



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΚΑΒΑΛΙΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

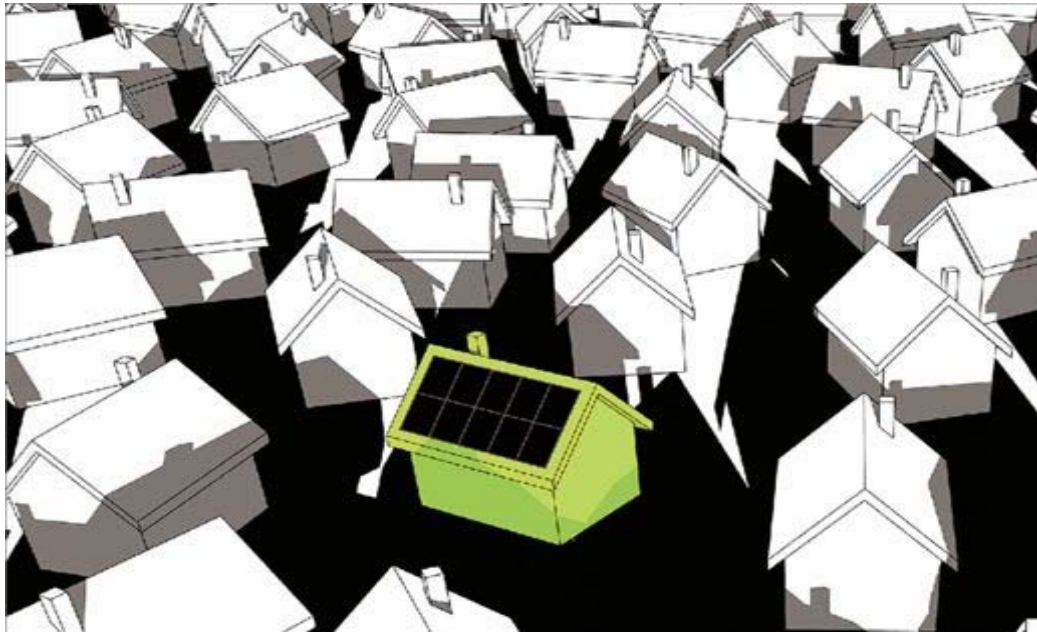
ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΕΪΣΙΔΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ ΑΜ:4687

ΒΑΣΙΛΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΜ:4712

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΘΕΜΑ

**Συγκριτική μελέτη εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού  
συστήματος σε εξοχική κατοικία με φωτοβολταϊκή  
εγκατάσταση σε οικόπεδο στην περιοχή της Σαμοθράκης**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται η μελέτη της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στέγης σε εξοχική κατοικία και φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οικόπεδο στην περιοχή της Σαμοθράκης. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί μία νέα κατασκευή (new design) οικιακού φωτοβολταϊκού. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών γίνεται για την κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών στην εξοχική κατοικία. Στην συνέχεια της εργασίας θα δούμε την εγκατάσταση P/V σε οικόπεδο της περιοχής στις Σαμοθράκης όπου εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια. Δηλαδή πουλάμε το ηλιακό ρεύμα στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής. Η διάταξη αποτελείται από τα πάνελ, την μονάδα ελέγχου και τη μονάδα μετατροπής εναλλασσόμενης τάσης.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....2

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Φωτοβολταϊκά

Ενότητα 1<sup>η</sup> «Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση» .....6

1.1.Εισαγωγή.....

1.2.Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο .....

1.3.Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία .....

1.4.Φωτοβολταϊκά Στοιχεία .....

1.5.Φωτοβολταϊκά Πλαίσια.....

1.5.1.Εισαγωγή.....

1.5.2.Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων .....

1.6.Φωτοβολταϊκή Ενέργεια.....

1.7.Περιγραφή Φ/Β Συστήματος Συνδεδεμένου στο Δίκτυο .....

1.7.1 Αυτονομα Φ/Β συστήματα.....

1.8 Προβλήματα που Προκύπτουν κατά τη Σύνδεση Φ/Β Συστημάτων στο Δίκτυο.....

1.8.1 Μη Τεχνικά Προβλήματα Συνδεδεμένων στο δίκτυο Φ/Β Συστημάτων.....

1.9 Τεχνικά Προβλήματα Συνδεδεμένων στο Δίκτυο Φ/Β Συστημάτων (Επίδραση Δικτύου στο Φωτοβολταϊκό Σύστημα) .....

## **Ενότητα 2<sup>η</sup> «Φ/Β Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο».....33**

<b>2.1.Εισαγωγή.....</b>	<b>.....</b>
<b>2.Βυθίσεις Τάσης .....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.2.2.Ανυψώσεις Τάσης.....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.2.3 Βραχυκυκλώματα σε Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις.....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.3. Τεχνικά Προβλήματα Φ/Β Συστημάτων Συνδεδεμένων στο Δίκτυο (Επίδραση Φωτοβολταϊκού Συστήματος στο Δίκτυο).....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.3.1. Ασφάλεια Προσωπικού και Πελατών.....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.3.2. Προστασία Εξοπλισμού και Συστήματος.....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.3.2. Α) Σφάλματα προς Γη.....</b>	<b>.....</b>
<b>Β) Συνεισφορά στην Ικανότητα Βραχυκυκλώματος.....</b>	<b>.....</b>
<b>Γ) Νησιδοποίηση .....</b>	<b>.....</b>
<b>Δ) Συμπεριφορά Φ/Β Συστήματος Κατά την Διάρκεια Ανωμαλιών του Δικτύου.....</b>	<b>.....</b>
<b>2.3.3.3. Α) Ποιότητα Ισχύος.....</b>	<b>.....</b>
<b>Β) Μεταβολές Τάσης.....</b>	<b>.....</b>
<b>Γ) Ασύμμετρο Φορτίο του Συνδεδεμένου Συστήματος.....</b>	<b>.....</b>
<b>Δ) Έγχυση Συνεχούς Ρεύματος στο Δίκτυο (Από τους Αντιστροφείς).....</b>	<b>.....</b>
<b>Ε) Συντελεστής Ισχύος.....</b>	<b>.....</b>
<b>Ζ) Ρεύματα Προς Γη (Μονοφασικό Φ/Β Σύστημα Χωρίς Μετασχηματιστή).....</b>	<b>.....</b>
<b>Η) Πολλαπλοί Αντιστροφείς και Δίκτυο AC.....</b>	<b>.....</b>
<b>Θ) Απώλειες.....</b>	<b>.....</b>
<b>Κ) Αρμονικές.....</b>	<b>.....</b>

**Ενότητα 3<sup>η</sup> «Πεδίο εφαρμογής για ασφαλή εγκατάσταση και την αξιόπιστη λειτουργία φωτοβολταϊκών».....47**

- 3.1. Δομή των Διασυνδεδεμένων Κτηριακών Φ/Β Συστημάτων.....
- 3.2. Κατηγοριοποίηση των Διασυνδεδεμένων Κτηριακών Φ/Β Συστημάτων....
- 3.3. Διαμόρφωση της σύνδεσης βάσει της μέγιστης ισχύος της Φ/Β.....
- 3.4. Προσανατολισμός των Φ/Β Πλαισίων.....
- 3.5. Προβλήματα σκιασμών.....
- 3.6. Στατική μελέτη & Υλικά στήριξης.....

**Ενοτητα 4<sup>η</sup> <<Περιγραφή των οργάνων μετρησης που χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση>>.....60**

- 4.1 Φορητός θερμικός αναλυτής εικόνας.....
- 4.2 Πυρανομετρο.....
- 4.3 Μετρητής θερμοκρασίας και υγρασιαστού αερα.....
- 4.4 Πολυμετρο.....
- 4.5 διαδικασία μετρησης.....

**Ενοτητα 5<sup>η</sup> Μελέτη εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος σε εξοχική κατοικία.....89**

## **1. Εισαγωγή**

Η ενέργεια αποτέλεσε και αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Σε όλη την ιστορική του πορεία ο άνθρωπος χρησιμοποίησε προς όφελος του όλες τις μορφές ενέργειας που του έδινε η φύση (δύναμη του ανέμου, του νερού, του ήλιου και της φωτιάς ) με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης. Στους πρόσφατους αιώνες, η παραγωγή της ενεργείας γίνεται συνήθως σε μεγάλους θερμοηλεκτρικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ισχύος δεκάδων, εκατοντάδων ή χιλιάδων MW, που καταναλώνουν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο, ουράνιο και άλλα σχάσιμα υλικά ή χρησιμοποιούν υδατοπτώσεις. Όλες όμως αυτές οι ενεργειακές πηγές έχουν περιορισμένες σχετικά προοπτικές αφού τα συμβατικά και τα πυρηνικά καύσιμα εξαντλούνται βαθμιαία αλλά και η υδραυλική ενεργεία είναι ποσοτικά καθορισμένη και γεωγραφικά εντοπισμένη. Όλα αυτά αποτέλεσαν την αιτία της πετρελαϊκής κρίσης, που εκδηλώθηκε το 1973 με τον απότομο τετραπλασιασμό της τιμής του αργού πετρελαίου και ακολούθηθηκε με άλλες διαδοχικές αυξήσεις τα επόμενα χρόνια. Είναι επομένως φανερό η ύπαρξη ενός ενεργειακού προβλήματος, τουλάχιστον ως προς την μελλοντική αντιμετώπιση των αναγκών της ανθρωπότητας σε ηλεκτρισμό. Συνάμα, τα τελευταία χρόνια άρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων. Ενώ η πυρηνική ενέργεια που κατά τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης της είχε δώσει ελπίδες για ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος σκεπάστηκε από σκεπτικισμό και αμφισβήτηση λόγω των δύο πολύ σοβαρών ατυχημάτων που έγιναν στους πυρηνικούς σταθμούς του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας το 1979 και του Τσερνομπίλ της Ουκρανίας το 1986 που είχαν ολέθριο αντίκτυπο στο οικοσύστημα μέχρι τις μέρες μας. Τα δραματικά αυτά γεγονότα ήρθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την

αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας. Όλα τα μηνύματα έδειχναν πια καθαρά, ότι η συνέχιση της πορείας μας στο μέλλον επιβάλλει την αλλαγή της καθημερινής νοοτροπίας μας και την αναθεώρηση των αξιών της ζωής, σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας και των στόχων της τεχνολογικής ανάπτυξης. Είναι πολύ σημαντικό και επιπλέον πολύ χρήσιμο για την ορθή επιλογή των μέτρων περιβαλλοντικής αποκατάστασης, να συνειδητοποιήσουμε το εντυπωσιακά μεγάλο μέγεθος της χρονικής απόκρισης του φυσικού μας κόσμου σε κλιματικές μεταβολές. Απαιτούνται δεκαετίες για να διαπιστωθούν τα πρώτα ενθαρρυντικά θετικά αποτελέσματα, των όποιων σημερινών διορθωτικών επεμβάσεων μας στο οικολογικό σύστημα. Η διάσκεψη στο Ρίο, το καλοκαίρι του 1992, προσδιόρισε το πρόβλημα στις πραγματικές του διαστάσεις, προδιαγράφοντας άμεσες ενέργειες και επεμβάσεις. Τα επιστημονικά στοιχεία για τη σχέση της βιομηχανικής δραστηριότητας με τις αρνητικές κλιματικές αλλαγές, την οικολογική υποβάθμιση και το δυσοίωνο μέλλον του πλανήτη μας, ήταν συντριπτικά. Παρά ταύτα, οι τρόποι αντιμετώπισης και ο έλεγχος εφαρμογής τους δεν βρήκαν όλες τις κυβερνήσεις σύμφωνες λόγω των μεγάλων συμφερόντων που διακυβεύονταν. Στην επόμενη, όμοια διάσκεψη, στο Κιότο της Ιαπωνίας, το Δεκέμβριο του 1997, καταβλήθηκε προσπάθεια για μια νέα συμφωνία, βασισμένη σε πιο δραστικά μέτρα. Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο τελευταία παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος που επιδεικνύουν οι κυβερνήσεις, οι ενεργειακοί σχεδιαστές, οι εταιρείες ηλεκτρισμού και οι ιδιώτες για την ένταξη των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργεια (ΑΠΕ) στο χαρτοφυλάκιο ενεργειακής τροφοδοσίας. Μακροπρόθεσμος στόχος της Ευρωπαϊκής πολιτικής είναι η σημαντική συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (12% το έτος 2010) προερχομένων από την Ευρώπη, η οποία ειδικά για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής προγραμματίζεται να ανέλθει στο 22,1% της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρισμού μέχρι το 2010 (12,5% χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά). Έτσι δημιουργείται ένα πολύ ευνοϊκό κλίμα για την αναζήτηση και εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η γενική τάση ήταν προς ανανεώσιμες (μη εξαντλήσιμες) πηγές, σε αντιδιαστολή με τα συμβατικά καύσιμα και τις υδατοπτώσεις και προς ήπιες μορφές σε αντιδιαστολή με την πυρηνική ενέργεια. Οι πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες ΑΠΕ σήμερα βασίζονται στον άνεμο, τη βιομάζα και την ηλιακή ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή αλλά και για την παραγωγή θερμότητας. Προς το παρόν οι εφαρμογές ΑΠΕ αφορούν κυρίως μια

τεχνολογία ΑΠΕ και όχι συνδυαστικές τεχνολογίες π.χ. αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά πάρκα κλπ. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις παραπάνω απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις, και που η ενδεχομένη αξιοποίηση βρήκε ανεπιφύλακτη αποδοχή στη διεθνή κοινή γνώμη. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε σημαντική κλίμακα για την παραγωγή θερμότητας με σκοπό τη θέρμανση νερού στους οικιακούς θερμοσίφωνες, τη θέρμανση χώρων και πολλές άλλες οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις. Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς

[α] χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη,

[β] δεν έχουν κινούμενα μέρη, [δ] παράγουν τον ηλεκτρισμό στο σημείο της κατανάλωσης, και

[γ] παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας

Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης στο πεδίο των ΑΠΕ βρίσκονται σε συμφωνία με τις εθνικές και Ευρωπαϊκές πολιτικές για την ενέργεια, και από το πρόγραμμα πλαίσιο της Ε.Ε έχουν διατεθεί σημαντικές χρηματοδοτήσεις για την ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ ιδιαίτερα των υβριδικών. Έτσι στο παρόν πόνημα θα ασχοληθούμε με την μελέτη υβριδικού (φωτοβολταϊκού-θερμικού) συστήματος συλλεκτών για την θέρμανση νερού χρήσης. Η ανάγκη ανάπτυξης αυτών των συστημάτων προέκυψε λόγω του ότι το μεγαλύτερο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό αλλά σε θερμότητα, η οποία συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας τους με συνέπεια την μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης. Η απαγωγή της θερμότητας γίνεται από ειδικές μονάδες απαγωγής θερμότητας ενσωματωμένες στο πίσω μέρος των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Η απαγωγή της θερμότητας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βοηθά όχι



μόνο στη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας του αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή τους απόδοση.

## **Ηλιακή ενέργεια**

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών κατασκευών (Παθητικά ηλιακά συστήματα) και στην δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της σε άλλης μορφής ενέργεια ή χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό σε κίνηση (Ενεργά ηλιακά συστήματα). Στα ενεργά συστήματα συγκαταλέγονται αυτά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (θερμοσιφωνικά συστήματα) και αυτά που μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκά συστήματα). Στο παρόν πόνημα θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τα ενεργά ηλιακά συστήματα. Σε αυτό το σημείο κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια σύντομη αναφορά σε κάποιες βασικές έννοιες της ηλιακής ενέργεια που έχουν να κάνουν με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Οι ηλιακές κυψέλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, είτε έμμεσα με αρχική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Οι πιο κοινές μορφές των ηλιακών κυψελών βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο(Φ/Β). Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μία κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα και, θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί. Πάντως, δεν μπορεί να μετατραπεί όλο το φως σε ηλεκτρισμό, καθώς οι Φ/Β κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας κείται στην υπέρυθη ή θερμή και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικότητας μετατροπής.

Η ηλιακή ενέργεια είναι πραγματικά μια τεράστια πηγή ενέργειας. Σε λιγότερο από μια ώρα η ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στη γη θα μπορούσε να καλύψει τις

παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις για ένα χρόνο αν μπορούσε να αξιοποιηθεί. Οι περισσότερες από τις άλλες μορφές Α.Π.Ε. εξαρτώνται από τον ήλιο. Η υδροηλεκτρική, η αιολική και ένα μέρος της ενέργειας των κυμάτων, οφείλονται στην ηλιακή ενέργεια.

Η ιστορία των φωτοβολταϊκών πηγαίνει πίσω πάνω από 150 χρόνια όταν το 1839 ο Alexandre Edmund Becquerel παρατήρησε ότι παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από συγκεκριμένες χημικές αντιδράσεις και το ηλιακό φως. Ένα παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και σε ένα στερεό (σελήνιο) αρκετές δεκαετίες αργότερα. Ωστόσο μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των φαινομένων αυτών έγινε στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα με την ανάπτυξη της επιστήμης και της κβαντικής θεωρίας. Η ανάπτυξη της πρώτης στερεής συσκευής τη δεκαετία του 1940 άνοιξε το δρόμο για την ανακοίνωση της πρώτης ηλιακής κυψέλης πυριτίου με απόδοση 6% (1954).

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι αξιόπιστη, δεν περιλαμβάνει κινούμενα μέρη και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι πολύ χαμηλό. Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη και δεν μολύνουν το περιβάλλον. Επίσης η ενέργεια παράγεται εκεί που χρειάζεται χωρίς να είναι αναγκαίες γραμμές για τη μεταφορά της. Το κόστος των φωτοβολταϊκών ήδη ανταγωνίζεται με αυτό των μικρών μονάδων παραγωγής ενέργειας, όπως των γεννητριών πετρελαίου. Το μεγάλο μειονέκτημα τους είναι το υψηλό αρχικό κόστος τους.

### 3. Ιστορική Αναδρομή

Είναι ιδιαίτερα φανερό πως σήμερα γίνεται μια ιδιαίτερη προσπάθεια στον τομέα των Φωτοβολταϊκών και των διάφορων τεχνολογιών υποστήριξης τους. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%. Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου ( υπόθεση του φωτονίου). Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των p και n ενώσεων των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956 , ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο , το οποίο λειτουργούσε με απόδοση του 10%. Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας στην εξερεύνηση του διαστήματος διάνοιξε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το 1958, 108 ηλιακά κύτταρα είχαν σταλεί στο διάστημα για δοκιμή. Η σύνδεση σε σειρά άρχισε αργότερα σε μικρότερο αριθμό. Το 1970 η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500 m<sup>2</sup>. Η επίγεια χρήση ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '70, παίρνοντας δυναμική από την πετρελαϊκή κρίση του 1973-74 και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών. Η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας ήταν να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με την εύρεση νέων φθηνότερων υλικών. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Το άσμα των ε αρμογών τους κυμαίνεται από μικρής κλίμακας συστήματα σε ρολόγια και υπολογιστές τσέπης , μέχρι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 12% ως 18% σε συγκεκριμένες συνθήκες αναφοράς.

Στις ηλιακές κυψέλες δεν είναι δυνατή η μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι στο περιβάλλον. Στη συνέχεια από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό,

προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγικό υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει, όπως είδαμε, στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται, σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα. Η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ανεπιθύμητη καθώς επιδρά αρνητικά στην απόδοσή τους.

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της σημερινής εποχής είναι η έντονη περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση. Η μείωση των φυσικών καυσίμων εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης τους, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η καταστροφή του οικοσυστήματος και του περιβάλλοντος είναι μερικά από τα προβλήματα των τελευταίων δεκαετιών. Επιτακτική, λοιπόν, προβάλλει η ανάγκη για την ανάπτυξη εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας με υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλή εκπομπή ρύπων.

Μια λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η γεωθερμία, η ενέργεια των ανέμων και των ωκεανών, η καύση φυτικών προϊόντων (βιομάζα) ή οργανικών αποβλήτων.

Μια άλλη πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις παραπάνω απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις, και που η ενδεχόμενη αξιοποίηση της βρήκε ανεπιφύλακτη αποδοχή στη διεθνή κοινή γνώμη, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, που μετατρέπεται αφ' ενός σε θερμότητα και αφ' ετέρου σε ηλεκτρισμό βάσει του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτού του είδους έχουν την δυνατότητα να παράγουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία [1].

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη Γη. Το ετήσιο συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι περίπου ίσο με 10.000 φορές την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή

κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή με ικανοποιητική απόδοση μετατροπής.

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άλλα άχρηστα προϊόντα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών με κριτήριο την απαίτηση ισχύος, από πολύ μικρές τιμές έως πολύ μεγάλες. Υπάρχει αφθονία πρώτων υλών για την κατασκευή των ηλιακών κυψελών. Επίσης, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και πολύ μικρό κόστος συντήρησης.

Ωστόσο, αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας έχει και κάποια μειονεκτήματα όπως είναι το υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών κυψελών και η απαίτηση χρησιμοποίησης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την σωστή λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επίσης, παρουσιάζονται ορισμένα από τα προβλήματα λειτουργίας τους.

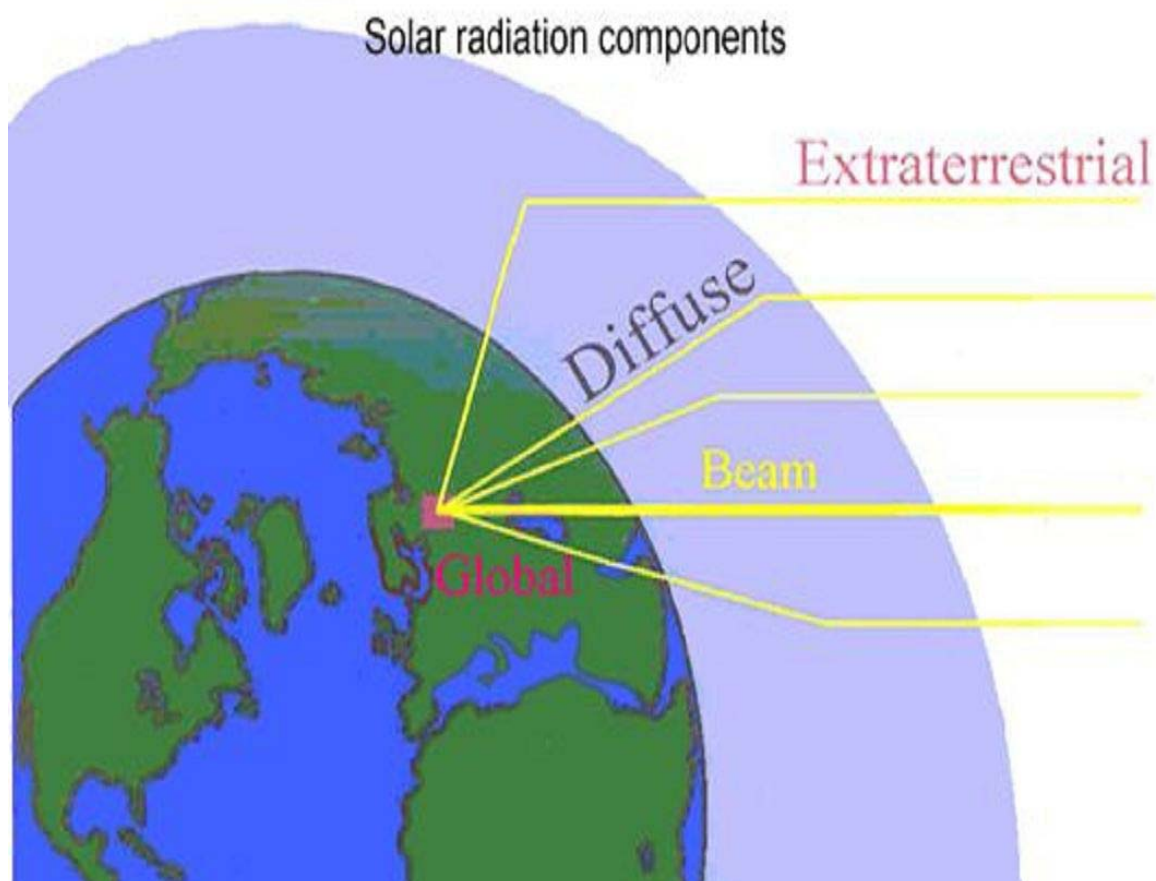
## ***Η ηλιακή ακτινοβολία***

Για την παραγωγή ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας, την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται από τον πυρήνα του Ήλιου, όπου γίνεται η πυρηνική σύντηξη ατόμων υδρογόνου και ατόμων

ηλίου. Κάθε δευτερόλεπτο αυτής της διεργασίας, 700 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται σε 695 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Οι υπόλοιποι 5 εκατομμύρια τόνοι μετατρέπονται σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η οποία εκλύεται από την επιφάνεια του Ήλιου στο διάστημα.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέλθει στην ατμόσφαιρα, ένα μέρος της σκεδάζεται (από μόρια αέρα, νερού και σκόνης) και ένα μέρος απορροφάται (από O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>). Μόνο, λοιπόν, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στο έδαφος χωρίς να έχει υποστεί κάποια επίδραση. Αυτή η συνιστώσα ακτινοβολία ονομάζεται ακτινική ή άμεση ακτινοβολία.

Ένα μέρος της σκεδασμένης ηλιακής ακτινοβολίας επιστρέφει στο διάστημα, όμως το υπόλοιπο μέρος της σκεδασμένης ηλιακής ακτινοβολίας καταφέρνει να 'φτάσει' στο έδαφος. Η ηλιακή αυτή ακτινοβολία, της οποίας η κατεύθυνση έχει αλλάξει λόγω της σκέδασης στην ατμόσφαιρα, ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 1.1.



**Σχήμα 1. 1:** Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα οριζόντιο επίπεδο είναι το άθροισμα της ακτινικής και της διάχυτης ακτινοβολίας:  $I = + (1.1)$   
όπου:  $I$  είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης,  
 $I_b$ : είναι η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο,  
 $I_d$ : είναι η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.  
Εάν η υπό εξέταση επιφάνεια είναι κεκλιμένη, τότε στον προηγούμενο ορισμό πρέπει να προστεθεί η ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος (ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία).

$$I_t = I_{bt} + I_{refl,T}$$

όπου:

$I_t$ : είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης,  
 $I_{bt}$ : είναι η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο,  
 $I_{refl,T}$ : είναι η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο,  
είναι η ανακλώμενη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

## ***Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική***

Η πρώτη παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου έγινε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Henri Becquerel. Ο Becquerel ανακάλυψε πως είναι δυνατόν να εμφανισθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν μια φωτεινή πηγή εφαρμοσθεί σε ορισμένα χημικά διαλύματα. Το 1883, η πρώτη ηλιακή κυψέλη κατασκευάστηκε από τον Charles Fritts, ο οποίος χρησιμοποίησε το σελήνιο με ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα χρυσού για την κατασκευή των ενώσεων. Η συσκευή ήταν περίπου 1% αποτελεσματική. Στη συνέχεια, ο Ρώσος φυσικός Aleksandr Stoletov κατασκεύασε την πρώτη ηλιακή κυψέλη με βάση το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (το ανακάλυψε ο Heinrich Hertz

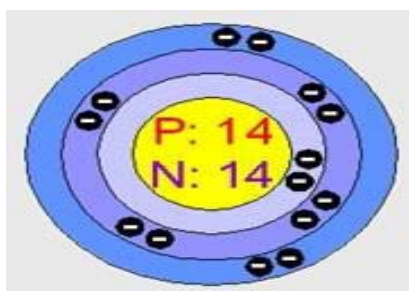
νωρίτερα το 1887). Ενώ, το 1946 ο Russell Ohl κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας την κατασκευή ενώσεων ηλιακών κυψελών. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο άρχισε να γίνεται παγκοσμίως γνωστή κυρίως με την ανακοίνωση της πρώτης κατασκευής ηλιακής κυψέλης πυριτίου από τους Fuller, Pearson και Chappin το 1954 [4,5].

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια.

Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων του ατόμου στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός και το πιο σύνηθες υλικό κατασκευής των ηλιακών κυψελών είναι το πυρίτιο (Si).



**Σχήμα 1. 2:** Άτομο πυριτίου



Το πυρίτιο έχει κάποιες ιδιαίτερες χημικές ιδιότητες στην κρυσταλλική του δομή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2, ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια καταναμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι πρώτες δύο στοιβάδες, αυτές που είναι πιο κοντά στο κέντρο, είναι συμπληρωμένες (2 και 8 ηλεκτρόνια αντίστοιχα). Η εξωτερική στοιβάδα όμως έχει μόνο 4 ηλεκτρόνια ενώ θα έπρεπε να έχει 8. Γι' αυτό μοιράζεται ηλεκτρόνια με τα γειτονικά του άτομα. Έτσι, τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν την κρυσταλλική δομή του πυριτίου, που είναι πολύ σημαντική για τις ηλιακές κυψέλες.

