



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**  
**ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ**  
**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Φίλιππος Ρήγας

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2016





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**  
**ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ**  
**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Φίλιππος Ρήγας

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

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

.....  
Μαρία Ιωαννίδου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....  
Νικόλαος Θεοδώρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2016

.....

Φίλιππος Ρήγας

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

Copyright © Φίλιππος Ρήγας, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την καθηγήτρια Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου τη παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και για την στήριξή και τη σημαντική συμβολή της καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για τη στήριξη τους καθ'όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου όλο αυτόν τον καιρό, με τους οποίους είχα μια άριστη συνεργασία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ποιότητα στα συστήματα εναλλακτικών μορφών ενέργειας με έμφαση στα φωτοβολταϊκά πάρκα. Αρχικά, γίνεται αναφορά στα είδη των εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπου δίνεται έμφαση στην ηλιακή ενέργεια, αναλύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και παρουσιάζονται τα μέρη από τα οποία αποτελούνται. Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποιοι κρίσιμοι παράγοντες που έχουν να κάνουν με το σχεδιασμό και την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων, όπου παρατίθεται και μια μελέτη περίπτωσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου στην Αθήνα και αποτιμώνται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του, που κρίνουν την απόδοση και την ποιότητά του. Η διπλωματική, συνεχίζει παρουσιάζοντας κάποιους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάρκων και συστημάτων. Εκεί, αναφέρονται, το διάγραμμα ροής ενέργειας φ/β πάρκου, κάποιοι δείκτες αξιολόγησης του φ/β συστήματος και παρατίθεται μια μελέτη περίπτωσης όπου αναλύεται η απόδοση ενός φ/β πάρκου. Επίσης, αναφέρονται συστήματα ποιότητας, όπως το ISO 9001 : 2008, ISO 14001 : 2004 κ.ά. Τέλος παρουσιάζεται η ποιότητα και τα συστήματα που την πιστοποιούν σε άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, πέραν της ηλιακής.

**Λέξεις κλειδιά :** Ποιότητα, Φωτοβολταϊκά Πάρκα, Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας, Πιστοποίηση, Απόδοση



# Κατάλογος περιεχομένων

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</u> .....	13
<u>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ &amp; ΕΝΕΡΓΕΙΑ</u> .....	13
<u>1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ</u> .....	13
<u>1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</u> .....	15
<u>1.2.1 Γεωθερμική ενέργεια</u> .....	15
<u>1.2.2 Αιολική ενέργεια</u> .....	16
<u>1.2.3 Βιομάζα</u> .....	17
<u>1.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια</u> .....	18
<u>1.2.5 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα</u> .....	19
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</u> .....	23
<u>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ</u> .....	23
<u>2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ</u> .....	23
<u>2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</u> .....	25
<u>2.2.1 Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (Single Crystalline silicon, sc-Si)</u> .....	26
<u>2.2.2 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (Multi Crystalline silicon, mc-Si)</u> .....	27
<u>2.2.3 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS)</u> .....	28
<u>2.2.4 Στοιχεία άμορφου πυριτίου (Thin film silicon – a-Si)</u> .....	28
<u>2.2.5 Τελουριούχο κάδμιο (CdTe)</u> .....	29
<u>2.2.6 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)</u> .....	30
<u>2.2.7 Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία</u> .....	31
<u>2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ</u> .....	31
<u>2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ</u> .....	34
<u>2.5 ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΕΛΙΑ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ</u> .....	36
<u>2.5.1 Παράλληλη σύνδεση κελιών</u> .....	36
<u>2.5.2 Σύνδεση κελιών σε σειρά</u> .....	37
<u>2.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ</u> .....	39
<u>2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</u> .....	42
<u>2.7.1 Εκτός δικτύου ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα</u> .....	42
<u>2.7.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα</u> .....	42
<u>2.7.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα</u> .....	43
<u>2.7.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο</u> .....	43
<u>2.8 Αντιστροφέας-Inverter</u> .....	44



2.8.1	Τεχνολογίες αντιστροφών στα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	46
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</u>	.....	47
	<u>ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ</u>	
	<u>ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</u> .....	47
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	47
3.2	ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	48
3.2.1	Ποιότητα κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	49
3.3	ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	50
3.3.1	Η ισχύς του πάρκου.....	50
3.4	ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 3 MWp.....	53
3.4.1	Αλγόριθμος Υπολογισμού Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής	
	Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	53
3.4.2	Αλγόριθμος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/Β Σταθμού.....	54
3.5	ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	55
3.5.1	Επιλογή Φ/Β πλαισίων.....	55
3.5.2	Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών (combiner box).....	59
3.5.3	Επιλογή αντιστροφέα.....	59
3.5.4	Βάση στήριξης συστοιχίας.....	61
3.6	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ	
	ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	65
3.6.1	Προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	65
3.6.2	Προβλήματα σκιασμών.....	66
3.6.3	Στατική μελέτη και υλικά στήριξης.....	67
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</u>	.....	68
	<u>ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ</u> .....	68
	<u>ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</u> .....	68
4.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	68
4.2	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ	
	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	70
4.2.1	Γενικά.....	70
4.2.2	Η αντίσταση $R_s$ .....	70
4.2.3	Η γήρανση.....	70
4.2.4	Οι οπτικές απώλειες.....	71

4.2.5	<u>Η χωροταξική τοποθέτηση.....</u>	71
4.2.6	<u>Η δίοδος αντεπιστροφής.....</u>	72
4.2.7	<u>Η ακτινοβολία.....</u>	72
4.2.8	<u>Η σκίαση.....</u>	72
4.2.9	<u>Η θερμοκρασία.....</u>	73
4.2.10	<u>Ο άνεμος.....</u>	74
4.2.11	<u>Η ρύπανση.....</u>	74
4.2.12	<u>Οι ηλεκτρικές απώλειες.....</u>	75
4.3	<u>ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....</u>	75
4.3.1	<u>Ποια είναι η λειτουργία του ποσοστού απόδοσης.....</u>	76
4.3.2	<u>Πως υπολογίζεται το ποσοστό απόδοσης.....</u>	76
4.3.3	<u>Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το ποσοστό απόδοσης.....</u>	77
4.3.3.1	<u>Περισσότεροι παράγοντες.....</u>	77
4.4	<u>ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....</u>	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		79
	<u>ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....</u>	79
5.1	<u>ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</u>	79
5.2	<u>ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....</u>	81
5.3	<u>ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ISO 9001 : 2008.....</u>	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....		83
	<u>ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</u>	83
6.1	<u>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ.....</u>	83
6.2	<u>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....</u>	85
6.3	<u>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....</u>	86
6.4	<u>ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ.....</u>	88
6.4.1	<u>Επιλογή τοποθεσίας αιολικού πάρκου.....</u>	88
6.4.2	<u>Ποιότητα και αιολική ενέργεια.....</u>	89
6.4.3	<u>Εταιρίες και οργανισμοί πιστοποίησης αιολικής ενέργειας.....</u>	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....		91
	<u>Συμπεράσματα.....</u>	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		95

## Κατάλογος εικόνων

1. Εικόνα : Φωτοβολταϊκό πάνελ.....	20
2. Εικόνα : Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	24
3. Εικόνα : Μονοκρυσταλλικό στοιχείο πυριτίου.....	27
4. Εικόνα : Πολυκρυσταλλικό στοιχείο πυριτίου.....	27
5. Εικόνα : Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός .....	28
6. Εικόνα : Στοιχείο άμορφου πυριτίου.....	29
7. Εικόνα : Τελουριούχο κάδμιο .....	30
8. Εικόνα : Αρσενικούχο Γάλλιο.....	30
9. Εικόνα : Απλό μοντέλο ηλιακού κελιού .....	31
10. Εικόνα : Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις.....	32
11. Εικόνα : Καμπύλες I-V και P-V ενός ηλιακού κελιού.....	33
12. Εικόνα: Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού.....	34
13. Εικόνα : Επίδραση της θερμοκρασίας στην I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κελιού.....	35
14. Εικόνα : Παράλληλη σύνδεση ηλιακών κελιών.....	36
15. Εικόνα : Χαρακτηριστική I-V για παράλληλη σύνδεση κελιών.....	37
16. Εικόνα : Εν σειρά σύνδεση κελιών.....	38
17. Εικόνα : Χαρακτηριστική κελιών συνδεδεμένων σε σειρά.....	38
18. Εικόνα : Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης.....	39
19. Εικόνα : I-V χαρακτηριστική κελιών με ένα κελί πλήρως σκιασμένο.....	40
20. Εικόνα : Η περίπτωση μερικής σκιασμένου κελιού.....	40
21. Εικόνα : Χρήση διόδου παράκαμψης σε μερικής σκιασμένα κελιά.....	41
22. Εικόνα : Η I-V χαρακτηριστική συνδυασμού εν σειρά κελιών με ένα κελί μερικής σκιασμένο.....	41
23. Εικόνα : Τριφασικός αντιστροφέας της SMA .....	44
24. Εικόνα : Κεντρικός αντιστροφές κατάλληλος για μεγάλες φωτοβολταϊκές μονάδες.....	45
25. Εικόνα : Φωτοβολταϊκό πάρκο.....	52
26. Εικόνα : Αλγόριθμος υπολογισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	54
27. Εικόνα : Αλγόριθμος υπολογισμού παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β σταθμού.....	55
28. Εικόνα : Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών Sunny StringMonitor.....	59
29. Εικόνα : Sunny Central 720 CP.....	61
30. Εικόνα : Ντιζοστρίφωνο για μεταλλικές τεγίδες.....	62
31. Εικόνα : Σωληνωτός αποστάτης.....	62
32. Εικόνα : Αυτοδιάτρητη βίδα.....	63
33. Εικόνα : Σφικτήρας καναλιών.....	63
34. Εικόνα : Αυτοκόλλητη ταινία.....	63
35. Εικόνα : Κανάλια βάσης.....	63
36. Εικόνα : Γέφυρα .....	64
37. Εικόνα : Συνδετήρες καναλιών βάσης.....	64
38. Εικόνα: Διαμήκη κανάλια.....	64
39. Εικόνα : Συνδετήρες διαμηκών καναλιών.....	65



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

Ο άνθρωπος συνδέθηκε με την έννοια ενέργεια από την πρώτη στιγμή της ύπαρξης του πάνω στη Γη. Αρχικά όπως και οι άλλοι ζωντανοί οργανισμοί μέσω της τροφής ο πρωτόγονος άνθρωπος συσώρευσε στις κατάλληλες αποθήκες του σώματος του ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούσε για να κινηθεί, να κυνηγήσει, να αντιμετωπίσει τους εχθρούς του.

Πολύ αργότερα άρχισε να χρησιμοποιεί την ενέργεια άλλων ζωντανών οργανισμών (μυϊκή δύναμη των ζώων) αυξάνοντας σημαντικά τις δυνατότητές του και ενισχύοντας τη θέση του στο όχι και τόσο φιλικό περιβάλλον στο οποίο έπρεπε να επιβιώσει.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας που υπήρχε άφθονη και σε διάφορες μορφές στο φυσικό περιβάλλον (ενέργεια καυσίμων, αιολική, υδραυλική ενέργεια) ήταν το όχημα που μαζί με την ανάπτυξη των ιδιαίτερων ψυχοπνευματικών του ικανοτήτων του, του έδωσαν τη δυνατότητα να ακολουθήσει την μεγαλειώδη εξελικτική του πορεία φτάνοντας στο σημερινό τεχνολογικό θαύμα. Τα ίδια αυτά στοιχεία θα καθορίσουν την πορεία και την τεχνολογική εξέλιξή του και στο μέλλον, μόνο που οι πρώτες ανησυχίες τόσο για τις επιπτώσεις στον ίδιο και στο περιβάλλον, όσο και για την τελική κατάληξη αυτής της πορείας, πολλαπλασιάζονται και ενισχύονται με ανάλογους ρυθμούς.

Με ταχύτατους ρυθμούς περνώντας από διάφορα στάδια (εξηλεκτρισμός, ανάπτυξη των συγκοινωνιών, χρήση της πυρηνικής ενέργειας, κατάκτηση του διαστήματος) φτάσαμε στη σημερινή εποχή, την εποχή της πληροφορικής, της ψηφιακής τεχνολογίας, της παγκοσμιοποίησης και βέβαια του ενεργειακού προβλήματος, που εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ.

Το ενεργειακό πρόβλημα συνειδητοποιήθηκε όταν εμφανίστηκε η ενεργειακή κρίση του

1973.

Η συνειδητοποίηση του προβλήματος ήταν αποτέλεσμα :

- του περιορισμού άντλησης και συνεπώς των ποσοτήτων διάθεσης αργού πετρελαίου
- του μονομερή καθορισμού τιμών από τον ΟΠΕΚ.
- από την επακόλουθη αύξηση της τιμής του ( τετραπλασιασμός της τιμής σε σχέση με αυτή του 2007)
- από την απόφαση ΟΠΕΚ για εθνικοποιήσεις κοιτασμάτων αργού πετρελαίου.

Οι παράγοντες που τροφοδοτούν το ενεργειακό πρόβλημα είναι:

- οι ποσότητες των συμβατικών ενεργειακών πηγών αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν,
- η αβεβαιότητα της επάρκειας της παράγωγης και της σταθερότητας στην τροφοδοσία με καύσιμα, με σκοπό την διατήρηση των αποθεμάτων και παράλληλα την αύξηση των τιμών,
- πολιτικά και μη γεγονότα αλλά και αστάθμητοι παράγοντες επηρεάζουν και ανεβάζουν τις τιμές,

Δηλαδή η ουσία του ενεργειακού προβλήματος βρίσκεται στην συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων που διαρκώς μειώνονται με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται. Ανισοροπίες μεταξύ γεωγραφικής κατανομής αποθεμάτων και γεωγραφικής κατανομής κατανάλωσης ενέργειας ( ΑΜΕΡΙΚΗ - ΕΥΡΩΠΗ)

Είναι αρκετά εύκολο να κατανοήσουμε τι σημαίνει αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται αν αναλογιστούμε το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών που έχουμε σήμερα στο σπίτι μας σε σχέση με τις συσκευές που είχαμε, ας πούμε, πριν 50 χρόνια, ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους σε σχέση με τότε. Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήξουμε αν παρατηρήσουμε τις ενεργοβόρες εγκαταστάσεις ενός σύγχρονου κτιρίου (πχ νοσοκομείου με κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού, δίκτυο υπολογιστών, ιατρικό εξοπλισμό) και

τις συγκρίνουμε με ένα ανάλογο κτίριο που κατασκευάστηκε πριν μερικές δεκαετίες.

