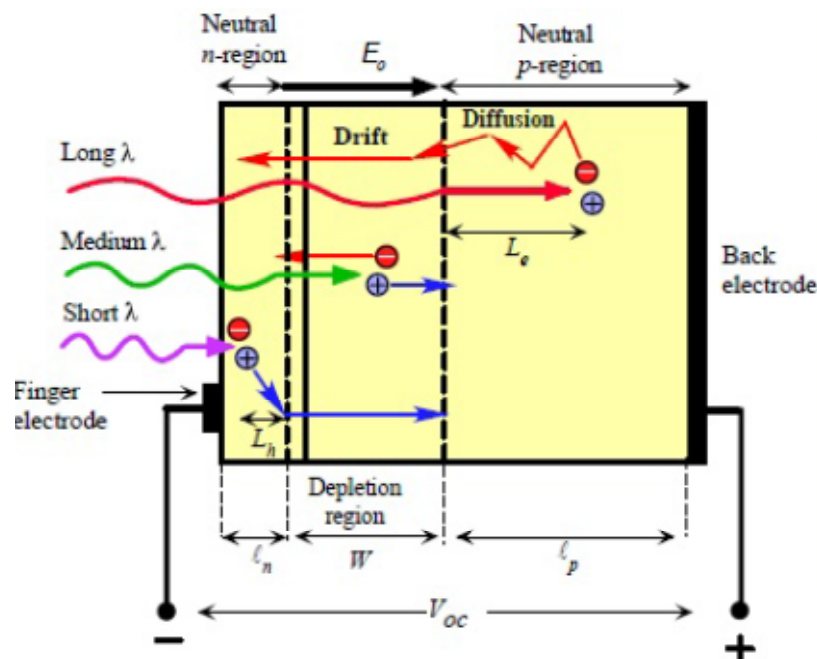
Σχήμα 2.4 : Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης – τάσης (I-V) διόδου επαφής.



ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ

Σύμφωνα με τα όσα έχουμε αναφέρει παραπάνω, όταν μία διόδος επαφής δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια $h \cdot \nu$ μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο, λοιπόν, διαρκεί η ακτινοβολία δημιουργείται μία περίσσεια από ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στην περιοχή της επαφής των ημιαγωγών, έχουμε εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n και εκτροπή των οπών προς τον ημιαγωγό p (Σχ.3.1). Δημιουργείται, δηλαδή μία διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών των δύο τμημάτων της διόδου, η οποία διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν και το γεγονός αυτό ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**. Η διάταξη αυτή, η οποία αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο (PVcell) και για λόγους ευκολίας γράφεται ΦΒ στοιχείο. Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται **φωτόρευμα**.

Σχήμα 3.1 :Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ΦΒ στοιχείο.



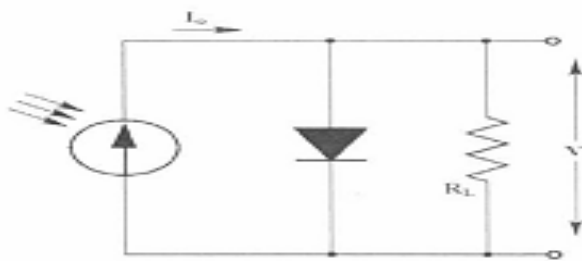
Το φωτόρευμα είναι ευθέως ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} [W/m^2], που προσπίπτει στο ΦΒ στοιχείο και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών.

Είναι προφανές ότι είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται το ΦΒ στοιχείο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του ΦΒ στοιχείου και διαχέεται προς την ατμόσφαιρα. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στο ΦΒ στοιχείο δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο αποτελείται από φωτόνια, που έχουν ενέργεια $h \cdot \nu$ μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, το ΦΒ στοιχείο, συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα, δηλαδή η αντίστοιχη ακτινοβολία το διαπερνά και απλά θερμαίνει το μεταλλικό ηλεκτρόδιο, που καλύπτει την πίσω όψη του. Ούτε όμως και το μέρος της ακτινοβολίας, που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού αξιοποιείται, γιατί μετατρέπεται σε θερμότητα. Τελικά, μόνο το μέρος της ακτινοβολίας της οποίας τα φωτόνια έχουν ενέργεια $h \cdot \nu = E_g$ αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γιατί τα φωτόνια αυτά απορροφώνται και αναγκάζονται τα ηλεκτρόνια του ΦΒ στοιχείου να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Και ως γνωστόν, **ηλεκτρισμός σημαίνει κίνηση ηλεκτρονίων**. Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή απορρόφησης α_λ , ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος λ της ηλιακής ακτινοβολίας και το υλικό. Είναι προφανές ότι ο συντελεστής απορρόφησης μηδενίζεται για μία κρίσιμη τιμή λ_g του μήκους κύματος ($\lambda_g = h \cdot \nu / E_g$), πάνω από την οποία το υλικό γίνεται διαπερατό, δηλαδή τα φωτόνια δεν απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Προκειμένου να μελετήσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός ΦΒ στοιχείου που δέχεται σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, θεωρούμε ότι αποτελεί μία πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από μία δίοδο επαφής (Σχ.35). Αν στο απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα τα άκρα της επαφής συνδεθούν με χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής, άρα πρακτικά μηδενικής αντίστασης, το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο και διαρρέεται από ρεύμα ίσο με το φωτόρρευμα, που ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} του ΦΒ στοιχείου (short-circuit-current). Αν τα άκρα της επαφής δεν συνδέονται μεταξύ τους, δηλαδή, έχουμε ανοιχτό κύκλωμα, η τάση στα άκρα ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του ΦΒ στοιχείου (open-circuit voltage).

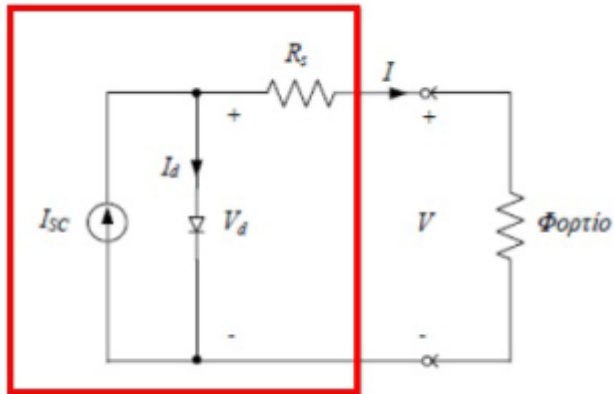
Σχήμα 3.2 : Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ στοιχείου.



Στην πραγματικότητα το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου (Σχ.3.3), περιλαμβάνει ακόμα δύο αντιστάσεις : α) Τη σειριακή αντίσταση R_s (series resistance), η οποία συνδέεται σε σειρά με τη δίοδο επαφής και αφορά στις αντιστάσεις κατά το πέρασμα του ρεύματος μέσα από τη δίοδο και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Β) την αντίσταση διαρροής R_{sh} (shunt resistance), η οποία συνδέεται παράλληλα με τη δίοδο επαφής και αφορά στη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής . Τα ΦΒ στοιχεία του εμπορίου έχουν συνήθως $R_s < 5 \Omega$ και $R_{sh} > 500 \Omega$.

Σχήμα 3.3 : Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ στοιχείου

Φ/Β στοιχείο



Συμπέρασμα :

Η λειτουργία ενός ΦΒ στοιχείου ομοιάζει με αυτή ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή, γιατί και οι δύο διατάξεις δίνουν ηλεκτρική ενέργεια. Στον ηλεκτρικό συσσωρευτή έχουμε χημικές αντιδράσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων και του διαλύματος και η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται στα ηλεκτρόδια. Η ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται με σταθερή ηλεκτρική τάση και ανάλογα με την κατανάλωση (αντίσταση) το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να έχει πολύ μικρή έως πολύ μεγάλη ένταση.

Αντίθετα, το Φβ στοιχείο έχει την ιδιότητα να διατηρεί σταθερή την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, προσαρμόζοντας την τάση στα άκρα της κατανάλωσης (αντίσταση). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης (μέγιστο αποδιδόμενο ρεύμα) ενός ΦΒ στοιχείου, που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία ισχύος 1kw/m^2 , είναι $I_{sc} = 30 - 40 \text{ mA/cm}^2$.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ηλεκτρικός συσσωρευτής είναι μία πηγή σταθερής ηλεκτρικής τάσεως και το ΦΒ στοιχείο μία πηγή σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙΜΥΛΗ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

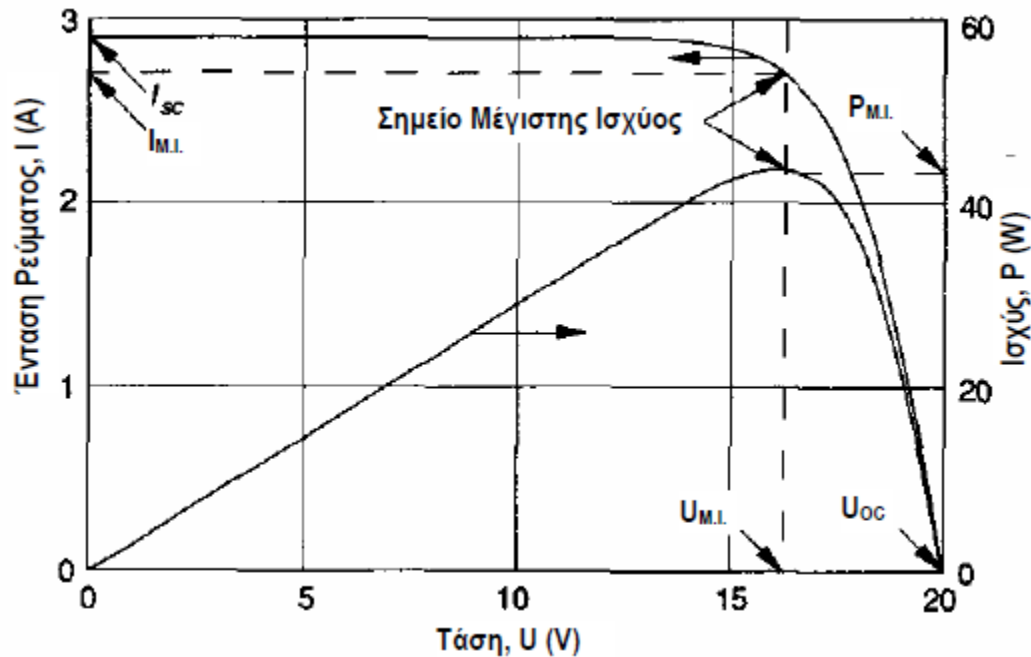
Σύμφωνα με τα όσα αναπτύξαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η τάση των ΦΒ στοιχείων μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν παραμένει σταθερή η ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται.

Όταν το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} και η ηλεκτρική τάση μηδενίζεται ($V=0$). Αντίθετα, όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται ($I=0$) και η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή V_{oc} .

Οι μεταβολές έντασης και τάσεως φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 3.4 με μια καμπύλη γραμμή που αποτελεί τη χαρακτηριστική καμπύλη του ΦΒ στοιχείου. Η καμπύλη αυτή ισχύει σε συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν (βραχυκύκλωμα) μέχρι άπειρη (ανοιχτό κύκλωμα). Είναι προφανές ότι ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η

τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές.

Σχήμα 3.4 : Χαρακτηριστική καμπύλη μέγιστης έντασης ρεύματος I – τάσεως V ενός ΦΒ στοιχείου.



Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτρική ισχύς P ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης I επί την τάση V ($P= V \cdot I$). Το γινόμενο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μέσα στην καμπύλη $I - V$ με πλευρές I_m και U_m , έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ P_m από το ΦΒ στοιχείο (Σχ.37). Άρα, εκτός από την τάση και την ένταση του ρεύματος, μεταβάλλεται ομαλά και η ηλεκτρική ισχύς P που παράγει το ΦΒ στοιχείο, με μέγιστη τιμή την P_m για ένα ορισμένο ζεύγος τιμών έντασης I_m και τάσεως U_m .

Το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με πλευρές I_{sc} (ρεύμα βραχυκύκλωσης) και V_{oc} (τάση ανοικτού κυκλώματος), που βρίσκεται εξωτερικά της καμπύλης $I - V$ στο σχήμα 3.4, περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του ΦΒ στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος. Το πηλίκων των εμβαδών των δύο παραλληλόγραμμων ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF του ΦΒ στοιχείου (Fill Factor) και δίνει το μέτρο προσέγγισης της λειτουργίας ενός στοιχείου προς την ιδανική συμπεριφορά.

$$FF = \frac{I_m * V_m}{I_{sc} * V_{oc}}$$

I_m, I_{sc}[A] V_m, V_{oc} [V]

Η τιμή του κυμαίνεται από 0 έως 1. Μια τιμή από 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζει ένα ΦΒ στοιχείο με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση.

ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Στις ακραίες καταστάσεις του βραχυκυκλωμένου και ανοιχτού κυκλώματος, όπου $V = 0$ και $I = 0$ αντίστοιχα, η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το ΦΒ στοιχείο είναι μηδενική ($P=0$). Άρα, μεταβολή της ισχύος με την τάση, που φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 3, παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση της τιμής του ρεύματος.

Συνεπώς, η αντίσταση του κυκλώματος, που τροφοδοτείται από ένα Φβ στοιχείο, πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή για να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από το ΦΒ στοιχείο, Δηλαδή, η τάση και το ρεύμα της αντίστασης πρέπει να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ.

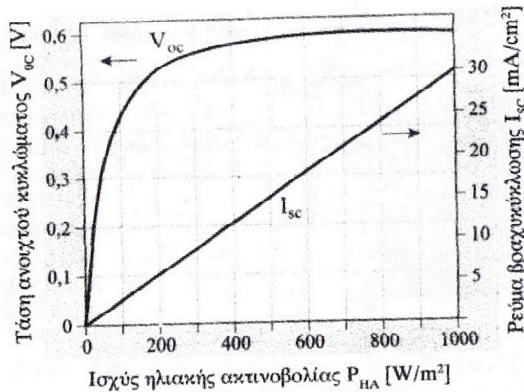
Θεωρώντας ότι ένα ΦΒ στοιχείο τροφοδοτεί μία ωμική αντίσταση μπορούμε να απεικονίσουμε στο διάγραμμα $I - V$ του ΦΒ στοιχείου την καμπύλη φορτίου ΚΦ της αντίστασης (ευθεία γραμμή), η οποία δείχνει τη μεταβολή του ρεύματος I που τη διαρρέει σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη στα άκρα της ηλεκτρική τάση V (Σχ.3.4) Το σημείο τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης και της καμπύλης φορτίου ονομάζεται σημείο λειτουργίας ΣΛ του συστήματος και καθορίζει το ρεύμα και την τάση στην αντίσταση.

Με τη χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων παρακολούθησης του ΣΜΙ όταν οι συνθήκες αλλάζουν, επιδιώκουμε τη συνεχή σύμπτωση του ΣΛ του συστήματος με το εκάστοτε ΣΜΙ, ώστε να αποδίδεται η μέγιστη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από το ΦΒ στοιχείο. Η προσπάθεια αυτή είναι απαραίτητη γιατί η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παραμένει κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στο διάγραμμα του σχήματος 39 φαίνεται η μεταβολή του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} και της τάσεως ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} σε συνάρτηση με τη ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας.