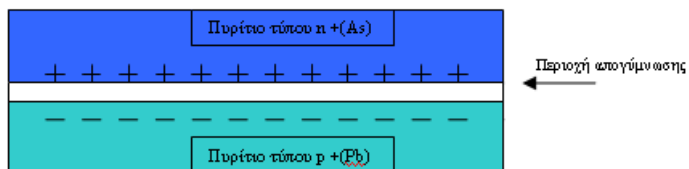
Αυτό είναι το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο. Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού αφού κανένα ηλεκτρόνιο του δεν είναι ελεύθερο να μετακινηθεί όπως τα ηλεκτρόνια στους καλούς αγωγούς, σαν το χαλκό. Αντίθετα τα ηλεκτρόνια του είναι 'κλειδωμένα' στην κρυσταλλική δομή του. Το πυρίτιο σε μια ηλιακή κυψέλη τροποποιείται ελαφρά έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει σαν ηλιακή κυψέλη. Το κρυσταλλικό πυρίτιο αναμιγνύεται με άτομα φωσφόρου. Ο φώσφορος έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα και όχι 4 όπως το πυρίτιο. Πάλι συνδέεται με τα γειτονικά του άτομα πυριτίου αλλά ο φώσφορος έχει ένα ηλεκτρόνιο που δεν συνδέεται με κάποιο άλλο. Δεν σχηματίζει δεσμό, αλλά υπάρχει ένα θετικό πρωτόνιο στον πυρήνα του φωσφόρου που το συγκρατεί. Όταν διοχετεύεται ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, για παράδειγμα με τη μορφή θερμότητας, μερικά ηλεκτρόνια σπάζουν τους δεσμούς τους και φεύγουν από τα άτομα τους. Τότε δημιουργείται μια κενή θέση στο άτομο. Αυτά τα ηλεκτρόνια περιφέρονται τυχαία μέσα στο κρυσταλλικό πυρίτιο αναζητώντας μια άλλη θέση.

Έτσι μεταφέρουν την ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα). Είναι τόσο λίγα που δεν είναι πολύ χρήσιμα. Το πυρίτιο, όμως, με άτομα φωσφόρου είναι κάτι διαφορετικό. Χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ελευθερωθεί το επιπλέον ηλεκτρόνιο του φωσφόρου, αφού αυτό δεν σχηματίζει δεσμό με άλλο (τα γειτονικά ηλεκτρόνια δεν το συγκρατούν). Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος, που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η διαδικασία μίξης ατόμων κρυσταλλικού πυριτίου με

Άτομα φωσφόρου δημιουργεί πυρίτιο που ονομάζεται πυρίτιο τύπου N (Negative, Αρνητικό) εξαιτίας της υπεροχής του αριθμού των ηλεκτρονίων και είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος της ηλιακής κυψέλης είναι πυρίτιο τύπου N. Το άλλο μέρος είναι ανάμειξη κρυσταλλικού πυριτίου με βόριο, το οποίο έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί για 4, και μετατρέπεται σε πυρίτιο τύπου P. Αντί να έχει ελεύθερα ηλεκτρόνια, το πυρίτιο τύπου P (Positive, θετικό) έχει ελεύθερες θέσεις. Οι θέσεις αυτές είναι ουσιαστικά απουσία ηλεκτρονίων, και έτσι μεταφέρουν αντίθετο φορτίο (θετικό) και περιφέρονται όπως και τα ηλεκτρόνια.

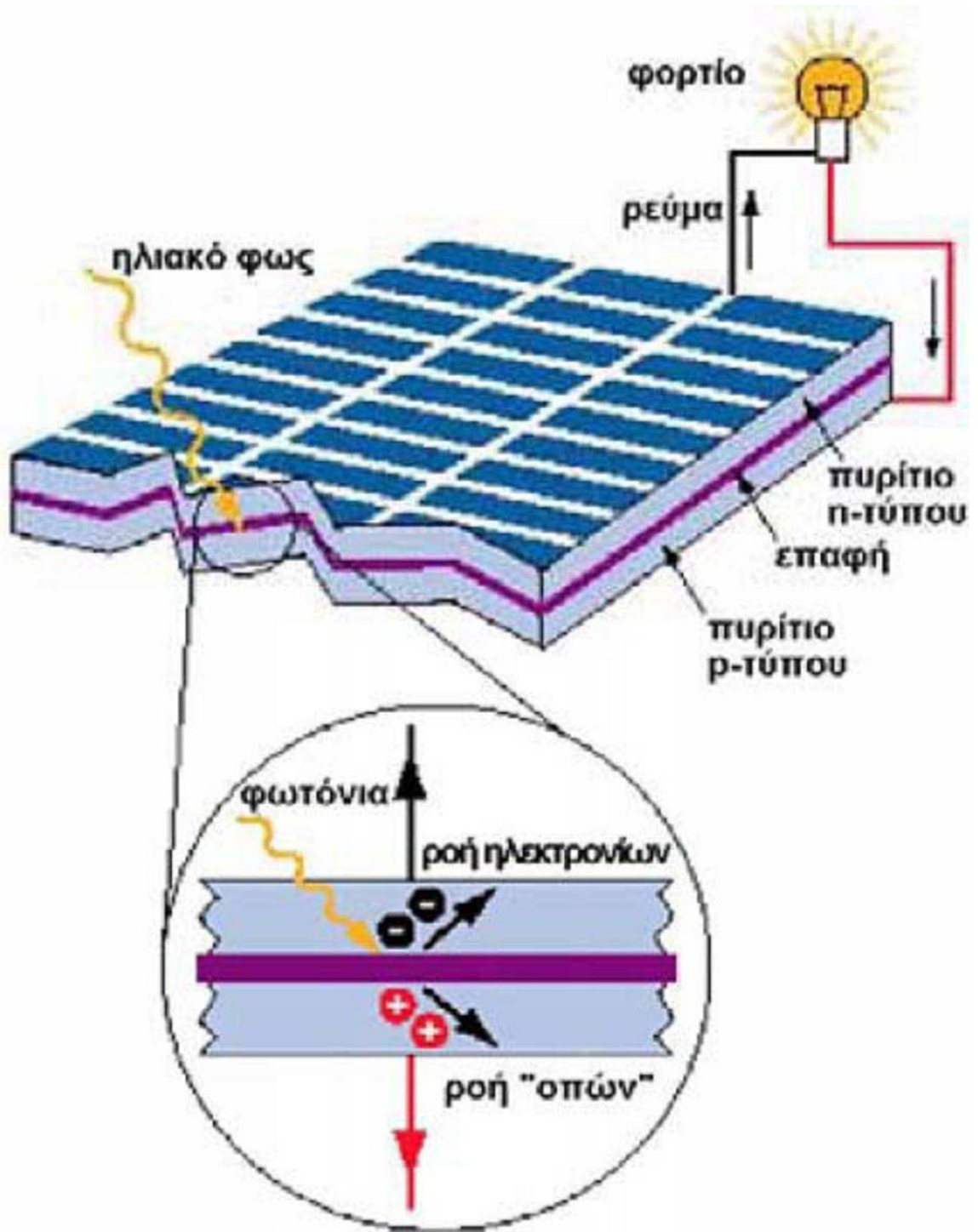
Όταν τοποθετηθούν μαζί πυρίτιο τύπου P και N, η ηλιακή κυψέλη έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρικό πεδίο. Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο, η κυψέλη δεν θα λειτουργούσε. Ξαφνικά τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου N ψάχνουν για ελεύθερες θέσεις και προσπαθούν να καλύψουν τις κενές θέσεις στο πυρίτιο τύπου P. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο P στο N αλλά όχι αντίστροφα. Έτσι, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο που λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, στο οποίο τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν σε μια μόνο κατεύθυνση.



**Σχήμα 1. 3:** Το ηλεκτρικό πεδίο μιας ηλιακής κυψέλης

Άρα λοιπόν, η λειτουργία των ηλιακών κυψελών βασίζεται στην δημιουργία ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού. Όσο διαρκεί η ακτινοβολή της κυψέλης, δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη φορέων. Αν οι ελεύθεροι αυτοί φορείς δεν επανασυνδυαστούν αλλά βρεθούν στην περιοχή της ένωσης P-N, θα δεχτούν το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο της διόδου και θα διαχωριστούν. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου N και οι οπές μεταφέρονται προς το τμήμα τύπου P, με αποτέλεσμα η συσσώρευση αυτή του φορτίου στα δυο τμήματα να δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες της διόδου. Η διάταξη, δηλαδή, λειτουργεί ως ορθά πολωμένη δίοδος και ως πηγή ηλεκτρικού ρεύματος για όσο διαρκεί η οπτική διέγερση.

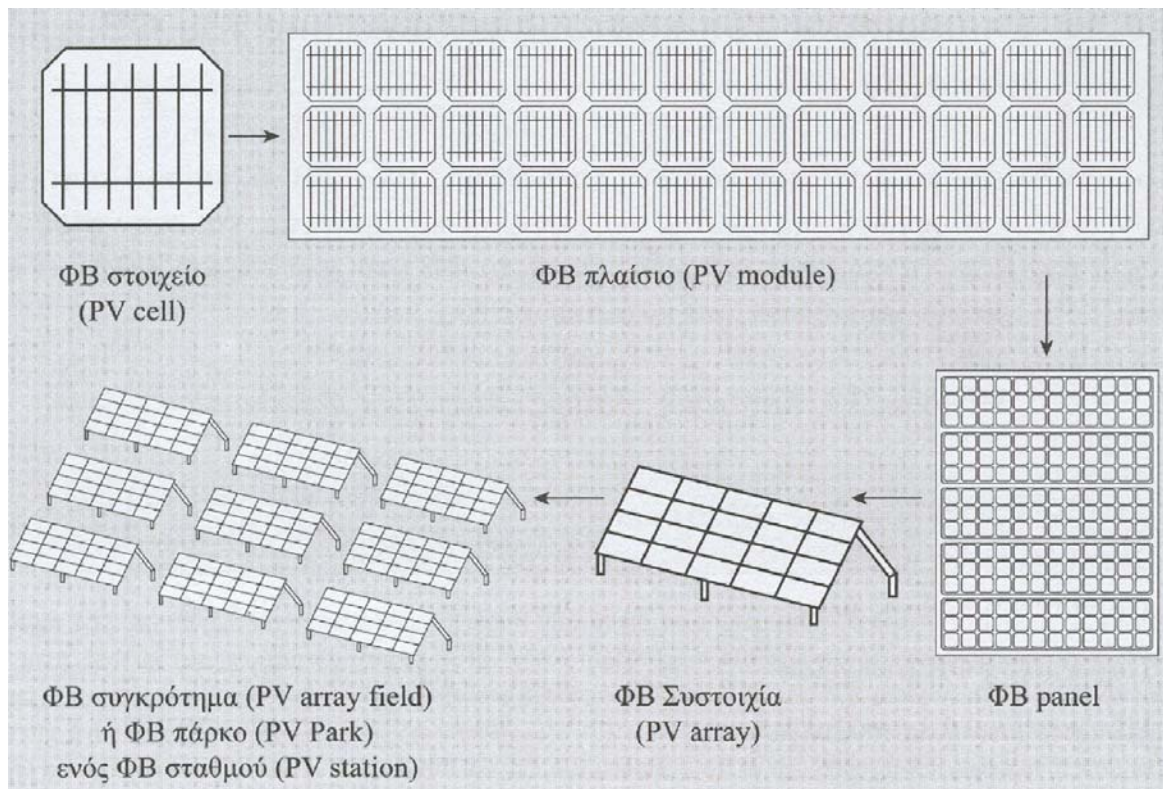
Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δυο όψεις της ηλιακής κυψέλης σύμφωνα με την διαδικασία που προαναφέρθηκε ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο [1,5,6].



Σχήμα 1. 4: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

## Οι ηλιακές κυψέλες

Επειδή η ενέργεια που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη είναι περιορισμένη και προκειμένου να παραχθεί μια σημαντική ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, πολλές ηλιακές κυψέλες συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρονικά, σχηματίζοντας έτσι ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις, στις οποίες γίνεται παραγωγή μέσης ή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ισχύος, απαιτείται η ύπαρξη πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα οποία συνδέονται και σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια διατάσσονται με τέτοιο τρόπο, στο διαθέσιμο χώρο, ώστε να μην προκαλούνται προβλήματα σκίασης μεταξύ των διαφορετικών σειρών των πλαισίων.



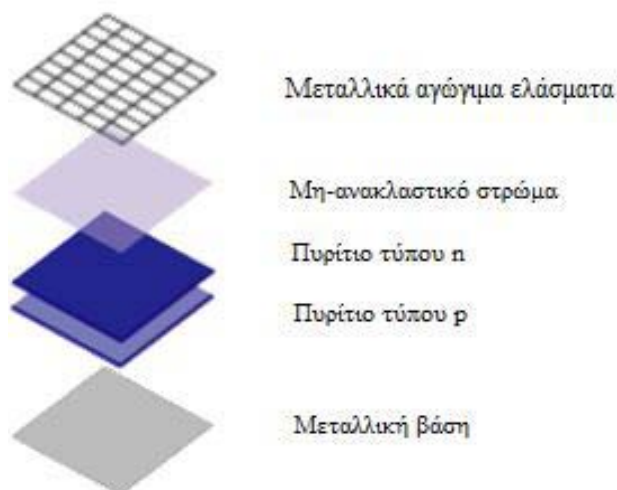
Σχήμα 1. 5: Σύνθεση ηλιακών κυψελών και πλαισίων

## *Η δομή των ηλιακών κυψελών*

Για λόγους μηχανικής αντοχής και ευχρηστίας, οι ηλιακές κυψέλες έχουν ενσωματωμένα στο περίγραμμά τους μεταλλικά ελάσματα ανοδιωμένου αλουμινίου και, για λόγους προστασίας είναι αεροστεγώς και υδατοστεγώς κλεισμένα μέσα σε ειδικό γυαλί και ειδικό μονωτικό πλαστικό.

Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από:

- Μεταλλική βάση
- Πυρίτιο τύπου P
- Πυρίτιο τύπου N
- Μη-ανακλαστικό στρώμα επικάλυψης
- Μεταλλικά αγωγικά ελάσματα [7].



**Σχήμα 1. 6:** Δομή ηλιακής κυψέλης

### *Τα είδη των ηλιακών κυψελών*

Οι ηλιακές κυψέλες μπορούν να διαφοροποιηθούν με βάση την κρυσταλλική τους δομή σε:

#### **1. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο**

Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους οι ηλιακές κυψέλες έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής

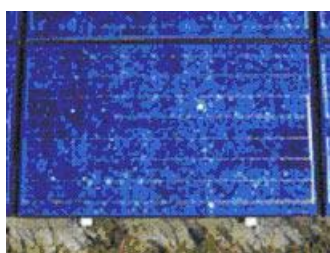
ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος κατασκευής.



Σχήμα 1. 7: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

## 2. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους, οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού πλαισίου με την διαδικασία χύτευσης. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών ηλιακών κυψελών με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Όμως, παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση από τις ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου που οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.



Σχήμα 1. 8: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

## 3. Άμορφο πυρίτιο

Το άμορφο πυρίτιο ανήκει σε μια από τις τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film technology).



Οι ηλιακές κυψέλες αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλη βάση. Σαν βάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη ποικιλία υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι η μικρότερη των κρυσταλλικών.

Το φθινό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.



Σχήμα 1. 9: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο άμορφου πυριτίου

Εκτός από τους παραπάνω τρεις τύπους ηλιακών κυψελών από πυρίτιο που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, γίνονται έρευνες και προσπάθειες για την χρησιμοποίηση και άλλων στοιχείων

(είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό) όπως γάλλιο-αρσενικό (GaAs) θείο-κάδμιο (CdS), φώσφορο-ίνδιο (InP).

Ο Πίνακας 1.1 απεικονίζει την απόδοση των τριών συνηθέστερων τύπων ηλιακών κυψελών [5].

Υλικό της ηλιακής κυψέλης

Απόδοση ηλιακής κυψέλης

Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο 13	16%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο 12	14%
Άμορφο πυρίτιο 6	8%

Πίνακας 1. 1: Απόδοση ηλιακών κυψελών πυριτίου



• **Άμορφο πυρίτιο (a-Si):** Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα 6 έως 8 %. Σήμερα η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Έτσι, είναι δυνατή η κατασκευή ποικίλων σχημάτων εφαρμογών από πολύμικρο μέγεθος (υπολογιστές αριθμητικών πράξεων) μέχρι μεγάλων διαστάσεων (πλαίσια σταθερού ή ευκάμπτου σχήματος).

• **Copper Indium Diselenide (CIS):** Το θειούχο κάδμιο (CdS) είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο και σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο ( $E_g = 2,45eV$ ), που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές οπτοηλεκτρολογικές εφαρμογές, όπως για την κατασκευή φωτοκυττάρων, ενισχυτών φωτός, φωσφοριστών, ανιχνευτών ακτινοβολίας κ.λ.π. Τα θειούχο κάδμιο συμπεριφέρεται συνήθως σαν ημιαγωγός τύπου n. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη ξένων ατόμων-δοτών. Παλαιότερα είχε θεωρηθεί ότι η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων από θειούχο κάδμιο, με εμπρός ηλεκτρόδιο από χαλκό, οφείλονταν αποκλειστικά στο θειούχο κάδμιο, για αυτό επικράτησε η ονομασία του ως στοιχεία θειούχου καδμίου. Σήμερα, είναι γνωστό ότι οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος του θειούχου καδμίου και ενός λεπτού στρώματος θειούχου χαλκού, που σχηματίζεται με την επίδραση του θειούχου καδμίου στον χαλκό, από τον οποίο όπως είπαμε είναι κατασκευασμένο το εμπρός ηλεκτρόδιο. Η σύσταση του στρώματος αυτού αποδίδεται συνήθως με τον χημικό τύπο  $Cu_2S$ , αλλά σωστότερο είναι να γράφεται  $Cu_xS$ , όπου το x κυμαίνεται από 1,96 μέχρι 1,99. Το  $Cu_xS$  είναι επίσης ημιαγωγός, με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,2eV, και έχει χαρακτήρα τύπου p. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές, χωρίς την προσθήκη προσμίξεων. Το ενεργειακό διάκενο του  $Cu_xS$  είναι αρκετά ευνοϊκό για την απορρόφηση των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει όμως πολύ μικρό μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας, περίπου 50 nm, και επομένως το πάχος του στρώματος του πρέπει να είναι αντίστοιχα μικρό π.χ. να μην ξεπερνά τα 150 nm

(δηλαδή 0,15  $\mu\text{m}$ ). Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε το ενεργειακό διάκενο του θειούχου καδμίου είναι σχετικά μεγάλο, και έτσι στο στρώμα του η απορρόφηση φωτονίων είναι μικρή. Το αποτέλεσμα είναι ότι η πυκνότητα παραγόμενου φωτορεύματος στα ηλιακά στοιχεία  $\text{Cu}_x\text{S}/\text{CdS}$  δηλαδή τα Amperes του ρεύματος ανά μονάδα επιφάνειας του στοιχείου, είναι μικρή, η μισή περίπου σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου. Οι παραγόμενες ποσότητες ηλιακών στοιχείων  $\text{Cu}_x\text{S}/\text{CdS}$  είναι ακόμα μικρές, αλλά πιστεύεται ότι υπάρχουν σημαντικές μελλοντικές προοπτικές διότι μπορούν να κατασκευασθούν από σχετικά φτηνά υλικά και απλές μεθόδους. Τα ηλιακά στοιχεία  $\text{Cu}_x\text{S}/\text{CdS}$  έχουν αρκετά ικανοποιητική απόδοση, περίπου 10%, αλλά υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις για τη σταθερότητα τους.

• **Gallium Arsenide (GaAs):** Το αρσενιούχο γάλλιο ( $\text{GaAs}$ ) είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV. Η τιμή αυτή είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, με θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Επιπλέον, το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το αρσενιούχο γάλλιο ( $\text{GaAs}$ ) συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ερευνητική προσπάθεια που έχει αναπτυχθεί τελευταία είναι έντονη και πιστεύεται ότι σύντομα το αρσενικό γάλλιο θα βρει σημαντικές εφαρμογές, κυρίως στα ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, αν και το κόστος του είναι μεγαλύτερο από το πυρίτιο, περίπου πενταπλάσιο. Στα συγκεντρωτικά όμως φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας ηλιακού στοιχείου είναι αρκετά μεγάλη, αφού δέχονται αυξημένη πυκνότητα ακτινοβολίας, και επομένως δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία το κόστος του ηλιακού στοιχείου. Το σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο του αρσενικούχου γαλλίου έχει σαν αποτέλεσμα την καλή του συμπεριφορά στις κάπως υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό είναι μια ιδιότητα με ιδιαίτερη επίσης σπουδαιότητα για τα συγκεντρωτικά συστήματα, όπου τα ηλιακά στοιχεία συχνά υπερθερμαίνονται από την ισχυρή ακτινοβολία που δέχονται. Συγκεκριμένα, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων αρσενικούχου γαλλίου πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 °C. Η αντίστοιχη μείωση στα ηλιακά στοιχεία πυριτίου (Si) παρατηρείται ήδη στους 120 °C, ενώ για τα περισσότερο ευαίσθητα στοιχεία του θειούχου καδμίου (CdS) στους 80 °C. Τις μεγαλύτερες αποδόσεις από τα ηλιακά


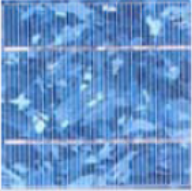

στοιχεία αρσενικούχου γαλλίου, έχουν δώσει τα στοιχεία ετεροενώσεων με ημιαγώγιμα κράματα του συστήματος  $Ga_{1-x}Al_xAs$ , όπου το  $x$  παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1. Σε πειραματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία της μορφής αυτής μετρήθηκαν αποδόσεις περίπου 24% που είναι πολύ κοντά στο θεωρητικό του μέγιστο (31%).

Από τα παραπάνω, τα δυο πρώτα είναι τα σημαντικότερα. Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Σήμερα ένα εμπορικό φ/β πλαίσιο με κυψέλες άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%, ενώ οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 11-14%. Λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού, το οποίο έχει καλυφθεί από διάφανο οξείδιο του κασσιτέρου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στη συνέχεια η όλη διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων άλλα ξεχωριστών στοιχείων και στο τέλος γίνεται η ενσωμάτωση τους σε μια φ/β μονάδα.

Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

Η ισχύς που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 16% της ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Θεωρητικά η μέγιστη ενεργειακή απόδοση ανέρχεται περίπου σε 24%. Η υπερθέρμανση προκαλεί σημαντική μείωση της απόδοσης γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα είδος ψύξης του συστήματος το οποίο θα μπορούσε να είναι ένα παραπροϊόν ενέργειας, για τη θέρμανση νερού. Η ενεργειακή απόδοση που αναφέρθηκε, αναφέρεται σε μονοκρυσταλλικά στοιχεία, που όμως δυστυχώς κατασκευάζονται πάρα πολύ δύσκολα και είναι πάρα πολύ ακριβά. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν μειωμένη ενεργειακή απόδοση αλλά έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Τα μόνα είδη ηλιακών κυττάρων που κατασκευάζονται σήμερα βιομηχανικά και χρησιμοποιούνται στις πρακτικές εφαρμογές είναι από πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό, καθώς και από άμορφο). Η απόδοσή τους είναι περίπου 10-14%.

**Πίνακας 4:** Σύγκριση φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m <sup>2</sup> ) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

## Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από έναν αριθμό ηλιακών κυψελών. Για να γίνει εφικτή η λειτουργία του πλαισίου, είναι σημαντικό να προστατεύονται οι ηλιακές κυψέλες από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οι ηλιακές κυψέλες είναι πολύ λεπτές και άρα επιρρεπείς σε μηχανικές βλάβες.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων και η δομή τους συχνά είναι διαφορετική για τα διάφορα είδη ηλιακών κυψελών ή για τις ποικίλες εφαρμογές τους.

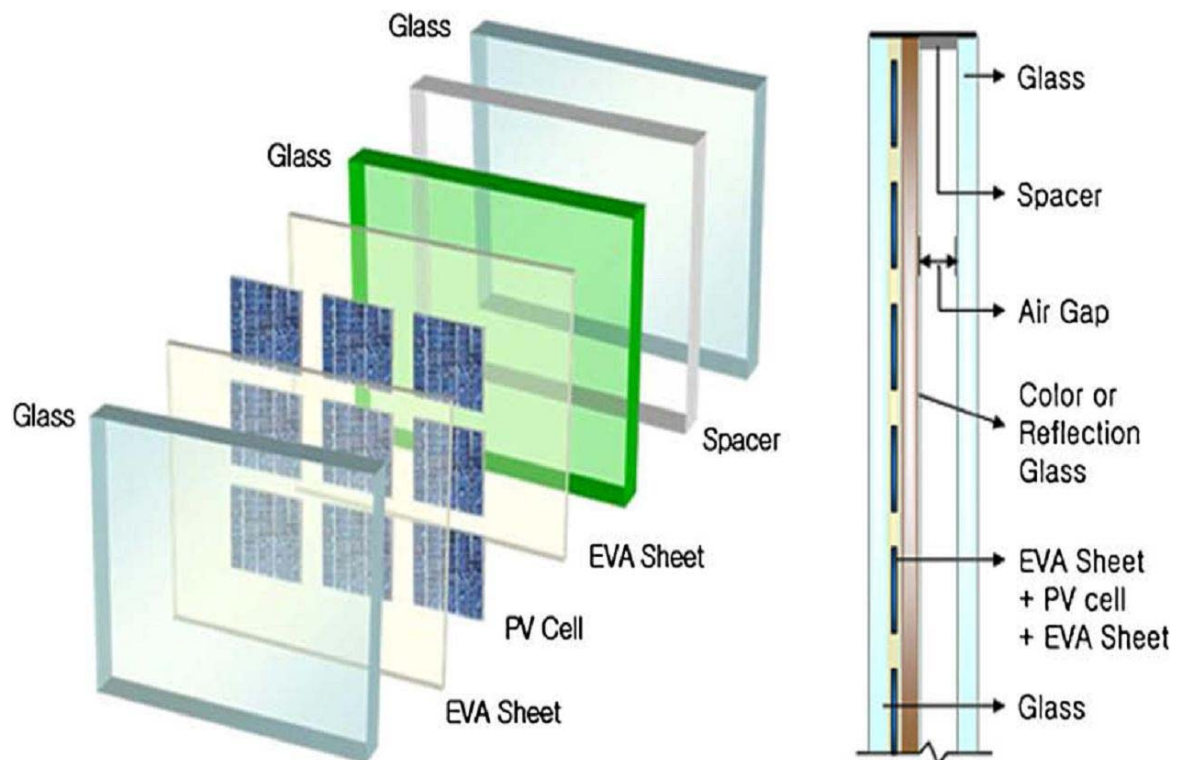
Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία είναι:

- Ειδικό γυαλί
- Συμπυκνωμένο υλικό (Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Sheet) για την ενθυλάκωση των κυψελών
- Ηλιακές κυψέλες
- Συμπυκνωμένο υλικό (EVA)

- Ειδικό γυαλί
- Κενό αέρος
- Ειδικό γυαλί

Οι ηλιακές κυψέλες περικλείονται συνήθως από δυο κομμάτια γυαλιού ή ένα φύλλο γυαλιού και ένα πλαστικού, ενώ μερικές φορές εξ ολοκλήρου από πλαστικό.

Τα είδη των γυαλιών που χρησιμοποιούνται είναι διαφανή, χρωματισμένα και αντανακλούν την θερμότητα. Το συμπυκνωμένο υλικό είναι συνήθως EVA, υλικό που εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη διαπερατότητα στο φως. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 1.10.