## 1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα κύρια προβλήματα στη χώρα μας σχετίζονται άμεσα με το λανθασμένο ενεργειακό μοντέλο που εφαρμόζει. Η χώρα μας χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή ένταση (παραγόμενες kWh ανά μονάδα ΑΕΠ), υψηλή εξάρτηση από πετρέλαιο και λιγνίτη που αποτελούν τα πλέον ρυπογόνα καύσιμα, και άσκοπη κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα.

Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, γεωθερμία), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι σήμερα τεχνικοοικονομικά εκμεταλλεύσιμες είναι οι ακόλουθες:

### 1.2.1 Γεωθερμική ενέργεια

Γεωθερμική ενέργεια είναι η φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04 -0,06 W/m<sup>2</sup>
- β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Η Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10<sup>6</sup> kWh/yr. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, όπου

είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με εξαιρετικά μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, μικρό μόνο μέρος (περίπου τα 3/20) χρησιμοποιείται σήμερα για θέρμανση χώρων, λουτροθεραπεία, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς της χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MWth.

Όταν χρησιμοποιείται η γεωθερμία για ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζονται απίστευτα πλεονεκτήματα καθώς η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι μονάχα ανεξάντλητη αλλά και πιο 'διαθέσιμη' καθώς οι συμβατικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά το 65-75% του έτους, σε αντιδιαστολή με το 90% του έτους που την παράγουν οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας. Επιπλέον, οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε. Εξαιτίας των προχωρημένων τεχνικών άντλησης μπορούν να καταλάβουν περιορισμένη επιφάνεια γης σε σχέση με τους παραδοσιακούς σταθμούς ορυκτών καυσίμων και να έχουν ελάχιστες επιπτώσεις κατά την διάνοιξη πηγαδιών.

## 1.2.2 Αιολική ενέργεια

Ένας από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους ενεργειακούς τομείς είναι και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια άλλη μορφή ηλιακής ενέργειας. Υπάρχει η εκτίμηση ότι μεταξύ 1% - 3% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή.

Παγκοσμίως εγκαταστημένη ονομαστική ισχύς ανεμογεννητριών από 7,6 GW, το 1997, έφτασε τα 120,8 GW το 2008. Στην Ευρώπη, η αντίστοιχη ισχύς είναι κοντά στα 66,0 GW.



### 1.2.3 Βιομάζα

Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.,
- τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.,
- τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.,
- το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος.

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας 2 δεν είναι νέα. Σ' αυτήν, εξάλλου,

συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

Καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας, είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον. Στη χώρα μας τέτοιες μονάδες είναι εγκατεστημένες στη Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο, Χανιά και Ψυτάλλεια Αττικής με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 8000 KW.

#### 1.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Χωρίζεται σε 2 στάδια:

- **Το πρώτο στάδιο**, μέσω της περωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής
- **και το δεύτερο στάδιο**, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργημένο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια.

Ένα πλήρες υδροηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει την πηγή ύδατος, τη σωλήνωση όδευσης του ύδατος από την πηγή στον υδροστρόβιλο, το σύστημα ελέγχου/ρύθμισης της ροής, τον υδροστρόβιλο, τη γεννήτρια ρεύματος, το ρυθμιστή της γεννήτριας και τέλος τις καλωδιώσεις για τη μεταφορά/διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, μπορούμε να διακρίνουμε δύο

συστήματα : Τα ελεύθερα συστήματα δίχως αποθήκευση και τα μεγαλύτερα συστήματα όπου εφαρμόζεται αποθήκευση με φράγμα.

### **1.2.5 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα**

Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία, πλαίσια ηλιακών κυψελίδων και γιγάντια κάτοπτρα. Έτσι, θερμαίνεται το νερό και παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει πάρα πολλά θετικά στοιχεία, γιατί θα υπάρχει αιωνίως και δεν μολύνει καθόλου την ατμόσφαιρα της γης. Οι ηλιακές συσκευές όμως κοστίζουν πολύ ακριβά.

Ένας τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία. Μέχρι στιγμής, χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στους δορυφόρους, επειδή έχουν πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία κατασκευάζονται από πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ημιαγωγός, δηλαδή είναι ένα υλικό, το οποίο ανάλογα με την θερμοκρασία του αποκτά την ιδιότητα των μονωτών και των αγωγών και όταν εμπλουτιστεί με κάποια άλλα κατάλληλα στοιχεία, επιτρέπει την ροή των ηλεκτρονίων. Ένα ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα πυριτίου, ένα εμπλουτισμένο με θετικά ιόντα και ένα με αρνητικά. Όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στην επιφάνεια, ελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία συλλέγονται από ένα πλέγμα αγωγών που υπάρχουν και στις δύο επιφάνειες. Όταν συνδεθεί το στοιχείο με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια κινούνται από την αρνητική προς την θετική επιφάνεια δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που μπορούν να δεσμεύσουν την ηλιακή ακτινοβολία και να τη μετατρέψουν σε κατάλληλη ενέργεια για να αξιοποιηθεί σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής είτε στον οικιακό τομέα για παραγωγή ηλεκτρισμού είτε για θέρμανση νερού και άλλες οικιακές χρήσεις. Μία τέτοια τεχνολογία είναι και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής.



1. Εικόνα : Φωτοβολταϊκό πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν το ηλιακό φώς σε ηλεκτρισμό. Η λέξη βολτ προέρχεται από τον Alessandro Volta ο οποίος ήταν ένας από τους πρωτοπόρους στην μελέτη του ηλεκτρισμού. Ονομάζονται συχνά και ηλιακές κυψέλες και είναι ήδη ένα σημαντικό μέρος στη ζωής μας. Τις πιο απλές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας τις συναντούμε στους υπολογιστές τσέπης και στα ρολόγια χειρός. Πιο σύνθετα συστήματα μας βοηθούν να αντλούμε νερό, να δίνουμε ηλεκτρικό ρεύμα σε απομακρυσμένους επικοινωνιακούς σταθμούς, όπως και να φωτίζουμε το σπίτι μας και να λειτουργούμε τις οικιακές μας συσκευές. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η πιο οικονομική μορφή ηλεκτρισμού για να καταφέρνουμε τα παραπάνω.

Σήμερα η ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα εξυπηρετεί ανθρώπους στις πιο απομακρυσμένες περιοχές στον πλανήτη μας όπως και στα κέντρα των πόλεων. Είτε είναι κάποιος ιδιοκτήτης κατοικίας, είτε γεωργός, είτε αρχιτέκτονας ή απλά κάποιος που πληρώνει λογαριασμούς στο δίκτυο κοινής ωφελείας, οι πιθανότητες μας λένε ότι αυτή η τεχνολογία τους έχει αγγίξει σε κάποιο βαθμό.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή κυψελών), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο

και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκαθιστάμενα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 1 κιλοβάτ, συνδεδεμένο στο δίκτυο, παράγει κατά μέσο όρο 1200-1500 κιλοβατώρες το χρόνο, ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής, και αποτρέπει κατά μέσο όρο κάθε χρόνο την έκλυση 1450 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δυο στρέμματα δάσους. Αποτελείται από τα εξής επιμέρους υποσυστήματα:

1. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια
2. Κατασκευή στήριξης
3. Συστήματα μετατροπής ισχύος
4. Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, προστασίας και λοιπά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά εγγυώνται:

- ◆ μηδενική ρύπανση
- ◆ αθόρυβη λειτουργία
- ◆ αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- ◆ απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές

- ♦ δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ♦ ελάχιστη συντήρηση

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν με αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβάτώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,1 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους.

Γενικά, η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι μια επένδυση για το μέλλον αφού εξασφαλίζει κέρδη για τον κάτοχο του φωτοβολταϊκού συστήματος για 25 χρόνια. Ειδικά σε κάποιες περιοχές της Ελλάδας που επικρατεί ηλιοφάνεια τους περισσότερους μήνες του χρόνου, η απόδοση είναι εγγυημένη. Τα κέρδη εξαρτώνται από το μέγεθος της εγκατάστασης και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή (μέχρι 10 kWp[κιλοβάτ]), τόσο πιο πολλά τα κέρδη.

Η τιμή αγοράς της kWh(κιλοβατώρας) από τη ΔΕΗ με βάση τον νόμο 3851 ήταν 0,55 ευρώ μέχρι τον Ιούλιο του 2012, ενώ από τον Αύγουστο του 2012 μετά από τροποποίηση του νόμου έπεσε

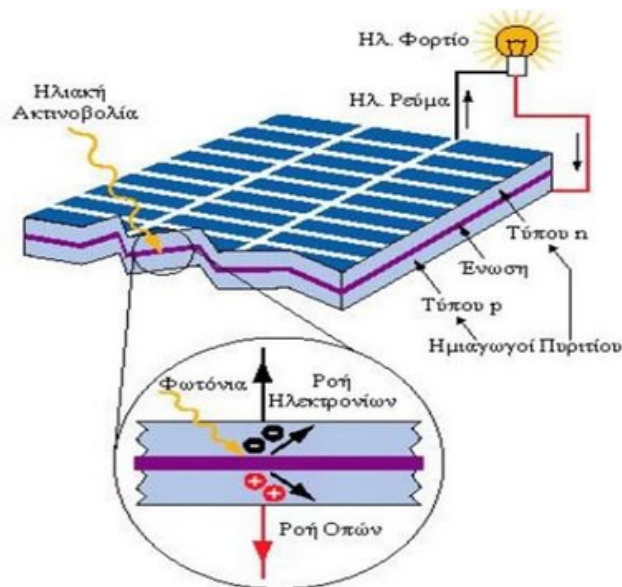
στα 0,25 ευρώ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

#### 2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ουσιαστικά δύο ημιαγώγιμα στρώματα τα οποία βρίσκονται σε επαφή, τύπου (p) και τύπου (n), και εξωτερικά αυτών τοποθετούνται ηλεκτρόδια. Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 – 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά τη διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δυο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε 1876 όταν οι Adams (1836 – 1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως. Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 – 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνά του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιωμένη ακόμα και σήμερα. Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους **Chapin, Fuller και Pearson**. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

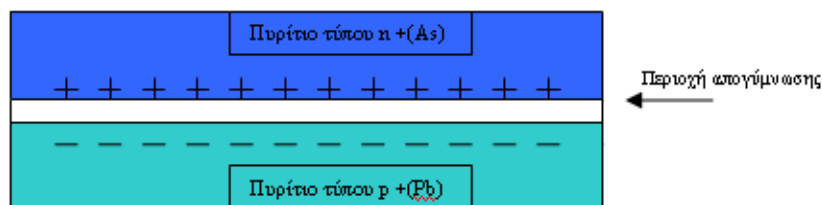


2. Εικόνα : Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, που είναι ουσιαστικά ένας «ημιαγωγός», μερικά ανακλώνται, μερικά το διαπερνούν και τα υπόλοιπα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Τα φωτόνια που απορροφώνται είναι αυτά που παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων.

Σ' αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας. Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου (n) και τύπου (p) το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.





Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής (n) έλκονται από τις «οπές» τις επαφής (p). Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

## 2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το υλικό που χρησιμοποιείται για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

1. Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) (ή κοινός η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
2. Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
3. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι τους  $125^\circ\text{C}$  κάτι που επιτρέπει τη χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερο ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

Πολύ σημαντικό στοιχείο που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ.) Τα 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη φορά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτή των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται στους ακόλουθους τύπους:

### **I. Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου μεγάλου πάχους**

- Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (Single Crystalline silicon, sc-Si)
- Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (Multi Crystalline silicon, mc-Si)
- Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

### **II. Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thin film)**

- Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS)
- Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Thin film silicon - a-Si)
- Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)
- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

### **III. Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία**

#### **2.2.1 Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (Single Crystalline silicon, sc-Si)**

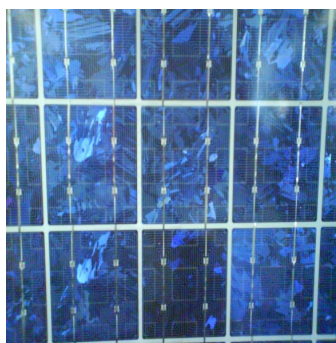
Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της Sun Power με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



3. Εικόνα : Μονοκρυσταλλικό στοιχείο πυριτίου

### 2.2.2 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (Multi Crystalline silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (χύτευση), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.