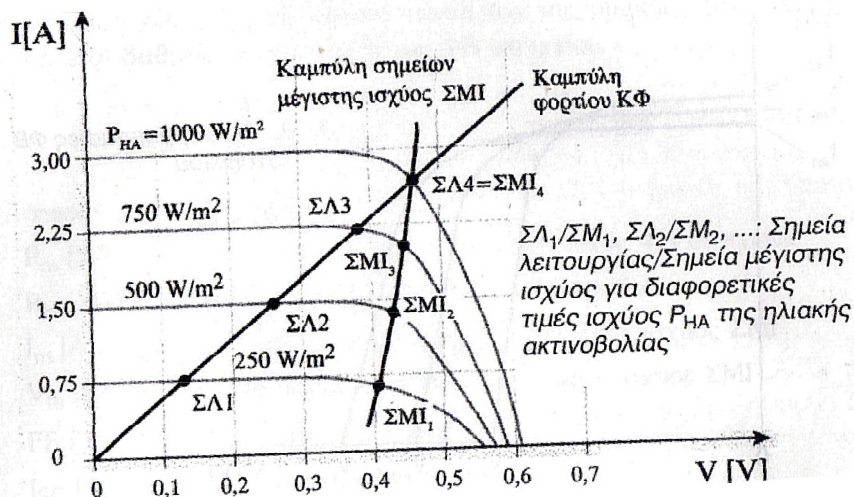
Το ρεύμα I_{sc} μεταβάλλεται ανάλογα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ενώ η τάση V_{oc} αυξάνεται απότομα στην αρχή (κατά την ανατολή του ήλιου) και μετά παραμένει σχεδόν σταθερή για το υπόλοιπο διάστημα μίας αίθριας ημέρας (μέχρι τη δύση του ήλιου).

Σχήμα 3.5 : Μεταβολή τάσεως ανοιχτού κυκλώματος και ρεύματος βραχυκύκλωσης σε συνάρτηση με την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας.



Όταν μεταβάλλεται η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας, έχουμε και μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V του ΦΒ στοιχείου (Σχ.3.6). αυτό σημαίνει ότι για σταθερή τιμή της ωμικής αντίστασης του κυκλώματος, τα σημεία λειτουργίας ΣΛ απομακρύνονται από τα αντίστοιχα σημεία μέγιστης ισχύος ΣΜΙ.

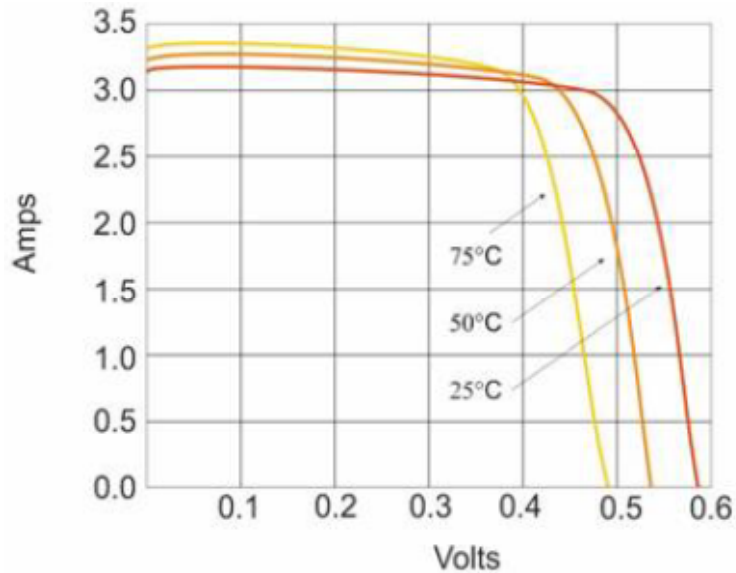
Σχήμα 3.6 : Μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών έντασης ρεύματος I – τάσεως V ΦΒ στοιχείου όταν μεταβάλλεται η ισχύς P_{HA} της ηλιακής ακτινοβολίας.



Τέλος, η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου αυξάνεται κατά τον φωτισμό του, γιατί ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο στοιχείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} και τη μεγάλη ελάττωση της τάσεως ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του ΦΒ στοιχείου (Σχ.3.7). Είναι, λοιπόν προφανές ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του ΦΒ στοιχείου προκαλεί μείωση της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος το P_m . Η μείωση αυτή είναι περίπου 0,4 % για κάθε βαθμό κελσίου πάνω από τους

25°C. Δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία των ΦΒ στοιχείων είναι 30°C μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία t_a του αέρα, ορίζουμε τον παρακάτω συντελεστή θερμοκρασίας σ_θ , ο οποίος χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης των ΦΒ πλαισίων.

Σχήμα 3.7 : Μεταβολή χαρακτηριστικής καμπύλης έντασης ρεύματος I – τάσεως V ενός ΦΒ στοιχείου με την αύξηση της θερμοκρασίας του.



$$\sigma_\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] * 0,004 [-]$$

όπου :

t_a [°C] : μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα.

Συμπέρασμα

Η λειτουργία ενός ΦΒ στοιχείου και κατά συνέπεια η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτώνται από τρεις μεταβλητούς παράγοντες: α) την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, β) τη θερμοκρασία του στοιχείου και γ) την αντίσταση του κυκλώματος. Θα πρέπει, λοιπόν να επιδιώκεται οι παράγοντες αυτοί να παίρνουν όσο γίνεται πιο ευνοϊκές

τιμές.

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Ένα ΦΒ στοιχείο αποδίδει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ P_m και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία ισχύος P_{HA} . Το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται βαθμός απόδοσης (η) του ΦΒ στοιχείου.

$$\eta = \frac{P_m}{P(HA)} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{HA}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{HA}}$$

Όπου :

P_m [W] : μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ στοιχείου.

P_{HA} [W] : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

I_m [A] : ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ.

V_m [V] : τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ.

FF [-] : συντελεστής πλήρωσης.

I_{sc} [A] : ρεύμα βραχυκύκλωσης

V_{oc} [V] τάση ανοιχτού κυκλώματος.

ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Σε ένα Φβ στοιχείο ελέγχονται τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά : α) ο βαθμός απόδοσης η , β) ο συντελεστής πλήρωσης FF, γ) το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και δ) η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} .

Οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC (Standard Test Conditions), που έχουν καθοριστεί διεθνώς, είναι οι ακόλουθες :

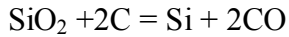
- Θερμοκρασία ΦΒ στοιχείου ίση με $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.
- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{stc} = 1 \text{ kW/m}^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα $AM = 1,5$.
- Κάθετη πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής ως χαρακτηριστικό του ΦΒ στοιχείου. Ισχύς αιχμής P_p (Pick Power) ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που αποδίδεται από το ΦΒ στοιχείο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC και έχει μονάδα μέτρησης το W_p (Watt αιχμής).

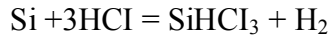
ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το πυρίτιο (Si) είναι από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, αφού αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού. Το καθαρό πυρίτιο παράγεται από την άμμο, της οποίας το κύριο συστατικό είναι το οξείδιο του πυριτίου (SiO₂).

Η πρώτη φάση του καθαρισμού γίνεται με την ανάπτυξη από την οποία προκύπτει πυρίτιο μεταλλουργικής ποιότητας.



Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τη μετατροπή του μεταλλουργικού πυριτίου με τη βοήθεια υδροχλωρικού οξέος, σε αέριο τριχλωροσιλάνιο



Στην Τρίτη φάση γίνεται ο καθαρισμός του τριχλωροσιλάνιου με κλασματική απόσταξη και η αναγωγή του με υδρογόνο, οπότε παράγεται πυρίτιο ηλεκτρονικής ποιότητας.

Στην τελευταία φάση το ηλεκτρονικό πυρίτιο τήκεται και ανακρυσταλλώνεται με ακόμα μεγαλύτερη καθαρότητα σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή διαμέτρου 10 cm περίπου.

Στη συνέχεια από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι πάχους 0,5 mm, οι οποίοι αφού λειανθούν διαμορφώνονται σε διόδους επαφής p-n με διάχυση ή εμφύτευση των κατάλληλων προσμείξεων. Το ΦΒ στοιχείο αποκτά την τελική του μορφή με την συγκόλληση των ηλεκτροδίων στις δύο όψεις του δίσκου, την κάλυψη της εμπρός επιφάνειας με αντανακλαστικό επίστρωμα και την στεγανοποίηση.

Το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός, που κυριάρχησε μέχρι σήμερα σαν υλικό κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής, τα Φβ στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις τύπους.

- Φβ στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)
Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (~300 μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Σε εργαστηριακή μορφή το Φβ στοιχείο έχει απόδοση 21-24 %, ενώ σε μορφή Φβ πλαισίων η απόδοση είναι 13 – 16 %
- Φβ στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (m- Si)

Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους 10 -50 μm. Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια του στοιχείου διακρίνονται διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Σε εργαστηριακή μορφή το Φβ στοιχείο έχει απόδοση 17 -20% ενώ σε μορφή Φβ πλαισίων η απόδοση είναι 12 -14 %. Τέλος, το κόστος κατασκευής τους είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

- Φβ στοιχεία ταινίας

Είναι λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου, η οποία δημιουργείται από τηγμένο υλικό. Το Φβ στοιχείο έχει απόδοση 13% και περιορισμένη χρήση λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής.

- Φβ στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si)

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το ενεργειακό χάσμα του κυμαίνεται από 1,2 eV έως 1,6 eV, ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής του, ενώ το ενεργειακό χάσμα του κρυσταλλικού πυριτίου έχει σταθερή τιμή eV. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής

ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να αρκεί ένα λεπτό στρώμα πάχους λίγων μm για την κατασκευή των ΦΒ στοιχείων. Η μικρή ποσότητα χρησιμοποιούμενου υλικού μειώνει το κόστος παραγωγής. Το άμορφο πυρίτιο έχει στρεβλωμένους χημικούς δεσμούς, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μέτριες ηλεκτρικές ιδιότητες. Η βελτίωση τότε εξασφαλίζεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που συμπληρώνουν τους ατελείς χημικούς δεσμούς. Το ΦΒ στοιχείο από υδρογονούχο άμορφο πυρίτιο a-Si : H έχει απόδοση 6 – 8 %. Σήμερα κατασκευάζονται διατάξεις από δύο ή τρία ΦΒ στοιχεία, που τοποθετούνται το ένα πίσω από το άλλο, τα οποία είναι διαφορετικά κράματα άμορφου πυριτίου (a-Si : Ge, a-Si:C κ.λπ.). Τα Φβ στοιχεία έχουν διαφορετικό ενεργειακό χάσμα και εμπρός τοποθετείται εκείνο που έχει το μεγαλύτερο. Τελευταίο τοποθετείται το Φβ στοιχείο με το μικρότερο ενεργειακό χάσμα. Έτσι, τα φωτόνια μικρής ενέργειας που διέρχονται από το πρώτο στοιχείο, απορροφούνται από το δεύτερο ή το τρίτο περιορίζοντας τη θερμική μετατροπή. Μία τέτοια διάταξη έχει απόδοση 10 – 20 %.

Τέλος στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά Φβ συστημάτων, που αποτελούνται από διαφορετικά είδη Φβ στοιχείων πυριτίου.

Πίνακας 3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Φβ συστημάτων για διαφορετικά είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Μονο-κρυσταλλικό	Πολύ-κρυσταλλικό	Άμορφο
Απόδοση [%]	13-17	12-16ς	6-8
Μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση [kWh/kWp] [kWh/m ²]	1300 160-189	1300 130-160	1300-1400 65-140
Απαιτούμενη επιφάνεια [m ²]	7-8	8-10	10-20
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [kgCO ₂ /kWp]	1300	1300	1300-1400

ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΛΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Εκτός από τα ΦΒ στοιχεία πυριτίου, τα οποία αποτελούν και τα πιο διαδεδομένα σήμερα στον κόσμο, κατασκευάζονται ΦΒ στοιχεία και από άλλα υλικά, τα οποία προς το παρόν εμφανίζουν μειονεκτήματα που περιορίζουν τη χρήση τους. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ΦΒ στοιχείο αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόδοση (25%) και το υψηλότερο κόστος κατασκευής και χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές.

- ΦΒ στοιχείο δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂)

Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και μικρή απόδοση σε μορφή ΦΒ πλαισίου, η οποία μπορεί να φτάσει το 8-10% με την προσθήκη γαλλίου Ga.

- ΦΒ στοιχείο θειούχου χαλκού-θειούχου-καδμίου (Cu₂S/CdS)

Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής αλλά όχι σταθερή απόδοση, η οποία φτάνει το 10 %.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Κάθε ΦΒ στοιχείο έχει ένα ηλεκτρόδιο στην εμπρός όψη και ένα στη πίσω πλευρά. Το ηλεκτρόδιο τη όψεως είναι μία μεταλλική σχάρα με μορφή χτενιού ή σκελετού ψαριού, που καλύπτει το 15% περίπου της επιφάνειας του στοιχείου και συνήθως κατασκευάζεται από κράματα αργύρου. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλο το στοιχείο και αποτελείται από λεπτό και πυκνό μεταλλικό πλέγμα.

Τέλος η όψη του ΦΒ στοιχείου καλύπτεται από ένα στρώμα, που κατασκευάζεται από κατάλληλο αντιανακλαστικό υλικό (π.χ. SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, MgF₂), το οποίο περιορίζει την ανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο 5% περίπου.

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η τάση που εκδηλώνει ένα ΦΒ στοιχείο πυριτίου σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία είναι έως 0,5 V και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει δεν ξεπερνά τα 0,4 W περίπου. Είναι λοιπόν προφανές ότι οι τιμές αυτές θεωρούνται πολύ μικρές για την τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων. Λύση στο πρόβλημα αποτελεί η σύνδεση των ΦΒ σε σειρά, κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών. Ένα σύνολο ΦΒ στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά, έτσι ώστε να αποτελούν εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα, ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module) και για λόγους ευκολίας γράφεται ΦΒ πλαίσιο.

Η μονάδα αυτή πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Δυνατότητα συνδυασμού με ηλεκτρικό συσσωρευτή τυπικής ονομαστικής τάσεως 12 V για να είναι δυνατή η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Εύκολα μεταφοράς ενσωμάτωσης σε μεγαλύτερα σύνολα και αντικατάστασης στην περίπτωση βλάβης.