Σχήμα 1. 10: Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται σε σειρά, παράλληλα ή και συνδυασμένες προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε τάση και σε ρεύμα. Επίσης, οι ηλιακές κυψέλες πρέπει να όμοιες, για να εμφανίζουν όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται επάνω σε περιστρεφόμενα στηρίγματα που ακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Με αυτό τον

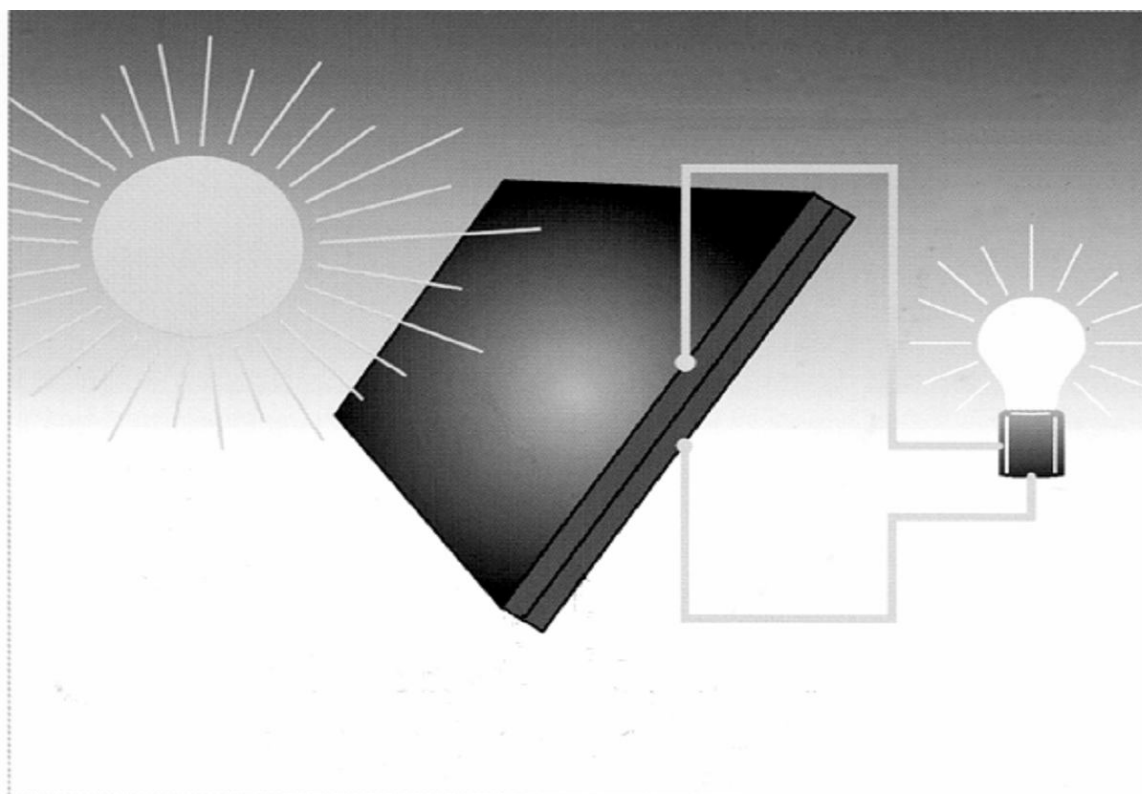
τρόπο, επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και, συνακόλουθα, η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

## ***Τα φωτοβολταϊκά συστήματα***

Στο Σχήμα 1.11 απεικονίζεται ένα βασικό φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ένα φορτίο και ένα καλώδιο σύνδεσης.

Κεφάλαιο 1: Σωστή λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων

130 αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων αλλά και τα συμβαλλόμενα μέρη του φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτώνται από την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος και το είδος της εφαρμογής. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και τα μέρη από τα οποία αποτελούνται και συμβάλλουν στην σωστή λειτουργία τους.



Σχήμα 1. 11: Φωτοβολταϊκό σύστημα

Οι βασικοί τύποι Φ/Β συστημάτων είναι οι εξής:

1. Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα δηλαδή δεν είναι συνδεδεμένα με κάποιο δίκτυο. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών, οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σε περίπτωση που υπάρχουν φορτία εναλλασσομένου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα, ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.
2. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από: Φωτοβολταϊκά πλαίσια. Παράγουν απευθείας από τον ήλιο συνεχές ρεύμα (DC). Η τάση και η ισχύς τους συστήματος εξαρτώνται από τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέθηκαν (στη σειρά ή παράλληλα).

### **Ανεμογεννήτρια**

Στην περίπτωση που υπάρχει ανεμογεννήτρια, τότε, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι υβριδικό. Η ανεμογεννήτρια παράγει ρεύμα από την ταχύτητα του ανέμου. Συνεργάζεται με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για την φόρτιση του συσσωρευτή του συστήματος. Τοποθετείται βοηθητικά σε περιοχές με μέτριο ή υψηλό αιολικό δυναμικό. Συνήθως συμπληρώνει με ενέργεια τις ημέρες

με κακοκαιρία που τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν αποδίδουν την μέγιστη ισχύ τους.

### **Ρυθμιστής φόρτισης**

Πρόκειται για μία ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου της φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή. Είναι απαραίτητη συσκευή για την μακροχρόνια χρήση του συσσωρευτή και την σωστή λειτουργία του. Οι περισσότεροι ρυθμιστές φόρτισης διαθέτουν οθόνη με όλες τις πληροφορίες του συστήματος.

### **Συσσωρευτής**

Αποθηκεύει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή τις ανεμογεννήτριες και την διαθέτει μόλις η κατανάλωση το απαιτήσει. Ανάλογα με την χωρητικότητα του εξαρτάται και η αυτονομία του συστήματος η οποία υπολογίζεται συνήθως για 3-4 ημέρες για τα δεδομένα της Ελλάδας. Ο συσσωρευτής αποτελείται από στοιχεία τα οποία, συνδεδεμένα στη σειρά ή παράλληλα, αποδίδουν την ονομαστική ισχύ και τάση του.

Μετατροπέας Συνδέεται με τον συσσωρευτή και μετατρέπει το ρεύμα από συνεχές σε εναλλασσόμενο για κάθε χρήση. Η ισχύς του μετατροπέα εξαρτάται από την ισχύ των συσκευών που θα τροφοδοτούνται. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδεθούν ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων των συσκευών που λειτουργούν ταυτόχρονα να μην ξεπερνά την επιτρεπόμενη ισχύ του μετατροπέα τάσης.

## **Σχεδιασμός φωτοβολταϊκού συστήματος και προτάσεις εναλλακτικών λύσεων**



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες :

- ◆ Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα
- ◆ Τα αυτόνομα συστήματα

Και τα δυο έχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ τους. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στα πρώτα υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και η ενέργεια που παράγεται περνάει σε αυτό, ενώ στα δεύτερα δεν υπάρχει τέτοια σύνδεση και η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται για ίδια κατανάλωση. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.

## **Ενότητα 2<sup>η</sup>**

### **«Φ/Β Συστήματα Αυτόνομα & Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο»**

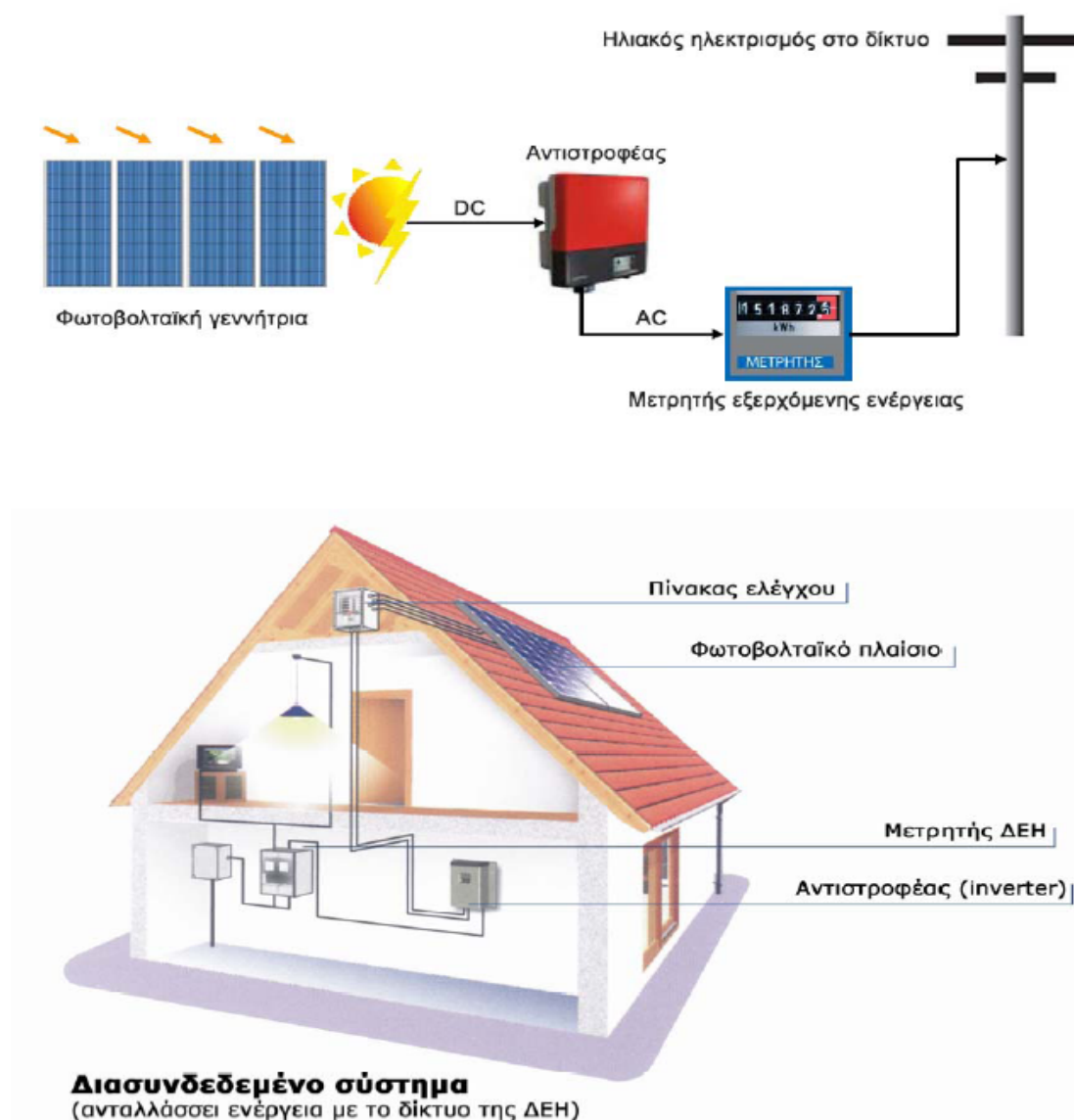
#### **2.1. Εισαγωγή**

Μέχρι πριν από μερικά χρόνια τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνταν ευρέως για τη παροχή ηλεκτρισμού σε απομονωμένες περιοχές, όπου δεν ήταν εφικτή η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τις Επιχειρήσεις Ηλεκτρισμού, ή ως εφεδρική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακές αλλά και για άλλες καταναλώσεις. Η πρόοδος που επιτεύχθηκε τα τελευταία χρόνια στο τομέα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, σε συνδυασμό με το ολοένα και αυξανόμενο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον συνέβαλλαν στη δραματική επιτάχυνση της εξάπλωσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τα ηλιακά κύτταρα, επίσης γνωστά ως φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι αυτά που παράγουν ηλεκτρισμό. Αυτά, σε μικρό αριθμό, αποτελούν ένα πλαίσιο που μαζί με

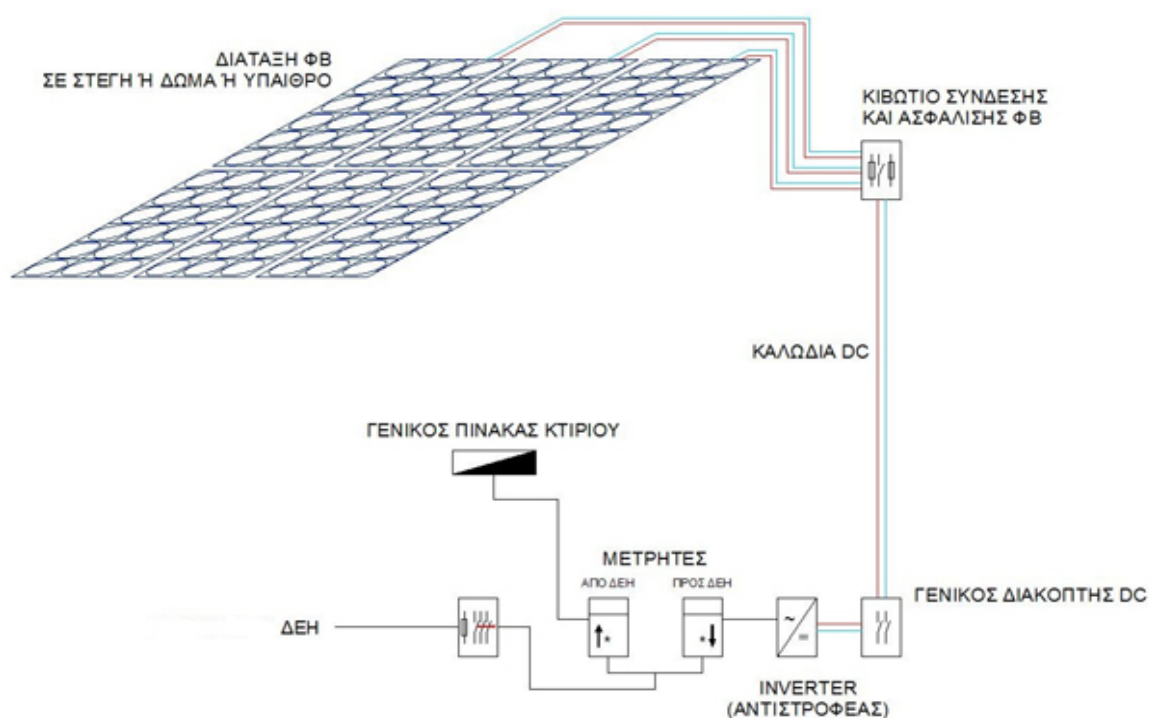
τον αντιστροφέα, τον μετασχηματιστή και φίλτρα συνιστούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά σε της ΔΕΗ συνδυασμό με το δίκτυο (διασυνδεδεμένο σύστημα). Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα για να καλύψει τυχόν ανάγκες του. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.



Εικόνα 3: Σχεδιάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος μιας οικίας.

Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είχαν εγκατασταθεί μέχρι πρόσφατα στην Ελλάδα εξυπηρετούσαν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, επειδή στις περιπτώσεις αυτές η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι πολύ πιο εμφανής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η εναλλακτική λύση μιας ηλεκτρογεννήτριας αποδεικνύεται μακροπρόθεσμα εξαιρετικά ακριβή. Όταν όμως υπάρχουν ισχυρά κίνητρα για την παραγόμενη ηλιακή κιλοβατώρα (όπως ισχύει πλέον από τον Ιούνιο του 2006), τότε συμφέρει στον καταναλωτή να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και να πουλά ηλιακό ηλεκτρισμό σ' αυτό έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής.

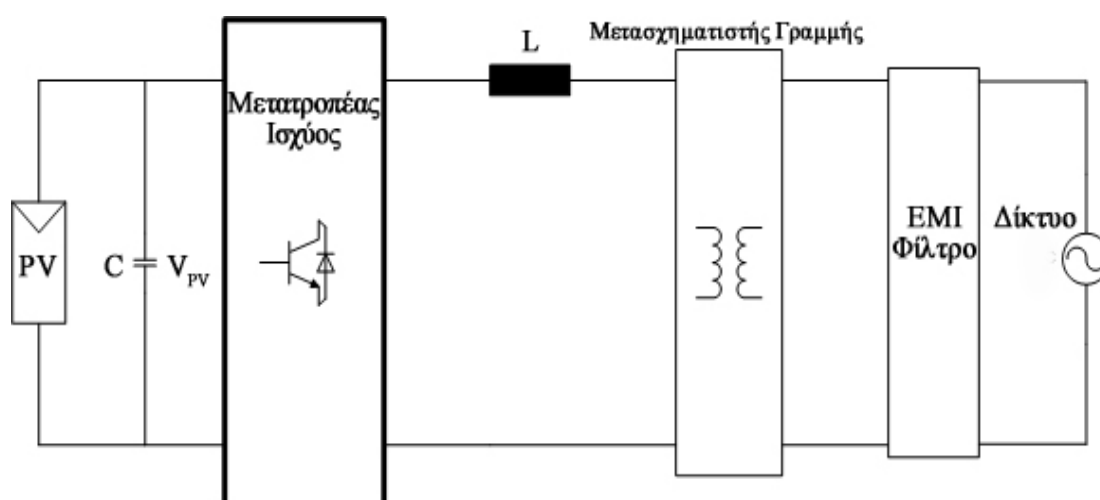


**Εικόνα 2.1.1.: διάγραμμα ενός φ/β συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο**

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φ/β συστήματα δεν απαιτούν την ύπαρξη μπαταριών ή γεννήτριας εφεδρείας καθώς χρησιμοποιούν το δίκτυο ως εφεδρεία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα της κατακεκομμένης παραγωγής μπορούν να συνδεθούν στο

δίκτυο διαμέσου ενός κατάλληλου αντιστροφέα. Τις ηλιόλουστες ημέρες η φωτοβολταϊκή γεννήτρια παράγει ισχύ που τροφοδοτεί μέρος των φορτίων, π.χ οικιακές καταναλώσεις, ενώ η επιπλέον ενέργεια παρέχεται στο δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας και των ημερών με χαμηλή ή και καθόλου ηλιοφάνεια, τα φορτία τροφοδοτούνται αποκλειστικά από το δίκτυο. Τα ηλιακά συστήματα μπορούν να ενσωματώσουν αντιστροφείς για τη μετατροπή του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ώστε να χρησιμοποιηθεί στις τοπικές καταναλώσεις ή στο δίκτυο. Τα ολοκληρωμένα συστήματα συνήθως διαθέτουν αυτόματους διακόπτες, ασφάλειες και κύκλωμα γείωσης.

## 2.2. Περιγραφή Φ/Β Συστήματος Συνδεδεμένου στο Δίκτυο



**Σχήμα 2.2.1.** Τυπικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο.

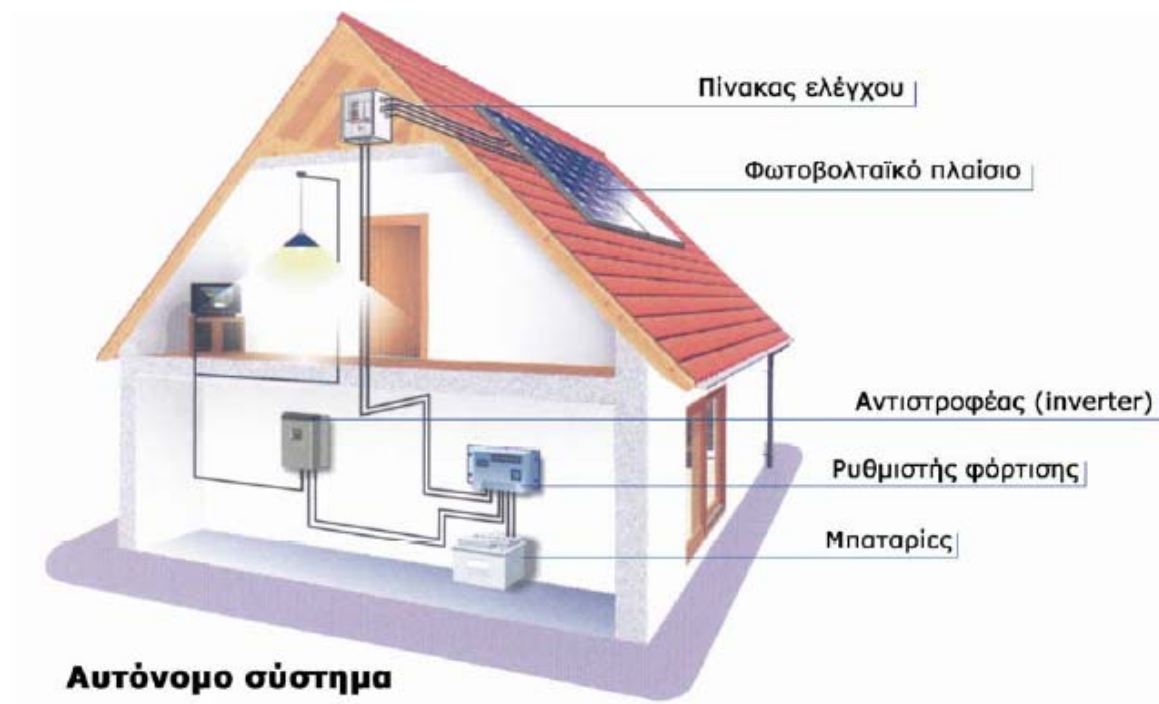
Το συνδεδεμένο στο δίκτυο φ/β σύστημα αποτελείται βασικά από μια φ/β γεννήτρια (σύνολο πλαισίων) και μια μονάδα μετατροπής ισχύος (αντιστροφέας). Το σχήμα 2.2.1. παρουσιάζει ένα τυπικό φ/β σύστημα που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο. Σε αυτό το μοντέλο παρατηρούμε έναν πυκνωτή  $C$ , ένα πηνίο  $L$ , έναν μετασχηματιστή, ένα φίλτρο EMI και το δίκτυο. Ίσως το πιο σημαντικό τμήμα ενός φ/β συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, που στο σχήμα συμβολίζεται ως “PV”.

Η φ/β γεννήτρια αποτελείται από ηλιακά κύτταρα που είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, ώστε να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Ανάλογα με το μέγεθος της φ/β γεννήτριας, μπορεί να αποτελείται από πλαίσια (πλαίσιο είναι ένα σύνολο ορισμένων ηλιακών κυττάρων), panels (σύνολο πλαισίων) ή συστοιχίες (σύνολο panels). Η φ/β γεννήτρια παράγει μια συνεχή τάση  $PV V$ , η οποία διατηρείται σταθερή με τη βοήθεια του πυκνωτή  $C$ . Το επόμενο στάδιο είναι η μονάδα μετατροπής ισχύος και πιο συγκεκριμένα ο αντιστροφέας. Ο σχεδιασμός ενός συνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος ξεκινάει με την επιλογή ενός κατάλληλου αντιστροφέα. Αυτός καθορίζει τη τάση του συστήματος από τη πλευρά του συνεχούς και τότε η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μπορεί να διαμορφωθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εισόδου του αντιστροφέα.

Ο αντιστροφέας είναι το πιο σημαντικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ύστερα από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η αρμοδιότητά του είναι να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από την συστοιχία σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 50 ή 60 Hz (ανάλογα με το δίκτυο). Σε αντίθεση με τους αντιστροφέας που προορίζονται μόνο για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτοί που προορίζονται για παράλληλη λειτουργία πρέπει να ανταποκρίνονται τόσο στα χαρακτηριστικά του δικτύου όσο και στην απόδοση της φ/β γεννήτριας εξίσου καλά. Καθώς το ρεύμα από τις συστοιχίες ρέει μέσα από τον αντιστροφέα, τα χαρακτηριστικά του ουσιαστικά επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος. Εκτός από την αποτελεσματική μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα περιλαμβάνουν επίσης στοιχεία που είναι υπεύθυνα για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Εξασφαλίζουν ότι η λειτουργία ξεκινάει τη κατάλληλη χρονική στιγμή της ημέρας μόλις οι φ/β συστοιχίες δώσουν αρκετή ισχύ. Αποτυχημένη προσπάθεια εκκίνησης απαιτεί ισχύ από το δίκτυο και θα πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας μετακινείται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας της συστοιχίας. Μιας μορφής έξυπνου ελέγχου από τον αντιστροφέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μεγίστης ισχύος και συνεχή αναπροσαρμογή στο περισσότερο επιθυμητό σημείο λειτουργίας. Επίσης, στον αντιστροφέα είναι ενσωματωμένες συσκευές

προστασίας, που τον αποσυνδέουν αυτομάτως από το σύστημα εάν προκύψουν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

## ΑΥΤΟΝΟΜΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



**Εικόνα 2:** Σχεδιάγραμμα αυτόνομου συστήματος που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας.

### 2.3. Προβλήματα που Προκύπτουν κατά τη Σύνδεση Φ/Β Συστημάτων στο Δίκτυο.

#### 2.3.1. Μη Τεχνικά Προβλήματα Συνδεδεμένων στο Δίκτυο Φ/Β Συστημάτων.

Παρά το γεγονός ότι πολλά από τα τεχνικά προβλήματα έχουν ήδη επιλυθεί, υπάρχουν ακόμα εμπόδια που περιορίζουν τη ευρεία διάδοση χρήσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πρόκειται για τα εξής:

- ✓ Το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- ✓ Το κόστος των συνιστάμενων επιμέρους μερών τους
- ✓ Η έλλειψη της συγκεκριμενοποίησης των απαιτήσεων για τα συνδεδεμένα συστήματα
- ✓ Η έλλειψη εκπαιδευμένου προσωπικού και επιθεωρητών για την εγκατάσταση.

### **2.3.2. Τεχνικά Προβλήματα Συνδεδεμένων στο Δίκτυο Φ/Β Συστημάτων (Επίδραση Δικτύου στο Φωτοβολταϊκό Σύστημα)**

#### **2.3.2.1. Βυθίσεις Τάσης**

Είναι μια ξαφνική μείωση της τάσης σε ένα σημείο στο ηλεκτρικό σύστημα που ακολουθείται από μια αποκατάσταση τάσης μετά από μια μικρή χρονική περίοδο, που διαρκεί από μερικούς κύκλους ως μερικά δευτερόλεπτα (Ορισμός κατά IEC).

#### **2.3.2.2. Ανυψώσεις Τάσης**

Η ανύψωση τάσης είναι μια προσωρινή αύξηση της τάσης σε ένα σημείο στο ηλεκτρικό σύστημα επάνω από ένα κατώτατο όριο, χαρακτηριστικά γύρω στο 1.1 p.u. Όπως οι βυθίσεις τάσης, χαρακτηρίζονται και αυτές συνήθως από το πλάτος και τη διάρκειά τους.

Οι ανυψώσεις τάσης συσχετίζονται συνήθως με τις καταστάσεις σφάλματος των ηλεκτρικών συστημάτων (π.χ. προσωρινά η τάση αυξάνεται στις φάσεις που δεν έγινε το σφάλμα κατά τη διάρκεια μονοφασικών σφαλμάτων προς γη).

#### **2.3.2.3. Βραχυκυκλώματα σε Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις**

Τα βραχυκυκλώματα στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αντιπροσωπεύουν μια έντονη κατάσταση καταπόνησης για τον εξοπλισμό που είναι συνδεδεμένος με τον ίδιο κλάδο όπου έχει συμβεί το βραχυκύκλωμα. Πρόβλημα δημιουργείται εάν το βραχυκύκλωμα διακόπτεται από μια ασφάλεια ή από έναν αυτόματο διακόπτη. Σε αυτήν την περίπτωση, ο εξοπλισμός που συνδέεται στον ίδιο κλάδο δέχεται αρχικά μια έντονη βύθιση τάσης (λόγω του βραχυκυκλώματος), που ακολουθείται αμέσως

από μια παροδική υπέρταση (ως αποτέλεσμα της διακοπής του βραχυκυκλώματος από τον εξοπλισμό προστασίας).

### **2.3.3. Τεχνικά Προβλήματα Φ/Β Συστημάτων Συνδεδεμένων στο Δίκτυο (Επίδραση Φωτοβολταϊκού Συστήματος στο Δίκτυο)**

#### **2.3.3.1. Ασφάλεια Προσωπικού και Πελατών**

Η ασφάλεια του προσωπικού και των καταναλωτών είναι ο πρώτος παράγοντας που εξετάζεται από την άποψη του υλικού και των χρησιμοποιούμενων διαδικασιών κατά την λειτουργία των δικτύων διανομής. Οι υπάρχουσες τοπολογίες, το υλικό και οι πρακτικές προστασίας, οι διαδικασίες ασφάλειας προσωπικού που έχουν υιοθετηθεί, βασίζονται στην παραγωγή ισχύος από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής και μεταφορά της στα κατανεμημένα φορτία.

#### **2.3.3.2. Προστασία Εξοπλισμού και Συστήματος**

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν τρεις τομείς έντονου ενδιαφέροντος, οι οποίοι είναι: (1) σφάλματα προς γη, (2) συνεισφορά στην ικανότητα βραχυκυκλώματος, και (3) συνεχής λειτουργία του συστήματος σε ένα τμήμα που παρατηρείται νησιδοποίηση.

##### **2.3.3.2.A) Σφάλματα προς Γη**

Η γείωση λειτουργίας και προστασίας είναι δύο συμπληρωματικά μέτρα που χρησιμοποιούνται ευρέως στα φ/β συστήματα για να παρέχουν ασφάλεια.

Οι γειώσεις λειτουργίας, όταν χρησιμοποιούνται, γενικά παρέχουν αγωγίμους δρόμους προς γη που χρησιμοποιούν αγωγούς ρεύματος που προορίζονται γι' αυτή τη λειτουργία, ενώ οι γειώσεις προστασίας παρέχουν αγωγίμους δρόμους προς γη για τις



μεταλλικές επιφάνειες που μπορεί να τροφοδοτηθούν ακούσια και εξασφαλίζουν ότι αυτές οι επιφάνειες θα παραμένουν σε ίδιο ή κοντινό δυναμικό με αυτό της γης.