4. Εικόνα : Πολυκρυσταλλικό στοιχείο πυριτίου

### 2.2.3 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS)

Ο δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



5. Εικόνα : Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός

### 2.2.4 Στοιχεία άμορφου πυριτίου (Thin film silicon – a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός *άμορφο φωτοβολταϊκό* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει

ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



6. *Εικόνα* : Στοιχείο άμορφου πυριτίου

### 2.2.5 Τελουριούχο κάδμιο (CdTe)

Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



7. Εικόνα : Τελουριούχο κάδμιο

### 2.2.6 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators).



8. Εικόνα : Αρσενικούχο Γάλλιο

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται

για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

### 2.2.7 Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

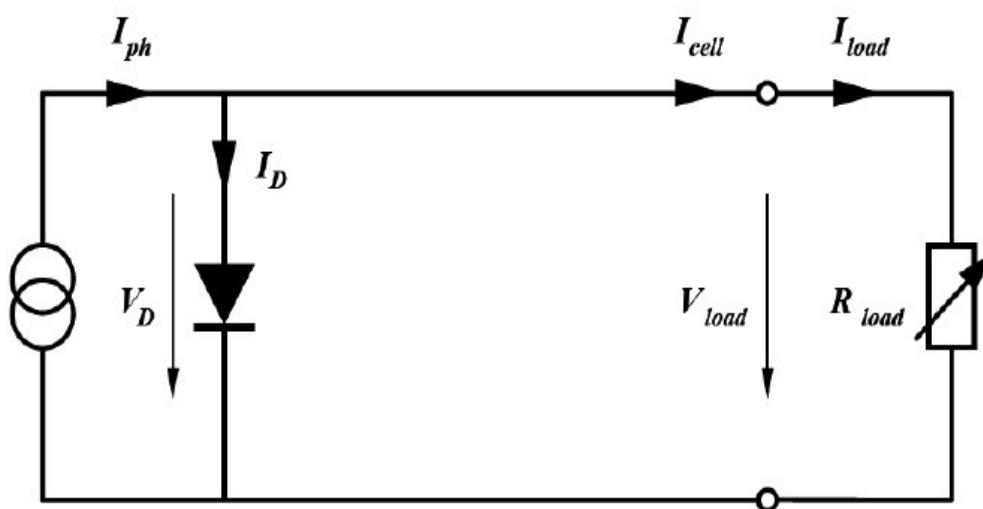
Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

## 2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ

Το απλούστερο μοντέλο ηλιακού κελιού παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



9. Εικόνα : Απλό μοντέλο ηλιακού κελιού

Στο μοντέλο αυτό το ρεύμα κελιού προκύπτει από το συνδυασμό του φωτορεύματος  $I_{ph}$ , δηλαδή του ρεύματος που παράγεται από την έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανάλογο αυτής και του ρεύματος της διόδου που δημιουργείται λόγω της ύπαρξης της επαφής p-n. Έτσι ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

$I_{cell}$  : ρεύμα κελιού

$I_{ph}$  : φωτορεύμα, ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

$I_D$  : Ρεύμα διόδου

$I_0$  : Ρεύμα διαρροής της διόδου

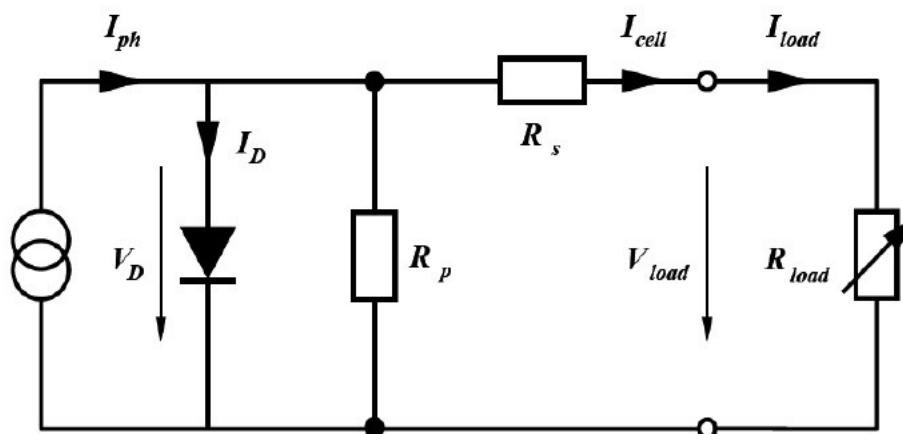
$q$  : Φορτίο ηλεκτρονίου

$V$  : Τάση στα άκρα της διόδου

$k$  : Σταθερά Boltzmann

$T$  : Θερμοκρασία

Από την παραπάνω εξίσωση γίνεται φανερό ότι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ρεύματος σε ένα ηλιακό κελί είναι η ένταση της ακτινοβολίας και η θερμοκρασία. Ωστόσο, ένα ακριβέστερο μοντέλο ενός ηλιακού κελιού πρέπει να εμπεριέχει και τις ηλεκτρικές αντιστάσεις των υλικών, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



10. Εικόνα : Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις

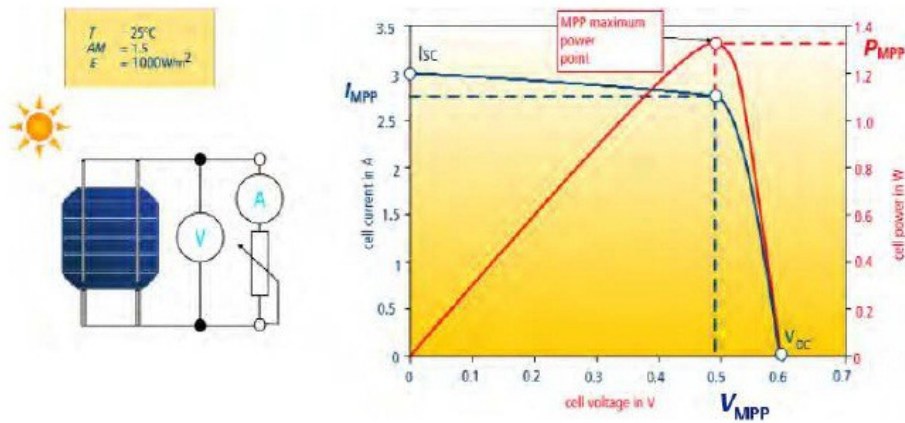


Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση που περιγράφει το ηλιακό κελί είναι η παρακάτω:

$$I_{\text{cell}} = I_{\text{ph}} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q}{k \cdot T} (V_{\text{load}} + I_{\text{cell}} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{\text{load}} + I_{\text{cell}} \cdot R_s}{R_p}$$

όπου  $R_s$  και  $R_p$  είναι εν σειρά και εν παραλλήλω ηλεκτρικές αντιστάσεις:

Μακροσκοπικά, ένα ηλιακό κελί μοντελοποιείται με την βοήθεια της χαρακτηριστικής του καμπύλης έντασης-τάσης I-V (I-V curve) ή ισχύος-τάσης P-V (P-V curve). Τυπικές καμπύλες παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



11. Εικόνα : Καμπύλες I-V και P-V ενός ηλιακού κελιού

Χαρακτηριστικά μεγέθη αποτελούν:

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$ : είναι η τάση που επικρατεί στην έξοδο ενός ηλιακού κελιού όταν τα δύο άκρα του είναι ανοικτά
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης:  $I_{sc}$ : είναι το ρεύμα που διαρρέει το ηλιακό κελί όταν τα δύο άκρα του βραχυκυκλωθούν.
- Η μέγιστη ισχύς του κελιού  $P_{mpp}$  (maximum power point): είναι η μέγιστη ισχύς του ηλιακού κελιού που αντιστοιχεί σε τάση  $V_{mpp}$  και ένταση  $I_{mpp}$ .

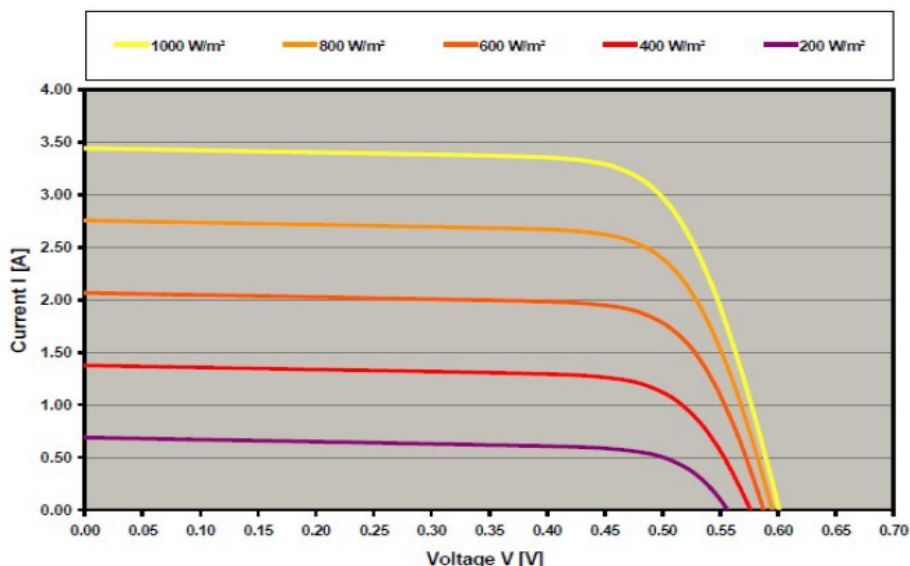
Με στόχο τη δυνατότητα σύγκρισης διαφορετικών κελιών ή και πάνελ υπό κοινές συνθήκες, έχουν οριστεί οι λεγόμενες Πρότυπες Συνθήκες Ελέγχου, περισσότερο γνωστές ως STC συνθήκες από

τα αρχικά των λέξεων Standard Test Conditions. Οι συνθήκες αυτές αντιστοιχούν σε :

- Ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ίσης προς  $1000\text{W/m}^2$ .
- Θερμοκρασία κελιού ίση προς  $25^\circ\text{C}$ .
- Μάζα αέρα (air mass) ίση προς 1.5 Η μάζα αέρα είναι μία παράμετρος που πρακτικά σχετίζεται με τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου της ατμόσφαιρας. Έτσι όταν ο ήλιος βρίσκεται κάθετα στην επιφάνεια της γης, η ηλιακή ακτινοβολία περνάει μόνο μία φορά διαμέσου του ατμοσφαιρικού αέρα, γεγονός που δηλώνεται ως  $AM=1$ . Ο παράγων  $AM=1.5$ , που χρησιμοποιείται ως πρότυπη συνθήκη για τον χαρακτηρισμό των ηλιακών κελιών αντιστοιχεί σε γωνία του ήλιου ίση προς  $41.8^\circ$  ως προς τον ορίζοντα.

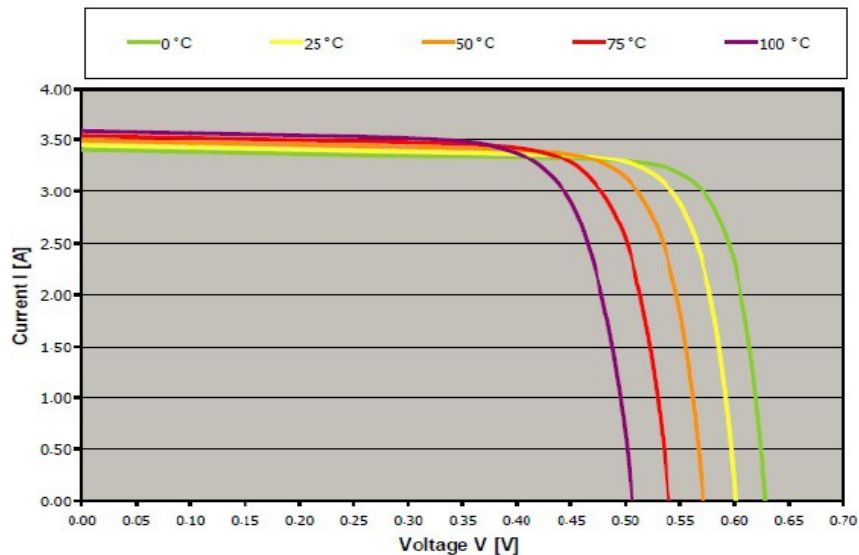
## 2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία αποτελούν τους δύο κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας από ένα ηλιακό κελί. Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει τη μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής ενός ηλιακού κελιού με μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας:



12. Εικόνα: Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2.5.1, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά (σχεδόν ανάλογα) στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες κελιού.



13. Εικόνα : Επίδραση της θερμοκρασίας στην I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κελιού

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2.5.2, η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού κελιού. Ειδικότερα, η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται σημαντικά με μείωση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά. Συνολικά, η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Συνήθως οι κατασκευαστές των ηλιακών κελιών και πάνελ αναφέρουν ενδεικτικούς συντελεστές μεταβολής των παρακάτω μεγεθών με τη θερμοκρασία:

- Ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ , με τυπικές τιμές της τάξης του 0,04- 0,07% ανά βαθμό Kelvin (ή Κελσίου)
- Τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  με τυπικές τιμές της τάξης του -0,3 έως -0,4% ανά βαθμό Kelvin (ή Κελσίου).
- Μέγιστη ισχύς  $P_{mpp}$  με τυπικές τιμές της τάξης του -0,4 έως -0,5% ανά βαθμό Kelvin (ή Κελσίου).

Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου. Για πάνελ άμορφου

πυριτίου, η μείωση στις τιμές της τάσης και κυρίως της ισχύος (που είναι και το μέγεθος με το άμεσο ενδιαφέρον) είναι μικρότερη με ενδεικτικές τιμές της τάξης του  $-0,3\%$  ανά βαθμό Kelvin για την τάση του ανοικτού κυκλώματος και  $-0,3$  έως  $-0,4\%$  ανά βαθμό Kelvin για την ισχύ του κελιού.

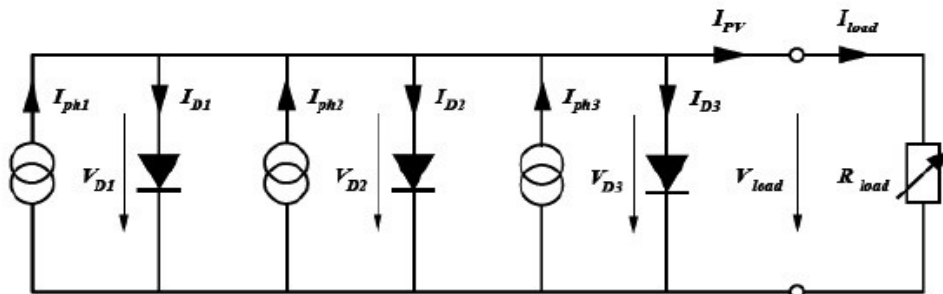
Το γεγονός αυτό φανερώνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας του άμορφου πυριτίου που είναι η μικρότερη μείωση ισχύος σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος και την επιλογή τεχνολογιών θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο σημαντικά μικρότερο βαθμός απόδοσης (δηλαδή ποσοστού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρικής ενέργεια,  $6-7\%$  έναντι  $15-17\%$  για κρυσταλλικά κελιά) γεγονός που αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου και συναφών εγκαταστάσεων σταθμών με πάνελ άμορφου πυριτίου έναντι αντίστοιχων σταθμών με κρυσταλλικά πάνελ.