Η σύνδεση των ΦΒ στοιχείων σε σειρά γίνεται με τη σύνδεση του θετικού ηλεκτροδίου του ενός στοιχείου με το αρνητικό ηλεκτρόδιο του επομένου (Σχ.3.8). Κατά τη σύνδεση N όμοιων ΦΒ στοιχείων σε σειρά ισχύουν οι αντίστοιχοι κανόνες συνδεσμολογίας των ηλεκτρικών πηγών:

1. Το ΦΒ πλαίσιο έχει ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοιχτού κυκλώματος $V_{ocπ}$

$$V_{ocπ} = N * V_{oc} [V]$$

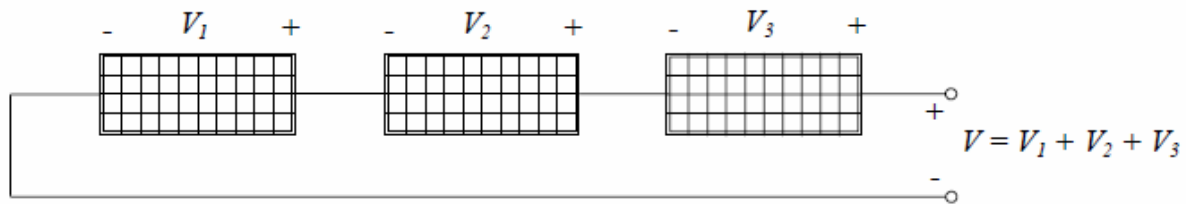
Όπου :

N[-] αριθμός όμοιων ΦΒ στοιχείων
V_{oc} [V] τάση ανοιχτού κυκλώματος ενός ΦΒ στοιχείου.

2. Το ΦΒ πλαίσιο έχει ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{scπ}$ ίσο με το αντίστοιχο I_{sc} του ενός ΦΒ στοιχείου.

$$I_{sc} = I_{sc} [A]$$

Σχήμα 3.8: Παραστατικό διάγραμμα σύνδεσης ΦΒ στοιχείων σε σειρά.



Προηγουμένως αναφέραμε ότι ένα ΦΒ πλαίσιο πρέπει να καλύπτει την τυπική ονομαστική τάση 12 V, που υπάρχει στους πόλους ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή. Για την φόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου – θετικού οξέος, οι οποίοι κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά, απαιτείται τάση 14,4 V περίπου. Στο σύστημα αυτό πρέπει οπωσδήποτε να προβλέψουμε α) μια ηλεκτρονική διάταξη για τον έλεγχο των ορίων φόρτισης – εκφόρτισης του συσσωρευτή και β) μία δίοδο αντεπιστροφής, που εμποδίζει την εκφόρτιση του συσσωρευτή διαμέσου του ΦΒ πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται. Οι παραπάνω ηλεκτρονικές διατάξεις και οι γραμμές μεταφοράς απαιτούν επί πλέον τάση 1-2 V . Άρα το σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ, ενός ΦΒ πλαισίου, που φωτίζεται με ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας 1 kW/m^2 , πρέπει να αντιστοιχεί σε συνολική τάση $14,4 + 2 = 16,4 \text{ V}$. Διαιρώντας την τιμή αυτή με την τάση ενός ΦΒ στοιχείου πυριτίου ίση με $0,45 \text{ V}$ περίπου, βρισκόμαστε ότι απαιτούνται 36 στοιχεία ($16,4 / 0,45 = 36$) στη σειρά για τη δημιουργία ενός Πλαισίου.

Τα περισσότερα ΦΒ πλαίσια του εμπορίου για ηλεκτρικό συσσωρευτή 12 V περιλαμβάνουν 32 -33 ΦΒ στοιχεία, ανάλογα με την ακριβή τάση του στοιχείου και τη θερμοκρασία του. Να σημειωθεί ότι η τάση ενός ΦΒ στοιχείου πυριτίου μειώνεται κατά $2 - 2,5 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ αν είναι κρυσταλλικό και κατά $1,5 - 1,9 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ αν είναι άμορφο. Τέλος είναι εννόητο ότι τα ΦΒ πλαίσια για ηλεκτρικό συσσωρευτή 24 V περιλαμβάνουν διπλάσιο αριθμό ΦΒ στοιχείων.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Τα ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται σε μορφή σάντουιτς. Πάνω σε ένα φύλλο από μέταλλο ή από ενισχυμένο πλαστικό, στερεώνονται τα ΦΒ στοιχεία με κατάλληλη κολλητική ουσία. Το φύλλο αυτό αποτελεί την πλάτη του πλαισίου. Η εμπρός όψη των στοιχείων καλύπτεται από προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Τα δύο φύλλα, εμπρός και πίσω συγκρατούνται μεταξύ τους με τη βοήθεια ταινίας από συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα . Είναι προφανές ότι η κατασκευή αυτή εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική αντοχή τις υποδοχές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία.

Με στόχο την όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή των ΦΒ πλαισίων στα κτίρια, οι εταιρίες κατασκευής τους προτείνουν πολλές ενδιαφέρουσες λύσεις. Στις στέγες των παραδοσιακών κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΦΒ πλαίσια με τη μορφή κεραμιδιών. Στις πλευρές μπορούν να τοποθετηθούν πλαίσια με τη μορφή ζωγραφικών πινάκων. Σε διαδρόμους μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων προτείνεται η χρήση ημιπερατών ΦΒ πλαισίων, τα οποία συνδυάζουν τον ημερήσιο φυσικό φωτισμό των διαδρόμων και τον τεχνητό φωτισμό από φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια.

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε δύο πολύ σοβαρά προβλήματα, τα οποία μπορούν ακόμα και να καταστρέψουν ένα ΦΒ πλαίσιο. Πρόκειται για την υγρασία και την υπερθέρμανση ενός ΦΒ στοιχείου, η οποία ονομάζεται κατάσταση θερμικής κηλίδας (hot spot).

- Υγρασία

Επειδή η απόλυτη στεγανοποίηση ενός ΦΒ πλαισίου είναι πολύ δύσκολη, οι περισσότεροι κατασκευαστές πιστεύουν ότι είναι προτιμότερο να μπορεί να αναπνέει το πλαίσιο, έτσι ώστε να μην παγιδεύεται στο εσωτερικό του η υγρασία. Είναι προφανές ότι όσοι υδρατμοί εισέρχονται στο πλαίσιο συμπυκνώνονται σε νερό. Έτσι για την απομάκρυνση του νερού προβλέπουν μία οπή στον πίνακα συνδέσεων, την οποία καλύπτουν με σήτα προκειμένου να αποτρέψουν την είσοδο μικρών ζώων.

- Υπερθέρμανση ΦΒ στοιχείου.

Όταν ένα ΦΒ στοιχείο δεν δέχεται την προσπίπτουσα στο ΦΒ πλαίσιο ηλιακή ακτινοβολία σταματάει να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή όμως τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται σε σειρά, που σημαίνει ότι το ΦΒ στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλει στο ΦΒ πλαίσιο το δικό του ρεύμα, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από το πλαίσιο τείνει στο μηδέν. Παράλληλα, το σκιασμένο ΦΒ στοιχείο δέχεται το άθροισμα των τάσεων όλων των άλλων στοιχείων ανάστροφα και αρχίζει να υπερθερμαίνεται. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί τελικά την καταστροφή του ΦΒ στοιχείου, αλλά μπορεί να προκαλέσει ακόμα και πυρκαγιά αν το ΦΒ πλαίσιο συνδέεται με ηλεκτρικό συσσωρευτή 24 V.

Η προστασία της εγκατάστασης εξασφαλίζεται με την παράλληλη σύνδεση μίας διόδου παράκαμψης ΔΠ (by – pass diode) σε κάθε ομάδα ΦΒ στοιχείων. Συνδέοντας μία δίοδο ανά 18 στοιχεία σε ένα ΦΒ πλαίσιο με 36 στοιχεία σε σειρά, διατηρούμε την ανάστροφη τάση, που θα δειχθεί το σκιασμένο ΦΒ στοιχείο μικρότερη 10 V. Έτσι αποφεύγουμε την υπερθέρμανσή του, αλλά και το ΦΒ πλαισίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και αν κάποιο ΦΒ στοιχείο του καταστραφεί. Οι δίοδοι παράκαμψης τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων, που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ΦΒ πλαισίου.

ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Η έννοια της ισχύος αιχμής (pick power), όπως αυτή ορίστηκε για το ΦΒ στοιχείο, ισχύει και για το ΦΒ πλαίσιο. Έτσι, ισχύς αιχμής ενός ΦΒ πλαισίου $P_{p\Pi}$ ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που αποδίδεται από το ΦΒ πλαίσιο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC.

Όταν λοιπόν ένα ΦΒ πλαίσιο έχει ισχύ αιχμής $P_{p\Pi} = 100\text{Wp}$ σημαίνει ότι εφ' όσον δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{stc} = 1\text{ kW/m}^2$, φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα $AM = 1,5$ και η θερμοκρασία του είναι $25\text{ }^\circ\text{C}$, τότε παράγει ηλεκτρική ισχύ 100 Wp .

Η ισχύς αιχμής είναι το σημαντικότερο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός ΦΒ πλαισίου και με

βάση αυτήν το αναζητούμε στο εμπόριο προκειμένου να καλύψουμε τις ανάγκες μίας ΦΒ εγκατάστασης.

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Το πηλίκων της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται βαθμός απόδοσης η_{Π} του ΦΒ πλαισίου.

$$\eta_{\Pi} = P_{m\Pi} / P_{HA} [-]$$

όπου :

$P_{m\Pi}$ [W] : μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου.

P_{HA} [W m²] : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Αν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας, δηλαδή σε [w/m²], η σχέση του βαθμού απόδοσης γίνεται

$$\eta_{\Pi} = P_{m\Pi} / (P_{HA} * S_{\Pi}) [-]$$

όπου:

$P_{m\Pi}$ [W] : μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου

P_{HA} [W m²] : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

S_{Π} [m²] : επιφάνεια ΦΒ πλαισίου.

Ο Βαθμός απόδοσης του ΦΒ πλαισίου μπορεί να γραφεί ως πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα, προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια επί το ίδιο χρονικό διάστημα.

$$\eta_{\Pi} = E_{m\Pi} / (E_{HA} * S_{\Pi}) [-]$$

όπου:

$E_{m\Pi}$ [kWh]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια ΦΒ πλαισίου. E_{HA} [kWh/m²] : ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

S_{Π} [m²] : επιφάνεια ΦΒ πλαισίου.

Ο βαθμός του ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται από τέσσερις παράγοντες:

1. Γήρανση.

Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Για τη διαχρονική μείωση της απόδοσης λαμβάνουμε το συντελεστή γήρανσης $\sigma_{\gamma} = 0,90$.

2. Ρύπανση επιφάνειας.

Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου ιδίως εκείνου που έχει μικρή κλίση μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας του από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από την θάλασσα, εντόμων, ακαθαρσιών κ.λπ. Η μείωση της απόδοσης είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης, γι' αυτό και απαιτείται περιοδικό καθαρισμός της επιφάνειας με απορρυπαντικό. Σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ισχυρούς ανέμους, το ΦΒ πλαίσιο πρέπει να τοποθετείται κάθετα ή με κλίση 45° αντίστοιχα, για να μην συγκρατείται το χιόνι και η σκόνη. Για τους παραπάνω λόγους λαμβάνουμε ένα συντελεστής ρύπανσης σ_{ρ} σύμφωνα με τις ακόλουθες τιμές:

$\sigma_{\rho} = 0,95$ για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά.

0,90 για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα.

0,80 για πλαίσια οριζόντια και ακάθαρτα.

- Αύξηση θερμοκρασίας

Η απόδοση του Φβ πλαισίου επηρεάζεται σημαντικά από την άνοδο της θερμοκρασίας των ΦΒ στοιχείων, των οποίων η μέση θερμοκρασία είναι 30 °C περίπου μεγαλύτερη από αυτή

της λειτουργίας τους σε πρότυπες συνθήκες STC. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε τον συντελεστή θερμοκρασίας $\sigma\theta$.

$$\sigma\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] * 0,004 [-]$$

Όπου:

t_a [°C] : μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (Πίνακας 6)

- Δίοδος αντεπιστροφής.

Η δίοδος αντεπιστροφής ΔA , που εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του ΦΒ πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται, προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξεως του 1%. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπ' όψη με τον συντελεστή απωλειών διόδου $\sigma\delta=0,99$.

Πίνακας 3 : ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ t_a [°C] ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ [h] ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.

ΠΟΛΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ
Αθήνα	10,5	11,6	12,9	17,1	21,9	26,6	29,3	29,2	25,3	20,0	16,3	12,5	19,4	2818
Αλιάρτος	7,1	9,7	11,4	15,8	21,3	25,8	27,3	26,3	23,2	17,9	13,3	9,3	17,4	2526
Άραξος	11,4	11,8	13,3	16,7	21,2	25,5	28,1	28,5	25,2	20,5	16,3	13,0	19,3	2686
Αργοστόλι	12,4	12,6	14,1	17,0	21,0	25,2	27,8	27,8	24,9	21,1	17,3	14,1	19,6	2766
Άρτα	10,3	11,4	13,7	17,3	21,8	26,3	29,3	28,9	25,2	20,7	15,9	11,6	19,4	2658
Ηράκλειο	13,4	13,6	14,9	17,8	21,4	25,3	27,3	27,2	24,5	21,4	18,3	16,4	20,1	2816
Θεσ/νίκη	6,7	8,3	11,3	16,1	21,2	25,7	28,4	28,3	23,8	18,3	13,3	8,6	17,5	2429
Ιεράπετρα	14,0	14,3	15,7	18,3	22,1	26,9	29,5	29,3	26,2	22,8	19,4	15,8	21,2	3108
Ιωάννινα	6,5	7,6	10,4	14,5	19,1	23,9	27,2	26,9	22,5	17,0	11,8	7,9	16,3	2252
Καλαμάτα	12,8	13,2	14,6	17,5	21,3	25,6	28,4	28,5	25,7	21,8	18,1	14,4	20,1	2827
Κέρκυρα	11,2	11,6	13,2	16,5	20,9	25,2	27,9	27,9	24,4	20,1	16,2	12,4	18,9	2642
Κομοτηνή	6,4	7,3	9,5	14,6	20,0	24,5	27,5	27,3	22,8	17,2	12,4	8,5	16,5	2372
Κόνιτσα	6,5	7,7	10,3	14,4	15,6	23,1	26,4	26,4	22,3	17,1	12,5	8,3	15,9	2315
Κόρινθος	11,1	11,9	13,2	17,0	21,8	26,2	29,0	29,1	25,5	20,5	16,3	12,9	19,5	2661
Κύθηρα	12,0	12,1	12,9	15,7	19,7	24,2	27,0	27,0	24,0	20,3	17,1	13,6	18,8	2831
Λαμία	8,9	10,1	12,5	17,2	22,1	26,7	29,3	29,0	24,5	19,4	15,0	10,4	18,8	2532
Λάρισα	6,6	8,7	11,1	16,2	21,7	27,0	29,7	29,3	24,5	18,6	13,2	8,2	17,9	2463
Λήμνος	9,2	10,0	11,4	18,3	20,3	24,7	27,3	27,3	23,6	18,7	14,9	11,3	18,1	2697
Μεθώνη	12,7	13,1	14,1	17,0	20,5	24,1	26,3	27,3	25,2	21,4	17,7	14,3	19,5	2921
Μήλος	11,8	12,1	13,2	16,5	20,7	24,6	26,4	26,4	23,6	20,2	16,9	13,5	18,8	2732
Μυτιλήνη	10,4	11,2	12,6	16,8	21,5	26,0	28,3	27,8	24,2	19,8	15,6	12,1	18,8	2630
Νάξος	13,1	13,3	14,2	17,1	20,4	24,0	25,5	25,6	23,4	20,6	17,7	14,8	19,1	2841
Πάρος	12,5	13,2	14,2	17,5	21,4	25,1	26,4	26,6	24,0	20,3	17,7	14,4	19,4	2539
Πάτρα	11,2	11,8	13,5	17,0	21,1	25,0	27,6	28,0	24,9	20,6	16,3	12,7	19,1	2857
Πύργος	11,9	12,5	14,1	17,3	21,5	25,7	28,6	28,9	25,8	21,4	17,1	13,4	19,8	2694
Ρέθυμνο	13,7	14,0	15,3	18,0	21,8	25,9	27,7	27,9	25,3	21,8	18,9	15,7	20,5	3041
Ρόδος	12,6	13,1	14,5	17,7	21,9	26,3	28,6	28,9	26,2	21,8	17,6	14,2	20,3	2880
Σάμος	11,7	12,1	13,8	17,3	21,5	25,4	27,6	27,5	24,8	20,6	17,1	13,6	19,4	2396
Σέρρες	5,4	7,8	11,0	16,2	21,4	25,8	28,7	27,0	23,8	18,2	12,2	7,0	17,0	2806
Σητεία	13,8	14,1	15,1	18,2	22,0	25,5	27,2	27,4	25,1	22,0	18,9	15,6	20,4	2534
Σκύρος	10,6	11,1	12,2	15,8	20,2	24,2	26,3	26,0	22,7	19,2	15,7	12,3	18,0	2791
Σούδα Κρητ.	11,9	12,3	13,9	17,0	21,4	25,6	27,5	27,3	24,2	20,3	17,3	14,0	19,4	2895
Σύρος	12,2	12,7	13,6	16,8	20,6	25,1	27,3	27,0	24,2	20,8	17,2	13,9	19,3	3029
Τυμπάκι	13,2	13,5	15,0	17,8	21,8	26,2	28,8	28,6	25,7	21,5	18,1	14,8	20,4	2809
Χανιά	13,0	13,3	14,6	17,6	21,6	25,8	27,9	27,8	24,7	21,2	18,0	14,6	20,0	2854
Χίος	11,4	11,6	13,1	17,0	21,9	26,5	28,3	28,1	24,3	19,9	16,4	12,9	19,3	2566