## **B) Συνεισφορά στην Ικανότητα Βραχυκυκλώματος**

Γενικά θεωρείται ότι οι φ/β γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες στα δίκτυα διανομής δεν παρέχουν ασφαλιστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης στο σύστημα στην περίπτωση που το σφάλμα βραχυκύκλωσης γίνεται στη πλευρά του δικτύου διανομής. Αυτό συμβαίνει επειδή το ρεύμα βραχυκυκλώματος μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι το πολύ 10 με 20% μεγαλύτερο από το ονομαστικό μέγιστο ρεύμα εξόδου. Οι αντιστροφείς είναι κανονικά εξοπλισμένοι με έναν ηλεκτρονόμο που ελέγχει κάποιο κατώτατο όριο τάσης και αντιστροφείς τύπου ελεγχόμενοι από ρεύμα, που χρησιμοποιούνται κυρίως για καταναμημένη φ/β παραγωγή, έχουν έναν περιορισμό υπερέντασης σε περίπτωση διαταραχής στη πλευρά του δικτύου διανομής. Επομένως θεωρείται ότι εάν ο αριθμός των συνδεδεμένων φ/β συστημάτων παραμένει μικρός, η επίδρασή τους στη γραμμή διανομής θα είναι αμελητέα. Εντούτοις, εάν ο αριθμός των φ/β συστημάτων αυξηθεί, η ικανότητα βραχυκυκλώματος ολόκληρου του δικτύου διανομής (συμπεριλαμβανομένων των φ/β συστημάτων) μπορεί επίσης να αυξηθεί και το ρεύμα σφάλματος κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος μπορεί να φθάσει σε πιο μεγάλες τιμές.

Εάν η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος υπερβαίνει την ικανότητα των αυτόματων διακοπών υπερέντασης που έχουν εγκατασταθεί στο τέλος, στη πλευρά των πελατών, μπορεί να τους καταστήσει ανίκανους να εκκαθαρίσουν το σφάλμα στις εγκαταστάσεις των πελατών.

## **Γ) Νησιδοποίηση**

Η κατάσταση νησιδοποίησης είναι αυτή κατά την οποία ένας συνδεδεμένος στο δίκτυο φωτοβολταϊκός αντιστροφέας συνεχίζει να τροφοδοτεί τα φορτία που συνδέονται στο ίδιο δίκτυο, μετά από μια διακοπή της γραμμής διανομής. Αυτό μπορεί να συμβεί ως συνέπεια λόγω διαδικασιών συντήρησης, συνθήκες σφάλματος όπως βραχυκυκλώματα κλπ.

Αν ένα τμήμα του δικτύου, θεωρηθεί ως τμήμα νησιδοποίησης, τότε δεν μπορεί να εφαρμοστεί κανένας έλεγχος από το σύστημα, τόσο στη τάση όσο και στη συχνότητα της «νησίδας».

#### **Δ) Συμπεριφορά Φ/Β Συστήματος Κατά την Διάρκεια Ανωμαλιών του Δικτύου**

Τα δίκτυα διανομής Μ.Τ και Χ.Τ. λειτουργούν κατά κανόνα «ακτινικά» και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται γενικά απλά μέσα προστασίας υπερεντάσεως. Εξαιρέση υπάρχει μόνο στα δίκτυα ορισμένων πολύ μεγάλων πόλεων όπου τα δίκτυα λειτουργούν «κλειστά». Στη χώρα μας όλα τα δίκτυα Μ.Τ και Χ.Τ. λειτουργούν ακτινικά. Με τη σύνδεση όμως Φωτοβολταϊκών Μονάδων Παραγωγής (Φ.Μ.Π) στο δίκτυο διανομής, οπότε παύει πλέον να λειτουργεί ως ακτινικό, δημιουργούνται ορισμένα προβλήματα που πρέπει να ελέγχονται ώστε η σύνδεση των Φ.Μ.Π να μη προκαλεί ανωμαλίες. Τα προβλήματα αυτά εξετάζονται στη συνέχεια.

#### **2.3.3.3. Α) Ποιότητα Ισχύος**

Η σύνδεση ενός κατανεμημένου φωτοβολταϊκού συστήματος στο δίκτυο διανομής μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα ισχύος που μεταφέρεται στα φορτία και τη λειτουργία του εξοπλισμού των δικτύων διανομής. Η ποιότητα ισχύος σχετίζεται με την αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και της τάσης. Η ποιότητα ισχύος μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία των ρυθμιστών τάσης, τις διακοπτικές λειτουργίες των πυκνωτών, τον εξοπλισμό προστασίας και τα φορτία.

Τα σημαντικότερα ζητήματα είναι η αρμονική παραμόρφωση και η κατανάλωση άεργου ισχύος. Η ισχύς χαμηλής ποιότητας μπορεί να έχει δυσμενείς συνέπειες στο δίκτυο και στα φορτία που τροφοδοτεί.

#### **Β) Μεταβολές Τάσης**

Η έξοδος των φωτοβολταϊκών πλαισίων εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες (π.χ συννεφιά), πράγμα που οδηγεί στην μεταβολή της ισχύος εξόδου με βάση την κάλυψη από τα σύννεφα. Μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις η μεταβολή αυτή μπορεί να είναι ραγδαία μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ρύθμισης τάσης στη γραμμή διανομής.

Η σοβαρότητα του προβλήματος εξαρτάται από την ισχύ της διάταξης του καταναμημένου συστήματος συγκρινόμενη με την ισχύ της γραμμής διανομής στην οποία συνδέεται. Τα κυριότερα προβλήματα σχετικά με τις μεταβολές τάσης ακολουθούν παρακάτω:

- ✓ Μεταβολές των Τάσεων Λόγω Μεταβολής της Ροής Ισχύος
- ✓ Μεταβολές των Τάσεων κατά την Ζεύξη – Απόζευξη
- ✓ Flicker (Τρεμούλιασμα) Τάσης

### **Γ) Ασύμμετρο Φορτίο του Συνδεδεμένου Συστήματος**

Μια άλλη ανησυχία για την ποιότητα ισχύος είναι η σύνδεση μονοφασικών καταναμημένων συστημάτων στις τριφασικές γραμμές διανομής. Η σημαντική επίδραση αυτών των συσκευών μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες ασύμμετρου φορτίου καθώς επίσης και προβληματική λειτουργία του εξοπλισμού προστασίας εάν η γραμμή γίνεται υπερβολικά ασύμμετρη. Η ασύμμετρη τάση μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική αρνητικής ακολουθίας θέρμανση.

### **Δ) Έγχυση Συνεχούς Ρεύματος στο Δίκτυο (Από τους Αντιστροφείς)**

Η απαίτηση χρησιμοποίησης μετασχηματιστών απομόνωσης για συνδεδεμένα στο δίκτυο φ/β συστήματα για λόγους ασφαλείας ποικίλλει μεταξύ των χωρών. Αν και σε μερικές είναι αναγκαία απαίτηση, σε άλλες η απαίτηση εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των διατάξεων (π.χ. ελέγχου συνεχούς ρεύματος) ή από συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου.

Πολλοί αντιστροφείς του εμπορίου χρησιμοποιούν μετασχηματιστές. Αυτοί καταστέλλουν οποιαδήποτε DC συνιστώσα λόγω σχεδιασμού. Εντούτοις, οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή έχουν κερδίσει τη τελευταία δεκαετία αυξανόμενη σημασία λόγω τεχνικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων (μεγαλύτερη απόδοση, μικρότερο βάρος, όγκος και κόστος).

Οι μετατροπείς ελεγχόμενοι με διαμόρφωση PWM μπορούν να παράγουν DC συνιστώσες όταν άρτιου βαθμού αρμονικές περιέχονται στη κυματομορφή της τάσης και γενικά όταν υπάρχει αστάθεια στη κυματομορφή τάσης του δικτύου. Όταν η τάση

δικτύου περιέχει αρμονικές, ένα ποσοστό από αυτές θα περιληφθεί στη κυματομορφή αναφοράς που χρησιμοποιείται από τον αντιστροφέα.

Αυτή η παραμόρφωση της κυματομορφής αναφοράς θα είναι υψηλότερη ειδικά στην περίπτωση όπου ο συγχρονισμός του αντιστροφέα με την τάση δικτύου γίνεται παίρνοντας ως αναφορά τις διελεύσεις της τάσης από το μηδέν.

### **E) Συντελεστής Ισχύος**

Ο όρος «συντελεστής ισχύος» χρησιμοποιείται κανονικά όταν συζητάμε για μια συσκευή που καταναλώνει και Watt και vars (vars περιγράφει την ισχύ που είναι 90° εκτός φάσης από Watt, επίσης γνωστά ως άεργα βολτ-αμπέρς). Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα μέτρο των σχετικών μεγεθών των Watt και vars που αποτελούν ένα φορτίο. Τα περισσότερα σπίτια έχουν επαγωγικό συντελεστή ισχύος 0.9.

Ο λόγος για τον οποίο ο συντελεστής ισχύος είναι ένα ζήτημα στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι γιατί οι διατάξεις με μεταγωγή από το δίκτυο καταναλώνουν vars ενώ μεταφέρουν watts, που μπορεί να θεωρηθεί μια μη οικονομική επιβάρυνση στο δίκτυο (και, τελικά, στους υπόλοιπους πελάτες του δικτύου), αφού αναγκάζει το δίκτυο να «αγοράζει» watts ενώ μεταφέρει vars δωρεάν.

Αυτομεταγόμενες διατάξεις δεν καταναλώνουν απαραίτητα vars και στην πραγματικότητα μπορούν να σχεδιαστούν με οποιοδήποτε συντελεστή ισχύος, συμπεριλαμβανόμενου χωρητικού συντελεστή ισχύος, ο οποίος παράγει vars. Εξαιτίας της πολύπλοκης κατάστασης όπου παράγονται watts και καταναλώνονται vars, θα πάψουμε να αναφερόμαστε στο συντελεστή ισχύος και θα αρχίσουμε να αναφερόμαστε στην κατανάλωση var.

Εν συντομία, ωμικά φορτία (λαμπτήρες πυρακτώσεως, αντιστάσεις θερμαστρών, κλπ) καταναλώνουν Watts. Επαγωγικά φορτία (μηχανές, μετασχηματιστές, κλπ) καταναλώνουν vars εκτός από Watt. Χωρητικά φορτία (οι πυκνωτές δεν είναι ένας κοινός τύπος φορτίου) παράγουν vars.

Η δυνατότητα να παρασχεθούν και τα δύο απαραίτητα, Watt και vars και να οδηγηθούν στο φορτίο ενός δικτύου, απαιτεί πρώτα να παραχθούν και διανεμηθούν ώστε το δίκτυο να καλύψει τις υποχρεώσεις του.

## **Z) Ρεύματα Προς Γη (Μονοφασικό Φ/Β Σύστημα Χωρίς Μετασχηματιστή)**

Τα πρώτα φ/β συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για οικιακή χρήση περιέλαβαν έναν μονοφασικό αντιστροφέα με έναν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (LF) που τοποθετήθηκε μεταξύ του σταδίου μετατροπής ισχύος και του δικτύου. Αυτός ο μετασχηματιστής απαιτείται από όλους σχεδόν τους εθνικούς κανονισμούς και εγγυάται τη γαλβανική απομόνωση μεταξύ του δικτύου και των φ/β συστημάτων, παρέχοντας κατά συνέπεια προστασία. Επιπλέον, παρέχει την απομόνωση μεταξύ του φ/β συστήματος και του εδάφους του δικτύου, έτσι ώστε να περιορίζεται το ρεύμα «κοινού τρόπου» (common mode current).

## **H) Πολλαπλοί Αντιστροφείς και Δίκτυο AC**

Δεδομένου ότι τα μικρά φ/β συστήματα ηλεκτρικής παραγωγής γίνονται πιο κοινά, θα ήταν απαραίτητο να ερευνήσουμε τις διάφορες επιπτώσεις αυτής της συνεχόμενης διείσδυσης, που δεν είναι τόσο σημαντική για τα απλά συστήματα αντιστροφέων. Για παράδειγμα, εάν ένας μεγάλος αριθμός κατανεμημένων φ/β γεννητριών συνδέεται με έναν κλάδο χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής, τότε η αντίστροφη ροή ισχύος στο σύστημα ισχύος υψηλότερης τάσης θα αυξηθεί αισθητά κατά τη διάρκεια των περιόδων χαμηλού φορτίου και της μέγιστης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μια σημαντική άνοδο τάσης στις γραμμές διανομής, ιδιαίτερα στα άκρα. Επίσης, τα φ/β συστήματα θα τροφοδοτήσουν ένα μέρος του ρεύματος σφάλματος σε περίπτωση σφάλματος στις γραμμές διανομής. Αυτό το πρόσθετο ρεύμα σφάλματος θα μειώσει το ρεύμα σφάλματος που ρέει στους υποσταθμούς και ίσως να προκαλέσει την εσφαλμένη λειτουργία των ηλεκτρονόμων. Είναι έτσι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις που μπορούν να εμφανιστούν κατά τη σύνδεση μεγάλου αριθμού φ/β συστημάτων.

## **Θ) Απώλειες**

Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα οφείλονται κυρίως στις ακόλουθες αιτίες:

- ✓ Δυσμενής προσανατολισμός της φωτοβολταϊκής γεννήτριας
- ✓ Σκίαση και ακαθαρσίες στα φ/β στοιχεία
- ✓ Κακός συνδυασμός των πλαισίων, εξαιτίας των ηλεκτρικών ανομοιογενειών που υπάρχουν στις χαρακτηριστικές καμπύλες τους
- ✓ Υπερθέρμανση των πλαισίων που είναι τοποθετημένα επάνω σε τοίχους λόγω του κακού αερισμού από τη πίσω όψη
- ✓ Πτώσεις τάσης κατά μήκος των καλωδίων, ασφαλειών και διόδων στη πλευρά του συνεχούς ρεύματος
- ✓ Ηλεκτρική κατανάλωση των μετρητών και των ρελέ.
- ✓ Ανεπαρκής συντήρηση
- ✓ Απώλειες στους αντιστροφείς
- ✓ Κακός συνδυασμός φωτοβολταϊκής γεννήτριας και αντιστροφέα

#### **K) Αρμονικές**

Γενικά, το πρόβλημα των αρμονικών μπορεί να οριστεί ως εκείνη η ιδιαίτερη παραμόρφωση που, δημιουργούμενη από την παρουσία μη γραμμικών στοιχείων στα ηλεκτρικά δίκτυα, καθορίζει μια μόνιμη τροποποίηση των ημιτονοειδών κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος, από την άποψη ότι οι ημιτονοειδείς συνιστώσες έχουν διαφορετική συχνότητα από τη θεμελιώδη.

Οι φ/β γεννήτριες συνδέονται με το δίκτυο διανομής μέσω των στατικών μετατροπέων και επομένως, είναι ενδεχομένως ικανές να προκαλέσουν αρμονικές, έτσι ώστε να υποβιβαστεί η ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας και να επηρεαστεί η απόδοση άλλου εξοπλισμού ευαίσθητου στις αρμονικές τάσης. Από την άλλη, οι στατικοί μετατροπείς είναι ευαίσθητοι στις αρμονικές και μπορεί να λειτουργήσουν εσφαλμένα σαν αποτέλεσμα της αρμονικής παραμόρφωσης τάσης

## Ενότητα 3<sup>η</sup>

### «Πεδίο εφαρμογής για ασφαλή εγκατάσταση και την αξιόπιστη λειτουργία φωτοβολταϊκών»

#### 3.1 Δομή των Διασυνδεδεμένων Κτηριακών Φ/Β Συστημάτων

Κάθε Διασυνδεδεμένο Κτηριακό Φωτοβολταϊκό Σύστημα (μπορεί να αναλυθεί σε δύο επιμέρους δομικές μονάδες: τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και τον ηλεκτρονικό μετατροπέα, που αναλαμβάνει την προσαρμογή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις προδιαγραφές του δικτύου χαμηλής τάσης.

Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων Φ/Β πλαισίων καθορίζει τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ, ενώ η εν σειρά και παράλληλη σύνδεση αυτών προσδιορίζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (τιμές τάσης και ρεύματος) των μετατροπέων που θα χρησιμοποιηθούν. Επιπρόσθετα, η απρόσκοπτη λειτουργία της όλης εγκατάστασης απαιτεί τη χρήση ορισμένων βοηθητικών συστημάτων τα οποία εγγυώνται τόσο την ασφαλή διασύνδεση του μετατροπέα με τις Φ/Β γεννήτριες και το ηλεκτρικό δίκτυο όσο και τη στιβαρότητα της όλης εγκατάστασης σε μηχανικές καταπονήσεις.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παρέχεται υπό τη μορφή συνεχούς τάσης και ρεύματος. Για να καταστεί λοιπόν εφικτή η τροφοδότηση του ηλεκτρικού δικτύου Ε.Ρ. με την ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά, απαιτείται η διαμεσολάβηση κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων, των αντιστροφών. Έχει επικρατήσει αυτές οι ηλεκτρονικές διατάξεις να ονομάζονται στο σύνολό τους ηλεκτρονικοί μετατροπείς ενώ το τμήμα τους που αναλαμβάνει τη διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο και μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη ονομάζεται αντιστροφήας.

Όπως όλες οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις παραγωγής ή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στο δίκτυο Ε.Ρ, έτσι και οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς των διασυνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β συστημάτων, οφείλουν να υπόκεινται στις προδιαγραφές που ορίζονται από τους κανονισμούς και τα πρότυπα που έχουν θεσπιστεί ή υιοθετηθεί από τους Διαχειριστές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και Δικτύων.

Συγκεκριμένα, η σύνδεση μικρών διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.), θεωρείται αποδεκτή όταν η ενέργεια που παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω των ηλεκτρονικών μετατροπέων δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ισχύος που παρέχεται στους άλλους συνδεδεμένους χρήστες (καταναλωτές ή παραγωγούς), δεν διαταράσσει την ορθή λειτουργία των μέσων ρύθμισης και προστασίας του δικτύου και δεν θέτει σε κίνδυνο πρόσωπα και εγκαταστάσεις.

### **3.2 Κατηγοριοποίηση των Διασυνδεδεμένων Κτηριακών Φ/Β Συστημάτων**

Ανάλογα με τον τρόπο που συνδυάζονται οι παραπάνω δομικές μονάδες, τα διασυνδεδεμένα κτηριακά Φ/Β συστήματα μικρής ισχύος (έως 10KW)

κατηγοριοποιούνται κυρίως σε δύο τεχνολογικές τάσεις. Την τεχνολογία

Στοιχειοσειράς και την τεχνολογία Πολλαπλών Στοιχειοσειρών. Η διαφοροποίηση των προαναφερθέντων τεχνολογικών τάσεων έγκειται αφ' ενός στον αριθμό των Φ/Β πλαισίων που συνδέονται ανά ηλεκτρονικό μετατροπέα (επίπεδο ισχύος του μετατροπέα), αφ' ετέρου στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα Φ/Β πλαίσια (εν σειρά σύνδεση, παράλληλη σύνδεση ή συνδυασμός αυτών).



### **3.3. Διαμόρφωση της σύνδεσης βάσει της μέγιστης ισχύος της Φ/Β εγκατάστασης**

Τα κτηριακά Φ/Β συστήματα ισχύος έως και 5 KW, συνδέονται στο δίκτυο Χ.Τ. μέσω μονοφασικής παροχής, σε αντιδιαστολή με αυτά των οποίων η μέγιστη ισχύς ξεπερνά τα 5 KW(αλλά σε καμία περίπτωση τα 10 KW) οπότε υποχρεωτικά συνδέονται στο δίκτυο μέσω τριφασικής παροχής. Στην περίπτωση της τριφασικής σύνδεσης θα πρέπει να επιδιώκεται η συμμετρική φόρτιση των τριών φάσεων. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες της ΔΕΗ, το ποσοστό ασυμμετρίας μεταξύ των τριών φασικών ρευμάτων δεν μπορεί να υπερβαίνει το 20%.

### **3.4. Προσανατολισμός- Τοποθέτηση Φ/Β Πλαισίων**

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, τεκμαίρεται πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας.

Πρακτικά, η μηχανική πολυπλοκότητα και το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων σύμφωνα με τον παραπάνω τρόπο, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την εφαρμογή του σε κτηριακά Φ/Β συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των κτηριακών Φ/Β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90°.

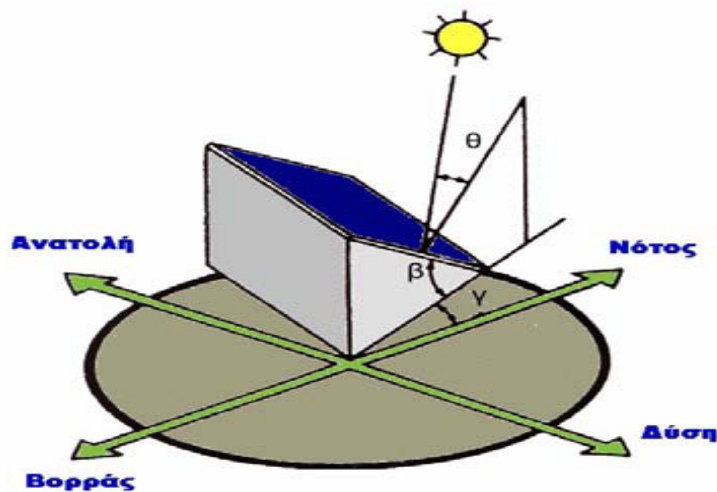
Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του πλαισίου. Η κλίση του πλαισίου εκφράζεται με τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου και το οριζόντιο επίπεδο, ενώ η αζιμούθια γωνία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κεκλιμένης πλευράς του πλαισίου και τον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου,

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για να έχουν την μέγιστη απόδοση, θα πρέπει να δέχονται συνεχώς την μέγιστη ακτινοβολία. Οι ηλιακές ακτίνες θα πρέπει να προσπίπτουν πάντα κάθετα στην επιφάνεια του γιατί τότε έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα στην μονάδα επιφανείας και δεν ανακλώνται στην γυάλινη επικάλυψη του πλαισίου. Ωστόσο, ο ήλιος κινείται κατά την διάρκεια της ημέρας και για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του πλαισίου, θα πρέπει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο να παρακολουθεί συνεχώς την κίνηση του ήλιου [7]. Οπότε, η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από τη σωστή τοποθέτηση και διάταξη των πλαισίων.

Αυτό για πρακτικούς λόγους δεν είναι εύκολο. Ωστόσο, επιλέγοντας τον καταλληλότερο σταθερό προσανατολισμό για το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, θα υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα απόδοσης. Στη συνέχεια, ορίζονται οι γωνίες που βοηθούν στον ορισμό του κατάλληλου προσανατολισμού:

1. Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας  $\omega$ :

Η γωνία  $\omega$  ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της ακτινικής συνιστώσας της Α0κτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και της καθέτου στην επιφάνεια αυτή.



$\alpha$ :Αζιμούθια
$\beta$ :Γωνία κλίσης
$\omega$ :Γωνία πρόσπτωσης

Σχήμα 3.4.1: Γραφική απεικόνιση της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας ενός Φ/Β πλαισίου που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο

2. Προσανατολισμός του πλαισίου ( $\beta$ ), αζιμούθια γωνία επιφάνειας ( $\alpha$ ):

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία είναι ο προσανατολισμός του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες, την κλίση ( $\beta$ ) και την αζιμούθια γωνία επιφάνειας ( $\alpha$ ), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.12.

Η κλίση του πλαισίου ( $\beta$ ) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του πλαισίου και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0ο μέχρι 180ο. Η αζιμούθια γωνία επιφάνειας του πλαισίου ( $\alpha$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του πλαισίου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180ο μέχρι +180ο. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς το πλαίσιο (π.χ. με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή ή φωτοκύτταρων), ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις ειδικών εφαρμογών [1].

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι περίπου  $0^\circ$  (κατεύθυνση προς νότο).

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των  $30^\circ$ .

### 3.5. Προβλήματα λειτουργίας

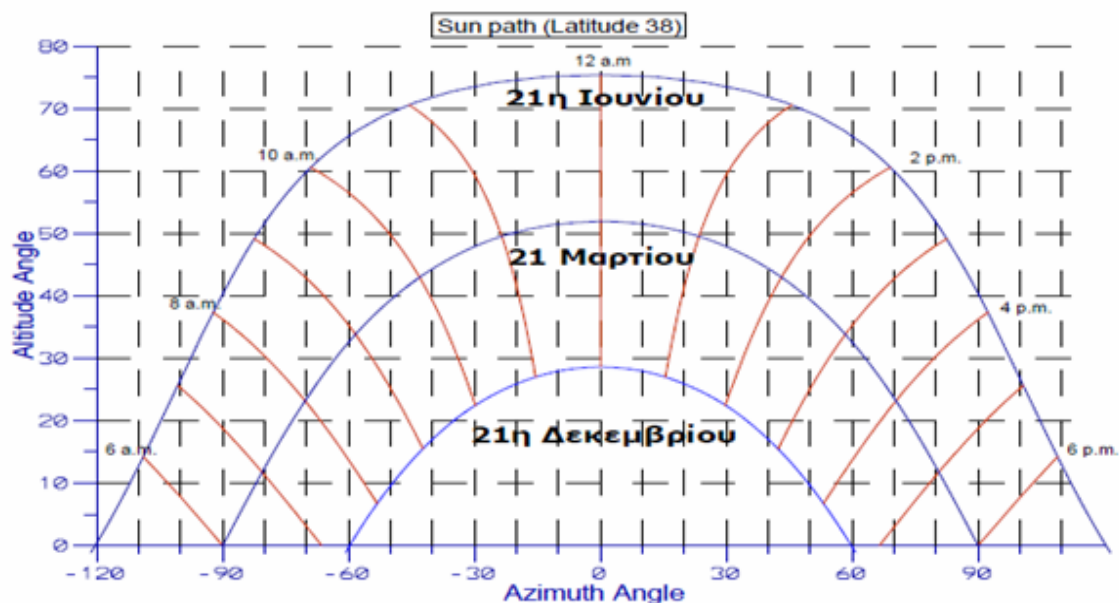
Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος είναι η ύπαρξη σκιασμών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Αναλυτικότερα, το συνολικό ρεύμα μιας στοιχειοσειράς Φ/Β πλαισίων καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της Φ/Β συστοιχίας. Βέβαια στην περίπτωση που ο σκιασμός περιορίσει την τάση του (των) σκιασμένου(ων) πλαισίου(ων) αρκετά χαμηλά ώστε να εισέλθει σε αγωγή η δίοδος παράκαμψης, το πλαίσιο αυτό εξαιρείται της ηλεκτροπαραγωγής. Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας δύναται να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτήρια κλπ. Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

**Εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από παρακείμενα κτήρια, κολώνες, στηθαίο, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη.**

Για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτηρίων.

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής τοποθεσίας έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού είναι ο ορίζοντας προς Νότο να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια.

Για τον έλεγχο πιθανών σκιασμών καθ' όλο το έτος καλό είναι να χρησιμοποιηθεί ένα διάγραμμα τροχιάς του ήλιου, όπως αυτό που παρατίθεται στο σχήμα 3.5.1. Στο εν λόγω διάγραμμα σχεδιάζεται η θέση του ήλιου σε γωνιακές συντεταγμένες, για γεωγραφικό πλάτος  $38^{\circ}$ . Για διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος στην Ελλάδα προκύπτει ελαφρά διαφορετικό διάγραμμα. Ο οριζόντιος άξονας στο σχήματος 3.5.1 αντιστοιχεί στην αζιμούθια γωνία του ήλιου, ήτοι την γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου (γωνιακή απόσταση του ήλιου από τη διεύθυνση του Νότου), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στη γωνία του ύψους του ήλιου, δηλαδή ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο.



**Σχήμα 3.5.1.: Διάγραμμα τροχιάς ήλιου σε Βόρειο γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$  μοιρών. Επί του διαγράμματος έχουν σχεδιασθεί ενδεικτικά η 21η Δεκεμβρίου, η 21η Μαρτίου και η 21η Ιουνίου, ενώ επίσης σημειώνονται επί των τροχιών και οι θέσεις του ήλιου για κάθε ώρα της ημέρας (σε τοπική ηλιακή ώρα). Με βάση το διάγραμμα του σχήματος 3.5.1 θα πρέπει να συγκριθούν τα περιγράμματα**

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο κύκλος ζωής τους είναι 30 χρόνια. Ωστόσο, όπως αποδεικνύεται η λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων για 30 χρόνια δεν είναι εφικτή. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε διάφορα σφάλματα που παρατηρούνται στην λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία όχι μόνο μειώνουν τον χρόνο ζωής αλλά μειώνουν και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Για να κατανοηθεί ο όρος αστοχία ή σφάλμα που αναφέρεται παραπάνω είναι απαραίτητο να καθοριστεί ο όρος αξιοπιστία. Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αναφέρεται ως αξιόπιστο, τότε αυτό σημαίνει ότι το πλαίσιο έχει μεγάλη πιθανότητα να λειτουργήσει επαρκώς για τον σκοπό που έχει σχεδιαστεί, στον αναμενόμενο χρόνο ζωής του και με την αναμενόμενη απόδοση όπως αυτή έχει οριστεί από τον κατασκευαστή. Για παράδειγμα, ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεν είναι αξιόπιστο όταν εμφανίζει κάποια αστοχία και η απόδοση του μειώνεται για κάθε χρόνο χρήσης του. Τα σφάλματα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες.