## 2.5 ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΕΛΙΑ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ

Τα ηλιακά κελιά χρησιμοποιούνται σπάνια μόνα τους. Συνήθως, κελιά με τα ίδια χαρακτηριστικά συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους ώστε να προκύψει μεγαλύτερη ισχύς με τη μορφή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Τα πάνελ στη συνέχεια συνδυάζονται μεταξύ τους ώστε να προκύψουν οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Τα ηλιακά κελιά μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα.

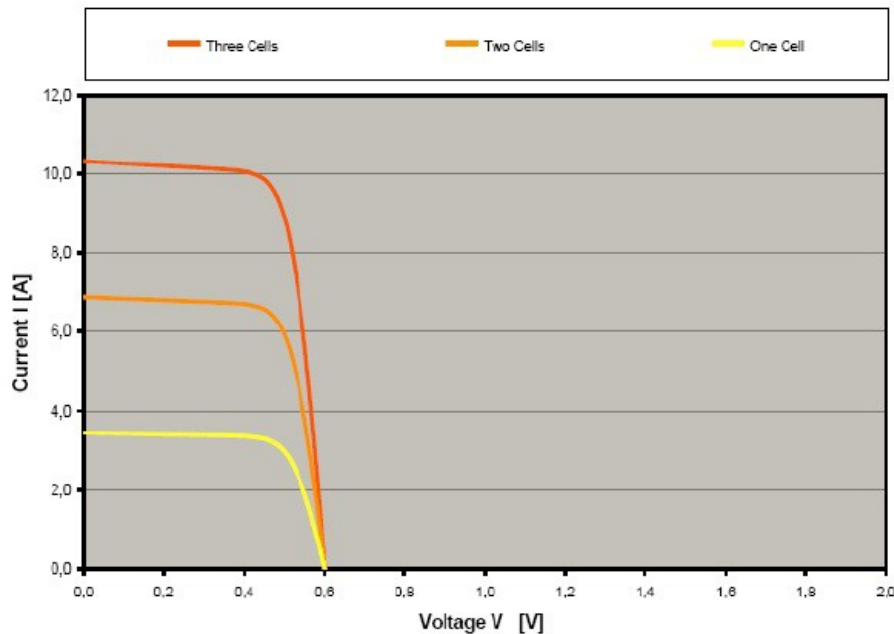
### 2.5.1 Παράλληλη σύνδεση κελιών

Η παράλληλη σύνδεση κελιών αυξάνει την ένταση ρεύματος, όπως φαίνεται και το παρακάτω σχήμα:



14. Εικόνα : Παράλληλη σύνδεση ηλιακών κελιών

Η τάση στα άκρα του συνδυασμού παραμένει η ίδια με την τάση του κάθε κελιού. Έτσι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του συνδυασμού προκύπτει από την άθροιση των τιμών ρεύματος για την ίδια τιμή τάσης, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:

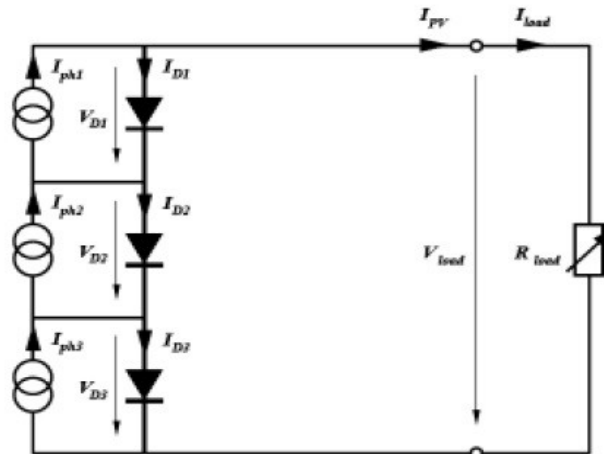


15. Εικόνα : Χαρακτηριστική  $I-V$  για παράλληλη σύνδεση κελιών

Παράλληλη σύνδεση κελιών δεν χρησιμοποιείται συνήθως καθώς η μεγαλύτερη ένταση ρεύματος απαιτεί και μεγαλύτερες διατομές αγωγών, ενώ και οι απώλειες αυξάνονται με τη μείωση της τάσης. Για τους παραπάνω λόγους, η σύνδεση των κελιών γίνεται συνήθως εν σειρά.

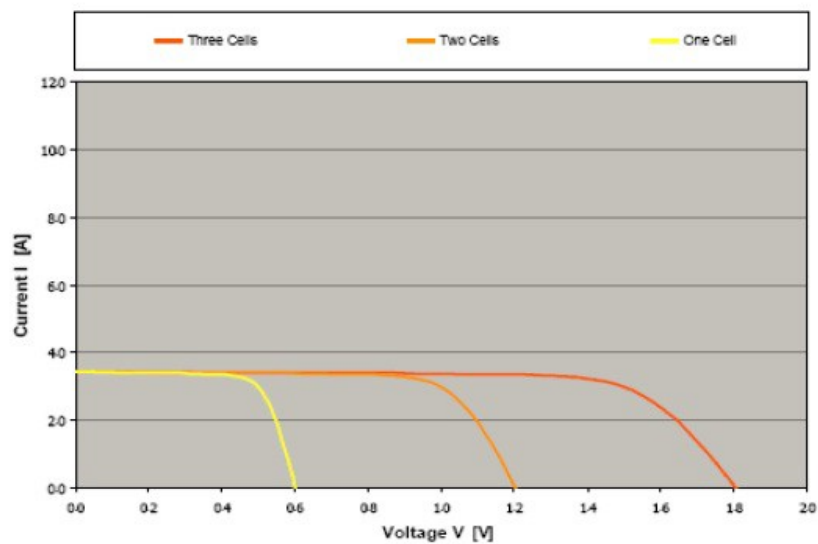
## 2.5.2 Σύνδεση κελιών σε σειρά

Στη σύνδεση κελιών σε σειρά υπάρχει η ίδια ροή ρεύματος ανά κελί ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των κελιών, όπως προκύπτει και από το παρακάτω σχήμα:



16. Εικόνα : Εν σειρά σύνδεση κελιών

Αντίστοιχα, η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του συνδυασμού προκύπτει από το άθροισμα των τιμών τάσεων των κελιών για την ίδια τιμή έντασης ρεύματος, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



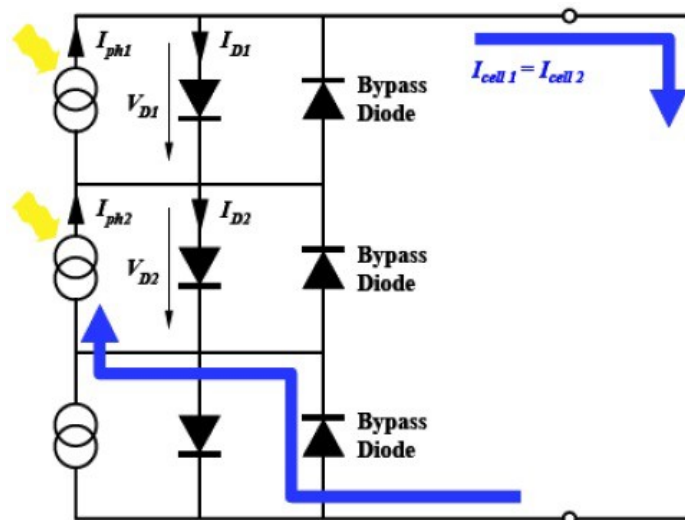
17. Εικόνα : Χαρακτηριστική κελιών συνδεδεμένων σε σειρά

## 2.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά (και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα) φαινόμενα (π.χ. σύννεφα).

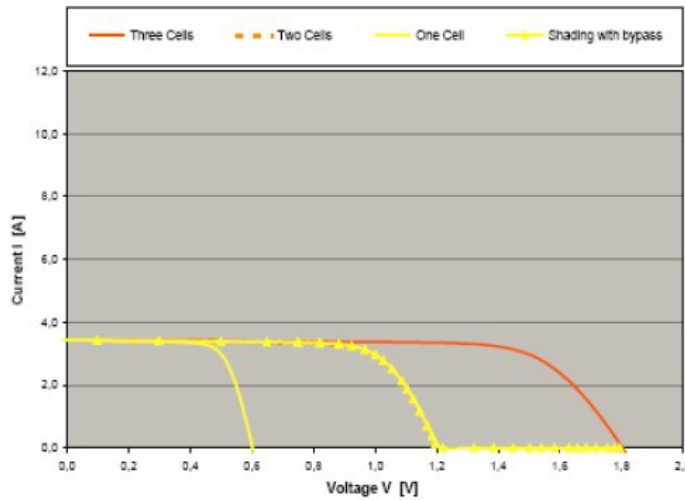
Για παράδειγμα ας θεωρηθεί η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας.

Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται σχηματικά παρακάτω:



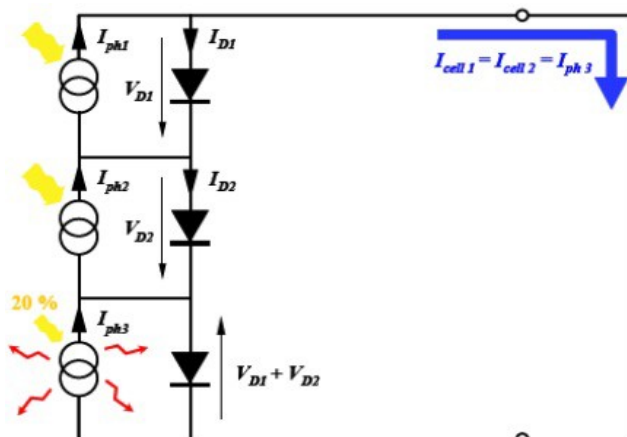
18. Εικόνα : Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης

Η I-V χαρακτηριστική του συνδυασμού των κελιών μεταβάλλεται όπως στο παρακάτω Σχήμα:



19. Εικόνα : I-V χαρακτηριστική κελιών με ένα κελί πλήρως σκιασμένο

Ας θεωρηθεί τώρα η περίπτωση που ένα κελί είναι μερικώς σκιασμένο, π.χ. με μείωση της προσπίπτουσας έντασης ακτινοβολίας στο 20% σε σχέση με τα άλλα κελιά. Στην περίπτωση αυτή το συγκεκριμένο κελί θα παράγει περίπου το 20% του φωτορεύματος ενώ τα άλλα κελιά θα παράγουν το 100%. Λόγω της σύνδεσης σε σειρά, στο κύκλωμα θα ρέει μόνο το ρεύμα που θα παράγεται από το μερικώς σκιασμένο κελί. Αναφορικά με τα κελιά που δεν σκιάζονται το υπόλοιπο ρεύμα τους (δηλαδή το υπόλοιπο 80%) θα ρέει εσωτερικά σε αυτά, στις ενδογενείς διόδους τους. Επιπλέον στο μερικώς σκιασμένο κελί θα υφίσταται απώλεια ενέργειας καθώς η διόδος του θα είναι ανάστροφα πολωμένη από την τάση που παράγεται στα άλλα κελιά, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:

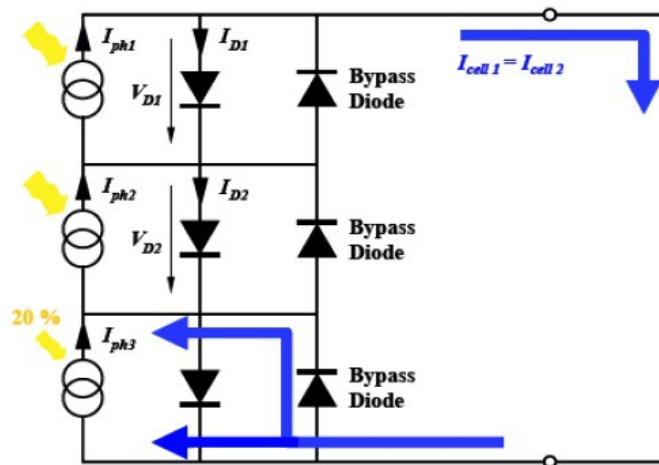


20. Εικόνα : Η περίπτωση μερικώς σκιασμένου κελιού



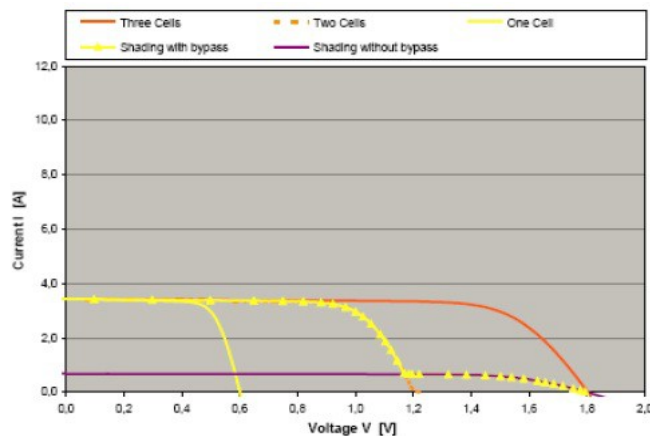
Πρακτικά, η περίπτωση αυτή οδηγεί στη δημιουργία “θερμών σημείων” (hot spots) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε γρηγορότερη γήρανση και ενδεχόμενα καταστροφή του πάνελ.

Ωστόσο, με τη βοήθεια των διόδων παράκαμψης αποφεύγονται τα προβλήματα των θερμών σημείων. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά των ρευμάτων μεταξύ των κελιών που δεν σκιάζονται και του μερικώς σκιασμένου κελιού ρέει διαμέσου της διόδου παράκαμψης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



21. Εικόνα : Χρήση διόδου παράκαμψης σε μερικώς σκιασμένα κελιά

Η I-V χαρακτηριστική του συνδυασμού σ’ αυτήν την περίπτωση δίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



22. Εικόνα : Η I-V χαρακτηριστική συνδυασμού εν σειρά κελιών με ένα κελί μερικώς σκιασμένο

## **2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών. Καλύπτουν μεγάλη περιοχή ισχύος, από το μέγεθος της πολύ χαμηλής ισχύος ευρείας χρήσεως καταναλωτικών προϊόντων, όπως είναι οι αριθμητικοί υπολογιστές, τα μικρά φωτιστικά κήπου κ.α., έως συστήματα μεγάλης ισχύος για την τροφοδοσία νησιών ή πρότυπων μεγάλων κτηριακών συγκροτημάτων συνδεδεμένα ή όχι στο δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου συστήματα
- Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται επίσης σε αυτόνομα και υβριδικά. Το κριτήριο για τον προσδιορισμό της σύνθεσης του καταλληλότερου φωτοβολταϊκού συστήματος στις κατηγορίες αυτές, προκύπτει με βάση την απαίτηση για πλήρη ή μερική κάλυψη (αυτονομία) των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής μηνιαίως ή ετησίως.