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ

Ένας μικρός αριθμός ΦΒ πλαισίων που είναι συναρμολογημένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο και αποτελούν ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση, ονομάζεται ΦΒ πανέλο (PV PANEL). Ο αριθμός των πλαισίων ενός πανέλου πρέπει να επιτρέπει την εύκολη μεταφορά και εγκατάστασή του από έναν τεχνίτη και οι καλωδιώσεις του κάθε πλαισίου καταλήγουν σε ένα ηλεκτρολογικό κιβώτιο.

Ο Συνδυασμός πολλών ΦΒ πλαισίων ή πανέλων, σε μία επίπεδη επιφάνεια ονομάζεται ΦΒ συστοιχία (PV array). Η επιφάνεια μπορεί να είναι σταθερή ή περιστρεφόμενη και οι καλωδιώσεις του κάθε πλαισίου ή πανέλου απολήγουν σε κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο.

Τέλος ένα σύνολο από ΦΒ συστοιχίες ονομάζεται ΦΒ πάρκο (PV park) , το οποίο μαζί με όλο τον υπόλοιπο εξοπλισμό και τις απαραίτητες διατάξεις ονομάζεται ΦΒ σταθμός (PV station).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε ΦΒ εγκατάσταση έχει σπονδυλωτή συγκρότηση από πλαίσια, πανέλα ή συστοιχίες, των οποίων η συνολική επιφάνεια καθορίζεται από την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θέλουμε να παράγουμε.

Η τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων ή πανέλων γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους , σε ικριώματα, σε πλαγιές λόφων και σε ελεύθερους χώρους. Για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης κάθε ΦΒ πλαίσιο πρέπει να έχει ανοιχτό ορίζοντα δηλαδή να μην σκιάζεται από κτίρια δέντρα κ.λπ. Ειδικά στα κτίρια η τοποθέτηση γίνεται με τρεις τρόπους.

1. Σταθερά στηρίγματα.

Τα στηρίγματα είναι ξύλινα ή μεταλλικά και προσφέρουν εύκολη πρόσβαση στο εμπρός και το πίσω μέρος των ΦΒ πλαισίων για να μπορεί να γίνει η συντήρηση, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν καλό αερισμό και δροσισμό των ΦΒ στοιχείων.

2. Στηρίγματα ρυθμιζόμενης κλίσης.

Τα στηρίγματα επιτρέπουν στα ΦΒ πλαίσια να προσανατολίζονται και να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι αυτοματισμού αυξάνουν σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης, αλλά βελτιώνουν το βαθμό απόδοσης του συστήματος, επειδή όπως είναι γνωστό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη σε μία επιφάνεια κάθετη προς αυτήν.

3. Ενσωμάτωση στο κέλυφος του κτιρίου.

Τα ΦΒ πλαίσια ενσωματώνονται στο κέλυφος του κτιρίου και καλύπτουν τμήματα της οροφής ή των εξωτερικών τοίχων ,αντικαθιστώντας μεγάλες επιφάνειες δοκιμών στοιχείων. Τα νέου τύπου ημιδιαφανή πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν στη θέση υαλοπινάκων και στεγάστρων συνδυάζοντας την ηλιοπροστασία με την παραγωγή ενέργειας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΕΙΣ :

Γενικά

Οι ηλεκτρικοί αγωγοί συνδέουν όλες τις διατάξεις ενός ΦΒ συστήματος μεταξύ τους. Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm , σε κάθε ηλεκτρικό αγωγό η πτώση τάσεως V, είναι ίση με το γινόμενο της αντίστασης του αγωγού επί την ένταση του διερχόμενου ρεύματος.

Πτώση τάσεως αγωγού :

$$V = R * I \text{ [V]}$$

Όπου :

R[Ω] : αντίσταση αγωγού

I [A] : ένταση ρεύματος

Η Αντίσταση ενός αγωγού υπολογίζεται από τη σχέση

$$R = \rho * (L/s) \text{ [}\Omega\text{]}$$

Όπου :

P [Ω*mm²] : ειδική αντίσταση αγωγού (ρ = 0,02 Ω * mm²/m για το για το χαλκό).

L [m] : μήκος αγωγού

S[mm²] : διατομή.

Τέλος σύμφωνα με το νόμο του joule , όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα απορροφά ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή αυξάνει τη θερμοκρασία του αγωγού και αποτελεί τις θερμικές απώλειες Q.

Θερμικές απώλειες αγωγού :

$$Q = I^2 * R * T = V * I * R \text{ [J]}$$

Όπου :

I[A] : ένταση ρεύματος

T[s] : χρονικό διάστημα ροής ρεύματος

R [Ω], V [V] όπως προηγούμενα.

Συμπεράσματα:

1. Αυξάνοντας τη διατομή του αγωγού ή/ και μειώνοντας το μήκος του μειώνουμε την αντίσταση του αγωγού.
2. Με τη μείωση της αντίστασης εξασφαλίζουμε μείωση της πτώσης τάσεως και των θερμικών απωλειών του αγωγού.
3. Η υπερθέρμανση ενός αγωγού μπορεί να προκαλέσει τήξη της μόνωσης, Βραχυκύκλωμα και πυρκαγιά.
4. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του διερχόμενου ρεύματος, τόσο μεγαλύτερη διαμέτρου αγωγού χρησιμοποιούμε.

Γειώσεις.

Το δυναμικό της Γής θεωρείται συμβατικά μηδέν. Έτσι κάθε αγωγός που συνδέει κάποιο σημείο ενός κυκλώματος ή ένα μεταλλικό αντικείμενο με το έδαφος ονομάζεται γειωμένος και το σημείο ή το αντικείμενο αποκτούν το ίδιο δυναμικό με τη Γή. Η αγωγή σύνδεση του σημείου ή του αντικείμενου με το έδαφος ονομάζεται γείωση και ο αγωγός που τοποθετείται μέσα στο έδαφος και στο επάνω μέρος του συνδέεται με τον γειωμένο αγωγό λέγεται γειωτής.

Τα ΦΒ συστήματα πρέπει να γειώνονται για τους παρακάτω λόγους :

- α) Αποφυγή ζημιών που μπορεί να υποστεί ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός λόγω κρουστικών υπερτάσεων, δηλαδή λόγω απότομων αυξήσεων της απόλυτης τιμής του δυναμικού από μερικά Volts μέχρι χιλιάδες Volts, των οποίων η διάρκεια κυμαίνεται από 10^{-6} s έως 10^{-3} s . Οι κρουστικές υπερτάσεις δημιουργούνται από κεραυνούς , αστραπές, χειρισμούς διακοπών, βραχυκυκλώματα κ.λπ.
- β) Ασφάλεια του προσωπικού συντήρησης από ηλεκτροπληξία λόγω διαρροής ρευμάτων.
- γ) Διατήρηση του αρνητικού πόλου του συσσωρευτή, σε όλο το μήκος της καλωδίωσης σε δυναμικό μηδέν.

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ενεργειακή αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αξιοποιούν τον ήλιο για την θέρμανση των κτιρίων δηλαδή χαρακτηρίζονται από άμεση απολαβή της ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς προηγούμενη μετατροπή της. Τα συστήματα αυτά ενσωματώνονται στα κτίρια και συνιστούν εξελιγμένες και οικονομικές τεχνολογίες.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται. Δηλαδή τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική και χρησιμοποιούνται σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο οικονομικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ηλιακή θέρμανση χώρων.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό, δηλαδή χαρακτηρίζονται από μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών και καλύπτουν μία ευρεία περιοχή ισχύος, από την πολύ χαμηλή ισχύ ευρείας χρήσης καταναλωτικών προϊόντων, έως τα συστήματα μεγάλης ισχύος για την τροφοδοσία κτιριακών συγκροτημάτων ή νησιών.

Αν και η φωτοβολταϊκή μετατροπή παρατηρήθηκε το 1839 από τον Γάλλο Antoine Becquerel, η κατασκευή του πρώτου ΦΒ στοιχείου πυριτίου από τους Fuller, Pearson και Charin ανακοινώθηκε το 1954. Δύο χρόνια αργότερα άρχισε η πρώτη εμπορική παραγωγή ΦΒ στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου από την εταιρία Hoffmann με κόστος κατασκευής 1000 δολάρια/Wp και βαθμό απόδοσης 5-10%. Από το 1958 αρχίζει η εμφάνιση ΦΒ στοιχείων στις διαστημικές εφαρμογές. Πρώτα εκτοξεύεται ο Αμερικανός τεχνητός δορυφόρος Vanguard I, εξοπλισμένος με 6 μικρά ΦΒ στοιχεία πυριτίου, ισχύος 5 mW ως βοηθητική ενεργειακή πηγή και ακολουθεί ο Σοβιετικός δορυφόρος με αποκλειστική τροφοδοσία από ΦΒ στοιχεία.

Στη συνέχεια άρχισε η εμφάνιση των ΦΒ συστημάτων και σε επίγειες εφαρμογές, όπως η ηλεκτρική τροφοδότηση μικροσυσκευών, απομονωμένων εγκαταστάσεων, εξοχικών σπιτιών και ολόκληρων οικισμών, που δεν εξυπηρετούνται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Είναι ευνόητο ότι η αύξηση της παραγωγής και η βελτίωση της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία μείωση του κόστους και τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης.

Σήμερα ο βαθμός απόδοσης των ΦΒ στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο, βρίσκεται στο 22% για τα ΦΒ συστήματα διαστημικών εφαρμογών και στο επίπεδο του 12-14% για βιομηχανική – οικιακή χρήση όταν η μέγιστη θεωρητική του τιμή υπολογίζεται σε 25% περίπου.

Το κόστος ενός ΦΒ συστήματος μεγέθους μέχρι μερικά kWp για βιομηχανική- οικιακή χρήση ανέρχεται σε 5-6 €/Wp. Σε εγκαταστάσεις σχετικά μεγάλης ισχύος το κόστος μειώνεται σε συνάρτηση με το μέγεθος του συστήματος. Τέλος σε μεγάλα ΦΒ συστήματα άνω του MWp το κόστος μειώνεται στο 50% του αντίστοιχου των συστημάτων μικρής ισχύος. Τα ετήσια λειτουργικά κόστη εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμογή και συνήθως κυμαίνονται από 0,5 έως 1,5% του αρχικού κόστους επένδυσης.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, το οποίο όμως αναμένεται να μειωθεί κι άλλο τα αμέσως προσεχή χρόνια, η υποχρέωση του περιοδικού καθαρισμού της επιφάνειας των ΦΒ πλαισίων με απορρυπαντικό για να αποφύγουμε τη μείωση της απόδοσης από τη ρύπανση και η απαραίτητη αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες εφαρμογές, λόγω της μεγάλης διακύμανσης της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, αποτελούν τα μοναδικά μειονεκτήματα των ΦΒ συστημάτων.

Αντίθετα τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα.

1. Μηδενικό κόστος καυσίμου αφού ο ήλιος είναι μία ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή
2. Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ΦΒ στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν.
3. Τα ΦΒ στοιχεία έχουν διάρκεια ζωής τουλάχιστον 25 χρόνια.
4. Δεν έχουν κινούμενα μέρη με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται συνεχή επίβλεψη και συντήρηση.
5. Λειτουργούν αθόρυβα.
6. Έχουν πολύ καλή απόδοση σε μεγάλο υψόμετρο λόγω της αυξημένης έκθεσης στον ήλιο.
7. Η αποκατάσταση της λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής του συστήματος.
8. Παρέχουν ανεξαρτησία από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής.
9. Έχουν αρκετά μεγάλη αναλογία παραγόμενης ισχύος προς το βάρος του συστήματος, που είναι σημαντική ιδιότητα για της διαστημικές εφαρμογές.
10. Η Μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα ΦΒ συστήματα, συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης σε ηλεκτρισμό, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες, Βοηθώντας έτσι σημαντικά στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου στην αποφυγή μπλάκ άουτ και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη των αιχμών φορτίου είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και κάθε ώρα μπλάκ άουτ κοστίζει 25 -40 εκατομμύρια Ευρώ στην εθνική οικονομία
11. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα ΦΒ συστήματα ακολουθεί την εποχική ζήτηση σε ηλεκτρισμό.
12. Τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών και σχημάτων. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλουν στη μείωση του συνολικού κόστους της οικοδομής, ειδικά στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια. Σήμερα διατίθενται διαφανή ΦΒ πλαίσια με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με εκείνες των υαλοστασίων χαμηλού συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και μειώνουν τις θερμικές απώλειες κατά 15 -30 % σε σχέση με τα συμβατικά απλά υαλοστάσια. Τέλος υπάρχουν ΦΒ πλαίσια διπλής όψεως δηλαδή πλαίσια που αξιοποιούν και τις δύο όψεις τους για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα οποία ενδείκνυνται για κάθετη τοποθέτηση σε στηθαία και φράγματα.