Η μια κατηγορία αφορά την ηλιακή κυψέλη, και η άλλη σχετίζεται με το περίβλημα της ηλιακής κυψέλης.

Η πρώτη κατηγορία αφορά σε σφάλματα που σχετίζονται με την ηλιακή κυψέλη και μπορεί να προκληθούν από μερικώς ή ολικώς κατεστραμμένες ηλιακές κυψέλες. Τα σφάλματα αυτά προκαλούνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, από την οποία η ηλιακή κυψέλη μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά και δεν είναι δυνατόν να προστατευτεί ανεξαρτήτως του περιβλήματος.

Επίσης, στις ηλιακές κυψέλες μπορεί να υπάρχουν ρωγμές οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από την μηχανική κοπή των κυψελών κατά την δημιουργία τους. Τέλος, από την κακή σύνδεση των ηλιακών κυψελών μπορεί να υπάρξει μείωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

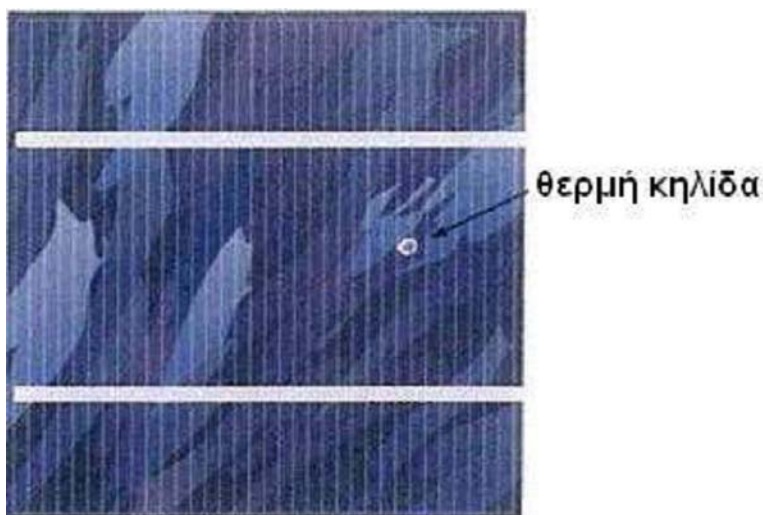
Τα σφάλματα που σχετίζονται με το περίβλημα της ηλιακής κυψέλης μπορεί να οφείλονται στην αστοχία υλικού (υλικά κακής ποιότητας) των δομικών στοιχείων του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Επίσης, η έλλειψη ακεραιότητας της δομής του πλαισίου μπορεί να προκαλέσει την μείωση της αντοχής του σε φορτία ανέμου και την εύκολη στρέβλωση του. Με αποτέλεσμα ρυπασμένα αέρια ή υγρασία να εισχωρούν στο εσωτερικό του πλαισίου και να προκαλούν την μείωση της απόδοσης του πλαισίου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1% για κάθε χρόνο χρήσης. Ιδιαίτερα, η υγρασία μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των ηλιακών κυψελών και των συνδέσεων τους. Τέλος η κακή ποιότητα ή η καταστροφή της μόνωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να προκαλέσει διαρροή ρεύματος, το οποίο με τη σειρά του να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα

Εκτός από τα είδη των σφαλμάτων που αναφέρονται παραπάνω, υπάρχει μια ξεχωριστή κατηγορία που είναι πολύ σημαντική και η οποία παρατηρείται συχνά. Η κατηγορία αυτή ονομάζεται φαινόμενο θερμής κηλίδας (hot spot). Για την σωστή παρουσίαση του φαινομένου θερμής κηλίδας είναι απαραίτητη η εξήγηση της λειτουργίας της ηλιακής κυψέλης.

Όπως αναφέρεται και στην αρχή του κεφαλαίου, η ηλιακή κυψέλη είναι ουσιαστικά μια επαφή P-N. Όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, λειτουργεί σαν μια πηγή ρεύματος σε κλειστό κύκλωμα. Αν συνδεθούν σε σειρά ηλιακές κυψέλες, οι

τάσεις στα άκρα τους αθροίζονται και συμπεριφέρονται σαν μια ενιαία πηγή. Όταν μια ηλιακή κυψέλη σκιάζεται, τότε αυτή δεν συμπεριφέρεται σαν μια πηγή ρεύματος αλλά σαν μια δίοδο που μάλιστα είναι πολωμένη ανάστροφα αφού η συνολική τάση των υπολοίπων κυψελών εφαρμόζεται πάνω της με αντίστροφη φορά. Η σκιασμένη ηλιακή κυψέλη με την σειρά της εμποδίζει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Άρα, η συνολική συμπεριφορά του πλαισίου καθορίζεται από την συγκεκριμένη ηλιακή κυψέλη.

Όταν μια ηλιακή κυψέλη σκιάζεται και δέχεται την ανάστροφη τάση των υπολοίπων, είναι δυνατόν να καταρρεύσει η επαφή P-N και να δημιουργηθεί το φαινόμενο zener. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού είναι δυνατόν να περάσει ρεύμα κατά την ανάστροφη φορά και με μικρή αύξηση της τάσης να διέλθει μεγάλο ρεύμα. Το ανάστροφο ρεύμα αυξάνει την θερμοκρασία της κυψέλης και μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή της. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο θερμής κηλίδας



Σχήμα

1. 13: Απεικόνιση θερμής κηλίδας

Τα χαρακτηριστικά των ηλιακών κυψελών διαφέρουν σημαντικά. Οι κυψέλες έχουν είτε υψηλή παράλληλη αντίσταση είτε χαμηλή παράλληλη αντίσταση. Καθένας από τους τύπους των ηλιακών κυψελών μπορεί να αντιμετωπίζει προβλήματα θερμής κηλίδας αλλά με διαφορετικούς τρόπους.



## 1. Χαμηλή παράλληλη αντίσταση

Η χειρότερη περίπτωση σκίασης είναι όταν ολόκληρη η ηλιακή κυψέλη είναι σκιασμένη.

Στις κυψέλες χαμηλής παράλληλης αντίστασης, το φαινόμενο θερμής κηλίδας δημιουργείται επειδή ένα υψηλό ποσό ρεύματος ρέει σε μια μικρή περιοχή.

Επειδή αυτό είναι ένα τοπικό φαινόμενο, παρατηρείται διακύμανση στην τιμή της απόδοσης για αυτού του είδους τις κυψέλες. Οι ηλιακές κυψέλες με τη χαμηλότερη παράλληλη αντίσταση έχουν πιθανότητα να λειτουργούν σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες σε εντοπισμένες περιοχές.

Επειδή η περιοχή που δημιουργείται η θερμότητα είναι μικρή, μπορεί να απαιτείται λίγος χρόνος για την θέρμανση του σημείου που έχει πρόβλημα.

## 2. Υψηλή παράλληλη αντίσταση

Η χειρότερη περίπτωση σκίασης είναι όταν μια μικρή περιοχή της ηλιακής κυψέλης είναι σκιασμένη.

Οι κυψέλες υψηλής παράλληλης αντίστασης περιορίζουν την αντίστροφη ροή του ρεύματος στο κύκλωμα και γι' αυτό τον λόγο θερμαίνονται. Η ηλιακή κυψέλη με την υψηλότερη παράλληλη αντίσταση θα έχει την υψηλότερη διάχυση ενέργειας.

Επειδή η θερμότητα είναι ομοιόμορφη σε ολόκληρη την περιοχή της ηλιακής κυψέλης, μπορεί να απαιτείται πολύς χρόνος για την θέρμανση του σημείου που έχει πρόβλημα [11].

Για την εξάλειψη των θερμών κηλίδων είναι απαραίτητο να τοποθετείται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η συγκράτηση σκόνης ή χιονιού και η σκίαση από αντικείμενα του περιβάλλοντος να μην εμποδίζει την ηλιακή κυψέλη.

## **ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Έχουν αναπτυχθεί, και μάλιστα σε υψηλό επίπεδο, τρόποι για τον έλεγχο των σφαλμάτων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Μερικοί από τους τρόπους ανίχνευσης σφαλμάτων είναι:

Υπέρυθρη απεικόνιση

P-Spice προσομοίωση

AMPS προσομοίωση

Ανάλυση καμπύλης τάσης-ρεύματος

#### □ Οπτική απεικόνιση

Για την ανίχνευση σφαλμάτων σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χρησιμοποιείται ευρέως η θερμογραφία. Ο όρος θερμογραφία αναφέρεται στο σύνολο των τεχνικών καταγραφής της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός αντικειμένου, ανεξάρτητα από το φυσικό φαινόμενο στο οποίο βασίζονται.

Η θερμογραφία είναι μία μέθοδος με την οποία ανιχνεύονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις επιφάνειες διαφόρων υλικών. Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζονται και ερμηνεύονται οι θερμοκρασιακές διαφορές που εμφανίζονται στα υλικά και στην κατασκευή εν γένει. Με την θερμογραφία δεν μετράται απ' ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας αλλά η μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας.

των εμποδίων (σε γωνιακές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αξόνων) όπως φαίνονται από το δυσμενέστερο σημείο της Φ/Β συστοιχίας. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ελέγξουμε αν τα εμπόδια σκιάζουν την Φ/Β συστοιχία, δηλαδή αν η γωνία ύψους των εμποδίων είναι μεγαλύτερη από τη γωνία ύψους του ήλιου για την αντίστοιχη αζιμούθια γωνία

### 3.6. Στατική μελέτη & Υλικά στήριξης



Η έδραση των Φ/Β πλαισίων επί του κτηρίου μπορεί να υλοποιηθεί είτε πάνω σε πρόσθετη μεταλλική κατασκευή, είτε επί της επιφάνειας του δώματος, ή ακόμα και με την ενσωμάτωση των πλαισίων στο δομικό κέλυφος του κτηρίου. Αν και το βάρος της ίδιας της Φ/Β συστοιχίας και της βάσης στήριξης δεν αναμένεται να επηρεάσει την στατική αντοχή του κτηρίου, καλό είναι όταν η τοποθέτηση των πλαισίων γίνεται σε στέγαστρα ή σκεπές να διενεργείται στατικός έλεγχος (ή ακόμα και ειδική μελέτη όπου απαιτείται) ώστε να διερευνάται η μηχανική καταπόνηση και η ανεμοπίεση της επιφάνειας έδρασης των πλαισίων. Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε ένα σύστημα στήριξης, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία και την ασφάλεια της εγκατάστασης σε ακραίες συνθήκες ανέμου, χιονόπτωσης, σεισμού και θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι ακραίες αυτές συνθήκες καθώς, ο συνδυασμός τους καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφάλειας, προδιαγράφονται στους Ευροκώδικες παράλληλα με επιπρόσθετους ελέγχους, όπως για το σύνολο των δομικών κατασκευών. Για τη στατική επάρκεια του συστήματος στήριξης καθεαυτού, μπορεί να ζητείται αντίστοιχο πιστοποιητικό από τον προμηθευτή. Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι μέρος υαλοπετάσματος, να αποτελεί σύνδεσμο με τους φορείς μίας στέγης ή να αποτελεί ένα αυτοτελές σύστημα τοποθετημένο στο δώμα ή με τρόπο που να δημιουργεί σκίαστρο.

Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι είτε μεταλλικό, από αλουμίνιο ή εν θερμώ γαλβανισμένο χάλυβα, είτε από πλαστικό (κυρίως όσο αφορά στην περίπτωση λεκανών στήριξης). Στο εμπόριο διατίθεται πληθώρα συστημάτων στήριξης. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται προσοχή στη συμβατότητά τους με τα λοιπά στοιχεία του εξοπλισμού και κατ' επέκταση στην εγκυρότητα των πιστοποιητικών στατικής επάρκειας επί του συνόλου της εγκατάστασης. Θα πρέπει ο τρόπος σύσφιξης των Φ/Β πλαισίων να είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου Φ/Β πλαισίου και επιπλέον οι διαστάσεις του πλαισίου να είναι αντίστοιχες (ή μικρότερες) με αυτές που έχουν θεωρηθεί στην στατική μελέτη για την έκδοση του πιστοποιητικού στατικής επάρκειας.

Όσον αφορά στη σύνδεση του συστήματος στήριξης με το κτήριο, και ειδικότερα αναφορικά με σύστημα στήριξης σε δώμα, θα πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη αγκύρωση.

Αυτή γίνεται κυρίως με την προσθήκη φορτίου, ή με τη χρήση κοχλιών. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει το βάρος που θα τοποθετηθεί να είναι σύμφωνο με τη στατική μελέτη του κτηρίου. Στην περίπτωση χρήσεως κοχλιών, θα πρέπει να μην τραυματίζεται η υφιστάμενη μόνωση. Και στις δύο περιπτώσεις, όπως και στην περίπτωση άλλου συστήματος, παρέχονται οι προδιαγραφές για την αγκύρωση από τον προμηθευτή του συστήματος στήριξης. Ωστόσο η συμβατότητα με το κτήριο θα πρέπει να ελέγχεται από έναν μηχανικό.

## ***Περιγραφή των οργάνων***

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν όργανα μέτρησης, τα οποία συντέλεσαν ώστε να οριστούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα όργανα αυτά είναι ένας φορητός θερμικός αναλυτής εικόνας, ένα πυρανόμετρο, ένας μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας και ένα πολύμετρο, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

### **4.1 Φορητός θερμικός αναλυτής εικόνας**

Ο Φορητός Θερμικός Αναλυτής Εικόνας (Imager) ή πιο απλά θερμοκάμερα, που χρησιμοποιήθηκε για την θερμογράφηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, είναι το μοντέλο IVN 780-P της εταιρίας Impac. Ο IVN 780-P παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1:



**Σχήμα 4. 1:** Φορητός θερμικός αναλυτής εικόνας IVN 780-P

Ο IVN 780-P είναι μια φορητή θερμοκάμερα υψηλής ανάλυσης, η οποία είναι ειδικά σχεδιασμένη για την ανίχνευση αστοχιών σε ηλεκτρονικό, μηχανολογικό και βιομηχανικό εξοπλισμό. Ο φορητός θερμικός αναλυτής εικόνας έχει την δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασιών από  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Εάν είναι απαραίτητο, το εύρος της μέτρησης μπορεί να επεκταθεί από  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Το μικρό του βάρος τον κάνει ιδανικό να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές εκτός εργαστηριακού χώρου. Έχει την δυνατότητα αποθήκευσης των θερμικών εικόνων στην μνήμη του και στην συνέχεια μέσω θύρας USB την μεταφορά τους σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, οι θερμικές εικόνες μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλυθούν με λεπτομέρεια. Η θερμική εικόνα ή θερμογράφημα απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η παρατήρηση αστοχιών. Το λογισμικό, που θα χρησιμοποιηθεί, συντελεί στο να διαπιστωθεί η εύρυθμη ή μη λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλαισίου με την παροχή εργαλείων, τα οποία θα αναλυθούν στην

συνέχεια του κεφαλαίου [1]. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του φορητού θερμικού αναλυτή εικόνας IVN 780-P.

**Πίνακας 4. 1:** Χαρακτηριστικά φορητού θερμικού αναλυτή εικόνας IVN 780-P

**Φορητός θερμικός αναλυτής εικόνας**

<b>Εύρος θερμοκρασίας μέτρησης</b> Από -40 °C έως 120 °C
<b>Μονάδες μέτρησης</b> °C ή °F
<b>Αβεβαιότητα μέτρησης</b> 2 °C
<b>Ελάχιστη απόσταση μέτρησης</b> 280 mm
<b>Ελάχιστο μέγεθος μετρούμενου αντικειμένου</b> 1,26 x1,23 mm (3x3 pixels)
<b>Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος</b> Από -10 °C έως 45 °C

## 4.2 Πυρανόμετρο

Στα πλαίσια των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε το πυρανόμετρο SL 200 της εταιρίας Kimo. Το πυρανόμετρο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την μέτρηση είτε της διάχυτης είτε της ακτινικής ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης, το SL 200 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μέτρηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το πυρανόμετρο SL 200.



**Σχήμα 4. 2:** Πυρανόμετρο SL 200

Ο αισθητήρας του οργάνου είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι

καλυμμένη από ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα, ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Πρέπει να τοποθετείται οριζόντια και να αποφεύγονται οι σκιάσεις από άλλα αντικείμενα. Η απόκριση του οργάνου είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Ωστόσο, το περιβάλλον μέτρησης ενδείκνυται να είναι απαλλαγμένο από παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και από ταλαντώσεις [2]. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του πυρανομέτρου.

**Πίνακας 4. 2:** Χαρακτηριστικά πυρανομέτρου SL 200

<b>Πυρανόμετρο SL 200</b>
<b>Εύρος μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας</b> Από 1 έως 1300
<b>Εύρος μετρούμενης ενέργειας</b> Από 1 έως 500
<b>Συχνότητα μέτρησης</b> 2/s
<b>Ακρίβεια</b> 5% ανά μέτρηση
<b>Συχνότητα υπολογισμού</b> 1/min

### **4.3 Μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας**

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων, το EL-USB-2 της εταιρίας Lascar χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Τα θερμομόμετρα αυτά λειτουργούν αυτόνομα με μπαταρία καταγράφοντας στην εσωτερική τους μνήμη τις τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας, όπως λαμβάνονται από τον ενσωματωμένο, υψηλής ακριβείας αισθητήρα, σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το EL-USB-2 χρησιμοποιείται για την καταγραφή δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας με εύρος από -35 °C έως 80 °C για την θερμοκρασία και από 0 έως 100% RH για την σχετική υγρασία. Το εξειδικευμένο αυτό καταγραφικό έχει τη δυνατότητα να καταγράφει και να αποθηκεύει στη μνήμη του μέχρι 16379 μετρήσεις υγρασίας και 16379 μετρήσεις θερμοκρασίας].

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται ο μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας EL-USB-2 και στον Πίνακα 4.3 δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του.



**Σχήμα 4. 3:** Μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας

**Πίνακας 4. 3:** Χαρακτηριστικά μετρητή θερμοκρασίας και υγρασίας

### Μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας

#### Σχετική υγρασία

<b>Εύρος</b> Από 0 έως 100% RH
<b>Ακρίβεια</b> 3% RH
<b>Επαναληψιμότητα</b> 0,1% RH

#### Θερμοκρασια

<b>Εύρος</b> Από -35 <sup>ο</sup> και 80 <sup>ο</sup> C
<b>Ακρίβεια</b> 0,1 <sup>ο</sup> C
<b>Επαναληψιμότητα</b> 0,5 <sup>ο</sup> C

### 4.4 Πολύμετρο

Στην παρούσα εργασία, το πολύμετρο 41/2 DMM RE69 της εταιρίας Range χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της τάσης ανοικτού κυκλώματος και του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Το πολύμετρο είναι ένα ηλεκτρικό όργανο το οποίο μετράει την τάση, την ένταση και την αντίσταση σ' ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Είναι μια συσκευή που έχει την δυνατότητα να λειτουργεί ως αμπερόμετρο, ως βολτόμετρο και ως ωμόμετρο. Χρησιμοποιεί μονάδες μέτρησης για το ρεύμα τα A, την τάση τα V, και την αντίσταση τα Ω. Επίσης, το πολύμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη εύρεση ελαττωμάτων σε ηλεκτρικά συστήματα [4]. Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται το πολύμετρο 41/2 DMM RE69 και στον Πίνακα 4.4 δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του.





Σχήμα 4. 4: Πολύμετρο 41/2 DMM RE69

Πίνακας 4. 4: Χαρακτηριστικά πολυμέτρου 41/2 DMM RE69

<b>Πολύμετρο 41/2 DMM RE69</b>
<b>Εύρος μετρούμενου DC ρεύματος</b> Από 2 mA έως 10 A
<b>Εύρος μετρούμενης DC τάσης</b> Από 200 mV έως 1000 V
<b>Εύρος μετρούμενου AC ρεύματος</b> Από 2 mA έως 10 A
<b>Εύρος μετρούμενης AC τάσης</b> Από 2 V έως 750 V
<b>Εύρος μετρούμενης αντίστασης</b> Από 200 Ω έως 200 MΩ
<b>Χωρητικότητα</b> Από 2000 Pf έως 20 μF

## 4.5 Διαδικασία μέτρησης

Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην οροφή του κτιρίου εργαστηρίων του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στην πόλη της Ξάνθης και μελετήθηκαν δυο φωτοβολταϊκά πλαίσια με την χρήση ενός φορητού θερμικού αναλυτή εικόνας, ενός πυρανομέτρου, ενός μετρητή θερμοκρασίας και υγρασίας και ενός πολυμέτρου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τις 05 Ιουλίου 2010 έως τις 13 Ιουλίου 2010. Κατά την διάρκεια της ημέρας πραγματοποιούνταν 3 σετ μετρήσεων ( πρωινές, μεσημεριανές και βραδινές ώρες), για να παρατηρηθεί η συμπεριφορά των

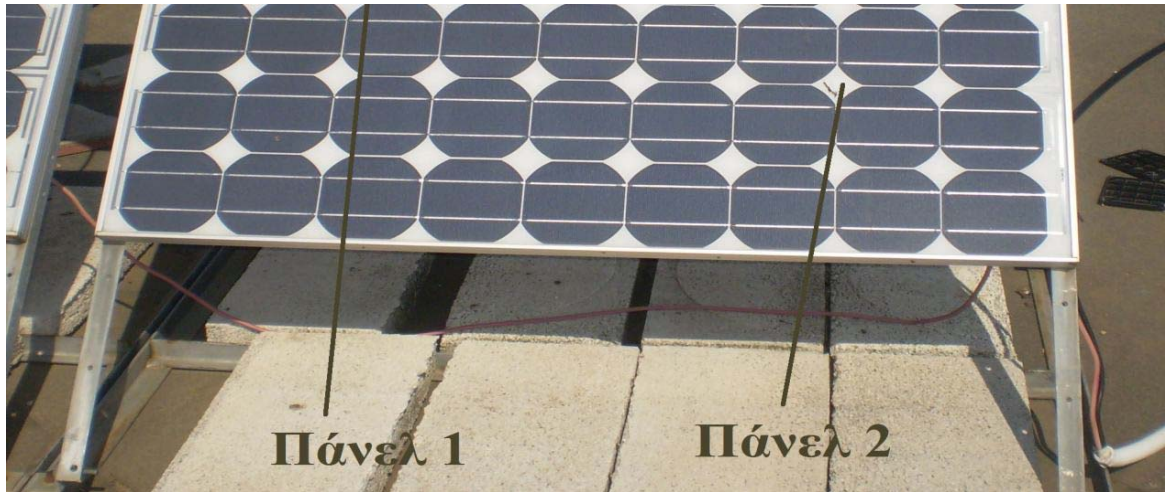
φωτοβολταϊκών πλαισίων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ωστόσο, δεν ήταν δυνατή η πραγματοποίηση των μετρήσεων όλες τις ώρες και τις μέρες, που αναφέρονται παραπάνω, λόγω κακών καιρικών συνθηκών (βροχόπτωση). Το πειραματικό υπόβαθρο των μετρήσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.5.

Τα δυο φωτοβολταϊκά πλαίσια που μελετήθηκαν, περιγράφονται στο κεφάλαιο 3 και η διάταξη τους φαίνεται στα Σχήματα 4.5 και 4.6. Το φωτοβολταϊκό σύστημα, που βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου, αποτελείται από 2 φωτοβολταϊκές συστοιχίες, των 6 και των 4 φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ωστόσο, στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μελετώνται τα δυο φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία ανήκουν στην συστοιχία με 4 φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα δυο πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά και είναι σταθερά τοποθετημένα σε κατάλληλη σιδηροκατασκευή για να έχουν την απαραίτητη κλίση, όπως αυτή ορίζεται από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της θέσης τους καθώς και από την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

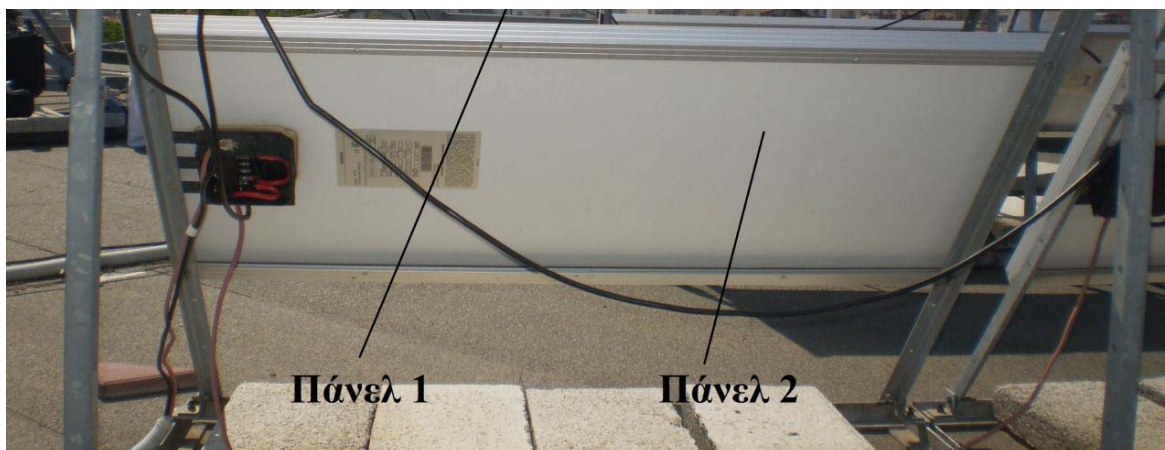
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο, δηλαδή η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτά τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία. Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η πρόσοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται η πίσω όψη. Στα σχήματα αυτά παρουσιάζεται, επίσης, και η διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων.





Σχήμα 4. 5: Πρόσοψη φωτοβολταϊκών πλαισίων



Σχήμα 4. 6: Πίσω όψη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Στη συνέχεια, αναλύεται ο τρόπος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Αρχικά, λαμβάνονται οι θερμικές εικόνες των φωτοβολταϊκών πλαισίων με την χρήση του φορητού θερμικού αναλυτή εικόνας, ο οποίος τοποθετείται στον κατάλληλο τρίποδα. Η χρήση του τρίποδα απαιτείται για την πραγματοποίηση



σταθερών λήψεων κατά την διάρκεια της κάθε μέτρησης, δηλαδή οι εικόνες να λαμβάνονται από σταθερή απόσταση (2 m) και από σταθερό ύψος (0,5m), έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση τους κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Οι θερμικές εικόνες αποθηκεύονται στη μνήμη του φορητού θερμικού αναλυτή εικόνας και με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, που θα αναλυθεί παρακάτω, γίνεται η επεξεργασία τους. Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζεται ο τρόπος που έγινε η μέτρηση με τον φορητό θερμικό αναλυτή εικόνας καθώς και η απόσταση του από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια



**Σχήμα 4. 7:** Διαδικασία μέτρησης με τον φορητό θερμικό αναλυτή εικόνας

Η προσαρμογή των παραμέτρων της μέτρησης, δηλαδή του συντελεστή ικανότητας εκπομπής και της αντιστάθμισης του φόντου, είναι πολύ σημαντική για την διεκπεραίωση της μέτρησης. 1. Συντελεστής ικανότητας εκπομπής (emissivity) Ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής ορίζεται ως το πηλίκο της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα πραγματικό σώμα θερμοκρασίας  $T$  προς την εκπεμπόμενη

ακτινοβολία του μέλανος σώματος της ίδιας θερμοκρασίας. Διαφορετικά υλικά έχουν διαφορετικούς συντελεστές ικανότητας εκπομπής, που κυμαίνονται από 0% έως 100%. Τα υλικά που αντανακλούν περισσότερη ακτινοβολία έχουν μικρότερο συντελεστή ικανότητας εκπομπής.

Αν ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής του στόχου ενδιαφέροντος αποκλίνει από την ιδανική τιμή (100%), αυτό έχει αρνητική επίδραση στην ακρίβεια της μέτρησης. Για να διατηρείται η δυνατότητα ακριβούς μέτρησης της θερμοκρασίας σε αντικείμενα ποικίλων συντελεστών ικανότητας εκπομπής, η θερμοκάμερα παρέχει την δυνατότητα προσαρμογής του συντελεστή αυτού. Με τη χρήση του κέρσορα, είναι δυνατή η επίδειξη της τρέχουσας τιμής του συντελεστή ικανότητας εκπομπής στο κέντρο της οθόνης. Η ενεργοποίηση της λειτουργίας αυτής και η προσαρμογή της τιμής γίνεται με την εντολή: [IMAGE]□[EMISS] από το [MENU]. Στη συνέχεια, με χειρισμό του [JOYSTICK] προς τα πάνω ή προς τα κάτω, όσο είναι απαραίτητο, επιλέγεται η επιθυμητή τιμή του συντελεστή ικανότητας εκπομπής.