### **2.7.1 Εκτός δικτύου ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Χαρακτηρίζονται έτσι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε αυτόνομα, στα οποία η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας και σε υβριδικά, στα οποία περιλαμβάνεται και άλλη πηγή ΑΠΕ ή συμβατική ηλεκτρική πηγή.

### **2.7.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξολοκλήρου από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, χωρίς την συμμετοχή άλλων ΑΠΕ και μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές μη συνδεδεμένες στο εθνικό δίκτυο. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσόμενης (AC) τάσεως.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής
- Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

### **2.7.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα**

Στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από τον συνδυασμό φωτοβολταϊκής συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας, δηλαδή, ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια) ή πηγές συμβατικών καυσίμων (π.χ. ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος). Ο προσδιορισμός των συνιστωσών ΑΠΕ προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος, με κριτήριο τον βαθμό συμμετοχής του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους στην διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής. Στις περισσότερες των περιπτώσεων στο σύστημα προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές.

### **2.7.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο**

Τα συστήματα αυτά συνδέονται απευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ένα τεράστιο απόθεμα ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Άρα στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως καταναμημένα συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως.

Τα καταναμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σε αυτό.

Στην πρώτη περίπτωση το φωτοβολταϊκό σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο την μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Το δίκτυο καλύπτει έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή καταστάσεις αστοχίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στην δεύτερη περίπτωση, το βασικότερο κριτήριο αναφοράς στην επιλογή εκείνης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας η οποία καλύπτει, κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις χρονικές περιόδους που το φωτοβολταϊκό σύστημα υστερεί στην κάλυψη των

καταναλώσεων της εφαρμογής η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο.

## 2.8 Αντιστροφέας-Inverter

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο, σημαντικό κομμάτι αποτελεί ο αντιστροφέας (Inverter). Ρόλος του είναι η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που παράγουν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες σε εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 50Hz συμμορφωμένο με το δίκτυο. Η μετατροπή αυτή πρέπει να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες, που αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό του αντιστροφέα. Ένας αντιστροφέας αποτελείται από ηλεκτρονικά ισχύος (MOSFET, GTO, IGBT) τα οποία επιτρέπουν την ύπαρξη μικρών μόνο απωλειών. Ο βαθμός απόδοσης του ορίζεται:  $\eta = \text{Ισχύς εξόδου} / \text{Ισχύς εισόδου} = \text{PAC} / \text{PDC}$  και εκφράζει τις απώλειες που εμφανίζονται, οι οποίες είναι κυρίως διακοπτικές πάνω στους διακόπτες ισχύος του αντιστροφέα.

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό των αντίστροφων είναι η δυνατότητα να μπορούν να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες. Για να μπορέσει να παράγει τη μέγιστη ισχύ, ο αντιστροφέας πρέπει να λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, το οποίο μεταβάλλεται ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Έξυπνα συστήματα έλεγχου του αντιστροφέα (MPPT trackers) παρακολουθούν το σημείο μέγιστης ισχύος και τη μετακίνηση του πάνω στη χαρακτηριστική καμπύλη V-I και επιτυγχάνουν έτσι την προσαρμογή του αντιστροφέα σε αυτό. Συσκευές προστασίας είναι επίσης προσαρμοσμένες στον αντιστροφέα και αυτόματα αποσυνδέουν τη μονάδα όταν ανιχνεύσουν αντικανονικές συνθήκες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφέων σήμερα είναι εφοδιασμένα με συστήματα που επιτρέπουν την ανάγνωση και τη συνεχή καταγραφή της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος.



23. Εικόνα : Τριφασικός αντιστροφέας της SMA

Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι κατά τη σχεδίαση του φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη συνεργασία μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του ηλεκτρονικού αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας απαιτεί στην είσοδο του ένα συγκεκριμένο εύρος για την τάση λειτουργίας, έχοντας ένα ανώτατο όριο τάσης εισόδου. Το ανώτατο όριο δεν πρέπει να υπερβαίνεται ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος καταστροφής του αντιστροφέα. Συνεπώς, ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων που μπορούν να συνδεθούν σε σειρά (στοιχειοσειρά) υπολογίζεται έτσι ώστε να μην υπερβαίνονται τα όρια αυτά σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας.



24. Εικόνα : Κεντρικός αντιστροφές κατάλληλος για μεγάλες φωτοβολταϊκές μονάδες

Αναλυτικότερα, από την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων υπολογίζεται η μέγιστη τιμή της τάσης των αλυσίδων και από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας καθορίζεται η μέγιστη τιμή του ρεύματος των παράλληλων αλυσίδων. Ο μέγιστος αριθμός πλαισίων εν σειρά υπολογίζεται ώστε η συνολική τάση ανοιχτού κυκλώματος της συστοιχίας, στη μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, να μην υπερβαίνει το ανώτατο όριο τάσης εισόδου του αντιστροφέα. συγχρόνως πρέπει να ελεγχθεί και η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση ανοιχτού κυκλώματος της στοιχειοσειράς στη μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας. Ο ελάχιστος αριθμός πλαισίων εν σειρά ορίζεται έτσι ώστε η συνολική τάση βέλτιστης λειτουργίας της συστοιχίας, στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, να υπερβαίνει την ελάχιστη τάση εισόδου του αντιστροφέα ώστε αυτός να ενεργοποιείται.

## 2.8.1 Τεχνολογίες αντιστροφών στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Οι διάφορες τοπολογίες αντιστροφών που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι εξής:

- **Κεντριοποιημένος αντιστροφέας (Centralized inverter)**

Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία αρχικά συνδέονται σε σειρά σχηματίζοντας αλυσίδες και στη συνέχεια οι αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα για επίτευξη υψηλής ισχύος, ενώ η σύνδεση με το δίκτυο γίνεται μέσω ενός αντιστροφέα. Παρόλο που είναι δυνατή η παραγωγή μεγάλης ισχύος από ένα μόνο φωτοβολταϊκό σύστημα, ο κεντριοποιημένος αντιστροφέας συνοδεύεται από αρκετά μειονεκτήματα όπως υψηλή DC τάση των καλωδίων, μεγάλες απώλειες, σχεδιασμό που δεν αφήνει περιθώρια επέκτασης και υψηλό κόστος.

- **Αντιστροφέας στοιχειοσειράς (String inverter)**

Σε αυτή την περίπτωση μια αλυσίδα φωτοβολταϊκών πλαισίων καταλήγουν σε έναν αντιστροφέα. Η τάση των πλαισίων μπορεί να είναι αρκετά υψηλή κι έτσι να αποφευχθεί το στάδιο ανύψωσής της, ωστόσο θα απαιτηθούν αρκετά πλαίσια σε σειρά. Παρατηρείται αυξημένος βαθμός απόδοσης σε σχέση με τους προηγούμενους αντιστροφείς αλλά παραμένουν τα προβλήματα που επιφέρουν οι υψηλές τάσεις στα σημεία διασύνδεσης.

- **Αντιστροφές πολλαπλών στοιχειοσειρών (Multi-string inverter)**

Στην τεχνολογία αυτή διάφορες αλυσίδες φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδέονται με το δικό τους DC-DC μετατροπέα ανύψωσης τάσης και στη συνέχεια με ένα κοινό αντιστροφέα. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα έλεγχου της κάθε αλυσίδας χωριστά ενώ ενδεχόμενη επέκταση του συστήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί προσθέτοντας μια αλυσίδα κι έναν DC-DC μετατροπέα. Η συγκεκριμένη τοπολογία παρουσιάζει υψηλή απόδοση και προσφέρει εύκολη επέκταση του συστήματος.

- **AC Module**

Η τεχνολογία των AC Module είναι η νεότερη στο χώρο των φωτοβολταϊκών εφαρμογών, στην οποία ένα μεγάλο φωτοβολταϊκό πλαίσιο συνδέεται σε έναν αντιστροφέα τάσης και στη συνέχεια στο δίκτυο. Ο αντιστροφέας μετατρέπει τη συνεχή τάση σε μονοφασική εναλλασσόμενη. Η απουσία συνδέσεων τύπου πλέγματος ή αλυσίδας μεταξύ των πλαισίων καθώς και η δυνατότητα καλύτερου έλεγχου οδηγούν σε μεγάλη αποδοτικότητα του

συστήματος. Επίσης, εξαλείφεται το πρόβλημα σύνδεσης ανόμοιων πλαισίων, οι τάσεις στα σημεία σύνδεσης είναι αρκετά χαμηλές, το κόστος κατασκευής είναι μικρό και δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την εγκατάσταση του συστήματος. Το μόνο μειονέκτημα που μπορεί να αναφερθεί είναι ότι πρόκειται για διατάξεις χαμηλής ισχύος και πιθανόν να είναι απαραίτητη η ανύψωση της τάσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

#### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ**

Ιστορικά ο ποιοτικός έλεγχος ως λειτουργία, πρωτοεμφανίστηκε το 1920 στην Αμερική όπου για πρώτη φορά κάποιες στατιστικές μέθοδοι πρόβλεψης και βελτίωσης πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στις παραγωγικές διαδικασίες των Αμερικανικών εργοστασίων. Ουσιαστικά οι Αμερικάνοι σε μια πρώτη προσπάθεια βελτίωσης των παραγωγικών τους δυνατοτήτων, ανέπτυξαν μέσα πρόβλεψης, αλλά και μέσα ελέγχου της συνολικής παραγωγικής τους διαδικασίας (Department of Trade and Industry,2006:1-2). Η ανάπτυξη νέων μεθόδων οδήγησε και στη δημιουργία νέων προβλημάτων προς επίλυση. Συγκεκριμένα οι Αμερικάνοι διαπίστωσαν, ότι δεν αρκούσε ένας απλώς έλεγχος, μια και η προσπάθεια ανάπτυξης μιας νέας φιλοσοφίας ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, οδηγούσε σε νέα θέματα προς έρευνα.

Ο έλεγχος παραγωγής και συμμόρφωσης μπορεί να συμπεριλαμβάνει κοινές ενέργειες ή χωριστές ενέργειες ή συνδυασμένες ενέργειες.

Ο ποιοτικός έλεγχος περιλαμβάνει συνδυασμό ενεργειών και αποφάσεων που λαμβάνονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Επίσης περιλαμβάνει ελέγχους που εξασφαλίζουν την ικανοποίηση των αποφάσεων.

Ο ποιοτικός έλεγχος αποτελεί σημαντικό κομμάτι της κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (πχ. φωτοβολταϊκού πάρκου) και αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό τομέα για τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ακόμα και πολύ μικρά ελαττώματα κατά την κατασκευή μπορεί τελικά να προκαλέσουν απαιτήσεις τέτοιες που η ανακατασκευή να είναι αναγκαία. Το αποτέλεσμα είναι αυξημένο κόστος και καθυστερήσεις. Στην χειρότερη των περιπτώσεων αστοχίες των υλικών μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα στο προσωπικό και ανεπανόρθωτες ζημιές σε άψυχο υλικό. Εξαιτίας των παραγόντων αυτών έχουμε έμμεσα κόστη ασφάλισης, επίβλεψης και κανονισμών που αυξάνονται σημαντικά.

### **3.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

Οι εμπλεκόμενοι με τους ελέγχους είτε αυτοί αναφέρονταν σε παραγωγικές διαδικασίες, είτε αναφέρονταν σε διαδικασίες προσέγγισης και εξυπηρέτησης των πελατών, γίνονταν πάντα χωρίς την ακολουθία συγκεκριμένων αρχών. Ουσιαστικά γίνονταν μηχανικά από τους εργαζόμενους που είχαν μεγαλύτερη πείρα στο αντικείμενο. Σήμερα αυτό δεν αρκεί, ουσιαστικά οι ελεγκτές θα πρέπει να εκπαιδευτούν και να εξειδικευτούν, ώστε όχι μόνο να ελέγχουν αλλά και να επεμβαίνουν διορθωτικά στα όποια προβλήματα, εφαρμόζοντας οργανωμένες και εξειδικευμένες λύσεις. Η εκπαίδευση του ελεγκτικού προσωπικού είναι απαραίτητη σ' όλα τα επίπεδα ενός οργανισμού. Οι αρχές της εκπαίδευσης βασίζονται στις αρχές της ποιότητας.

Την ανάγκη για καθορισμό συγκεκριμένων στάνταρ ελέγχου των προϊόντων και διαχωρισμού των ελαττωματικών από τη λοιπή παραγωγή. Το συγκεκριμένο σημείο σχετίζεται με τη γενικότερη ανάγκη για εκπαίδευση, στο εσωτερικό μιας επιχείρησης. Τα στάνταρτ ελέγχου των προϊόντων και των υπηρεσιών, λειτουργούν ως πρότυπα τα οποία οφείλουν ν' ακολουθούν και οι εργαζόμενοι αλλά και οι ελεγκτές τους.

Η ανάθεση αρμοδιοτήτων ελέγχου σε ικανούς εργάτες. Διαχωρισμός ικανών από λοιπούς εργάτες, δεν αρκεί. Οι ικανοί και έμπειροι εργάτες θα πρέπει να ακολουθούν συγκεκριμένες αρχές,



τις οποίες θα ορίσει η επιχείρηση, ορίζοντας συγκεκριμένα στάνταρτ τα οποία θα πρέπει οι τελευταίοι ν' ακολουθήσουν.