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.



Ένα ΦΒ σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο περιλαμβάνει τη ΦΒ συστοιχία, το μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter) και δύο μετρητές για την εξερχόμενη και εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια .

Ο υπολογισμός ενός τέτοιου συστήματος γίνεται με την παρακάτω διαδικασία:

- **ΒΗΜΑ 1 : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΙΧΜΗΣ (ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ) $P_{p\sigma}$ ΤΗΣ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ Β ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.**

Η απαιτούμενη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι $P_{p\sigma} = 10 \text{ kWp}$.

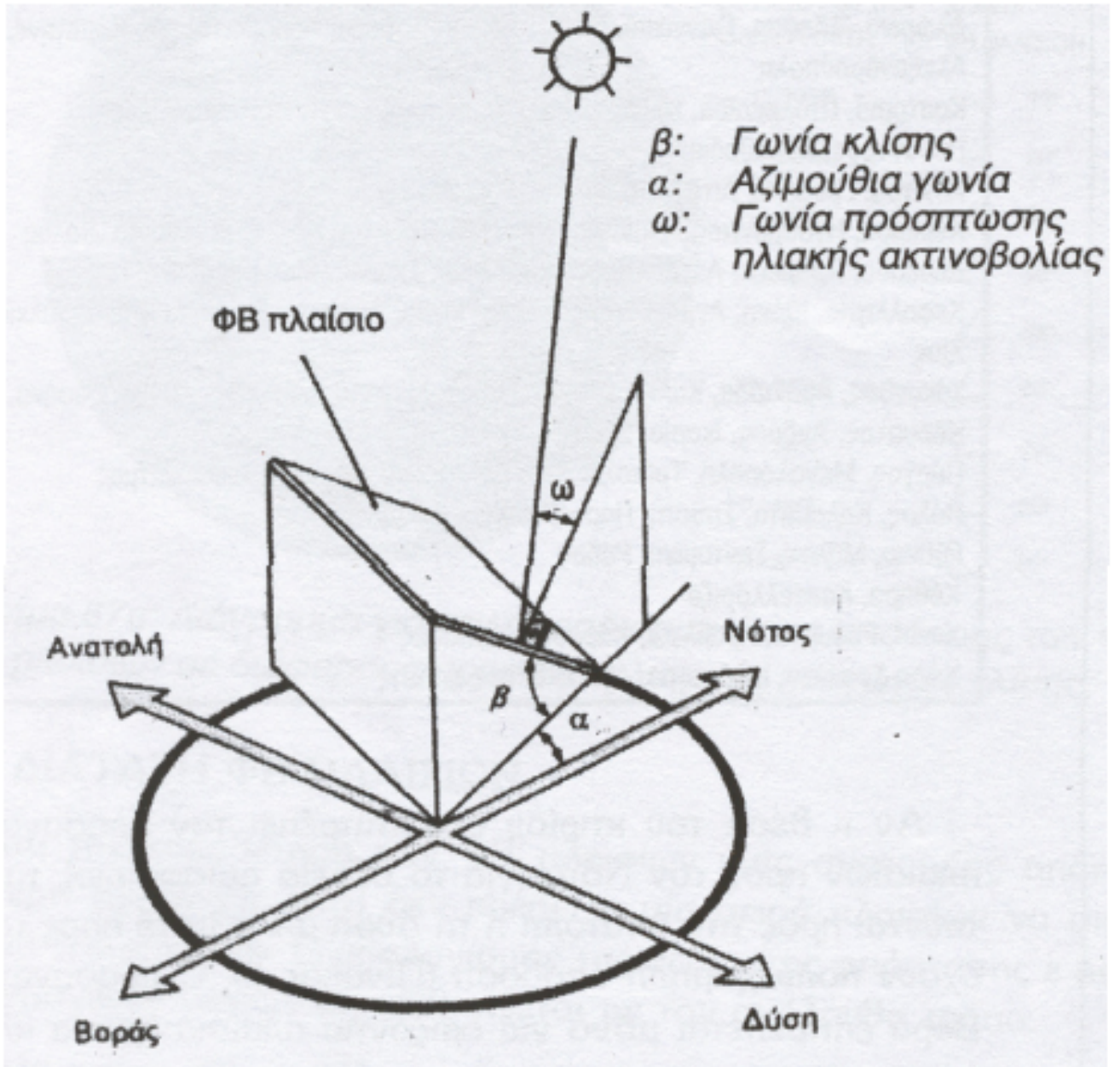
Προσανατολισμός ΦΒ πλαισίων :

Η σωστή τοποθέτηση ΦΒ πλαισίων αποτελεί βασικό παράγοντα για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος. Ο προσανατολισμός ενός ΦΒ πλαισίου, αλλά και κάθε επίπεδης επιφάνειας , στην επιφάνεια της γης, χαρακτηρίζεται από την γωνία κλίσης και την αζιμούθια γωνία.

Γωνία κλίσης β :

Είναι η διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου και στο οριζόντιο επίπεδο και δείχνει πόσο “γέρνει” το πλαίσιο .

Σχήμα 4.1: Γωνίες προσανατολισμού ΦΒ πλαισίου στην επιφάνεια της Γής .



Αζιμούθια γωνία α :

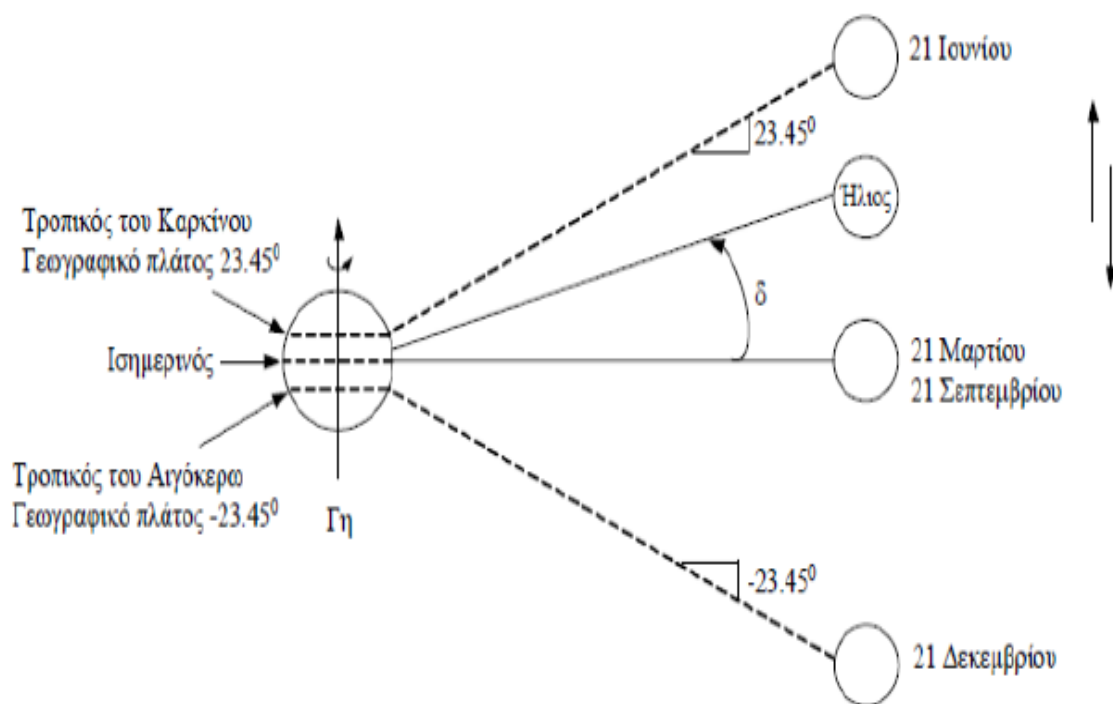
Είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του ΦΒ πλαισίου και στον Νότο. Η γωνία $\alpha=0^\circ$ αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του ΦΒ πλαισίου προς το Νότο, η γωνία $\alpha=90^\circ$ προς την Δύση, η γωνία $\alpha=-90^\circ$ προς την ανατολή και η γωνία $\alpha=-180^\circ$ προς τον Βορά.

Στο βόριο ημισφαίριο τα ΦΒ πλαίσια τοποθετούνται προς το Νότο ($\alpha=0^\circ$), ενώ στο νότιο ημισφαίριο τοποθετούνται προς τον Βορά ($\alpha=-180^\circ$).

Όπως είναι γνωστό, η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια είναι μέγιστη όταν η επιφάνεια είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι $\omega=0^\circ$. Δεδομένου ότι ο ήλιος συνεχώς μετακινητέ στον ουρανό κατά την διάρκεια της ημέρας, η προηγούμενη συνθήκη εξασφαλίζεται μόνο με αυτοματισμούς, που αυξάνουν σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης. Έτσι, στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων όπως και στην μελέτη μας τα Φβ πλαίσια είναι με σταθερή γωνία κλίσης.

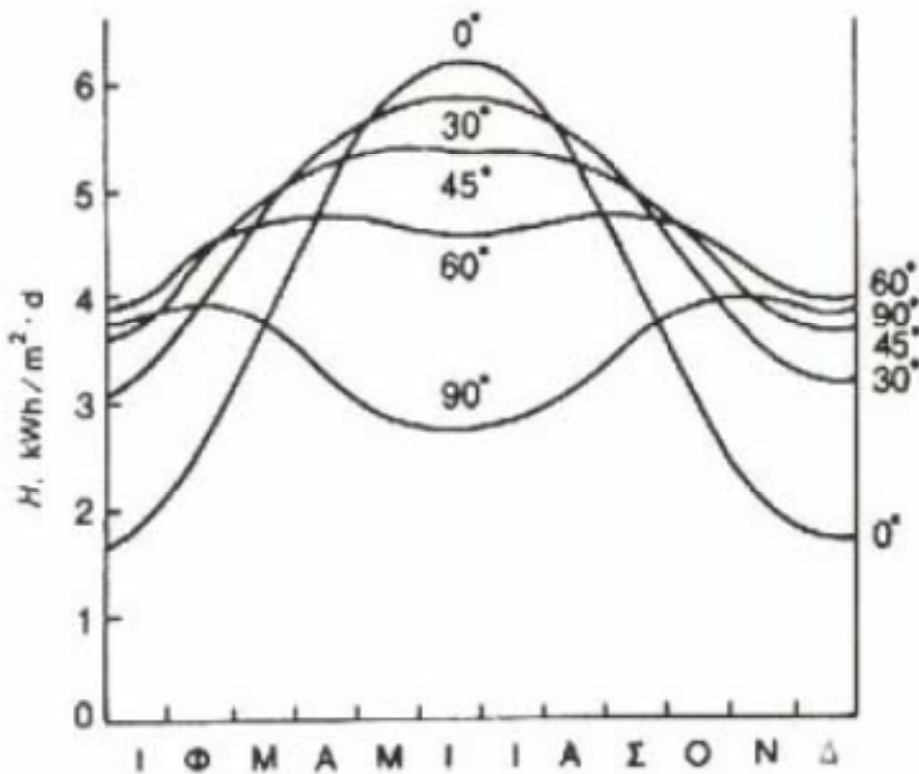
Λόγω της μεταβολής της απόκλισης δ του ήλιου στην διάρκεια του έτους (σχήμα 4.2), η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φβ πλαισίων είναι διαφορετική για κάθε εποχή (σχήμα 4.3)

Σχήμα 4.2 : Μέγιστη απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο. (Η απόκλιση είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας, που ενώνει τα κέντρα γής- ήλιου και του επιπέδου του ισημερινού).



Σε όσες περιπτώσεις η τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων και σε ένα κτήριο δεν καθορίζεται από την κλίση της επιφάνεια πάνω στην οποία τοποθετούνται (οροφή , τοίχοι κλπ.), η βέλτιστη γωνία κλίσης στο βόριο ημισφαίριο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου και την επιθυμητή περίοδο λειτουργίας του συστήματος.

Σχήμα 4. 3 : Μεταβολή της ημερήσιας ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα ΦΒ πλαίσιο σε τόπο με γεωγραφικό πλάτος $\varphi = 45^\circ$, σε συνάρτηση με τη γωνία κλίσης του πλαισίου.



Βέλτιστη γωνία κλίσης ΦΒ πλαισίων στο βόριο ημισφαίριο

$\beta = \varphi$: για όλη την διάρκεια του χρόνου.

$\beta = \varphi + 15^\circ$: για καλύτερη απόδοση τον χειμώνα .

$\beta = \varphi - 15^\circ$: για καλύτερη απόδοση το καλοκαίρι.

$\beta = \varphi - 15^\circ$: σε περιοχές με υγρό κλίμα , όπου μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό λόγω των σταγονιδίων νερού στην ατμόσφαιρα (το ΦΒ πλαίσιο αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και διαχέεται μεγαλύτερη διάχυτη ακτινοβολία). $\beta = 5^\circ - 10^\circ$: σε περιοχές με γεωγραφικό πλάτος $\varphi \leq 20^\circ$, δηλαδή γύρο στον Ισημερινό.

$\beta = 0^\circ$: σε περιοχές με πολύ μικρή ηλιοφάνεια για να εκμεταλλευτούμε το μέγιστο της διάχυτης ακτινοβολίας.

Άρα για τον υπολογισμό της γωνίας κλίσης β , Φ/Β πλαισίων θα έχουμε:

Για όλη την διάρκεια του χρόνου .

$\beta = \varphi = 38^\circ$ (για Αθήνα).

Το γεωγραφικό πλάτος δίνεται στον **πίνακα**:

Πίνακας 4.1: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ.

ΠΟΛΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ φ[°]
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα, Ξάνθη, Κομοτηνή.	41°30´
Αλεξανδρούπολη.	41°
Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη.	40°30´
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος.	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος.	39°30´
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη.	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφισσα, Λειβαδιά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος.	38°30´
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρο, Ελευσίνα, <u>Αθήνα</u> , Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος.	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος.	37°30´
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως.	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος.	36°30´
Κύθηρα, Καστελλόριζο.	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσσο, Κάρπαθος.	35°30´
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ. Νικόλαος Κρήτης.	35°

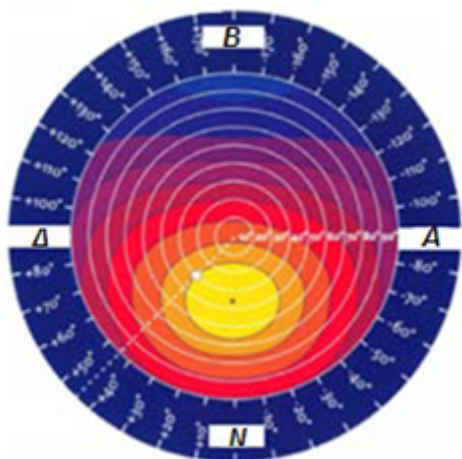
Αν η θέση του κτηρίου δεν επιτρέπει τον προσανατολισμό των ΦΒ πλαισίων προς τον Νότο (για το βόριο ημισφαίριο), τα πλαίσια τοποθετούνται προς την Ανατολή ή τη Δύση αλλά ποτέ προς τον Βορά , γιατί τότε έχουν χαμηλή απόδοση (πίνακας 4. 2). Ο προσανατολισμός προς τον Βορά επιτρέπεται μόνο για οριζόντια πλαίσια (η γωνία κλίσης $\beta = 0^\circ$).