## 2. Αντιστάθμιση του φόντου

Η αντιστάθμιση του φόντου μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη μέτρηση. Όταν ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής του αντικειμένου που μετράται είναι χαμηλός, τότε η αντανακλαστικότητα θα είναι υψηλότερη. Αν τα αντικείμενα που βρίσκονται στο φόντο ακτινοβολούν μεγαλύτερες ποσότητες υπέρυθρης ακτινοβολίας, που οφείλεται είτε σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από το στόχο είτε σε υψηλότερη τιμή του συντελεστή ικανότητας εκπομπής, η προερχόμενη από το φόντο υπέρυθρη ενέργεια προστίθεται στη τιμή της θερμοκρασίας που υποδεικνύεται, προκαλώντας σφάλμα στη μέτρηση.

Η θερμοκάμερα έχει ενσωματωμένο ένα σύνθετο αλγόριθμο για να εξαλείφει αυτού του είδους τα σφάλματα αντανακλαστικότητας/φόντου. Για να ενεργοποιηθεί η αντιστάθμιση φόντου, γίνεται αρχικά ένας υπολογισμός της θερμοκρασίας των αντικειμένων που βρίσκονται στο φόντο και επηρεάζουν τη μέτρηση για να υπολογιστεί, σε αυτή τη βάση, μια μέση θερμοκρασία. Στη συνέχεια, με μετάβαση στην εντολή [CAL]□[BACKGROUND] από το [MENU], με χειρισμό του [JOYSTICK] προς τα πάνω ή προς τα κάτω, γίνεται η επιλογή της επιθυμητής τιμής αντιστάθμισης του φόντου. Στη συνέχεια, με την βοήθεια του μετρητή θερμοκρασίας και υγρασίας μετρώνται οι τιμές για την θερμοκρασία και την υγρασία. Ο μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας τοποθετείται στην θύρα USB ενός φορητού υπολογιστή

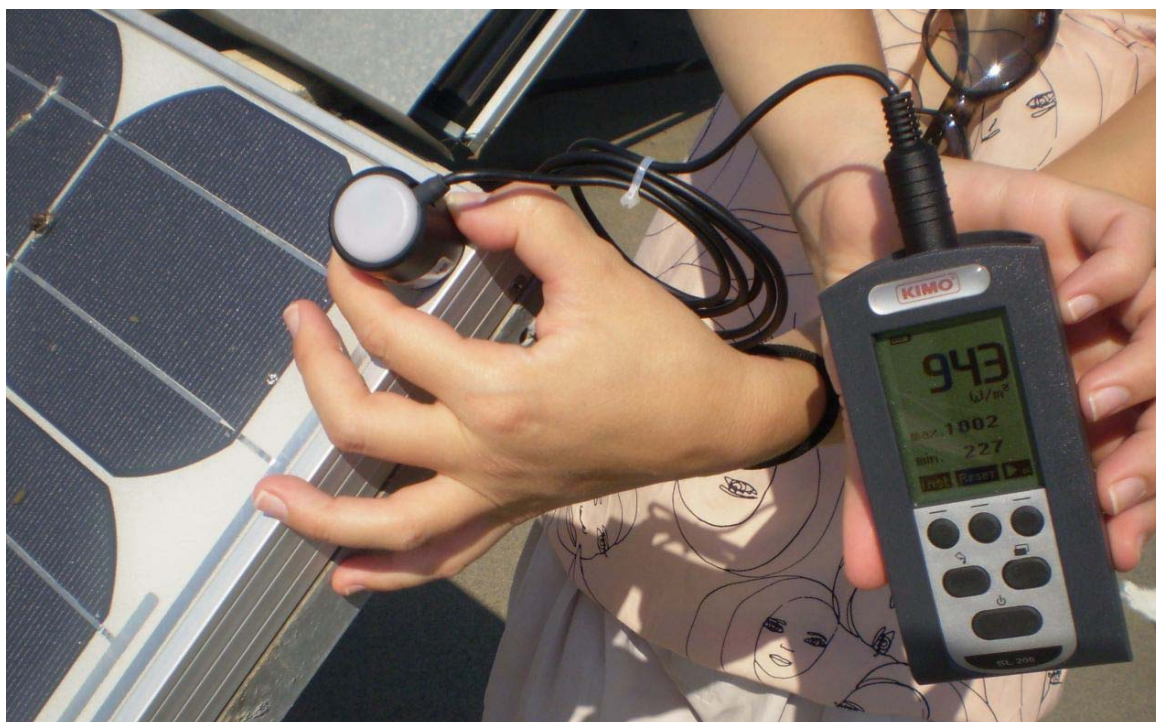
και με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού μετράει απευθείας τις τιμές της θερμοκρασίας σε °C ή σε °F και τις τιμές της σχετικής υγρασίας σε % RH.



**Σχήμα 4. 8:** Μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας

Έπειτα, χρησιμοποιείται το πυρανόμετρο για την μέτρηση της τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο αισθητήρας του πυρανομέτρου τοποθετείται παράλληλα στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, για την μέτρηση της ακτινοβολίας του ήλιου που προσπίπτει στην επιφάνεια τους. Πολύ σημαντικό είναι να μην δημιουργείται σκίαση στον αισθητήρα γιατί τότε τα αποτελέσματα της μέτρησης δεν είναι ακριβή. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην οθόνη του πυρανομέτρου και οι τιμές δίνονται σε . Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το πυρανόμετρο και ο τρόπος που τοποθετείται στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων για να είναι ακριβής η μέτρηση.





**Σχήμα 4. 9:** Διαδικασία μέτρησης με το πυρανόμετρο

Τέλος, με την χρήση του πολυμέτρου μετρώνται η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της τάσης ανοικτού κυκλώματος των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Αρχικά, θα μετρηθεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοικτού κυκλώματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο 1. Στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου, υπάρχει το κουτί διακλάδωσης, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Στο κουτί διακλάδωσης συνδέονται να καλώδια που συνδέουν το πλαίσιο 1 με τα διπλανά φωτοβολταϊκά πλαίσια και με το ηλεκτρικό φορτίο (το καλώδιο 1 συνδέει το πλαίσιο 1 με το διπλανό πλαίσιο, το καλώδιο 2 συνδέει το πλαίσιο 1 με το πλαίσιο 2 και το καλώδιο 3 συνδέει το πλαίσιο 1 με το ηλεκτρικό φορτίο). Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζεται το κουτί διακλάδωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου 1.



**Σχήμα 4. 10:** Κουτί διακλάδωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου 1

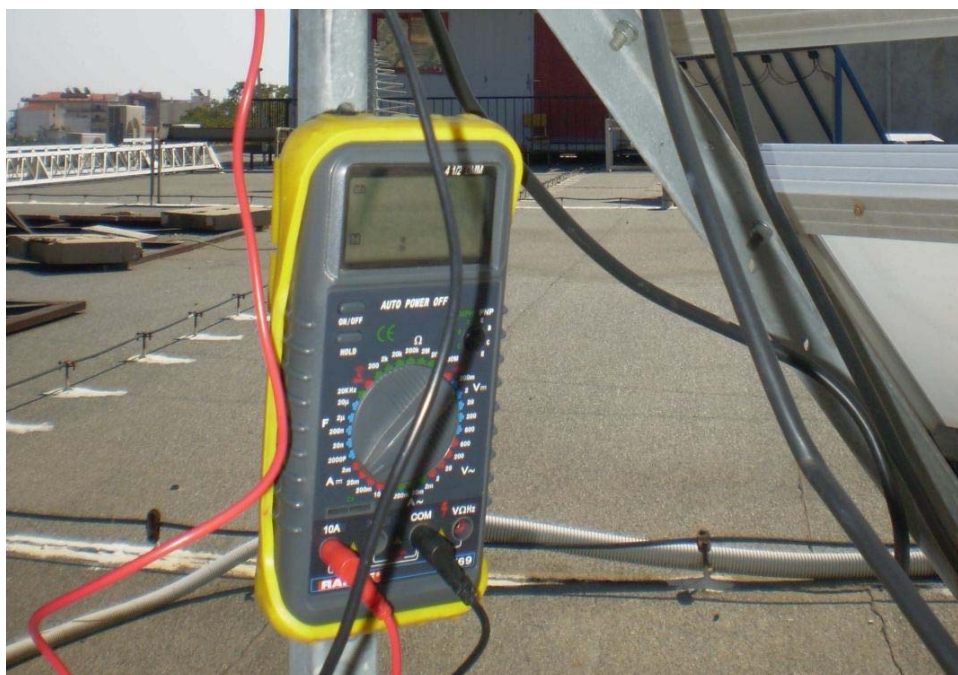
Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση, είναι απαραίτητο να αποσυνδεθούν τα καλώδια 1 και 2, τα οποία συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μεταξύ τους, και να τοποθετηθούν οι ακροδέκτες του πολυμέτρου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11, ο αρνητικός ακροδέκτης τοποθετείται στο καλώδιο 1 και ο θετικός ακροδέκτης στο καλώδιο 2.

Το ψηφιακό πολύμετρο, για να λειτουργήσει σωστά, είναι απαραίτητο να οριστεί η λειτουργία και η κλίμακα του. Η λειτουργία αναφέρεται στην ποσότητα που μετρείται, δηλαδή αν το πολύμετρο λειτουργεί ως αμπερόμετρο, βολτόμετρο ή ωμόμετρο. Η κλίμακα αναφέρεται στο εύρος της τιμής που θα μετρηθεί. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα ψηφιακά πολύμετρα δεν διαθέτουν διακόπτη πολικότητας. Αν εφαρμοστεί αντίστροφη πολικότητα σε ένα ψηφιακό πολύμετρο, εμφανίζεται αρνητικό πρόσημο (-) μπροστά από την ένδειξη.

Για την μέτρηση της τιμής του ρεύματος βραχυκύκλωσης, πρέπει το πολύμετρο να τεθεί στην λειτουργία αμπερομέτρου. Επίσης, είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί η κλίμακα της τιμής του ρεύματος. Σύμφωνα με την αναμενόμενη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης από το φυλλάδιο του κατασκευαστή, η κλίμακα του ρεύματος βραχυκύκλωσης ορίζεται 10 A. Στη συνέχεια, για την μέτρηση της τιμής της τάσης ανοικτού κυκλώματος, πρέπει το πολύμετρο να τεθεί στην λειτουργία βολτομέτρου. Η κλίμακα της τιμής της τάσης ανοικτού κυκλώματος, σύμφωνα με την αναμενόμενη τιμή της τάσης ανοικτού κυκλώματος από το φυλλάδιο του κατασκευαστή, ορίζεται 200 V.

Τα αποτελέσματα και των δυο μετρήσεων εμφανίζονται στην οθόνη του πολυμέτρου. Στο Σχήμα 4.11 απεικονίζεται μια τυπική μέτρηση των τιμών του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της τάσης ανοικτού κυκλώματος με την χρήση του πολυμέτρου.





**Σχήμα 4. 11:** Διαδικασία μέτρησης με το πολύμετρο

Για να μετρηθεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοικτού κυκλώματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο 2, η διαδικασία είναι όμοια με την διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για το πλαίσιο 1. Στο Σχήμα 4.12 απεικονίζεται το κουτί διακλάδωσης του πλαισίου 2. Από το σχήμα αυτό μπορεί να παρατηρηθεί ότι το καλώδιο 1 συνδέει το πλαίσιο 2 με το πλαίσιο 1 και το καλώδιο 2 συνδέει το πλαίσιο 2 με το διπλανό πλαίσιο. Το καλώδιο 3 συνδέει το πλαίσιο 2 με το ηλεκτρικό φορτίο.

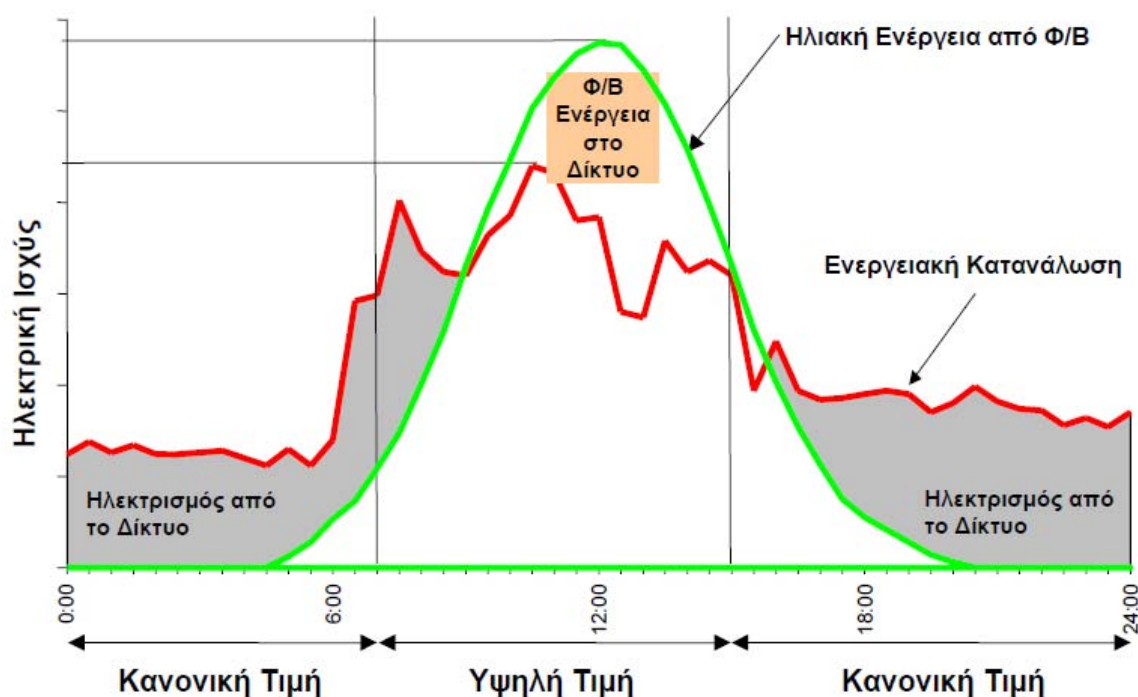


**Σχήμα 4. 12:** Κουτί διακλάδωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου 2

#### 4. Υφιστάμενη κατάσταση στον ελλαδικό χώρο

Οι πρώτες προσπάθειες για ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών στην Ελλάδα ξεκινούν το 1985 με τον πρώτο νόμο για θέματα ηλεκτροπαραγωγής από εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Μετά η επόμενη ουσιαστική προσπάθεια έγινε το 1994 όπου θεσπίστηκαν ευνοϊκές ρυθμίσεις για τις ΑΠΕ και είχαμε την έντονη εμφάνιση επενδυτικού ενδιαφέροντος και από την πλευρά των ιδιωτών. Οι τελικές ρυθμίσεις και η κάλυψη των όποιων κενών υπήρχαν έγιναν από το 2001 μέχρι το 2006 όπου είχαμε και τον τελευταίο και ευνοϊκότερο νόμο για τις ΑΠΕ και ειδικά για τα φωτοβολταϊκά. Οι νομοθετικές διατάξεις που αφορούν τις ΑΠΕ είναι οι εξής :

- Νόμος 1559/1985
- Νόμος 2244/1994
- Νόμος 2773/1999
- Νόμος 2941/2001
- ΥΑ 2000/2002
- ΥΑ 1726/2003
- Νόμος 3468/2006



### Εικόνα 1: Τυπική ημερήσια λειτουργία φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο

Με τον τελευταίο νόμο 3468/2006 το ελληνικό δίκαιο εναρμονίζεται με την κοινοτική οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και προωθείται, κατά προτεραιότητα, στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας η παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και μονάδες Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.).

Τα τιμολόγια που καθορίζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τιμές ενέργειας από φωτοβολταϊκές μονάδες

Τιμές πώλησης ενέργειας από φωτοβολταϊκά (€/MWh)					
Έτος	Μήνας	A	B	Γ	Δ
		Διασυνδεδεμένο		Μη διασυνδεδεμένο	
		> 100kW	≤ 100kW	> 100kW	≤ 100kW
2009	Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2009	Αύγουστος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010	Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010	Αύγουστος	392,04	441,05	441,05	490,05
2011	Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43	466,03
2011	Αύγουστος	351,01	394,88	394,88	438,76
2012	Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53	417,26
2012	Αύγουστος	314,27	353,56	353,56	392,84
2013	Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23	373,59
2013	Αύγουστος	281,38	316,55	316,55	351,72
2014	Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56	336,18
2014	Αύγουστος	260,97	293,59	293,59	326,22
Για κάθε έτος $v$ από το 2015 και μετά		$1,3 \times \mu\text{OTS}_{v-1}$	$1,4 \times \mu\text{OTS}_{v-1}$	$1,4 \times \mu\text{OTS}_{v-1}$	$1,5 \times \mu\text{OTS}_{v-1}$
$\mu\text{OTS}_{v-1}$ : Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος $v-1$					

Οι τιμές αυτές αναπροσαρμόζονται ετησίως (προς τα πάνω) με το 25% του πληθωρισμού της περασμένης χρονιάς. Αν δηλαδή κάποιος υπέγραψε με τη ΔΕΗ συμφωνώντας μία βασική ταρίφα 45 λεπτών ανά κιλοβατώρα για 20 χρόνια, και

υποθέτοντας ότι ο πληθωρισμός είναι π.χ. 3%, την πρώτη χρονιά θα πάρει 45 λεπτά την κιλοβατόρα, την δεύτερη 45,34 λεπτά, κ.ο.κ.

## **6. Επιδοτήσεις και διαδικασίες αδειοδότησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων**

Η νομοθεσία είναι διαφορετική για την επιδότηση αν αυτή γίνεται από κάποιον ιδιώτη ή από κάποια εταιρεία. Έτσι στην περίπτωση ιδιώτη δικαιούται φοροελάφρυνση σε ποσοστό 20% επί του κόστους της επένδυσης. Το ποσό αυτό όμως δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 700€. Αν η επένδυση γίνει από εταιρεία, σύμφωνα με το νέο επενδυτικό νόμο 3522/2006, η επικράτεια κατανέμεται σε τρεις περιοχές :

**ΠΕΡΙΟΧΗ Α΄.** Περιλαμβάνει τους Νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης πλην των Βιομηχανικών Επιχειρηματικών Περιοχών (Β.Ε.ΠΕ.) και των νησιών των Νομών αυτών που εντάσσονται στην Περιοχή Β΄.

**ΠΕΡΙΟΧΗ Β΄.** Περιλαμβάνει τους Νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας (Καρδίτσα, Λάρισα, Μαγνησίας, Τρικάλων), τους Νομούς της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδων, Δωδεκανήσου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων (Κέρκυρας, Λευκάδας, Κεφαλληνίας, Ζακύνθου), τους Νομούς της Περιφέρειας Κρήτης (Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου, Χανίων), τους Νομούς της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (Χαλκιδικής, Σερρών, Κιλκίς, Πέλλας, Ημαθίας, Πιερίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (Γρεβενών, Κοζάνης, Φλώρινας, Καστοριάς), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδος (Φθιώτιδας, Φωκίδας, Εύβοιας, Βοιωτίας, Ευρυτανίας).

**ΠΕΡΙΟΧΗ Γ΄.** Περιλαμβάνει τους Νομούς της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Καβάλας, Δράμας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ηπείρου (Άρτας, Πρέβεζας, Ιωαννίνων, Θεσπρωτίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου (Λέσβου, Χίου, Σάμου), τους Νομούς της Περιφέρειας Πελοποννήσου (Λακωνίας, Μεσσηνίας, Κορινθίας, Αργολίδας, Αρκαδίας), καθώς και

τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδος (Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Ηλείας).

Η εταιρεία υποχρεούται να συνεισφέρει το 25% της επένδυσης από ίδια κεφάλαια. Ανάλογα με την περιοχή και το μέγεθος της επιχείρησης το ποσοστό επιδότησης διαμορφώνεται σύμφωνα με τον πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Μέγεθος επιχείρησης

Μέγεθος επιχείρησης	Περιοχή σύμφωνα με τον αναπτυξιακό νόμο		
	A	B	Γ
Μεγάλη	20%	30%	40%
Μεσαία	30%	40%	40%
Μικρή	40%	40%	40%
Πολύ μικρή	40%	40%	40%

Η κατάταξη των εταιρειών σε κατηγορίες γίνεται ως εξής (πίνακας 3) :

**Πίνακας 3:** Κατάταξη των εταιρειών

Κατάταξη εταιρειών				
	Πολύ μικρή	Μικρή	Μεσαία	Μεγάλη
Εργαζόμενοι	< 10	< 50	< 250	≥ 250
Κύκλος εργασιών	< 2 εκ. €	< 10 εκ. €	< 50 εκ. €	≥ 50 εκ. €
Σύνολο ενεργητικού	< 2 εκ. €	< 10 εκ. €	< 43 εκ. €	≥ 43 εκ. €

Τελικά οι διαδικασίες που απαιτούνται για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση όπως προκύπτουν από την υφιστάμενη νομοθεσία είναι οι εξής (“Διαδικασίες αδειοδότησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων”, Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών):

Οι διαδικασίες και οι χρόνοι αδειοδότησης διαφέρουν ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος. Διακρίνουμε 4 κατηγορίες: συστήματα ≤20 kWp, 20-150 kWp, 150-2.000 kWp και >2.000 kWp. Οι παρακάτω χρόνοι, οι οποίοι κυμαίνονται από μηδέν έως 9 μήνες, είναι οι θεωρητικοί χρόνοι που προβλέπει η νομοθεσία. Στην πράξη οι χρόνοι αυτοί είναι πολύ μεγαλύτεροι.

## 6.1 Συστήματα $\leq 20$ kWp

Δεν απαιτούνται άδειες παραγωγής, εγκατάστασης, λειτουργίας ή έγκριση περιβαλλοντικών όρων. Δεν απαιτείται επίσης εξαίρεση από την άδεια παραγωγής, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά που υφίσταται κορεσμός του δικτύου, ο οποίος διαπιστώνεται με απόφαση της ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Οι περιπτώσεις εξαίρεσης από τη λήψη άδειας παραγωγής διαπιστώνονται με απόφαση της ΡΑΕ που εκδίδεται εντός δέκα (10) εργασίμων ημερών από την υποβολή σχετικής αίτησης, εφόσον η αίτηση αυτή συνοδεύεται από όλα τα αναγκαία στοιχεία ή από τη συμπλήρωση των στοιχείων αυτών (Ν. 3468/06 & εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006).

Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών για τους οποίους δεν εκδίδεται διαπιστωτική απόφαση της ΡΑΕ, υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ κατά περίπτωση) για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών. Αν παραληφθεί η υποχρέωση ενημέρωσης, η λειτουργία των σταθμών αποβαίνει παράνομη. Ο αρμόδιος Διαχειριστής ενημερώνει, στο τέλος κάθε διμήνου, τον Υπουργό Ανάπτυξης και τη ΡΑΕ για την εγκατάσταση των ανωτέρω σταθμών (Ν. 3468/06). Εφόσον οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί της κατηγορίας αυτής βρίσκονται εντός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, απαιτείται έγκριση περιβαλλοντικών όρων (εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006). Η έγκριση αυτή έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ). Τα έργα που αφορούν φωτοβολταϊκά ισχύος  $\leq 20$  kWp εντός περιοχών προστασίας υπάγονται στη λεγόμενη υποκατηγορία 3 της δεύτερης κατηγορίας έργων (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 145799, ΦΕΚ 1002Β, 18-7-2005). Για τα έργα αυτά ισχύουν τα εξής (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 104247, ΦΕΚ 663Β, 26-5-2006 & εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006):

Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος- Χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας. Εντός 10 ημερών,

η ΔΙΠΕΧΩ αποφαινεται αν το έργο θα ακολουθήσει τις διαδικασίες της κατηγορίας Α2 ή της Β4 (λιγότερο επίπονες). Κατά τεκμήριο, τα έργα αυτής της κατηγορίας θα υπαχθούν στην υποκατηγορία Β4, αφού σύμφωνα με την ΚΥΑ της 4-11-2004, (Δ6/Φ1/Οικ.19500), τα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος  $\leq 500$  kWp χαρακτηρίζονται πλέον ως “μη οχλούσες δραστηριότητες”.

Διαδικασίες υποκατηγορίας Β4: Αν η ΔΙΠΕΧΩ κρίνει ότι το έργο πρέπει να υπαχθεί στην υποκατηγορία Β4, τότε ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας εκδίδει εντός 5 ημερών από την εισήγηση της ΔΙΠΕΧΩ σχετική απόφαση την οποία διαβιβάζει στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο προκειμένου να ενημερωθούν οι πολίτες. Παράλληλα, η απόφαση διαβιβάζεται και στην αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας για να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία για έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας.
2. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 5 ημερών, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 15 ημερών.
5. Η απόφαση έγκρισης ή μη των περιβαλλοντικών όρων εκδίδεται από τον Νομάρχη εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

<p style="text-align: center;"><b>Απαιτούμενος χρόνος αδειοδότησης πριν την εκτέλεση έργου <math>\leq 20</math> kWp 0-90 ημέρες (0-3 μήνες)</b></p>
---

## 6.2 Συστήματα 20-150 kWp

Σε αυτά τα συστήματα απαιτούνται:

1. Εξαίρεση από άδεια παραγωγής.
2. Έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

Εξαιρέση από άδεια παραγωγής: Εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από σταθμούς οι οποίοι εγκαθίστανται σε ακίνητο ή όμορα ακίνητα τα οποία ανήκουν, κατά κυριότητα ή βρίσκονται στη νόμιμη κατοχή των προσώπων αυτών, για όσο χρόνο τα πρόσωπα αυτά είναι κύριοι ή νόμιμοι κάτοχοι, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατόν πενήντα (150) κιλοβάτ (Ν. 3468/06).

Οι περιπτώσεις εξαιρέσης από τη λήψη άδειας παραγωγής διαπιστώνονται με απόφαση της ΡΑΕ που εκδίδεται εντός δέκα (10) εργασίμων ημερών από την υποβολή σχετικής αίτησης, εφόσον η αίτηση αυτή συνοδεύεται από όλα τα αναγκαία στοιχεία ή από τη συμπλήρωση των στοιχείων αυτών.

### **Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)**

Η έγκριση αυτή έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ). Τα έργα που αφορούν φωτοβολταϊκά ισχύος 20-150 kWp υπάγονται στη λεγόμενη υποκατηγορία 3 της δεύτερης κατηγορίας έργων (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 145799, ΦΕΚ 1002Β, 18-7-2005). Για τα έργα αυτά ισχύουν τα εξής (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 104247, ΦΕΚ 663Β, 26-5-2006 & εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8- 2006):

Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος – Χωροταξίας (ΔΠΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας. Εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ αποφαινεται αν το έργο θα ακολουθήσει τις διαδικασίες της κατηγορίας Α2 (στην οποία υπάγονται και τα φωτοβολταϊκά άνω των 2.000 kWp) ή της Β4 (λιγότερο επίπνες). Κατά τεκμήριο, τα έργα αυτής της κατηγορίας θα υπαχθούν στην υποκατηγορία Β4, εκτός αν εκτελούνται σε περιοχές προστασίας οπότε τότε μπορεί να υπαχθούν στην υποκατηγορία Α2. Λέμε ‘λογικά’ γιατί σύμφωνα με την ΚΥΑ της 4-11-2004, (Δ6/Φ1/Οικ.19500), τα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος  $\leq 500$  kWp



χαρακτηρίζονται πλέον ως “μη οχλούσες δραστηριότητες”, ενώ τα συστήματα άνω των 500 kWp κατατάσσονται στις δραστηριότητες χαμηλής όχλησης.