Τα παραπάνω θέματα γέννησαν την ανάγκη για την ίδρυση ειδικού τμήματος ελέγχου ποιότητας, με τοποθέτηση προϊστάμενου ελέγχου ο οποίος έδινε καθημερινή αναφορά στον υπεύθυνο παραγωγής. Με τη δημιουργία του νέου αυτού τμήματος, αναπτύχθηκαν νέες λειτουργίες όπως καθορισμός μεταβλητών ποιότητας, εκπαίδευση, αποθήκευση και ιστορικό λεπτομερειών παραγωγής, έλεγχος μηχανημάτων. Αυτό το πρώτο τμήμα ελέγχου ποιότητας, ήταν ιστορικά το πρώτο που εστίασε στις αρχές της διοίκησης ολικής ποιότητας.

### **3.2.1 Ποιότητα κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Ο ποιοτικός έλεγχος αποτελεί σημαντικό κομμάτι της κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (πχ. φωτοβολταϊκού πάρκου) και αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό τομέα για τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ακόμα και πολύ μικρά ελαττώματα κατά την κατασκευή μπορεί τελικά να προκαλέσουν απαιτήσεις τέτοιες που η ανακατασκευή να είναι αναγκαία. Το αποτέλεσμα είναι αυξημένο κόστος και καθυστερήσεις. Στην χειρότερη των περιπτώσεων αστοχίες των υλικών μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα στο προσωπικό και ανεπανόρθωτες ζημιές σε άψυχο υλικό. Εξαιτίας των παραγόντων αυτών έχουμε έμμεσα κόστη ασφάλισης, επίβλεψης και κανονισμών που αυξάνονται σημαντικά.

Μια σωστή εταιρεία προσπαθεί και διασφαλίζει ότι η εργασία θα γίνει σωστά και όλα τα παραπάνω θα αποφευχθούν. Οι σημαντικές αποφάσεις που σχετίζονται με την ποιότητα της κατασκευής λαμβάνονται κατά το σχεδιασμό του συστήματος παρά κατά την κατασκευή. Κατά την μελέτη θα ληφθούν αποφάσεις για το σχεδιασμό των στοιχείων του συστήματος, τα υλικά και τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού.

Ο ποιοτικός σχεδιασμός πρέπει να είναι καθαρός, τεκμηριωμένος και αποτέλεσμα προσεκτικής μελέτης κάθε εφαρμογής. Σίγουρα βασίζεται στο επίπεδο μόρφωσης, ετοιμότητας και συνεργασίας των μελετητών αλλά και των μηχανικών που θα την πραγματοποιήσουν. Σε κάθε περίπτωση όμως, η συνεχής προσπάθεια, η ενημέρωση για τις νέες τεχνολογίες και διαδικασίες είναι βασικά στοιχεία για την επίτευξη ενός ποιοτικού συστήματος άρτια δομημένου και σωστά εφαρμοσμένο.

### 3.3 ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι φυσικοί παράμετροι και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός επίγειου φωτοβολταϊκού πάρκου που είναι απευθείας διασυνδεδεμένο στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. είναι τα εξής :

- Η θέση και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του πάρκου.
- Η μορφολογία του εδάφους του (ανάγλυφο, φυσικά εμπόδια).
- Η ισχύς του πάρκου.
- Ο τύπος των συλλεκτών (ισχύς, τάση και ένταση εξόδου, διαστάσεις).
- Ο τύπος των μετατροπέων (inverter), δηλαδή η ισχύς και η τάση εισόδου –εξόδου τους. • Οι αγωγοί μεταφοράς της ισχύος.
- Τα έργα υποδομής.

#### 3.3.1 Η ισχύς του πάρκου

Ο σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού πάρκου όπως και κάθε σχεδιασμός τεχνικού έργου προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Μέγεθος καθοριστικό για να ξεκινήσει η σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται ανάλογα με την περίπτωση από τα παρακάτω κριτήρια:

- Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Στην περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη, εμπίπτουν κυρίως οι ανεξάρτητοι παραγωγοί, με απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα

- Κριτήρια με βάση τη διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του πάρκου είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει αν “καλύψουμε” πλήρως με συλλέκτες τη 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.
- Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που απορρέει από συγκεκριμένες απαιτήσεις κατανάλωσης (αυτόνομα συστήματα μη διασυνδεδεμένα, είτε ανεξάρτητοι παραγωγοί όπως στο πρώτο κριτήριο). Το μειονέκτημα του αυτόνομου συστήματος χωρίς συσσωρευτή είναι ότι δεν αξιοποιεί την ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα που δεν ισχύει με το απευθείας διασυνδεδεμένο σύστημα.

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, αν  $Q$  το ποσό της επένδυσης και  $q$  το κόστος ανά KW εγκατεστημένης ισχύος, τότε η ισχύς του πάρκου ( $P$ ) θα είναι:

$$P = Q / q \text{ (kW)}$$

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 ( $E$ ):

$$E = P \times t \text{ (kWh)}$$

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 Φ/Β 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 σαν συνεισφορά σε συνολικότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

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 Φ/Β 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 ακριβής ο υπολογισμός του Φ/Β πάρκου.



25. Εικόνα : Φωτοβολταϊκό πάρκο

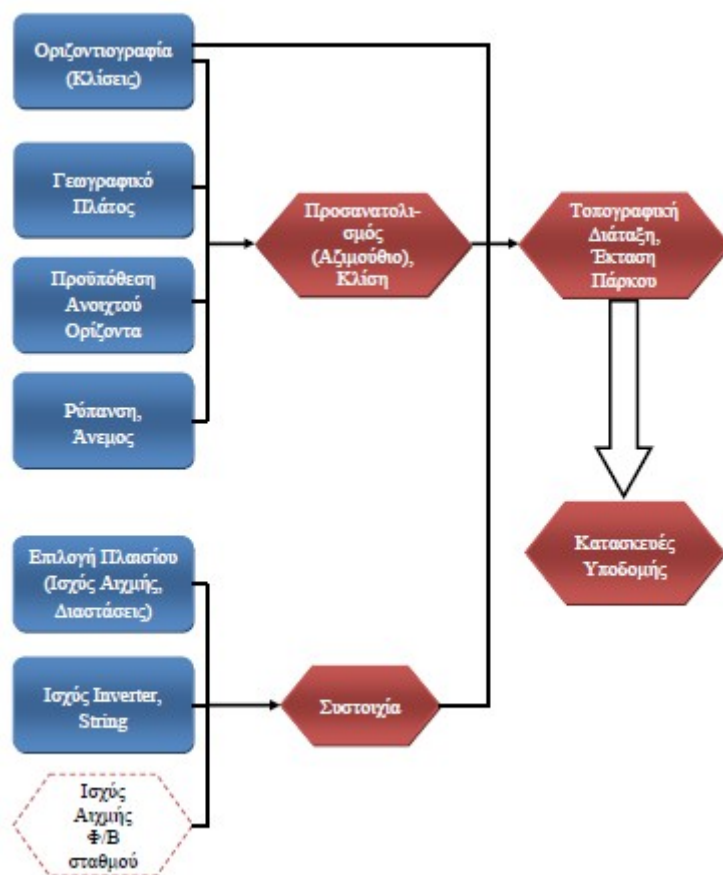
### **3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 3 ΜWp**

Ο σχεδιασμός του Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Βασικό μέγεθος για τη σχεδίαση του Φ/Β σταθμού αποτελεί η ισχύς, η οποία αναλόγως την περίπτωση καθορίζεται από τα κριτήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο συγκεκριμένος Φ/Β σταθμός με ονομαστική ισχύ περίπου 3 Μw<sub>p</sub>, καλύπτει τις ανάγκες ενός σύγχρονου ποδοσφαιρικού γηπέδου χωρητικότητας περίπου 35.000 θέσεων στον ελλαδικό χώρο. Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδος, διαφοροποιείται σε 7 ζώνες ανάλογα με την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται. Η πόλη που θα επιλέξω είναι η Αθήνα. Όσον αφορά την κλίση των συστοιχιών θα εξεταστεί το ηλιακό δυναμικό με σταθερή ετήσια κλίση 3° σε αμετακίνητες βάσεις στήριξης.

Δε θα εξεταστεί η περίπτωση όπου θα έχουμε ένα σύστημα με κινούμενες συστοιχίες οι οποίες θα ακολουθούν τη φορά (ακτίνες) του ήλιου για λόγους ταχύτητας ολοκλήρωσης του έργου, συντήρησής του και λόγω μεγάλης οικονομικής επιβάρυνσης. Το γήπεδο με το οποίο θα ασχοληθώ βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στην περιοχή δεν υπάρχουν σε κοντινή απόσταση κτίρια ή κάποιο ψηλό βουνό ή κάποιο άλλο εμπόδιο, που θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα σκίασης. Το υπάρχον στέγαστρο όπου θα τοποθετηθούν οι φ/β συστοιχίες έχει εμβαδόν 22.016m<sup>2</sup>. Σύμφωνα με τη μελέτη οι προδιαγραφές τις στέγης καλύπτουν τις ανάγκες του Φ/Β σταθμού που θα τοποθετηθεί με αποτέλεσμα να έχουμε ταχύτερη απόσβεση της επένδυσης και μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους. Η κλίση της θα προσαρμοστεί με νότιο προσανατολισμό 3ο χωρίς απώλειες. Η πρόσβαση στο δίκτυο είναι άμεση γεγονός που δεν δικαιολογεί περαιτέρω κόστος διασύνδεσης.

#### **3.4.1 Αλγόριθμος Υπολογισμού Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

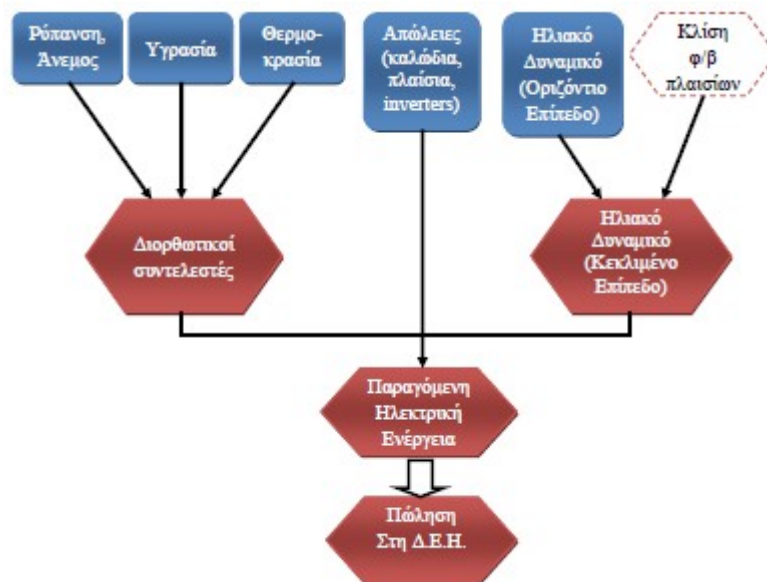
Για να προσδιοριστεί η τοπογραφική διάταξη και η έκταση ενός Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που θα κρίνουν και την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν αρκετοί παράγοντες. Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα τα κύρια μεγέθη που το καθορίζουν είναι ο προσανατολισμός και η κλίση που θα έχουν οι ηλιακοί συλλέκτες καθώς επίσης και η συνδεσμολογία της συστοιχίας που και αυτή με τη σειρά της καθορίζεται από την επιλογή πλαισίου, αντιστροφέα και την ισχύ της εγκατάστασης



26. Εικόνα : Αλγόριθμος υπολογισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

### 3.4.2 Αλγόριθμος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/Β Σταθμού

Το απαραίτητο ζητούμενο για κάθε εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εξασφάλιση του όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ολοφάνερο είναι ότι σε μία Φ/Β εγκατάσταση τον πρωταρχικό ρόλο τον διαδραματίζει το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό της περιοχής. Ακολούθως σημαντική είναι κι η συνεισφορά της Φ/Β γεννήτριας στην καλή απόδοση του συστήματος. Συνεπώς λαμβάνονται υπ' όψιν οι αποδόσεις των πλαισίων των αντιστροφών, οι απώλειες των καλωδίων κτλ. Τέλος δεν πρέπει να παραληφθούν διάφοροι διορθωτικοί συντελεστές όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο άνεμος και η ρύπανση.



27. Εικόνα : Αλγόριθμος υπολογισμού παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β σταθμού

### 3.5 ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Οι βασικές συσκευές από τις οποίες αποτελείται μία Φ/Β γεννήτρια είναι:

- Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Η συσκευή παραλληλισμού των στοιχειοσειρών
- Οι αντιστροφείς
- Βάση στήριξης συστοιχίας

#### 3.5.1 Επιλογή Φ/Β πλαισίων

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Το πλήθος των κατασκευαστικών εταιριών και πλαισίων δυσκολεύουν ακόμη περισσότερο την επιλογή.

Οι παράγοντες σύμφωνα με τους οποίους έγινε η επιλογή ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοση τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να παρθεί είχε να κάνει με την επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του. Αμέσως η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές, δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφωρες.

Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών πλαισίων είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξης του 10-15% ακριβότερα. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τα πολυκρυσταλλικά. Όμως εύκολα διαπιστώνεται ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζεται με το κόστος αγοράς τους.