Πίνακας 4. 2:

Απόδοση ΦΒ πανέλων ανάλογα με τον προσανατολισμό τους και την γωνία β (%).

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ β		
	0°	30°	90°
Ανατολικός-Δυτικός	90	90	50
Νοτιοανατολικός-Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	80
Βορειοανατολικός-Βορειοδυτικός	90	70	40
Βόρειος	90	60	30

Σχήμα 4.4 : Για τον προσδιορισμό της απόδοσης των ΦΒ πλαισίων σε διάφορους προσανατολισμούς και γωνίες κλίσης, χρησιμοποιούμε το διάγραμμα του σχήματος 4.4:



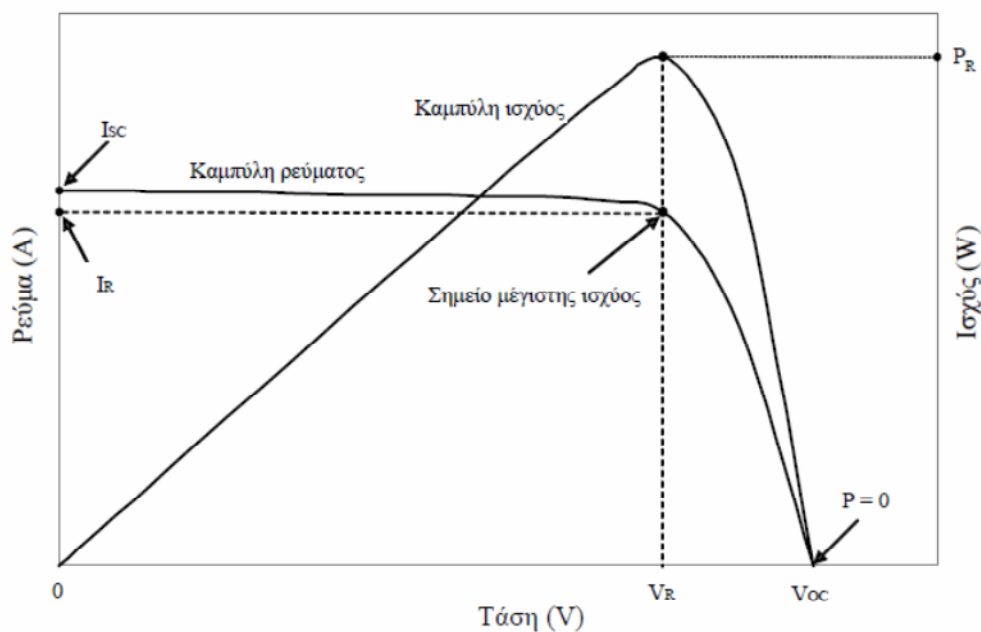
ΑΠΟΔΟΣΗ φβ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΔΑΝΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ
100%	10°
95%	20°
95%	30°
80%	40°
70%	50°
60%	60°
50%	70°
40%	80°
30%	90°

- **ΒΗΜΑ 2 : ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΤΑΣΕΩΣ DC –AC (INVERTER).**

Για την επιλογή του μετατροπέα τάσεως DC –AC λαμβάνουμε υπ' όψη μας τέσσερις παράγοντες:

- Ελάχιστη τάση εισόδου : V_{dcmin}
- Μέγιστη τάση εισόδου: V_{dcmax}
- Εύρος τάσης Σημείο Μέγιστης Ισχύος (Σ.Μ.Ι) : $V_{mpptmin} < V_{mppt} < V_{mppt-max}$
- Βέλτιστη τάση : V_{mppt}

Σχήμα 4.5: Σημείο Μέγιστης Ισχύος (Σ.Μ.Ι) ή (MPPT).



Επιλογή inverter : θα επιλέξουμε τον inverter Siemens Sinvert pvm10 των 10KW.

Έχει τέσσερις εισόδους (Strings) όπου χρησιμοποιούμε τις δύο.

SINVERT PVM10



Τεχνικά χαρακτηριστικά του inverter :

Output side (AC)		
Rated grid voltage $U_{ac,r}$	V	3AC
400	Grid voltage $U_{ac}^{1)}$	V
Rated frequency f_r	Hz	50
Rated power $P_{ac,r}$ / $\cos \phi$ 1)	kW	10.0 (at DC 600 V
Maximum output power $P_{ac,max}$	kW	10.0
Maximum output current $I_{ac,max}$	A	18
$\cos \phi$ (at $P_{ac,r}$) 0.9c)		1 (0.9i ...
THD I (at $P_{ac,r}$)	%	< 2.5
Grid configuration		TN-S
Network protection	A	32 (Type
B)	Surge protection (internal)	
Input side (DC)		
MPP voltage range $U_{mpp,min} \dots U_{mpp,max}$ 850	V	380 ...
Start-up input voltage $U_{dc,start}$	V	350
Maximum input voltage $U_{dc,max}$	V	1000
Maximum voltage for operation $U_{dc,op}$	V	950
Minimum voltage for operation $U_{dc,min}$	V	350
Rated input power $P_{dc,r}$ 600 V)	kW	10.2 (at DC
Maximum input current $I_{dc,max}$	A	29
Number of DC inputs		4
Maximum current per DC input	A	25
DC disconnection switch		built-
in	Surge	
protection (internal)	Type 3	
European weighted efficiency (Euro η)	%	97.4

Maximum efficiency	%	98.0
Night-time power losses	W	0.5

Width	mm	530
Height	mm	601
Depth	mm	270
Weight	kg	40

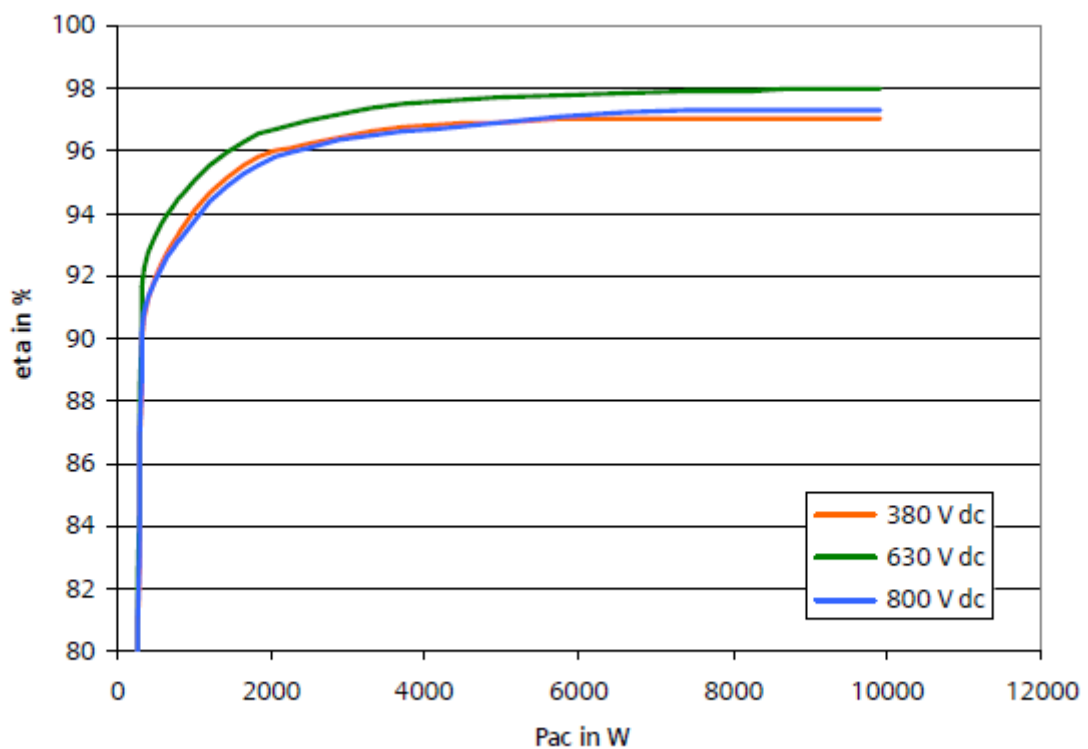
SINVERT PVM –

Πλεονεκτήματα

- Η υψηλότερη απόδοση της αγοράς (έως 98.2 % max και 97.8 % euro-ETA)
- Παθητική ψύξη (χωρίς εξωτερικούς ανεμιστήρες - για αποφυγή εισχώρησης σκόνης στο εσωτερικό)
- Ενσωματωμένη θύρα Ethernet για διασύνδεση με το portal επιτήρησης Sinvert Web Monitor χωρίς απαίτηση για επιπλέον εξοπλισμό
- PVM20: No1 σε απόδοση Inverter της αγοράς στο test του Photon Magazine 02.2011, σύμφωνα με μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες.

Σχήμα 4.6 :

Καμπύλη απόδοσης inverter :



$V_{dcmin} = 350 \text{ Volt}$
 $V_{dcmax} = 1000 \text{ Volt}$

Από καμπύλη απόδοσης έχουμε :

$380 < V_{mppt} < 850$

$V_{mppt} = 600 \text{ Volt}$

Άρα είμαστε στα όρια και σε περιοχή μέγιστης απόδοσης .

• ΒΗΜΑ 3 : ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.

Κατά την τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων μίας συστοιχίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δεν πρέπει η μία σειρά πλαισίων να σκιάζει αισθητά την επόμενη. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης ϵ μεταξύ δύο γειτονικών σειρών γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο :

1. Υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης.

$$v = \gamma * \eta\mu\beta - \delta \text{ [m]}$$
$$v = 1,65 * \eta\mu 38 - 0 = 1,015 \text{ m}$$

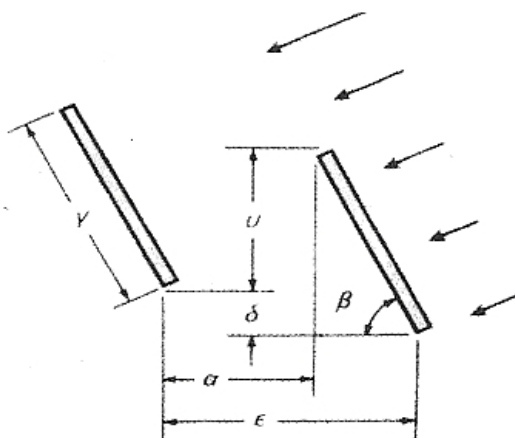
όπου :

γ [m] : μήκος ΦΒ πλαισίων.

β [°] : γωνία κλίσης ΦΒ πλαισίων .

δ [m] : υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών ΦΒ πλαισίων ($\delta = 0$ για στήριξη στο επίπεδο.)

Σχήμα 4.7: Διάταξη ΦΒ πλαισίων.

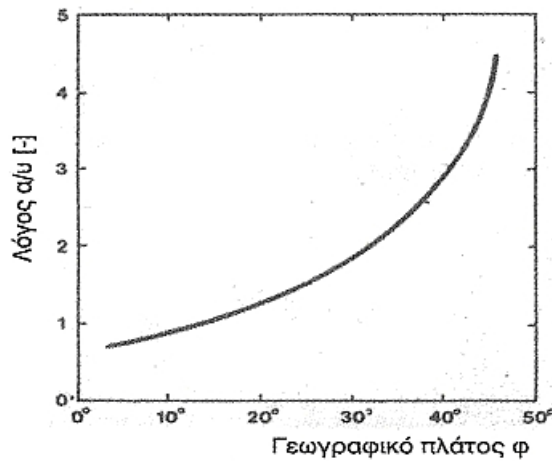


2. Υπολογισμός της ελεύθερης απόστασης μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων.

Η ελεύθερη απόσταση α προκύπτει από τον λόγο α/υ , τον οποίο υπολογίζουμε από το διάγραμμα του σχήματος 4.8.

Σχήμα 4.8 : καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης α μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων προς την επικάλυψη του ύψος υ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου.

Σχήμα 4.8 :



Ο υπολογισμός ελεύθερης απόστασης μεταξύ 2 γειτονικών σειρών (από σχήμα 6) $\alpha/\upsilon = 2,5$, άρα $\alpha = 2,5 * \upsilon = 2,5375\text{m}$

3. Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ αρχής ενός πανέλου και αρχής του επόμενου.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \alpha + \gamma * \sigma\upsilon\nu\beta \text{ [m]} \\ \varepsilon &= 2,5375 + 1.65 * \sigma\upsilon\nu 38^\circ = 3,837\text{m}\end{aligned}$$

*Στην πράξη εφαρμόζεται η διπλάσια απόσταση από την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης.

όπου :

α [m], γ [m], β [°] όπως προηγούμενα .

ΕΜΒΑΔΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΑΚΤΑΣΗΣ :

Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης S_E , που θα χρειαστεί για την τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων ή πάνελ ή συστοιχιών, δίνεται από την σχέση :

$$\begin{aligned}S_E &= S_o * \frac{\varepsilon}{\gamma * \sigma\upsilon\nu\beta} \text{ [m}^2\text{]} \\ S_E &= 51.378 * \frac{3.837}{1.65 * \sigma\upsilon\nu 38} = 151.61 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Όπου :

S_o [m²] : εμβαδόν οριζοντιας προβολής των όλων των ΦΒ πλαισίων

$$S_o = S_{\Pi} * N * \sigma\upsilon\nu\beta$$

$$S_o = 1,63 * 40 * \sigma\upsilon\nu 38^\circ$$

$$S_o = 51,378 \text{ m}^2$$

S_{Π} [m^2] : εμβαδόν ΦΒ πλαισίου .

N [-] : αριθμός ΦΒ πλαισίων .

ϵ [m]: ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων .

γ [m]: μήκος ΦΒ πλαισίου.

β [$^{\circ}$]: γωνία κλίσης πλαισίων.