Διαδικασίες υποκατηγορίας B4: Αν η ΔΙΠΕΧΩ κρίνει ότι το έργο πρέπει να υπαχθεί στην υποκατηγορία B4, τότε ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας εκδίδει εντός 5 ημερών από την εισήγηση της ΔΙΠΕΧΩ σχετική απόφαση την οποία διαβιβάζει στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο προκειμένου να ενημερωθούν οι πολίτες. Παράλληλα, η απόφαση διαβιβάζεται και στην αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας για να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία για έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας.
2. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 5 ημερών, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 15 ημερών.
5. Η απόφαση έγκρισης ή μη των περιβαλλοντικών όρων εκδίδεται από τον Νομάρχη εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας A2 για την έγκριση της ΠΠΕΑ έχει ως εξής:

1. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
2. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
3. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών.
4. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΙΠΕΧΩ της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έχει ως εξής:

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στη ΔΠΠΕΧΩ.
2. Αν ο φάκελος (ο οποίος εν τω μεταξύ απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΠΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 40 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

**Απαιτούμενος χρόνος αδειοδότησης πριν την εκτέλεση έργου 20-150 kWp  
75-210 ημέρες (2,5-7 μήνες)**

### **6.3 Συστήματα 150-2.000 kWp**

Σε αυτά τα συστήματα απαιτούνται:

#### I. Πριν την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Παραγωγής
2. Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
3. Άδεια Εγκατάστασης

#### II. Μετά την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Λειτουργίας

#### **Άδεια Παραγωγής**

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτείται σχετική άδεια (Ν. 3468/06). Η άδεια αυτή χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Μαζί με την αίτηση για άδεια παραγωγής,

ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει στη ΡΑΕ και αίτηση Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) για το έργο, συνοδευόμενη από σχετική Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ). Η ΡΑΕ πριν διατυπώσει τη γνώμη της, διαβιβάζει την ΠΠΕ στην αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η αρχή αυτή γνωμοδοτεί επί της ΠΠΕ και διαβιβάζει τη γνωμοδότησή της στη ΡΑΕ εντός εξήντα (60) ημερών από τη συμπλήρωση του φακέλου της ΠΠΕ. Η ΡΑΕ, μετά την έκδοση της γνωμοδότησης, υποβάλλει τη γνώμη της στον Υπουργό Ανάπτυξης εντός τεσσάρων (4) μηνών από τη γνωστοποίηση, σε αυτήν, της δημοσίευσης της αίτησης, εφόσον ο φάκελος της αίτησης είναι πλήρης ή από τη συμπλήρωση του φακέλου, όταν αυτή ολοκληρώνεται μετά τη γνωστοποίηση, σύμφωνα με την ίδια απόφαση. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, σε αυτόν, της γνώμης της ΡΑΕ.

### **Άδεια Εγκατάστασης**

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, απαιτείται σχετική άδεια (Ν. 3468/06). Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός, για όλα τα έργα που κατατάσσονται στη 2η υποκατηγορία της Α΄ Κατηγορίας και στην 3η ή 4η υποκατηγορία της Β΄ Κατηγορίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α΄), όπως ισχύει, και τις κανονιστικές πράξεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του. Η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, από τον ενδιαφερόμενο, της σχετικής αίτησης με τα δικαιολογητικά που καθορίζονται από την ισχύουσα νομοθεσία. Αν ο αρμόδιος Γενικός Γραμματέας Περιφέρειας δεν εκδώσει την άδεια εγκατάστασης εντός της προθεσμίας που ορίζεται στο προηγούμενο εδάφιο, για την έκδοση αυτής καθίσταται αρμόδιος ο Υπουργός Ανάπτυξης, προς τον οποίο ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει την αίτηση με το συνοδευτικό της φάκελο και την απόφαση ΕΠΟ ή επικυρωμένα αντίγραφα αυτών. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει την άδεια εγκατάστασης εντός τριάντα (30) ημερών από την παραλαβή των ανωτέρω εγγράφων.

### **Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)**

Η έγκριση αυτή έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ). Τα έργα που αφορούν φωτοβολταϊκά ισχύος 150-2.000 kWp υπάγονται στη λεγόμενη υποκατηγορία 3 της δεύτερης κατηγορίας έργων (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 145799, ΦΕΚ 1002Β, 18-7-2005). Για τα έργα αυτά ισχύουν τα εξής (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 104247, ΦΕΚ 663Β, 26-5-2006 & εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006):

Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη ΡΑΕ, η οποία τη διαβιβάζει στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος – Χωροταξίας (ΔΠΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας. Εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ αποφαινεται αν το έργο θα ακολουθήσει τις διαδικασίες της κατηγορίας Α2 (στην οποία υπάγονται και τα φωτοβολταϊκά άνω των 2.000 kWp) ή της Β4 (λιγότερο επίπνες).

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση της ΠΠΕΑ έχει ως εξής:

1. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΠΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
2. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
3. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών.
4. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΠΠΕΧΩ της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έχει ως εξής:

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στη ΔΠΠΕΧΩ.
2. Αν ο φάκελος (ο οποίος εν τω μεταξύ απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΠΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.

3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 40 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Διαδικασίες υποκατηγορίας B4: Αν η ΔΙΠΕΧΩ κρίνει ότι το έργο πρέπει να υπαχθεί στην υποκατηγορία B4, τότε ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας εκδίδει εντός 5 ημερών από την εισήγηση της ΔΙΠΕΧΩ σχετική απόφαση την οποία διαβιβάζει στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο προκειμένου να ενημερωθούν οι πολίτες και να υποβάλλουν τυχόν ενστάσεις. Παράλληλα, η απόφαση διαβιβάζεται και στην αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας για να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία για έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας.
2. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 5 ημερών, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 15 ημερών.
5. Η απόφαση έγκρισης ή μη των περιβαλλοντικών όρων εκδίδεται από τον Νομάρχη εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

<b>Απαιτούμενος χρόνος αδειοδότησης πριν την εκτέλεση έργου 150-2.000 kWp 165-270 ημέρες (5,5-9 μήνες)</b>
--

### **Άδεια λειτουργίας**

Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά

τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το Κ.Α.Π.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

#### **6.4 Συστήματα >2.000 kWp**

Σε αυτά τα συστήματα απαιτούνται:

##### I. Πριν την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Παραγωγής
2. Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
3. Άδεια Εγκατάστασης

##### **II. Μετά την εγκατάσταση της μονάδας**

1. Άδεια Λειτουργίας

#### **Άδεια Παραγωγής**

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτείται σχετική άδεια (Ν. 3468/06). Η άδεια αυτή χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Μαζί με την αίτηση για άδεια παραγωγής, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει στη ΡΑΕ και αίτηση Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) για το έργο, συνοδευόμενη από σχετική Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ).

Η ΡΑΕ πριν διατυπώσει τη γνώμη της, διαβιβάζει την ΠΠΕ στην αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η αρχή αυτή γνωμοδοτεί επί της ΠΠΕ και διαβιβάζει τη γνωμοδότησή της στη ΡΑΕ εντός εξήντα (60) ημερών από τη συμπλήρωση του φακέλου της ΠΠΕ. Η ΡΑΕ, μετά την έκδοση της γνωμοδότησης, υποβάλλει τη γνώμη της στον Υπουργό Ανάπτυξης εντός τεσσάρων (4) μηνών από τη γνωστοποίηση, σε αυτήν, της δημοσίευσης της αίτησης, εφόσον ο φάκελος της

αίτησης είναι πλήρης ή από τη συμπλήρωση του φακέλου, όταν αυτή ολοκληρώνεται μετά τη γνωστοποίηση, σύμφωνα με την ίδια απόφαση. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, σε αυτόν, της γνώμης της ΡΑΕ.

### **Άδεια Εγκατάστασης**

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, απαιτείται σχετική άδεια (Ν. 3468/06). Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός, για όλα τα έργα που κατατάσσονται στη 2η υποκατηγορία της Α΄ Κατηγορίας και στην 3η ή 4η υποκατηγορία της Β΄ Κατηγορίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α΄), όπως ισχύει, και τις κανονιστικές πράξεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του. Η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, από τον ενδιαφερόμενο, της σχετικής αίτησης με τα δικαιολογητικά που καθορίζονται από την ισχύουσα νομοθεσία. Αν ο αρμόδιος Γενικός Γραμματέας Περιφέρειας δεν εκδώσει την άδεια εγκατάστασης εντός της προθεσμίας που ορίζεται στο προηγούμενο εδάφιο, για την έκδοση αυτής καθίσταται αρμόδιος ο Υπουργός Ανάπτυξης, προς τον οποίο ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει την αίτηση με το συνοδευτικό της φάκελο και την απόφαση ΕΠΟ ή επικυρωμένα αντίγραφα αυτών. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει την άδεια εγκατάστασης εντός τριάντα (30) ημερών από την παραλαβή των ανωτέρω εγγράφων.

### **Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)**

Η έγκριση αυτή έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ). Τα έργα αυτής της κατηγορίας υπάγονται στη λεγόμενη υποκατηγορία 2 της πρώτης κατηγορίας έργων (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 145799, ΦΕΚ 1002Β, 18-7-2005). Για τα έργα αυτά ισχύουν τα εξής (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 104247, ΦΕΚ 663Β, 26-5-2006 & εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006):

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση της ΠΠΕΑ έχει ως εξής:

1. Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη ΡΑΕ, η οποία τη διαβιβάζει στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος-Χωροταξίας (ΔΠΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας.
2. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΠΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΠΠΕΧΩ της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έχει ως εξής:

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στη ΔΠΠΕΧΩ.
2. Αν ο φάκελος (ο οποίος εν τω μεταξύ απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΠΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 40 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

<p><b>Απαιτούμενος χρόνος αδειοδότησης πριν την εκτέλεση έργου &gt;2.000 kWp 180-270 ημέρες (6-9 μήνες)</b></p>
---

**Άδεια λειτουργίας**



Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το Κ.Α.Π.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

## **Ενοτητα 5<sup>η</sup> « Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε εξοχική κατοικία στην περιοχή της Σαμοθράκης»**

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί μία νέα κατασκευή (new design) οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος στην περιοχή της Σαμοθράκης. Η παρούσα εγκατάσταση γίνεται στα πλαίσια κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών της εξοχικής κατοικίας. Για λόγους οικονομικούς (σχέδιο επένδυσης) αλλά και για λόγους αυτονομίας από το δίκτυο της ΔΕΗ, ο ιδιοκτήτης επιθυμεί την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Επομένως, με τη χρήση των εξαρτημάτων που συνθέτουν το φωτοβολταϊκό σύστημα και με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας (μεγέθη εισόδου) παρέχεται η ηλεκτρική ενέργεια (μέγεθος εξόδου) χωρίς να παράγεται κανένα απολύτως απόβλητο ή καυσαέριο από όλη την διαδικασία.

### **Απαιτήσεις σχεδιασμού**

Η μέγιστη ενεργειακή απόδοση της λειτουργίας του συνολικού συστήματος είναι περίπου 14%. Το κόστος αγοράς αναφέρεται στα εξαρτήματα που απαρτίζουν το συνολικό σύστημα και υπολογίζονται διεξοδικά παρακάτω ενώ το κόστος λειτουργίας αναφέρεται στα έξοδα συντήρησης, όπως είναι για παράδειγμα η αντικατάσταση συσσωρευτών μετά από κάποια χρόνια χρήσης. Από περιβαλλοντικής απόψεως η χρήση των φωτοβολταϊκών δεν ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με εκπομπές αλλά ούτε το έδαφος και το υδάτινο περιβάλλον με στερεά και υγρά απόβλητα αντίστοιχα,

δεδομένου ότι οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες ανακυκλώνονται και δεν απορρίπτονται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον.

## **Τεχνικές προδιαγραφές**

Στη παρούσα εργασία θα μελετηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για την κάλυψη αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια μιας εξοχικής κατοικίας στη Σαμοθράκη. Η οικία δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο. Οπότε για να είναι οικονομικότερη η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν θα εξεταστεί η περίπτωση κάλυψης οικιακής κουζίνας (ηλεκτρική) και θερμοσίφωνα που είναι θερμικές συσκευές μεγάλης ισχύος. Εναλλακτικά, μπορεί να τοποθετηθεί κουζίνα υγραερίου καθώς και τοποθέτηση ηλιακού συλλέκτη για παροχή ζεστού νερού.

Η μελέτη θα γίνει με την προϋπόθεση ότι την εξοχική κατοικία δεν θα παρέχεται για μόνιμη διαμονή, αλλά την περίοδο των καλοκαιρινών μηνών (από Μάη έως Σεπτέμβρη). Ο εξοπλισμός της οικίας είναι ο ακόλουθος:

- ❖ Εσωτερικός φωτισμός: 5 λαμπτήρες των 20W
- ❖ Εξωτερικός φωτισμός: 4 λαμπτήρες των 20W
- ❖ Τηλεόραση: 250W
- ❖ Ψυγείο: 250W

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πολυκρυσταλλικά) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα παρακάτω:

- Των 60 Watt, με διαστάσεις [751 x 652] [mm x mm]
- Των 110 Watt, με διαστάσεις [1425 x 652] [mm x mm]

## **Σχεδιομελέτη τελικής λύσης**

Διαστασιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος:

Για να είναι σωστά σχεδιασμένο ένα φ/β σύστημα θα πρέπει η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν όλες οι συσκευές του να είναι ίση ή μικρότερη από την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει το φ/β στην ίδια χρονική περίοδο. Για τον σωστό σχεδιασμό του συστήματος πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω μεγέθη για κάθε συσκευή :

- Το είδος της τάσης λειτουργίας της (συνεχής ή εναλλασσόμενη) και η συχνότητα για την κανονική λειτουργία της (για εναλλασσόμενη τάση).
- Η τιμή της κανονικής τάσης λειτουργίας της.
- Η ισχύς που καταναλώνει υπό την κανονική τάση λειτουργίας.

Για να υπολογισθεί η μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μια οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να ληφθεί υπόψη η ισχύς κάθε συσκευής και η ώρες λειτουργίας της κατά τη διάρκεια του μήνα. Η ενέργεια που καταναλώνει μια συσκευή (KWh) σε κάποια χρονική περίοδο είναι ίση με το γινόμενο της ισχύος της (KW) επί τις ώρες (h) λειτουργίας της την περίοδο αυτή. Για να επιλεγεί το κατάλληλο μέγεθος συστήματος ακολουθείται η εξής διαδικασία :

1. Η παραγόμενη ενέργεια ανά εγκατεστημένη επιφάνεια είναι :

$$\frac{E_P}{S} = \eta_P \bar{H}_T$$

όπου  $H_T$  η μέση μηνιαία ακτινοβολία στην επιφάνεια των φ/β.

2. Με δεδομένες τις απώλειες του φ/β πλαισίου  $\lambda_P$  η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι:

$$\frac{E_A}{S} = \frac{E_P}{S} (1 - \lambda_P)$$

Έτσι με δεδομένη την ενέργεια  $E_A$  που θέλουμε να καλύψουμε τις απώλειες  $\lambda_P$  του φ/β πλαισίου, την απόδοση του πλαισίου και την μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στα πλαίσια μπορεί να υπολογιστεί η ονομαστική ισχύς του συστήματος που απαιτείται.

## **Υπολογισμός συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης**

Υπολογίζεται η συνολική ενεργειακή κατανάλωση με βάση τη χρήση των οικιακών συσκευών. Έτσι λοιπόν γίνεται μία εκτίμηση της χρήσης της τηλεόρασης και του φωτισμού κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Για τη λειτουργία του ψυγείου θεωρείται πως καταναλώνεται συνέχεια το 30% της συνολικής του ισχύος. Στην πραγματικότητα η λειτουργία του δεν είναι συνεχόμενη, λόγω της ύπαρξης του θερμοστάτη που περιλαμβάνει και διακόπτει την ψύξη προσωρινά μέχρι η θερμοκρασία του εσωτερικού του να φτάσει μια ανώτερη τιμή (Πίνακας 5).

Από τον πίνακα κατανομής της ενέργειας προκύπτει και ο πίνακας κατανομής ισχύος που παρατίθεται στον Πίνακα 6.

**Πίνακας 5:** Αναλυτική ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας

Ωρα	Ψυγείο (Watt)	Τηλεόραση (Watt)	Φωτισμός (Watt)	Συνολική ισχύς (Watt)	Συνολική ενέργεια (Watt)
7:00	75	0	0	75	$L_{\text{ημέρας}} = 1150 \text{ Wh/ημέρα}$
8:00	75	0	0	75	
9:00	75	0	0	75	
10:00	75	0	0	75	
11:00	75	0	0	75	
12:00	75	0	0	75	
13:00	75	0	0	75	
14:00	75	0	0	75	
15:00	75	0	0	75	
16:00	75	0	0	75	
17:00	75	0	0	75	
18:00	75	250	0	325	
19:00	75	250	180	505	$L_{\text{νύχτας}} = 4310 \text{ Wh/ημέρα}$
20:00	75	250	180	505	
21:00	75	250	180	505	
22:00	75	250	180	505	
23:00	75	250	180	505	
00:00	75	250	180	505	
01:00	75	250	180	505	
02:00	75	0	80	155	
03:00	75	0	80	155	
04:00	75	0	80	155	
05:00	75	0	80	155	
06:00	75	0	80	155	
Σύνολο	1800	2000	1660	5460	

**Πίνακας 6:** Αναλυτική κατανομή της ισχύος κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας και υπολογισμός της μέγιστης δυνατής για το σύστημα

Ωρα	Ψυγείο (Watt)	Τηλεόραση (Watt)	Φωτισμός (Watt)	Φορτίο (Watt)
7:00	250	0	0	250
8:00	250	0	0	250
9:00	250	0	0	250
10:00	250	0	0	250
11:00	250	0	0	250
12:00	250	0	0	250
13:00	250	0	0	250
14:00	250	0	0	250
15:00	250	0	0	250
16:00	250	0	0	250
17:00	250	0	0	250
18:00	250	250	0	500
19:00	250	250	180	680
20:00	250	250	180	680
21:00	250	250	180	680
22:00	250	250	180	680
23:00	250	250	180	680
00:00	250	250	180	680
01:00	250	250	180	680
02:00	250	0	80	330
03:00	250	0	80	330
04:00	250	0	80	330
05:00	250	0	80	330
06:00	250	0	80	330
Μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδοθεί στο σύστημα				<b>680</b>

## Υπολογισμός βέλτιστης γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Από βάσεις δεδομένων που περιέχουν την ολική ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες κλίσεις και σε διάφορες πόλεις της Ελλάδος στη διάρκεια του χρόνου επιλέγονται οι δύο πιο κοντινές πόλεις για την εξεταζόμενη περιοχή. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας επιλέγεται η Κομοτηνή και η Λήμνος. Αυτό γίνεται διότι δεν υπάρχουν δεδομένα για την περιοχή της Σαμοθράκης. Οπότε για τους πιο κρίσιμους μήνες διαμονής στην οικία, δηλαδή για τον Μάιο και τον Σεπτέμβριο, τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 7):

**Πίνακας 5:** Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στη Σαμοθράκη και εκλογή γωνίας κλίσης

	Μονάδες	0°		30°		40°		60°	
		Μάιος	Σεπτέμβριος	Μάιος	Σεπτέμβριος	Μάιος	Σεπτέμβριος	Μάιος	Σεπτέμβριος
Κομοτηνή	kWh/m <sup>2</sup> , μήνα	165	130	158	150	145	149	125	140
Λήμνος	kWh/m <sup>2</sup> , μήνα	184	142	176	164	160	162	137	151
<b>Σαμοθράκη</b>	kWh/m <sup>2</sup> , μήνα	174,5	136	167	157	152,5	155,5	131	145,5
<b>Σαμοθράκη</b>	kWh/m <sup>2</sup> , μέρα	5,83	4,53	<b>5,57</b>	<b>5,06</b>	4,92	5,18	4,35	4,85

Οπότε από τον παραπάνω πίνακα επιλέγεται η κλίση των 30 μοιρών. Αυτό γίνεται γιατί απαιτείται αυτοδυναμία 0 μέρες, δηλαδή η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες τη μια μέρα να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της οικίας μόνο εκείνη τη μέρα και όχι τις επόμενες. Έτσι επιλέγεται η καλύτερη λύση από τους μη ευνοϊκούς μήνες που είναι ο Μάιος και τον Σεπτέμβριο. Η βέλτιστη είναι η τιμή 5,18 kWh/m<sup>2</sup>, μέρα για κλίση 40°. Αλλά σε αυτήν την περίπτωση στον μήνα Μάιο παρατηρείται ότι

η ηλιακή ακτινοβολία σε αυτήν την κλίση είναι μικρότερη και ίση με 4,92 kWh/m<sup>2</sup>, μέρα. Γι' αυτό επιλέγεται η αμέσως επόμενη βέλτιστη λύση που είναι αυτή των 30°.

## Επιλογή των επιμέρους εξαρτημάτων που συνθέτουν το εξεταζόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα

❖ Επιλογή inverter:

$$P_{inverter} = 10 \cdot P_{mot} = 10 \cdot 250 = 2500Watt$$

❖ Επιλογή συσσωρευτή (μπαταρίας):

Το φορτίο της μπαταρίας υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{battery} = \frac{L_v + (L_{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha\varsigma} + L_{\nu\acute{o}\chi\tau\alpha\varsigma}) \cdot N}{\eta_{battery}} = \frac{4310 + (1150 + 4310)0}{0,8} = 5071Watt \cdot hours$$

όπου  $\eta_{battery}$  ... βαθμός απόδοσης της μπαταρίας

και N ... ημέρες αυτοδυναμίας

Η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$A_{\Phi B} = \frac{\left( \frac{L_{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha\varsigma}}{\eta_{battery}} + L_{battery} \right)}{H_t \cdot \eta_{ολικ\acute{o}}} = \frac{\left( \frac{1150}{0,85} + 5071 \right)}{5,06 \cdot 0,1} = 12,68m^2$$

όπου  $H_t$  ... η ηλιακή ακτινοβολία που υπολογίστηκε παραπάνω

και  $\eta_{ολικ\acute{o}}$  ... βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών

Η ονομαστική ισχύς των μπαταριών υπολογίζεται από την σχέση:



$$L_{\text{ονομαστική}} = \frac{L_{\text{battery}}}{DOD} = \frac{5071}{0,8} = 6338 \text{ Watt} \cdot \text{hours}$$

όπου  $DOD$  ... το βάθος εκφόρτισης

Επομένως η χωρητικότητα της μπαταρίας:

$$C_N = \frac{L_{\text{ονομαστική}}}{V} = \frac{6338}{24} = 264 \text{ Ah}$$

όπου  $V$  ... η τάση που είναι 24 Volt

Άρα επιλέγεται από την αγορά ο συσσωρευτής των 600 Ah (C~10h), [2V/300Ah] με αριθμό στοιχείων:

$$\frac{V_{\text{συστήματος}}}{V_{\text{battery}}} = \frac{24 \text{ Volt}}{2 \frac{\text{Volt}}{\text{στοιχείο}}} = 12 \text{ στοιχεία}$$

## Επιλογή τύπου φωτοβολταϊκού κυκλώματος και προσδιορισμός κόστους επένδυσης

**Πίνακας 8:** Επιλογή τύπου φωτοβολταϊκών πλαισίων

Module	mm	mm	m <sup>2</sup>	Τεμάχια		Κόστος	
				Απαιτούμενο	Επιλεγόμενο	(€/τεμάχιο)	(€)
60 Watt	751	652	0,49	$\frac{12,68}{0,49} = 25,9$	26	320	8.320
110 Watt	1425	652	0,929	$\frac{12,68}{0,929} = 13,65$	14	625	8.760

Άρα το συνολικό κόστος επένδυσης της εξοχικής κατοικίας που βρίσκεται στη Σαμοθράκη είναι:

**Πίνακας :** Συνολικό κόστος επένδυσης

Inverter (2.5 kWatt)	1.350 €
Ρυθμιστές (24 Volt/ 40 Ah)	220 €
Συσσωρευτές (2 Volt / 600 Ah)	1.080 €
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	8.320 €
Διάφορα υλικά (καλώδια, ασφάλειες, αλεξικέραυνο)	1.646 € (περίπου το 15% του συνολικού κόστους)
Μελέτη / εγκατάσταση	2.600 €
<b>Σύνολο</b>	<b>15.216 €</b>

**ΕΝΟΤΗΤΑ 6<sup>η</sup> Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οικόπεδο στην περιοχή της Σαμοθράκης****8.1 Κριτήρια επιλογής ισχύος**

Ο σχεδιασμός ενός P/V πάρκου όπως και κάθε σχεδιασμός τεχνικού έργου προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Μέγεθος αφετηρία για τη σχεδίαση ενός P/V πάρκου αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται κατά περίπτωση από τα παρακάτω κριτήρια (Εικόνα 5):

**α)** Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Στην περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη, εμπίπτουν κυρίως οι αυτοπαραγωγοί, με απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα P/V.

**β)** Κριτήρια με βάση την διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς της εγκατάστασης είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει αν “καλύψουμε” πλήρως με συλλέκτες την διαθέσιμη επιφάνεια (εννοείται ότι συνυπολογίζονται οι ζώνες σκίασης και επισκεψιμότητας τους, όταν πρόκειται για έδαφος). Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα με συσσωρευτές ή χωρίς, με απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο.

**γ)** Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που απορρέει από συγκεκριμένες απαιτήσεις

κατανάλωσης (αυτόνομα συστήματα μη διασυνδεδεμένα, είτε αυτοπαραγωγοί όπως στο πρώτο κριτήριο). Το μειονέκτημα του αυτόνομου συστήματος είναι ότι δεν αξιοποιεί την ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα που δεν ισχύει με το απευθείας διασυνδεδεμένο σύστημα.



Εικόνα 5: Κριτήρια επιλογής ισχύος

## 8.2 Ανάλυση κριτηρίων

❖ Όσον αφορά στο πρώτο κριτήριο, εφόσον η διαθέσιμη έκταση δεν μας περιορίζει, η επιλογή του μεγέθους της ισχύος είναι καθαρά θέμα μεγέθους επένδυσης – απόσβεσης και έτσι αποτελεί αντικείμενο ουσιαστικά οικονομοτεχνικής μελέτης. Κατά προσέγγιση, εάν  $Q$  το ποσό της επένδυσης και  $q$  το κόστος ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, τότε η ισχύς του πάρκου ( $P$ ) θα είναι:  $P = Q / q$  (kW)

Έτσι, από την τιμή πώλησης ( $\alpha$ ) της kWh και από το χρόνο ( $t$ ) σε ώρες της μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας στη διάρκεια του έτους, υπολογίζεται καταρχάς το ετήσιο ενεργειακό πλεόνασμα ( $E$ ):  $E = P \times t$  (kWh)

και στη συνέχεια το ετήσιο οικονομικό όφελος:  $S = E \times \alpha$

Τα παραπάνω αποτελούν μόνο ενδεικτικές προσεγγίσεις ενώ η ακριβής εκτίμηση της απόσβεσης απαιτεί τη χρήση των κατάλληλων μοντέλων. Σ' αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η πολιτική των επιδοτήσεων είναι η πλέον καθοριστική για τις επιλογές του επενδυτή – παραγωγού όσο καλές προθέσεις και αν τρέφει για το περιβάλλον. Στην ουσία το μέγεθος της επιδότησης ή η τιμή πώλησης της kWh ή και

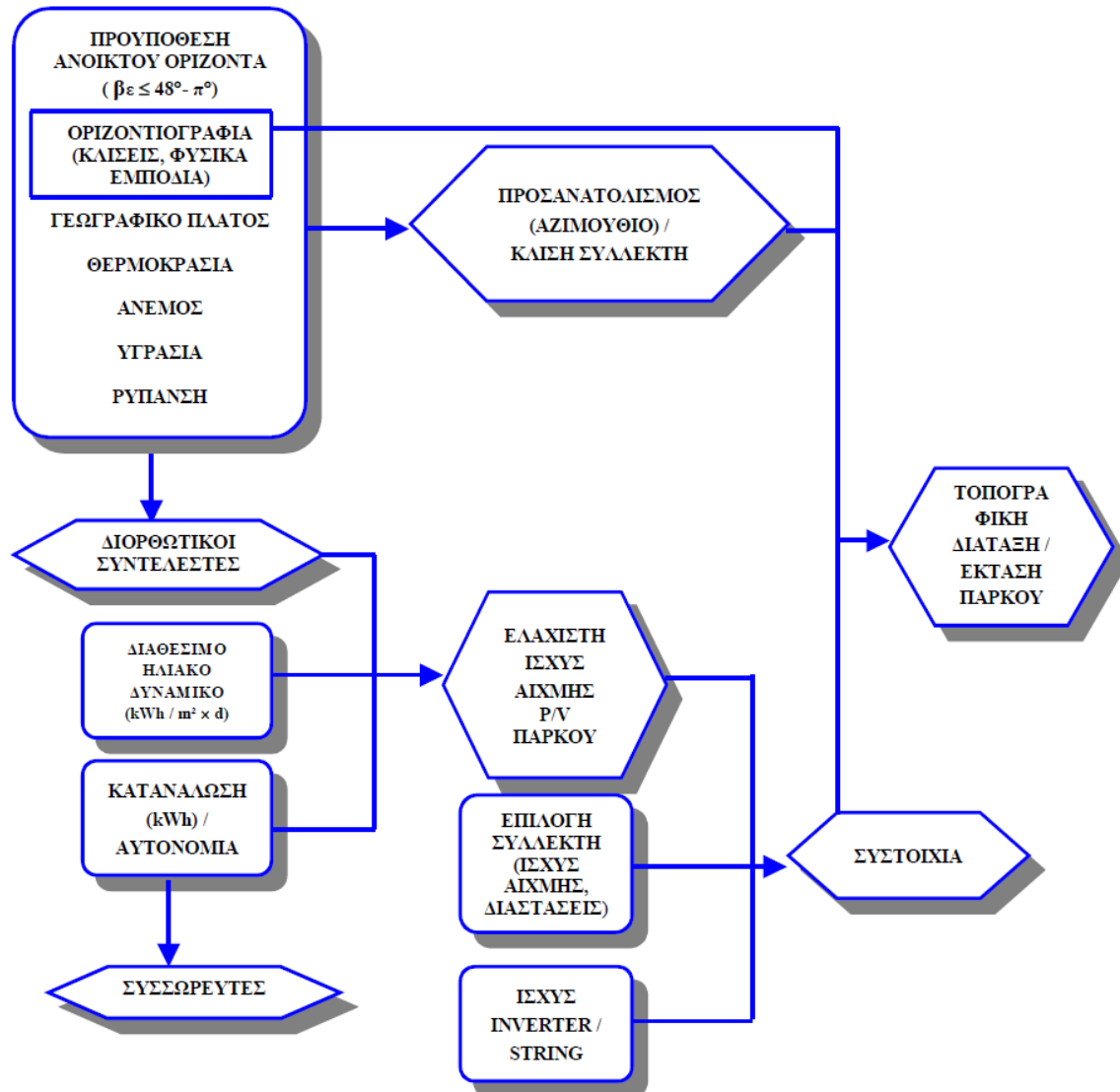
τα δύο, είναι αυτά που θα διαμορφώσουν μία ελκυστική ή απαγορευτική - ασύμφορη σε βάθος χρόνου απόσβεση.