Από την άποψη της ισχύος συμφέρει η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με μεγάλη ισχύ αντί πολλών πλαισίων με μικρότερη ισχύ ειδικά για μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις, που λειτουργούν ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα πλαίσια δουλεύονται πιο εύκολα στην εγκατάστασή τους, απαιτούνται λιγότερες συνδέσεις και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο. Επίσης το κόστος ανά Wp μειώνεται ελαφρά με την αύξηση της ισχύος ενός πλαισίου.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η επιλογή του Φ/Β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Επίσης οι διαστάσεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του σημαντικό ρόλο έχουν τα μεγέθη της τάσης και της έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση του ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνδεδεμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

Τα κριτήρια με βάση τα οποία θα μπορέσουμε να καταλήξουμε στην επιλογή του αντίστοιχου Φ/Β πλαισίου είναι τα εξής:

1. Η απόδοση σε χαμηλή ακτινοβολία (XA)
2. Η συμπεριφορά σε διάφορες θερμοκρασίες και
3. Ο βαθμός απόδοσης των πλαισίων

1. Η απόδοση σε χαμηλή ακτινοβολία (XA)



Όταν μιλάμε για χαμηλή ακτινοβολία ΧΑ εννοούμε:

- Χαμηλή ένταση του φωτός, πολύ κάτω από STC (1000W/m<sup>2</sup>)
- Μετρήσεις παραγωγής σε βήματα των 200W/m<sup>2</sup>
- Μετρήσεις σε άσχημες καιρικές συνθήκες, νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα
- Η απόδοση εξαρτάται από τον συντελεστή μετατροπής (FF)

Ο συντελεστής μετατροπής FF είναι:

- Χαρακτηριστικό της ποιότητας της κυψέλης
- Με την αύξηση του FF αυξάνεται και η απόδοση του πλαισίου
- Η βέλτιστη τιμή θα ήταν FF=1, αυτό όμως είναι τεχνικά αδύνατο

Ο τρόπος υπολογισμού του FF (Full Factor) είναι ο εξής:

$$\text{Full Factor: FF} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{OC} \cdot I_{OC}}$$

Οπότε έχουμε:



Ο FF σε διάχυτη, χαμηλή ακτινοβολία είναι σημαντικός διότι σε ετήσια βάση παίζει μεγάλο ρόλο για την τελική απόδοση του Φ/Β συστήματος.

2. Η σημαντική σε διάφορες θερμοκρασίες

Όταν μιλάμε για συμπεριφορά σε διάφορες θερμοκρασίες εννοούμε:

- Αλλαγή της έντασης ρεύματος και της τάσης σε αλλαγές θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- Παρατηρούμε πτώση τάσης με την αύξηση της θερμοκρασίας
- Παρατηρούμε αύξηση της έντασης του ρεύματος με την αύξηση της θερμοκρασίας
- Η τάση αλλάζει 10 φορές γρηγορότερα από την ένταση ρεύματος σε αλλαγές θερμοκρασιών γεγονός που συνεπάγεται υψηλότερη μείωση τάσης σε αύξηση της θερμοκρασίας
- Ο θερμοκρασιακός συντελεστής επηρεάζει την συμπεριφορά του πλαισίου

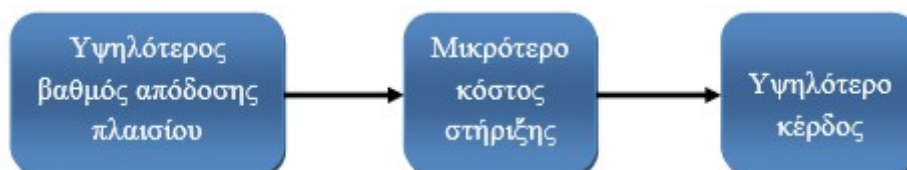
Οπότε έχουμε:



Ο θερμοκρασιακός συντελεστής είναι πολύ σημαντικός καθώς σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η απόδοση των πλαισίων.

### 3. Ο βαθμός απόδοσης των πλαισίων

Όταν μιλάμε για τον βαθμό απόδοσης εννοούμε το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Οπότε έχουμε:



### 3.5.2 Συσσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών (combiner box)

Πριν οδηγηθούν στην είσοδο του αντιστροφέα οι στοιχειοσειρές μια συστοιχίας είναι απαραίτητο να παραλληλιστούν. Η συσκευή παραλληλισμού (Σχήμα 3.7) είναι ουσιαστικά ένας πίνακας DC ο οποίος φέρει όλες τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας και παρακολούθησης των ηλεκτρικών παραμέτρων τους. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης της σε τοπικό δίκτυο για παρακολούθηση των στοιχειοσειρών μέσω Internet.



28. *Εικόνα : Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών Sunny StringMonitor*

### 3.5.3 Επιλογή αντιστροφέα

Το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης είναι η επιλογή των αντιστροφέων. Αν η επιλογή γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε θα οδηγηθούμε στην επιλογή αντιστροφέων μεγάλης ισχύος γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του συστήματος πολύ μικρή. Θα πρέπει να γίνει μια σωστή επιλογή του αντιστροφέα καθώς δεν είναι δυνατόν μια τέτοια διάταξη να υποστηριχθεί και μόνο από ένα αντιστροφέα, αυτό θα ήταν καταστροφικό για το σύστημα μας αφού σε οποιαδήποτε περίπτωση βλάβης θα υπήρχε ο κίνδυνος να αποκοπής όλου του συστήματος. Ο τύπος του αντιστροφέα για απευθείας διασύνδεση με το δίκτυο είναι συγκεκριμένος και με εξειδικευμένες διατάξεις. Για την λειτουργία του προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο.

Επίσης θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ονομαστική τάση του αντιστροφέα σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να ταυτίζεται με την ισχύ αιχμής των Φ/Β πλαισίων στην είσοδο του. Αυτό θα ήταν λάθος καθώς τα Φ/Β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής κάτω από ιδανικές συνθήκες πράγμα το οποίο δύσκολα θα συμβεί ή ακόμη κι αν αυτό παρατηρηθεί θα γίνει για μικρό χρονικό διάστημα. Ακόμη και οι εταιρίες παραγωγής αντιστροφέων συνιστούν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη

από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Σε αντίθετη περίπτωση θα είχαμε μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνταν περισσότεροι αντιστροφέες για την υλοποίηση της ίδιας Φ/Β εγκατάστασης, από την στιγμή που δεν θα απέδιδαν σωστά οι υπάρχον αντιστροφέες.

Η ισχύς πρέπει να συνδυάζει πολλούς παραμέτρους. Για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο εξετάστηκαν τα προϊόντα των μεγαλύτερων εταιριών στον χώρο. Κάνοντας μια εκτεταμένη έρευνα αγοράς σε κορυφαίες εταιρίες κατασκευής Φ/Β προϊόντων και λαμβάνοντας υπ' όψιν τόσο τις προδιαγραφές των αντιστροφέντων όσον αφορά την καλύτερη αποδοτικότητα του συστήματος, όσο και το κόστος αυτών, κατέληξα στη πιο συμφέρουσα οικονομικά άλλα και στην πιο κατάλληλη για το Φ/Β πάρκο που θέλω να κατασκευάσω, αυτή της SMA. Η εταιρία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στον χώρο των αντιστροφέντων για Φ/Β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία και όσον αφορά την αξιοπιστία αλλά και την απόδοση τους.

Το πρώτο κριτήριο με βάση το οποίο θα επιλεγεί ο κατάλληλος αντιστροφέας έχει να κάνει κυρίως με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συνδυάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και της ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 3MW, η ισχύς των αντιστροφέντων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή. Αναλύονται οι διάφορες υλοποιήσεις που μπορούν να προκύψουν χρησιμοποιώντας τους αντιστροφέες της SMA της σειράς SUNNY CENTRAL. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν είναι τα : Sunny Central 1000MV και Sunny Central 720 CP.

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πλήθους των αντιστροφέντων σε κάθε περίπτωση. Εξετάζοντας τον αντιστροφέα Sunny Central 1000 MV παρατηρούμε ότι η ισχύς στην έξοδο είναι 1000kVA δηλαδή χρειαζόμαστε 3 αντιστροφέες οι οποίοι θα δέχονται στην είσοδο 1000kVA ( $3.000.000\text{Wp}/3=1.000.000\text{Wp}$ ). Αντίστοιχα για τον αντιστροφέα Sunny Central 720 CP θα χρειαστούμε 4 αντιστροφέες που θα δέχονται στην είσοδο τους 720kVA και όχι 5 καθώς αν επιλέγαμε τόσους θα ξεφεύγαμε κατά πολύ από την ισχύ που θέλουμε. Αν επιλέξουμε με βάση το κόστος σίγουρα ο δεύτερος είναι φθηνότερος αφού έχουμε λιγότερα kW ενώ ταυτόχρονα μπορούμε να καλύψουμε την εγκατάσταση μας, και ύστερα από μια έρευνα αγοράς που έκανα το κόστος του δεύτερου αντιστροφέα είναι μικρότερο από του πρώτου, αλλά επίσης θα πρέπει να εξεταστεί και με βάση την απόδοση και την συμβατότητα του με τα αντίστοιχα πλαίσια. Παρατηρώντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά και το κόστος συμπεράνουμε ότι καταλληλότερος αντιστροφέας είναι ο Sunny Central 720 CP (Σχήμα 3.8) καθώς και είναι πιο φθηνός αλλά και μπορεί να συνδυαστεί με το Φ/Β πλαίσιο που επιλέξαμε προσφέροντας μας υψηλό βαθμό απόδοσης. Επίσης ο μετατροπέας που επιλέξαμε λειτουργεί πιο αποδοτικά συνδυασμένος με το συγκεκριμένο πλαίσιο από τι θα λειτουργούσε ο Sunny Central 1000 MV.



29. Εικόνα : Sunny Central 720 CP

### 3.5.4 Βάση στήριξης συστοιχίας

Οι βάσεις στήριξης συγκαταλέγονται στα έργα υποδομής ενός Φ/Β σταθμού. Η κατασκευή τους πρέπει να είναι ανθεκτική τόσο στο βάρος των πλαισίων, των καλωδίων διασύνδεσης και πολλές φορές και μικρών αντιστροφών, όσο και στις αντίξοες καιρικές συνθήκες που μπορεί να επικρατούν στην περιοχή. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται είναι κυρίως γαλβανισμένο ατσάλι (για αποτροπή σκουριάς) ή αλουμινίου. Το πλεονέκτημα του αλουμινίου, αν και πιο ακριβό, είναι ότι είναι πιο ελαφρύ και εύκολο στην επεξεργασία.

Μία βάση στήριξης διαστασιολογείται με τέτοιο τρόπο ώστε τα πλαίσια να μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε οριζόντια είτε σε κατακόρυφη διάταξη. Η έλλειψη ηλεκτρομηχανολογικών μερών προσδίδει στη διάταξη μηχανική αντοχή και αξιοπιστία κατά την λειτουργία της. Παρόλα αυτά, με μικρές παρεμβάσεις μπορούμε να τη μετατρέψουμε σε βάση με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης αυξάνοντας έτσι την απόδοση της Φ/Β γεννήτριας.

Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα κατασκευής συστοιχιών οι οποίες παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου όλη την διάρκεια της ημέρας. Έχουν την δυνατότητα περιστροφής γύρω από έναν ή δύο άξονες με αποτέλεσμα η ακτινοβολία να προσπίπτει πάντα κάθετα πάνω στα πλαίσια. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται η χρήση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και αισθητήρων. Αν και η απόδοση μιας κινητής διάταξης εκτιμάται ότι είναι 20% με 25% μεγαλύτερη, στην πράξη σπάνια επιλέγεται ως λύση. Τόσο η κατανάλωση ενέργειας από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό αλλά και οι

αυξημένες βλάβες και κατά συνέπεια το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης καθιστούν τη λύση αυτή πρακτικά ασύμφορη σε βάθος χρόνου.

Οι βάσεις στήριξης που θα τοποθετηθούν θα μπουν επάνω στο στέγαστρο του γηπέδου που θα κατασκευάσει ο στατικός μηχανικός και θα είναι από αλουμίνιο για την αποφυγή της σκουριάς. Παρόλο το αυξημένο κόστος του αλουμινίου σε σχέση με το γαλβανισμένο ατσάλι, επιλέγεται αυτό καθώς είναι πιο ελαφρύ και πολύ πιο εύκολο στην επεξεργασία του. Θα αποτελείται από τα εξής τεχνικά μέρη:

- Ντιζοστρίφωνο για μεταλλικές τεγίδες που βοηθάει στην ασφαλή σύνδεση των μεταλλικών κατασκευών με το σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων,



30. Εικόνα : Ντιζοστρίφωνο για μεταλλικές τεγίδες

- Σωληνωτός Αποστάτης όπου προσφέρει περαιτέρω στήριξη στο ντιζοστρίφωνο μεταλλικών τεγίδων,



31. Εικόνα : Σωληνωτός αποστάτης

- Αυτοδιάτρητη βίδα σύνδεσης για την ασφαλή σύνδεση των συνδετήρων καναλιού με τα κανάλια στερέωσης,



32. Εικόνα : Αυτοδιάτρητη βίδα

- Σφικτήρας καναλιών για γρήγορη και εύκολη στερέωση των καναλιών,



33. Εικόνα : Σφικτήρας καναλιών

- Αυτοκόλλητη ταινία για επιπλέον μόνωση και προστασία της επιφάνειας της στέγης,



34. Εικόνα : Αυτοκόλλητη ταινία

- Κανάλια βάσης για την γεφύρωση διαφόρων ανοιγμάτων,



35. Εικόνα : Κανάλια βάσης

- Γέφυρα για την στερέωση συστημάτων στήριξης Φ/Β πλαισίων σε στέγαστρο με

πάνελ πολυουρεθάνης ή κυματοειδή φύλλα ελλενίτ όπως θα είναι το στέγαστρο στην μελέτη μας,



36. Εικόνα : Γέφυρα

- Συνδετήρες καναλιών βάσης για τη σύνδεση καναλιών βάσης και για κενά διαστήματα διαστολής,



37. Εικόνα : Συνδετήρες καναλιών βάσης

- Διαμήκη κανάλια για τη στήριξη Φ/Β πλαισίων με πλαίσιο,



38. Εικόνα: Διαμήκη κανάλια

- Συνδετήρες διαμηκών καναλιών για τη σύνδεση διαμηκών καναλιών και για κενά



διαστήματα διαστολής,



39. Εικόνα : Συνδεδημένες διαμηκών καναλιών

## 3.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 3.6.1 Προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται η 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, συμπεραίνεται 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.

Στην πλειονότητα των Φ/Β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, λόγω του κόστους που θα επέτρεπε την κίνηση 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.

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 με την

αζιμούθια γωνία ( $\gamma$ ) να 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  $30^\circ$ .

### 3.6.2 Προβλήματα σκιασμών

Η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός Φ/Β συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη σκιασμών οι οποίοι επιδρούν στην απόδοση των Φ/Β πλαισίων. Με δεδομένο 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 αντιληπτό ότι ακόμα και ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Επιπρόσθετα, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας είναι δυνατόν να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Επομένως, έχει μεγάλη σημασία να αποφεύγονται οι σκιασμοί ακόμα και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια και ακόμα περισσότερο από δέντρα, παρακείμενα κτίρια κλπ.