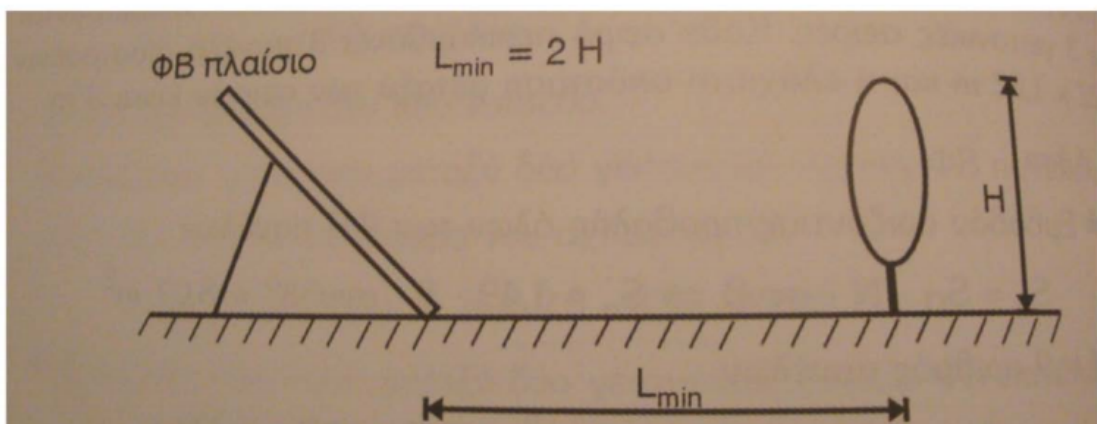
ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΚΙΑΣΗΣ ΑΠΟ ΕΜΠΟΔΙΑ :

Η σκίαση επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των ΦΒ πλαισίων. Ακόμα και μία μικρή ποσότητα σκιάς μπορεί να μειωθεί την απόδοση τους έως και 80% .απαιτείται, λοιπόν, σχολαστική αξιολόγηση της περιοχής και προσεκτική επιλογή του τόπου εγκατάστασης , προκειμένου να εξασφαλίσουμε τη βέλτιστη απόδοση του συστήματος.

Ανεπιθύμητη σκίαση μπορούμε να έχουμε από δέντρα, θάμνους, κτίρια γειτονικά ΦΒ πλαίσια, κολώνες των χειμερινών μηνών, όταν το ύψος του ήλιου είναι χαμηλό και οι σκιές γίνονται μακρύτερες. Για τις περιοχές στο βόρειο ημισφαίριο οι υπολογισμοί της χειρότερης σκίασης γίνονται για την 21^η Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Ένας πρακτικός τρόπος για να αποφύγουμε τη σκίαση των πλαισίων είναι να εξασφαλίζουμε ότι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αυτών και το εμπόδιο είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου. (Σχήμα 5)

Σχήμα 4.9 :Ελάχιστη απόσταση μεταξύ ΦΒ πλαισίου και εμποδίου για την αποφυγή της σκίασης.

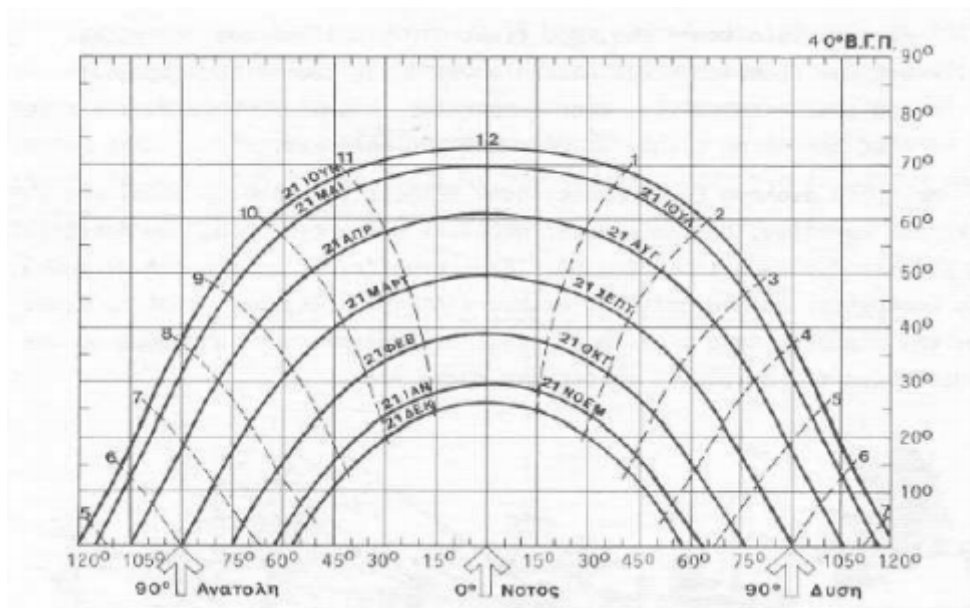


Μία σωστή επιλεγμένη περιοχή εγκατάστασης θα πρέπει να μην σκιάζεται από τις 09:00 π.μ. έως τις 03:00 μ.μ. για οποιαδήποτε ημέρα του χρόνου. Το χρονικό αυτό περιθώριο των έξι ωρών ονομάζεται ηλιακό παράθυρο.

Η αξιολόγηση μίας περιοχής μπορεί να γίνει εύκολα με τη βοήθεια του ηλιακού χάρτη της περιοχής, μίας πυξίδας και ενός ταχυμέτρου, που είναι όργανο μέτρησης του ύψους ενός εμποδίου. Για τον σκοπό αυτό ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

- Βήμα 1: Στεκόμαστε στο κέντρο της προτεινόμενης θέσης εγκατάστασης της ΦΒ συστοιχίας.
- Βήμα 2: Χρησιμοποιώντας την πυξίδα, που δείχνει πάντοτε τον Βορά, βρίσκουμε τελικά την Ανατολή.
- Βήμα 3: Χρησιμοποιώντας το ταχύτερο υπολογίζουμε το ύψος του κάθε εμποδίου, που βρίσκεται στην Ανατολή, σε μοίρες.
- Βήμα 4: Σημειώνουμε το ύψος σε μοίρες κάθε εμποδίου επάνω στον ηλιακό χάρτη (Σχήμα 8).
- Βήμα 5: Περιστρεφόμαστε κατά 15° , με την πλάτη προς τον Βορά, και επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3 και 4 για τη νέα θέση (Ανατολή + 15°).
- Βήμα 6: Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 5, 3 και 4 μέχρι να φτάσουμε στη Δύση.
- Βήμα 7: Συνδέουμε τα σημεία πάνω στον ηλιακό χάρτη και σκιάζουμε την περιοχή κάτω από τη γραμμή που σχεδιάσαμε.
- Μία σωστά επιλεγμένη περιοχή δεν πρέπει να σκιάζεται από τις 09:00 π.μ. έως τις 03:00 μ.μ.

Σχήμα 4.10: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΚΙΑΣΜΟΥ ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΗΛΙΑΚΟ ΧΑΡΤΗ.



- **ΒΗΜΑ 4 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΝ .**

Για τον υπολογισμό του αριθμού πλαισίων θα πρέπει να επιλέξουμε πρώτα συγκεκριμένο ΦΒ πλαίσιο.

Επιλέγουμε την εταιρία YIGLI SOLAR και το ΦΒ πλαίσιο : YL250P-29b.



Τεχνικά χαρακτηριστικά YIGLI SOLAR YL250P-29b.

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)			
Module type			YL250P-29b
Power output	Pmax	W	250
Power output tolerances	ΔP_{max}	W	
Module efficiency	Nm	%	15.3
Voltage at Pmax	Vmpp	V	30.4
Current at Pmax	Impp	A	8.24
Open-circuit voltage	Voc	V	38.4
Short-circuit current	Isc	A	8.79

Electrical parameters at Nomimal Operating Cell Temperature(NOCT)			
Power output	Pmax		181.1
Voltage at Pmax	Vmpp		27.6
Current at Pmax	Impp		6.56
Open-circuit voltage	Voc		35.4
Short-circuit current	Isc		7.12

THERMAL CHARACTERISTICS			
Nomimal Operating Cell Temperature	NOCT	$^{\circ}\text{C}$	46 +/-2
Temperature coefficient of Pmax	γ	$\% ^{\circ}\text{C}$	-0.45
Temperature coefficient of Voc	βV_{oc}	$\% ^{\circ}\text{C}$	-0.33
Temperature coefficient of Isc	αI_{sc}	$\% ^{\circ}\text{C}$	0.06
Temperature coefficient of Vmpp	βV_{mpp}	$\% ^{\circ}\text{C}$	-0.45

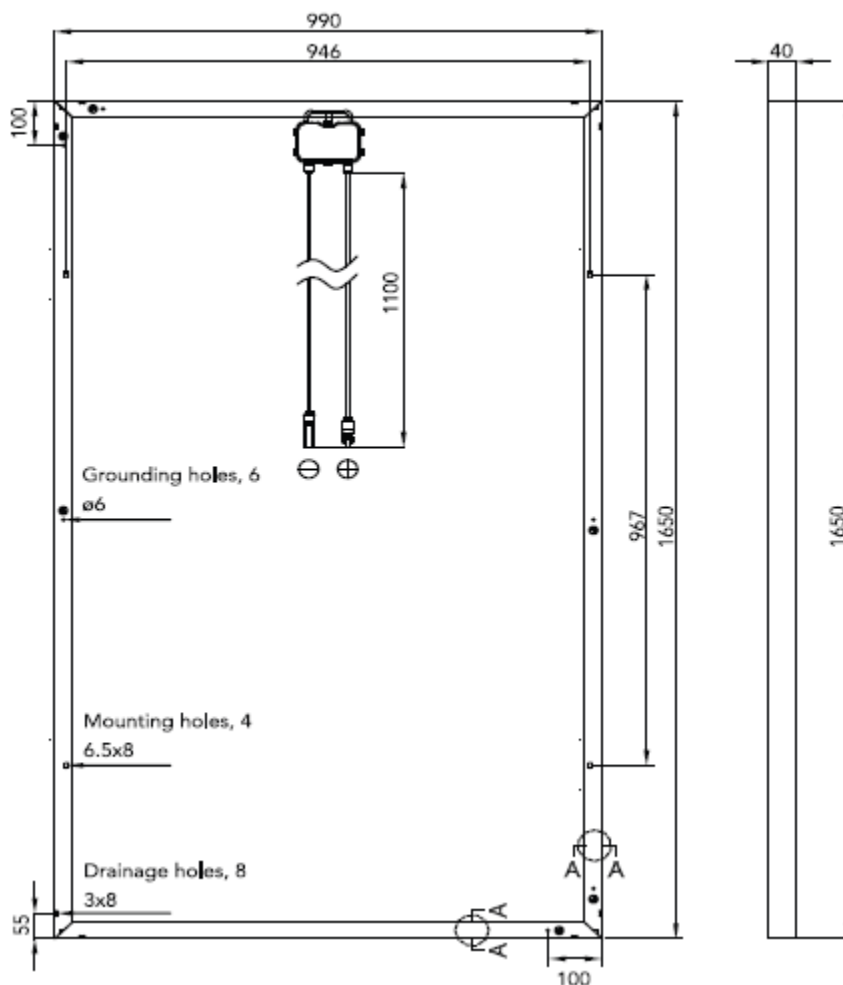
THERMAL CHARACTERISTICS	
Max. system voltage	1000Vdc
Max.series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40 to 85 $^{\circ}\text{C}$
Max.static load, back (e.g.,wind)	5400Pa
Max.static load,back (e.g.,wind)	2400Pa
Max.hailstone impact (diameter / velocity)	25mm/23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS	
Front cover (material / thickness)	Low-iron tempered glass / 3.2 mm
Cell (quantity / material / dimensions/ # of busbars)	60 /multicrystalline silicon /156mm *156 mm /2 or 3
Encapsulant (material)	Ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color edge sealing)	Anodized aluminum allou/silver/clear/silicone or tape
Junction box (protection degree)	≥ IP65
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4 mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 /IP67 or Amphenol H4 /IP68

GENERAL CHARACTERISTICS	
Dimensions (L / W / H)	1650mm / 990mm / 40mm
Weight	19.1kg

Σχήμα 4.11 ΦΒ πλαίσιου.

Unit: mm



$$\text{Αριθμός πλαισίων} : N = \frac{P_{p\Sigma}}{P_{p\Pi}}$$

Όπου :

$P_{p\Sigma}$ [W_p] ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας.

$P_{p\Pi}$ [W_p] ισχύς αιχμής πλαισίου.

$P_{p\Sigma}$ [W_p] = 10 KW_p

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά YIGLI SOLAR YL250P-29b έχουμε :

$P_{p\Pi}$ [W_p] = 250w

Άρα ο αριθμός των πλαισίων (N). Είναι :

$$N = \frac{P_{p\Sigma}}{P_{p\Pi}} = \frac{10000W_p}{250W} = 40 \text{ πλαίσια .}$$

• ΒΗΜΑ 5 : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ .

Αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά

Σχήμα 4.12

$$N_{\sigma} = V_{m\Sigma} / V_{m\Pi} \quad N_{\sigma} = 600 / 30,4 = 20 \text{ πλαίσια.} \quad \text{σχήμα (inverter 2string)}$$

Αριθμός εισόδων (Strings) .

$$N_{\pi} = N / N_{\sigma}$$

$V_{m\Sigma}$ [V] : μέση τάση ΦΒ συστοιχίας (επιλέγεται)

$V_{m\Sigma} = 600 \text{ V}$ (το επιλέγουμε από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του inverter)

$V_{m\Pi}$ [V] : μέγιστη τάση πλαισίου

N : αριθμός πλαισίων .

$$N_{str} = N / N_{\sigma} = 40 / 20 = 2 \text{ string}$$

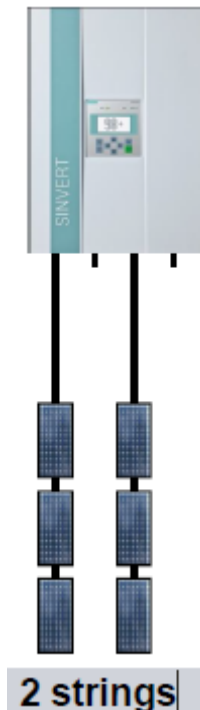
Και για να ελέγξουμε αν είμαστε στα όρια της μέγιστης τάσης εισόδου ,

N_{σ} : Αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά.

V_{mppt} : Βέλτιστη τάση.

$$N_{\sigma} * V_{mppt} = 20 * 38.4 = 768 \text{ volt}$$

Άρα το inverter αποδεκτό $768 < 1000 \text{ Volt}$.



- **ΒΗΜΑ 6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.**

Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των κλάδων της ΦΒ συστοιχίας με τον μετατροπέα DC-AC.

$$S = \frac{2\rho * l * I_{m\Sigma}}{\left(\frac{\Delta V}{V} * V_{m\Sigma}\right)} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S = \frac{2 * 0,03 * 10 * 8,24}{(0,01 * 600)} = 0,824 \text{ mm}^2$$

Θεωρητικά αρκεί αγωγός με διατομή $1,5 \text{ mm}^2$, αλλά έχει επικρατήσει για αγωγούς εγκατάστασης ΦΒ συστοιχιών βάζουμε ηλεκτρικό αγωγό με ελάχιστη διατομή 4 mm^2 .

Όπου :

ρ [$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$]

:ειδική αντίσταση ηλεκτρικού αγωγού
($0,03 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ για το αλουμίνιο)

l [m]

: μήκος ηλεκτρικού αγωγού σύνδεσης

$I_{m\Sigma}$

: μέγιστη ένταση ρεύματος ΦΒ συστοιχίας,
δηλαδή , ρεύμα εισόδου του μετατροπέα
τάσεως.

$\Delta V/V$

: επιτρεπόμενη πτώση τάσεως ($\Delta V/V=1\%=0.01$)

$V_{m\Sigma}$ [V]

: μέγιστη τάσης ΦΒ συστοιχίας.