❖ Το δεύτερο κριτήριο αφορά περιπτώσεις όπου έχουμε συνήθως να καλύψουμε συγκεκριμένες επιφάνειες όπως στέγες, όψεις ή να χρησιμοποιήσουμε P/V πάνελ ως υλικό πλήρωσης επιφανειών που εξυπηρετούν αισθητικές, λειτουργικές και σύγχρονες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις. Πρόκειται για αυτό που ονομάζουμε ενεργειακή λειτουργία ή ενεργειακή ταυτότητα μιας κατασκευής. Μια τέτοια κατασκευή πέραν των αναγκών που εκπληρώνει, μπορεί ταυτόχρονα να είναι αυτόνομη ενεργειακά ή ακόμη και αν δεν χρειάζεται ενέργεια για την αποστολή της να την παράγει σε συνεισφορά σε συνολικότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα παραπάνω γίνονται αντιληπτά από εφαρμογές που ήδη υφίστανται όπως στέγαστρα, όψεις κτιρίων ή και ηχοπετάσματα σε αυτοκινητόδρομους, οι οποίες εκπληρώνοντας το σκοπό τους, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με απόλυτο σεβασμό στο περιβάλλον. Ο σύγχρονος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός εκτός της προωθημένης αισθητικής έχει να επιδείξει ευφυείς λύσεις για την εξοικονόμηση της ενέργειας, όπως η πλήρωση επιφανειών με P/V panels, στοχεύοντας έτσι στην ενσωμάτωση της παραγωγής ενέργειας με “έξυπνες κατασκευές”, οι οποίες συγχωνεύουν πολλές αποστολές – λειτουργίες. Οι παραπάνω τρόποι (πρώτο και δεύτερο κριτήριο) εκτιμούν με ακρίβεια την ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης όσον αφορά στο πρώτο κριτήριο και του φωτοβολταϊκού συστήματος όσον αφορά στο δεύτερο κριτήριο.

❖ Το τρίτο κριτήριο αφορά περιπτώσεις στις οποίες κυρίως το δίκτυο της Δ.Ε.Η. είναι απομακρυσμένο. Η σύγκριση του κόστους μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με το κόστος της επένδυσης των φωτοβολταϊκών αναδεικνύει τη χρήση των φωτοβολταϊκών ως την πλέον κατάλληλη και με οικολογικό χαρακτήρα λύση. Σε αυτό το κριτήριο γίνεται χρήση αλγόριθμου, με μια πορεία υπολογισμών που επηρεάζονται από τη θέση (γεωγραφικό πλάτος), το κλίμα (ηλιοφάνεια, υγρασία, θερμοκρασίες, άνεμοι), τη μορφολογία εδάφους και τη ρύπανση.

Όλες οι προηγούμενες φυσικές παράμετροι θα καθορίσουν κατ’ αρχήν και με ένα συντελεστή απωλειών κατά περίπτωση, την “ελάχιστη ισχύ αιχμής” της P/V γεννήτριας, που φυσικά θα είναι μεγαλύτερη από αυτή της κατανάλωσης. Θεωρώντας

ότι έχουμε επαρκείς πίνακες με αξιόπιστες μετρήσεις ηλιοφάνειας και θερμοκρασιών του πρόσφατου παρελθόντος γίνεται εφικτός και ακριβείς ο υπολογισμός του P/V πάρκου (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 6).



**Εικόνα 6:** Κριτήρια ορθής ανάλυσης της εγκατάστασης

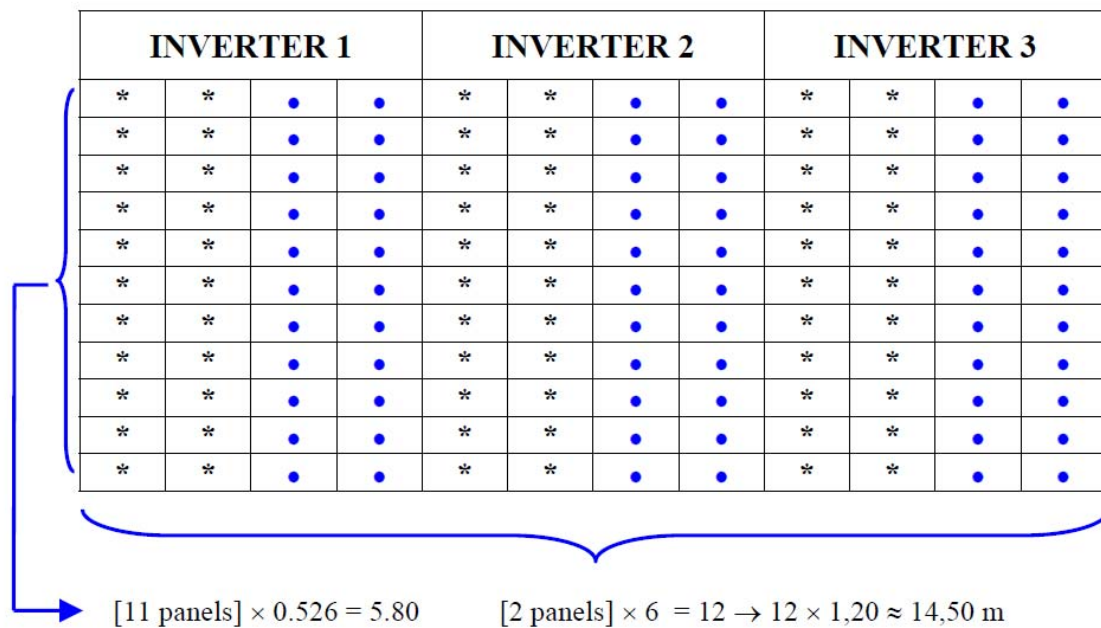
Εξειδικεύοντας θα αναφερθούμε στο P/V σύστημα που υλοποιήθηκε σε οικόπεδο στην περιοχή της Σαμοθράκης και είχε ονομαστική ισχύ αιχμής  $60 \text{ kW}_p$ , (υπολογισμός ισχύος βάση του πρώτου κριτηρίου). Η επιλογή inverter μπορεί να γίνει με κριτήριο το χαμηλό κόστος οπότε οδηγούμαστε σε μεγάλη ισχύ και συνεπώς μέγεθος. Αυτό όμως σημαίνει πιο δύσκολο έλεγχο και εποπτεία του όλου συστήματος. Για παράδειγμα το συγκεκριμένο έργο στη Σαμοθράκη θα μπορούσε να

καλυφθεί με ένα inverter των 60 kW με κίνδυνο την αποκοπή όλου του συστήματος σε τυχόν βλάβη του. Επισημαίνεται ότι ο τύπος των inverter για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους (range) λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

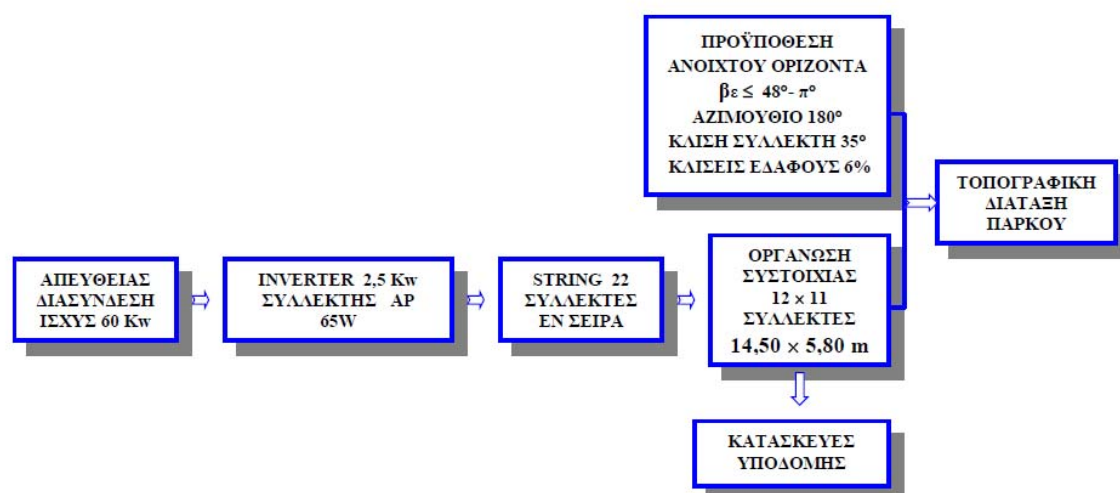
Στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιήθηκε ο ευρέως προτεινόμενος και δοκιμασμένος στο εξωτερικό inverter Sunny Boy με ισχύ 2,5 kW. Οι συλλέκτες τύπου ASTROPOWER με ισχύ 65 w και διαστάσεις (1,20 × 0,52 ) ομαδοποιούνται έτσι ώστε σε κάθε inverter να καταλήγουν παραλληλισμένα 2 string με 22 panels εν σειρά το καθένα, δηλ. συνολικά 44 panels /inv. Το μέγεθος του string (δηλ. τα 22 panel) είναι το κρίσιμο για τη βέλτιστη απόδοση της ισχύος του inverter. Με βάση τις διαστάσεις των panels, το επιθυμητό πρακτικό μέγεθος της συστοιχίας και τον αριθμό “κλειδί” των 22 panel που προαναφέρθηκε, ορίζεται ως ύψος της συστοιχίας αυτό των 11 panel (22/2 =11). Με δεδομένο επίσης ότι το μήκος των μεταλλικών profile I.P.E στο εμπόριο είναι τυποποιημένο στα 12m, εύκολα μπορεί να οριστεί το **μήκος** της συστοιχίας ως άρτιο πολλαπλάσιο του **2 (string = 2στήλες x 11panels)** που ταυτόχρονα δεν θα είναι μικρότερο των 12m (Σχήμα 1). Αυτό γίνεται, ώστε αφενός στη συστοιχία να υπάρχει ακέραιος αριθμός inverter και αφετέρου να έχουμε άριστη εποπτεία, απόλυτη γεωμετρική και ηλεκτρική συμμετρία των κυκλωμάτων (strings), ευκολία διασύνδεσης και αποφυγή λαθών. Τα παραπάνω αφορούν τόσο το στάδιο της κατασκευής όσο και το στάδιο λειτουργίας του πάρκου. Όμοια λογική ακολουθείται και στην περίπτωση που παρεμβάλλεται συστοιχία συσσωρευτών.

Η P/V εγκατάσταση αποτελείται από 7 συστοιχίες των 132 panels η καθεμιά, συνολικά  $7 \times 132 = 924$  panels και 3 inverters ανά συστοιχία, συνολικά  $3 \times 7 = 21$  inverters που με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε 7 inverters ανά φάση (21 inverters/3 φάσεις = 7 inverters/φάση). Αφού ορίστηκε η συστοιχία, το module του P/V συστήματος, είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε την τοπογραφική διάταξη τους μέσα στο πάρκο και ταυτόχρονα να εκπονήσουμε μελέτη εφαρμογής για τις κατασκευές υποδομής και ανάρτησης των συλλεκτών (Εικόνα 7). Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικοί άξονες υπολογισμού κατά πρώτον για τα έργα υποδομής και κατά δεύτερον για την τοπογραφική διάταξη του συστήματος. Τα έργα υποδομής

περιλαμβάνουν εκσκαφές, εργασίες θεμελίωσης σκυροδέτησης και κατασκευή-τοποθέτηση μεταλλικών ζευκτών για την ανάρτηση των 924 panels. Όλες οι παραπάνω κατασκευές υποστηρίζονται από μελέτη εφαρμογής παίρνοντας υπόψη τους δυσμενέστερους συνδυασμούς δράσεων όπως μόνιμα φορτία, άνεμος με  $150 \text{ kg/m}^2$  και χιόνι.



**Εικόνα 7:** Κυκλωματική διάταξη συστοιχίας



**Εικόνα 8:** Πορεία υπολογισμού της εγκατάστασης

Την κάθε συστοιχία με τα 132 panels υλοποιούν τρία χυτά βάθρα αποτελούμενα το καθένα από μια πεδιλοδοκό κουτί:  $400 \times 90 \times 45\text{cm}$  και δύο στύλους  $40 \times 40\text{cm}$  από εμφανές μπετόν. Το κάθε ένα από τα τρία βάθρα των συστοιχιών θεμελιώνεται σε βάθος 1m περίπου, ενώ οι κεφαλές των 6 συνολικά στύλων (2 στύλοι  $\times$  3 βάθρα) της κάθε συστοιχίας ορίζουν μια κοινή οριζόντια στάθμη όπου τελικά εδράζονται με εκτωνούμενα αγγύρια M16-8,8 οι δύο αμφιπροέχουσες δοκοί δύο ανοιγμάτων διατομής I.P.E. 180 και συνολικού μήκους 14 m η καθεμιά (  $4,65\text{m} \times 2$  ανοίγματα  $\times$   $2,35 \text{ m} \times 2$  πρόβολοι ). Στο παραπάνω γεωμετρικό σύστημα, γνωρίζοντας το συνολικό μήκος της δοκού (14m), το οποίο καθορίστηκε εύκολα μετά από τον υπολογισμό του πλήθους των panels κατά την οριζόντια – διαμήκη έννοια της συστοιχίας και εξισώνοντας τη ροπή του ανοίγματος με τη ροπή της στήριξης στον πρόβολο, προκύπτει το μήκος ανοίγματος και προβόλου. Με αυτό τον τρόπο έγινε η βέλτιστη επιλογή profile από τη σειρά I.P.E 180 και πάντα προς την πλευρά της ασφάλειας, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιήθηκε κατά το δυνατό το βάρος της μεταλλικής κατασκευής.

Τέλος, 24 αρθρωτοί φορείς αποτελούμενοι ο καθένας από μία γαλβανισμένη μηκίδα διατομής U  $100 \times 60 \times 2,0\text{mm}$  και έναν ορθοστάτη γωνιακής διατομής L  $60 \times 6 \text{ mm}$ , αρθρώνονται με τη σειρά τους πάνω στις δοκούς. Την οριζόντια σταθεροποίηση της κατασκευής αναλαμβάνουν δύο χιαστί σύνδεσμοι γωνιακής διατομής L  $50 \times 5 \text{ mm}$ , καθώς και τα ίδια τα panels υλοποιώντας στην ουσία έναν άκαμπτο δίσκο. Η μηκίδα λειτουργεί σαν αμφιπροέχουσα δοκός ενός ανοίγματος συνολικού μήκους  $11 \text{ panel} \times 0,526 \approx 5,80\text{m}$ , παραλαμβάνοντας άμεσα τα φορτία καθώς σε αυτήν αναρτώνται με τη βοήθεια οπών στήριξης τα panels, ενώ ο ορθοστάτης λειτουργεί σαν θλιβόμενη ράβδος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 9.





**Εικόνα 9:** Δομή στήριξης φωτοβολταϊκών κυψελών

Σχετικά με την τοπογραφική διάταξη του συστήματος, ο προσανατολισμός όλων των συστοιχιών είναι απόλυτα νότιος (αζιμούθιο  $180^\circ$ ). Η κλίση της μηκίδας ως προς τον ορίζοντα υλοποιεί την κλίση της συστοιχίας και τελικά αυτή των συλλεκτών. Η τελευταία ορίστηκε στις  $35^\circ$  που ταυτίζεται σχεδόν με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Σε πιο οριζόντιες κλίσεις θα είχαμε αυξημένη σκόνη αν και η τοπική ρύπανση στη συγκεκριμένη τοποθεσία είναι ασήμαντη. Αν και η ένταση των ανέμων που πνέουν στην περιοχή είναι σχετικά χαμηλή, ο δροσισμός των panels είναι ικανοποιητικός πράγμα που εξασφαλίζει χαμηλή ειδική αντίσταση στο σύστημα και συνεπώς χαμηλές απώλειες. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ξηρό κλίμα σε συνδυασμό με το πετρώδες έδαφος, τους γειτονικούς ορεινούς όγκους και την κλίση των  $35^\circ$  ευνοούν την αξιοποίηση ποσοστού της ανανακλώμενης ακτινοβολίας. Το εύρος των ουδέτερων ζωνών, (ελεύθερη απόσταση μεταξύ συστοιχιών), υπολογίζεται με βάση το εμπειρικό μοντέλο της εταιρείας Monogon, τις γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των φυσικών διαστάσεων της συστοιχίας και των κλίσεων του εδάφους απαρτίζοντας το παρακάτω σύστημα. Οι συμβολισμοί αναλύονται στο σχήμα 2.

$$v = \gamma \mu \beta \sigma \pm \delta$$

[το πρόσημο γίνεται (-) όταν η κλίση του εδάφους είναι ευμενής δηλ. υπερύψωση της βορινής πλευράς και (+) όταν είναι δυσμενής δηλ. υπερύψωση της νότιας πλευράς]

$$a / v = [\text{σταθερά διαγράμματος Monegon}]$$

$$\varepsilon = a + \gamma \sigma \nu \beta \sigma$$

$$\delta = \varepsilon \times \kappa \varepsilon$$

Στην περίπτωση μας:

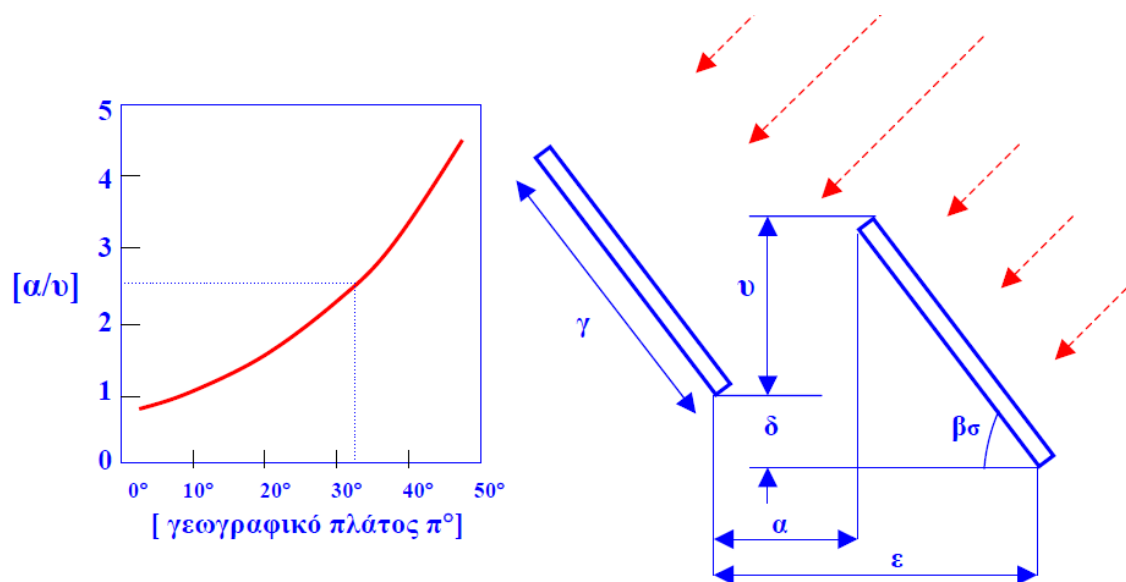
$$\gamma = 11 \times 0.526 \approx 5.80 \text{m} \text{ [ύψος συστοιχίας]}$$

$$\beta \sigma = 35^\circ \text{ [κλίση συστοιχίας ως προς τον οριζοντα]}$$

$$a/v = 2.3 \text{ [τιμή από το διάγραμμα Monegon]}$$

$$\kappa \varepsilon = 6\% \text{ [κλίση εδάφους]}$$

Η επιφάνεια που καλύφθηκε, ανήλθε στα 1.700 m<sup>2</sup> και η τιμή της ελεύθερης απόστασης (α) που προκύπτει από τη λύση του συστήματος είναι α≈9,6m, ενώ το έργο υλοποιήθηκε με α=11m. Αξιοποιώντας όλο το μήκος της έκτασης και στη διεύθυνση του άξονα B-N, αυξήθηκε ο χρόνος της ηλιακής πρόσπτωσης κατά την διάρκεια της ανατολής(πρωινές ώρες) και κατά την διάρκεια της δύσης (απογευματινές ώρες). Όσον αφορά στους υπολογισμούς, πρέπει να σημειωθεί ότι οι κλίσεις του εδάφους ήταν αρκετά μεγάλες (περίπου 6%) και δυσμενείς για τον άξονα B-N. Επίσης οι κλίσεις του εδάφους ήταν περίπου 10% στον άξονα A-Δ με την υπερύψωση στην πλευρά της δύσης.



**Εικόνα 10:** Διάγραμμα Monegon [Πηγή: Καγκαράκης Κ., “Φωτοβολταϊκή τεχνολογία”]

Ο υπολογισμός των ουδέτερων ζωνών έλαβε υπόψη την δυσμενή επιρροή των κλίσεων και στους δύο άξονες, αφού η διάταξη των συστοιχιών ακολουθεί κλιμακωτά τις φυσικές κλίσεις του εδάφους (ουσιαστικά στον άξονα Δ-A), επιτυγχάνοντας έτσι

την φυσική αλλά και αισθητική εναρμόνιση του έργου στο περιβάλλοντα χώρο. Η οριζοντίωση του πάρκου κατά την έννοια του άξονα Δ-Α κρίθηκε ασύμφορη σε σχέση με το ενεργειακό όφελος από πλευράς παράτασης της ηλιοφάνειας που θα ήταν της τάξης των 20 λεπτών ημερησίως στην καλύτερη περίπτωση (θερινό ηλιοστάσιο). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι 21 inverters αναρτήθηκαν ένας σε κάθε νότιο στύλο της συστοιχίας, που είναι και συμμετρικά τοποθετημένος στο νοητό μέσον των δύο string, τα οποία καταλήγουν παραλληλισμένα στην είσοδο DC του inverter. Με αυτό τον τρόπο ομοιομορφοποιείται η ροή των φορτίων DC αφενός και αφετέρου μειώνεται δραστικά το μήκος των αγωγών (διατομής 1×2,5 ΝΕΟΠΡΕΝΙΟΥ) που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα, τάσεως 16V και έντασης 4A, περίπου, από τα panels στο inverter. Κατά συνέπεια ελαχιστοποιούνται οι απώλειες. Επίσης η είσοδος DC του κάθε inverter προστατεύεται με διάταξη αυτόματης ασφάλειας και φυσιγγίου βραδείας τήξης των 6A και τα δύο. Η διάταξη με τη σειρά της προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο στον αντίστοιχο στύλο.

Η είσοδος του inverter δέχεται περίπου  $22\text{panels} \times 16\text{V} \approx 350\text{V DC}$  από ένα string, (επί συνόλου δύο string ανά inverter), που είναι η απαραίτητη τάση εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου. Η τελευταία, με εναλλασσόμενη τάση 230 V, (μονοφασική η έξοδος του inverter) και αγωγούς διατομής 3×4 ΝΕΟΠΡΕΝΙΟΥ, οδηγείται με ασήμαντες απώλειες στον πίνακα (PILAR). Σ' αυτόν ασφαλιζονται και ομαδοποιούνται στις τρεις φάσεις οι έξοδοι A.C. των inverters, ενώ αναχωρεί ο κεντρικός αγωγός διασύνδεσης με το δίκτυο αφού πρώτα ασφαρίζεται με ρελέ και διακόπτη. Το P/V πάρκο υποστηρίζεται από διαγνωστικά και καταγραφικά ελέγχου κάθε inverter και άρα κάθε κυκλώματος. Το διαγνωστικό αυτό σύστημα, δέχεται σήμα μέσω τηλεφωνικού καλωδίου που συνδέει σε σειρά όλα τα inverters μέσω ειδικής θύρας του τελευταίου. Επίσης, αντίστοιχοι αισθητήρες θα παρέχουν πληροφορίες στο διαγνωστικό σύστημα, για την ηλιοφάνεια και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο συλλέκτη. Οι μετρήσεις αυτές σε συνδυασμό με εκείνες των inverter για το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος, θα αποτελέσουν το πιο έγκυρο και τεκμηριωμένο υλικό για την βελτίωση και εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και του τρόπου υπολογισμού τους. Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζεται η γενική διάταξη του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς και η διάταξη των κυκλωμάτων.



**Εικόνες 11:** Γενική διάταξη Φ/Β εγκατάστασης και κυκλωμάτων

### 8.3 Συμπεράσματα

Ο σχεδιασμός ενός τεχνικού έργου από καταβολής κόσμου ήταν ένα σύνθετο, πολυπαραμετρικό πρόβλημα, με τη διαφορά ότι έγινε κοινή συνείδηση τις τελευταίες δεκαετίες του αιώνα που πέρασε. Η λύση πολλών προβλημάτων χωρίς να προΐδεάζει η μορφή τους, προκύπτει από εξισώσεις που χρησιμοποιούν ενεργειακά μεγέθη. Βασική παράμετρος για όλα τα τεχνικά έργα υποδομής, είναι ο υπολογισμός τους σε βάθος χρόνου, για όποιο χαρακτήρα και αν έχει αυτό. Ειδικότερα για ένα έργο παραγωγής ενέργειας, οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να αξιολογούνται σε βάθος χρόνου και όχι στιγμιαία, γεγονός που μπορεί να παραπλανήσει την τελική επιλογή υλικών και μεγεθών. Τέτοιας αξιολόγησης σχετικά με το αντικείμενο μας χρΐζουν π.χ. σε μια επένδυση Α.Π.Ε., η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία – ενέργεια ανά  $m^2$  επιφάνειας, η παραγωγή ενέργειας. Ειδικά στα P/V συστήματα, η χρονική διάρκεια ενός έτους είναι μέγεθος αναφοράς, γιατί αποτελεί την περίοδο (T) της σχετικής κίνησης ηλίου-γης. Πιο αναλυτικά, ένας συλλέκτης τοποθετημένος με απόλυτα νότιο προσανατολισμό και κλίση  $50^\circ$ , είναι κατά πολύ πιο αποδοτικός από έναν δεύτερο με όμοια τοπολογία και κλίση  $35^\circ$  στην περίοδο του χειμερινού ηλιοστασίου και από τον Σεπτέμβριο έως τον Μάρτιο. Εάν ολοκληρώσουμε όμως τις καμπύλες χρόνου-ενέργειας των δύο περιπτώσεων και για το διάστημα ενός έτους, η προηγούμενη εικόνα ανατρέπεται, καταδεικνύοντας σαν πραγματικά αποδοτικότερη την κλίση των  $35^\circ$ .

**Πίνακας 10:** Συγκεντρωτικά τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης

<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	<b>ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ</b>
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ (kW)	60
ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΤΕΜ) (AP75W, AP 65W)	924
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ INVERTER (kW)	52,5
ΕΚΤΑΣΗ ΠΑΡΚΟΥ (m <sup>2</sup> )	1.700
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ( MWh)	110
ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΕΙΣ (m <sup>3</sup> )	44
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (tn)	10
<b>ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ</b>	<b>345.000 €</b>

## 10. Βιβλιογραφία

1. ΕΛΟΤ HD384 Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις
2. ΕΛΟΤ EN 50160: 1995 Χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται από τα δημόσια δίκτυα διανομής.
3. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), <http://www.cres.gr>
4. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) – <http://www.helapco.gr>
5. A. Sayigh, Solar energy engineering, Academic Press, 1977
6. Antonio Luque, Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley 2002
7. IEC 60364-7-712: Electrical installations of buildings, Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems (IEC 60364-7-712:2002).
8. The future for renewable energy, Prospects and directions, EUREC Agency, 1996