- **ΒΗΜΑ 7 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ INVERTER ΣΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΙΝΑΚΑ (AC).**

$$P_{p\Sigma} = I_{\phi} * V_{\pi} * \sqrt{3}$$

$$I_{\phi} = \frac{P_{p\Sigma}}{V_{\pi} * \sqrt{3}} = \frac{10000 \text{ w}}{400 * \sqrt{3}} = 14.43 \text{ A}$$

Άρα για $14,43 \text{ A}$ αρκεί $2,5 \text{ mm}^2$, εκτός αν τίθεται θέμα πτώσεις τάσεις.

• **ΒΗΜΑ 8 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.**

Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια :

Πίνακας 4.2 : ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΕΗΑ [kWh/m²*Μήνα] ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟΜΕ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ β=30° ΝΟΤΙΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ.

ΠΟΛΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝ. [kWh/m ² -μήνα]	ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝ. [kWh/m ² -έτος]
Αθήνα	87	99	129	152	179	184	202	203	170	136	105	85	144	1730
Αλιάρτος	69	83	119	144	172	179	189	211	156	117	89	71	133	1600
Αράδος	89	94	130	148	171	171	191	198	167	135	102	81	140	1677
Αργαστέλι	93	96	130	142	180	187	200	199	186	134	100	81	142	1707
Άρτα	94	91	129	135	169	176	193	194	161	132	99	84	138	1656
Ηράκλειο	83	97	126	154	183	190	205	202	176	133	108	87	145	1744
Θεσσαλονίκη	75	87	113	142	167	171	192	181	151	115	83	70	129	1544
Ιεράπετρα	106	111	147	158	181	192	205	208	184	155	129	107	157	1882
Ιωάννινα	71	77	111	129	157	162	182	179	144	119	83	64	123	1478
Καλαμάτα	100	101	135	138	180	188	199	197	168	138	112	84	145	1741
Κέρκυρα	83	87	121	148	170	183	202	195	161	129	90	76	137	1640
Κομοτηνή	78	83	108	134	158	168	182	180	150	132	84	74	127	1522
Κόνιττα	80	81	118	123	156	160	180	178	144	117	89	80	125	1503
Κόρινθος	79	91	129	144	175	180	192	194	165	132	103	85	139	1666
Κίθηρα	100	101	132	146	178	189	199	198	172	140	108	90	146	1753
Λαμία	75	81	123	142	171	180	189	188	153	120	94	83	133	1600
Λάρισα	69	82	117	144	171	173	188	188	154	119	92	68	130	1565
Λήμιος	66	82	119	147	176	183	192	195	164	128	87	69	134	1606
Μεθώνη	86	96	131	139	175	181	195	193	165	139	108	84	141	1692
Μίλος	75	75	123	164	188	203	220	219	192	131	106	72	147	1787
Μυτιλήνη	76	86	119	143	180	188	206	202	173	134	96	77	140	1660
Νάξος	77	90	124	146	172	179	190	191	170	136	103	83	138	1660
Πάρος	83	98	132	155	185	193	203	200	174	140	104	84	146	1751
Πάτρα	78	88	133	133	167	180	187	185	160	125	91	79	134	1611
Πέλοπος	98	97	138	142	180	186	199	198	169	139	112	94	146	1751
Ρεθύμνο	83	98	120	148	181	183	201	200	166	118	110	83	141	1691
Ρόδος	95	101	142	159	184	191	207	210	188	153	118	95	153	1843
Σάμος	90	99	130	149	177	189	203	202	181	147	108	84	147	1759
Σέρρες	72	81	115	136	163	170	184	181	149	116	86	74	127	1526
Σπέρτα	85	96	132	152	181	188	203	199	174	136	111	86	146	1743
Σκόρος	84	79	110	144	178	186	199	195	162	121	87	68	133	1594
Σούδα Κρήτης	84	97	129	152	183	184	201	206	175	129	107	85	144	1731
Σύρος	82	100	127	159	187	187	207	204	176	148	104	85	147	1766
Τυμπάκι	101	108	148	155	179	189	202	210	181	152	122	101	154	1847
Χανιά	83	97	128	152	183	191	208	207	172	127	107	83	145	1738
Χίος	78	88	127	149	185	194	208	206	178	142	100	82	145	1737

$$E_{m\Sigma} = E_{HA} * N * S_{\Pi} * \eta_{\Pi} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa} * \sigma_{\mu} \text{ [kWh/έτος]}$$

$$E_{m\Sigma} = 1730 * 40 * 1.63 * 0.1398 * 0.98 * 0.98 * 0.92 = 13932 \text{ kWh/έτος}$$

Όπου:

E_{HA} [kWh/m²*έτος] : ετήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής Ακτινοβολίας, Από πίνακα 18 για Αθήνα.

N : αριθμός πλαισίων.

S_{Π} [m²] : επιφάνεια πλαισίου.

η_{Π} : βαθμός απόδοσης πλαισίου .

$$\eta_{\Pi} = \eta_{STC} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\delta}$$

$$\eta_{\Pi} = 0.1533 * 0.95 * 0.97 * 0.99 = 0.1398 = 13.98\%$$

η_{STC} : βαθμός απόδοσης πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC :

$$\eta_{\text{STC}} = \frac{P_{\text{pp}}}{P_{\text{stc}}} = \frac{250 \text{ W}}{1000 \text{ W/m}^2 \cdot 1.63} = 0.1533 = 15.33 \%$$

- σ_{γ} : συντελεστής γήρανσης ($\sigma_{\gamma}=0,95$)
 σ_{ρ} : συντελεστής ρύπανσης ($\sigma_{\rho}=0,97$ για πλαίσια ελαφρός σκονισμένα)
 σ_{δ} : συντελεστής απωλειών διόδου ($\sigma_{\delta}=0,99$)
 σ_{α} : συντελεστής ανομοιογένειας ($\sigma_{\alpha}=0,98$)
 σ_{κ} : συντελεστής καλωδιώσεων ($\sigma_{\kappa}=0,98$)
 σ_{μ} : συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας ($\sigma_{\mu}=0,92$)

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ :

Για την οικονομική αξιολόγηση του έργου θα συμπεριλάβουμε :

1. Κόστος Φβ πλαισίων .
2. Κόστος βάσεων των πλαισίων.
3. Κόστος inverter.
4. Κόστος ηλεκτρολογικών υλικών.
5. Κόστος ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.
- 6.Κόστος αγοράς kWh από Δ.Ε.Η.
7. Κόστος πώλησης kWh στην Δ.Ε.Η.

Σε όλα τα παραπάνω συμπεριλαμβάνεται ο Φ.Π.Α.

Έξοδα :

1. Το κόστος ανά ΦΒ πλαισίων είναι 210 €.

Το συνολικό κόστος των ΦΒ πλαισίων είναι $40 * 210 = 8400$ €

2. Κόστος ανά βάση ΦΒ πλαισίων είναι 37,5 €.

Το συνολικό κόστος των βάσεων είναι $37,5 * 40 = 1500$ €.

3. Το κόστος inverter είναι 2000 €.

4. Το κόστος των ηλεκτρολογικών υλικών είναι :

Για το κύκλωμα της DC πλευράς έχουμε τα εξής υλικά:

A/A	Είδος	Τύπος	Τεμάχια	Τιμή/Τεμ €	Τιμή €
1	Μικροαυτόματοι διακόπτες 2x10 A	S800PV-S	2	40	80
2	Απαγωγής υπερτάσεων OVR PV 40 600 P	OVR PV	2	55	110
3	Διακόπτες φορτίου 2x25A	S800PV-M	2	36	72
4	Ασφαλαιοαποζεύκτες	E 91/32 PV	2	3,25	6,5

5	Φυσίγγια (10 A)	E9F15 PV	2	4,25	8,5
6	Επιτοίχος στεγανός πίνακας	Europa IP 65	1	15	15
Σύνολο			10		292 €

Για το κύκλωμα της AC πλευράς είναι :

A/A	Είδος	Τύπος	Τεμάχια	Τιμή/Τεμ €	Τιμή €
1	Μικροαυτόματοι διακόπτες (4x16)	SH204T-B/C16	1	11,9	11,9
2	Απαγωγής υπερτάσεων	OVR –T	4	13,75	55
3	Διακόπτες φορτίου (4x40)	E200- OT	1	7,5	7,5
4	Διακόπτες Διαρροής (4x40) 300mA	FH204AC-40/0.3	1	29	29
5	Μετρητής	OD4165	1	100	100
6	Επιτοίχος στεγανός πίνακας	Gemini IP 66	1	40	40
Σύνολο			8		243,4 €

Άρα το Συνολικό κόστος των ηλεκτρολογικών υλικών είναι $243,4 € + 292 € = 535,4 €$

5. Το κόστος του ηλεκτρολόγου εγκαταστάτη είναι 1800 €
6. Το κόστος αγοράς είναι 0,12 kWh από την Δ.Ε.Η.
7. Το κόστος πώλησης είναι 0,22kWh προς την Δ.Ε.Η.

Τα συνολικά έξοδα της ΦΒ εγκατάστασης είναι :

$$8400 + 1500 + 2000 + 535,4 + 1800 = 14235,4 €$$

Έσοδα :

Κέρδος / έτος :

$$E.K[€/έτος] = E_{m\Sigma} [kwh/έτος] * C^* [€/kWh] = 13932 * 0.22 = 3065 €/έτος.$$

Όπου :

$E_{m\Sigma}$: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια [kwh/έτος]

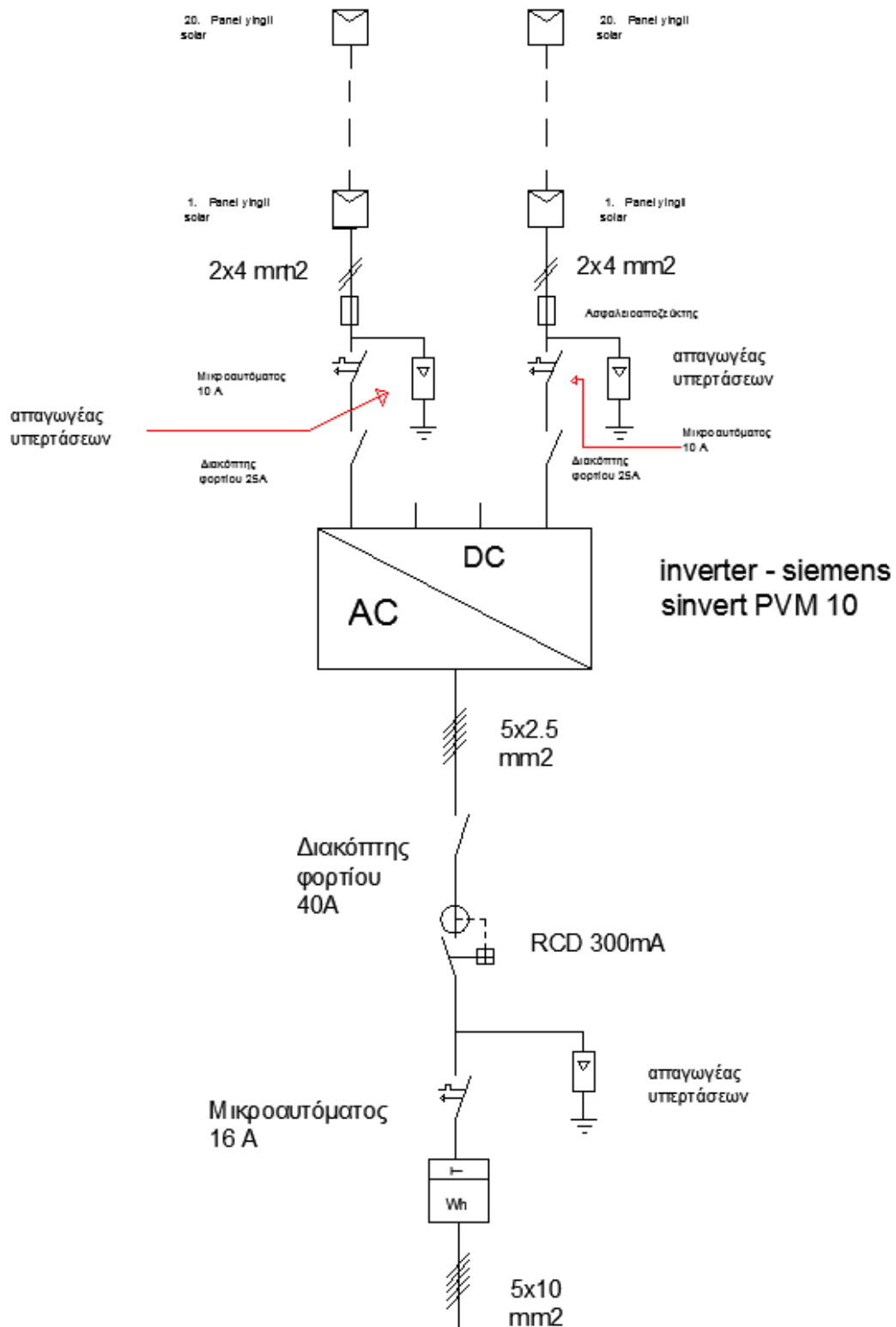
C^* : Κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. [€/kWh]

Ε.Κ : Ετήσιο κέρδος [€/έτος].

Απόσβεση επενδυτικού κεφαλαίου :

$$AK = \text{Έξοδα[€]} / \text{Έσοδα[€]} = 14235,4 / 3065 = 4,644 \text{ έτη}$$

ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 10 kW.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ

- Τυποποίηση
Κτιριακές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις
Νίκος Μ Κιμουλάκης Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.
 - ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ & ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α. ΜΠΑΛΑΡΑΣ / ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Α. ΑΡΓΥΡΙΟΥ / ΦΩΤΗΣ Ε.
ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ
 - Ηλιακή ενέργεια
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ [Tomas Markvart }
 - ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
Σχεδιάζοντας στις Αυλές των Ανέμων
Δρ. Δημήτρης Β. Κανελλόπουλος
 - Συνδεδεμένα καταναμημένα Φ/Β συστήματα
 - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ
ΣΤΑΜΑΤΗΣ Δ. ΠΕΡΔΙΟΣ – ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟΥ
ΛΩΖΑΝΗΣ (Ε.Ρ.Φ.Λ.) ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΥΝΒΟΥΛΟΣ Π.Ο.Μ.Ι.Δ.Α. &U.I.P.I.
 - Φροντίδα για το περιβάλλον σε συνδυασμό με μια αποδοτική επένδυση .
 - ABB + Λύσεις +Για + Φωτοβολταϊκά
 - Κατάλογος φωτοβολταϊκών συστημάτων Shneneider Electric
Υλικό για Φ/Β εγκαταστάσεις .
 - Γενικές Αρχές /Οικολογική αποδοχή / Η κατασκευή
Β.Η. ΣΕΛΟΥΝΤΟΣ
 - Νησιδοποίηση
Πυγή Π.Ο.Σ.Ε.Η.
 - Ρεαλιστικές από απόψεως αυτοματισμού
- ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΧΡΟΝΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟΥ - ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ Β. ΜΑΧΙΑΣ
Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ

- www.abb.com
- www.siemens.com
- www.yinglisolar.com
- www.google.com