Κατά την επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχουν 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 (πχ. σκίαση από παρακείμενα κτίρια, κολώνες, στηθαίο κλπ) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 9:00 έως 15:00) τότε η θέση της εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη. Τέλος, για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτιρίων. Έτσι, 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.

### 3.6.3 Στατική μελέτη και υλικά στήριξης

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 και ο συνδυασμός τους, μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας, προδιαγράφονται στους Ευρωκώδικες, παράλληλα με επιρόσθητους ελέγχους, όπως για το σύνολο των δομικών κατασκευών. Για τη στατική επάρκεια του συστήματος καθ'αυτού, μπορεί να ζητείται αντίστοιχο πιστοποιητικό από τον προμηθευτή. Ο εγκαταστάτης θα πρέπει να έχει υπόψη του την διαφοροποίηση των συστημάτων στήριξης και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που το διέπουν, συμπεριλαμβανομένων της ευκολίας εγκατάστασης, της αξιοπιστίας και των λειτουργικών στοιχείων ( όπως η δυνατότητα ή όχι φυσικού αερισμού του πλαισίου).

Ο σχεδιασμός ενός τεχνικού έργου από καταβολής κόσμου ήταν ένα σύνθετο, με πολλές παραμέτρους πρόβλημα, με τη διαφορά ότι έγινε κοινή συνείδηση τις τελευταίες δεκαετίες του αιώνα που πέρασε. Η λύση πολλών προβλημάτων χωρίς να προϋδεάζει 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, χρήζουν π.χ. σε μια επένδυση Α.Π.Ε., η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία – ενέργεια ανά  $m^2$  επιφάνειας. Ειδικά στα Φ/Β συστήματα, η χρονική διάρκεια ενός έτους είναι μέγεθος αναφοράς, γιατί αποτελεί την περίοδο (T) της σχετικής κίνησης ηλίου-γης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

# ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

## 4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

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

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος  $P_{\text{mmp}}$  προς το γινόμενο της επιφάνειας  $A$  του φωτοβολταϊκού στοιχείου και της έντασης ακτινοβολίας  $G$  μας δίνει τον βαθμό απόδοσης.

$$\eta = \frac{P_{\text{mmp}}}{AG} = \frac{I_{\text{mmp}} V_{\text{mmp}}}{AG} = \frac{FFI_{\text{sc}} V_{\text{oc}}}{AG}$$

Η απόδοση αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική απόδοση  $\eta_{\text{max,th}}$ , που δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{\max,th} = \frac{\phi(E_g)V_m}{\phi E_\mu}$$

όπου  $\phi(E_g)$  είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού,  $\phi$  είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και  $E_\mu$  είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας.

Στην ηλιακή ακτινοβολία, περίπου τα 2/3 των φωτονίων έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου (1,1eV). Επίσης, η  $V_m$  των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου ίση με το 1/3 της  $E_\mu$  της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως βρίσκουμε πρόχειρα ότι η μέγιστη θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου :

$$\eta = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = 22\%$$

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση της ακτινοβολίας. Δηλαδή, μια δέσμη ακτινοβολίας θα προκαλέσει σε ένα στοιχείο την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με μια άλλη ίσης ισχύος αλλά πλουσιότερη σε φωτόνια με ευνοϊκότερη ενέργεια για τον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο.

## 4.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

### 4.2.1 Γενικά

Για να λειτουργήσουν οι φωτοβολταϊκές συσκευές επιτυχώς κατά τη διάρκεια μιας αναμενόμενης διάρκειας ζωής τριάντα ετών, απαιτείται έρευνα σε όλες τις πτυχές αυτών των συσκευών. Οι εκτιμήσεις ισχύος των φωτοβολταϊκών συσκευών δεν δίνουν συνήθως μια ακριβή ένδειξη της υπαίθριας απόδοσής τους. Τα αποτελέσματα ερευνών, επίσης, έδειξαν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μέχρι και μείωση 18% της πιθανής

ισχύος των υπομονάδων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να είναι είτε εσωτερικοί είτε εξωτερικοί. Εσωτερικοί είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου  $R_s$ , οι οπτικές απώλειες, η γήρανση, η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και η δίοδος αντεπιστροφής ενώ εξωτερικοί είναι η ακτινοβολία, η σκίαση, η θερμοκρασία, ο άνεμος, η ρύπανση και οι ηλεκτρικές απώλειες.

#### **4.2.2 Η αντίσταση $R_s$**

Η αντίσταση  $R_s$  είναι ένας σημαντικός παράγοντας που παίζει ρόλο στο βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ της όψης του στοιχείου και της ένωσης p-n τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίσταση άρα και οι απώλειες ισχύος. Οπότε για να έχουμε καλύτερο βαθμό απόδοσης πρέπει να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη  $R_s$ .

#### **4.2.3 Η γήρανση**

Λόγω της φθοράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και των υπόλοιπων μερών που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό σύστημα αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 1% ως 2% για κάθε έτος

#### **4.2.4 Οι οπτικές απώλειες**

Με τον όρο οπτικές απώλειες εννοούμε τη διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου (υαλοπίνακας, αντανακλαστικό επίστρωμα, υλικό φωτοβολταϊκών στοιχείων) σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC (Standard Testing Conditions). Η ανακλαστικότητα του οπτικού συστήματος όψεως του φωτοβολταϊκού πλαισίου, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς, αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνειά του, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των 60°.

Επίσης, οπτικές απώλειες έχουμε και με τη διαφοροποίηση του φάσματος της ακτινοβολίας. Καθώς το A.M=1.5 ηλιακό φάσμα που καθορίζεται από τις STC, χρησιμοποιείται ως αναφορά για

τις προδιαγραφές απόδοσης των πλαισίων, η ετήσια παραγωγή του πλαισίου θεωρείται σχετικά ανεξάρτητη από τις μεταβολές του ηλιακού φάσματος γιατί οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξαλείφονται κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση. Αυτά όσον αφορά φωτοβολταϊκά ευρείας φασματικής περιοχής. Για φωτοβολταϊκά στενής φασματικής περιοχής οι ετήσιες απώλειες είναι σημαντικότερες.

Επιπλέον, υπάρχουν απώλειες λόγω διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η μέση ετήσια επίδραση του παράγοντα αυτού προσδιορίζεται γύρω στο 2%. Τέλος, οπτικές απώλειες παρατηρούνται και λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του ηλιακού στοιχείου μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα κάτω από την τιμή των 200 W/m<sup>2</sup>. Οι οπτικές απώλειες, αποδεικνύονται μικρής σημασίας για εμπορικά πλαίσια καλής ποιότητας. Σε άλλες όμως περιπτώσεις οι ενεργειακές αυτές απώλειες αποδεικνύονται σχετικά σημαντικές και γενικά υπολογίζονται σε 3%, κατά μέσο όρο στο έτος.

#### **4.2.5 Η χωροταξική τοποθέτηση**

Η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταξύ τους έχει σημασία αφού όσο πιο πυκνά είναι τοποθετημένα μεταξύ τους τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής κάλυψης  $\sigma_k$  του πλαισίου, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

#### **4.2.6 Η δίοδος αντεπιστροφής**

Η δίοδος αντεπιστροφής εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όταν αυτό δε φωτίζεται και προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξης του 1%. Ο συντελεστής απωλειών της διόδου αντεπιστροφής είναι  $\sigma_s=0,99$ .

#### **4.2.7 Η ακτινοβολία**

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε ετήσια βάση, είναι άμεσα

συνδεδεμένη με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου, εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση εγκατάστασης του συστήματος. Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός συλλέκτη είναι με τη σειρά της άμεσα εξαρτώμενη από τον προσανατολισμό του πλαισίου ως προς τον ήλιο. Για μεγαλύτερα λαμβανόμενα ποσά της ηλιακής ενέργειας, τα πλαίσια πρέπει να προσανατολίζονται κατάλληλα και να είναι τοποθετημένα στη βέλτιστη γωνία κλίσης εφόσον δεν χρησιμοποιούνται στρεφόμενες βάσεις ενός ή δύο αξόνων. Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ.

#### 4.2.8 Η σκίαση

Ένας άλλος παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κλπ, είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης όπως για παράδειγμα στις στέγες κτηρίων όπου προκαλείται σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές και για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία ίδιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη ενός και μόνο φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Ένα σκιασμένο στοιχείο, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η απλή δίοδος p-n, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τα υπόλοιπα υγιή φωτοβολταϊκά στοιχεία μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου αριθμού, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της. Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο Hot Spot (κατάσταση “θερμής κηλίδας”).

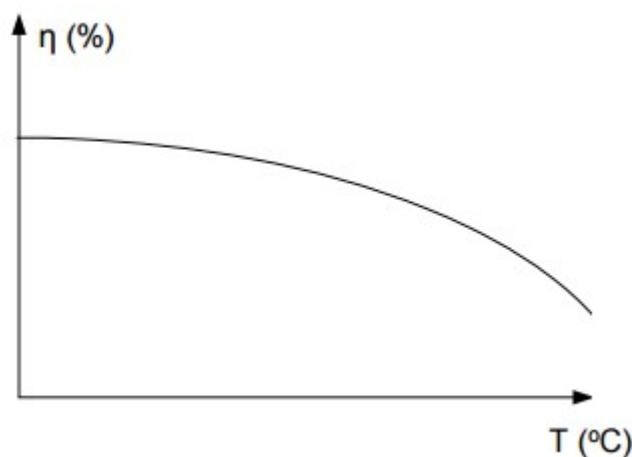
Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (διόδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυττάρων που είναι



συνδεδεμένα σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο φωτοβολταϊκό στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί. Ο συγκεκριμένος παράγοντας θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

#### 4.2.9 Η θερμοκρασία

Συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της  $V_{oc}$  και του FF. Παράλληλα μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



**Χαρακτηριστική η-T 1 : Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία**

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σε μια δεδομένη θερμοκρασία (π.χ. 20°C) είναι  $\eta$ , η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία ( $\theta$ ) θα είναι :

$$\eta_{\theta} = \eta \cdot \sigma_{\theta}$$

όπου  $\sigma_{\theta}$  είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασίας διόρθωσης της απόδοσης. Στη δεδομένη θερμοκρασία, ο  $\sigma_{\theta}$  είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό

αύξησης θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.

#### 4.2.10 Ο άνεμος

Η ταχύτητα του ανέμου, μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της θερμοκρασίας του στοιχείου καθότι μεγάλες ταχύτητες, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Όταν οι άνεμοι είναι βόρειοι είναι συνήθως κρύοι, με αποτέλεσμα τα φωτοβολταϊκά να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές που θα λειτουργούσαν εάν υπήρχε άπνοια, υπό τα ίδια ποσοστά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αντίθετα συμβαίνει για θερμούς ανέμους.

#### 4.2.11 Η ρύπανση

Η ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να μειωθεί από ρύπανση της επιφάνειάς τους, από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση  $90^\circ$  (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον  $45^\circ$  για να μην συγκρατείται η σκόνη.

Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια βρίσκεται σε μία περιοχή που εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας  $\sigma_p$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι εντελώς καθαρή. Η τιμή του  $\sigma_p$  είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ.

#### 4.2.12 Οι ηλεκτρικές απώλειες

Πέρα από τους παραπάνω παράγοντες, πρέπει κατά το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, να προνοήσουμε για τις ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, μετατροπείς κλπ. Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φωτοβολταϊκών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης περίπου του 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

### 4.3 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το ποσοστό απόδοσης είναι ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Το ποσοστό απόδοσης περιγράφει με συγκεκριμένο τρόπο την αναλογία ανάμεσα στην πραγματική και τη θεωρητικά δυνατή ενεργειακή απόδοση. Είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από τη διάταξη μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, όπως και από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε αυτήν. Για το λόγο αυτό μπορεί κανείς με τη βοήθεια του ποσοστού απόδοσης να συγκρίνει φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο και βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία ανά τον κόσμο.

Το ποσοστό απόδοσης (performance ratio) είναι ένα μέγεθος για την ποιότητα μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανεξάρτητα από το σημείο τοποθέτησης της και για αυτό παίρνει συχνά το όνομα ποιοτικός συντελεστής. Το ποσοστό απόδοσης (ΠΑ) δίνεται επί τοις εκατό και περιγράφει την αναλογία ανάμεσα στην πραγματική και την ιδανική απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται το ποσοστό της ενέργειας που είναι πραγματικά διαθέσιμο για την τροφοδοσία μετά την αφαίρεση των ενεργειακών απωλειών (π.χ. λόγω απωλειών θερμότητας και απωλειών αγωγού) και της ιδιοκατανάλωσης για τη λειτουργία.

Όσο πιο κοντά στο 100 % βρίσκεται η τιμή του ποσοστού απόδοσης μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, τόσο πιο αποδοτικά δουλεύει η εγκατάσταση αυτή. Ωστόσο, μία τιμή της τάξης του 100 % δεν είναι πραγματικά δυνατή, επειδή κατά τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης υπάρχουν πάντα απώλειες που δεν μπορούν να αποφευχθούν (πχ. απώλειες θερμότητας εξαιτίας της θέρμανσης των φωτοβολταϊκών μονάδων). Παρόλα αυτά, το ποσοστό απόδοσης αποδοτικών

φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων φτάνει μέχρι και 80 %.

#### **4.3.1 Ποια είναι η λειτουργία του ποσοστού απόδοσης**

Το ποσοστό απόδοσης μας ενημερώνει για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την αξιοπιστία της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης.

Με το ποσοστό απόδοσης μπορούμε να συγκρίνουμε την απόδοση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με την απόδοση άλλων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ή να επιτηρούμε την κατάσταση μιας φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ωστόσο, κατά τον υπολογισμό του ποσοστού απόδοσης σε τακτικά και προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα δεν γίνεται λόγος για μία απόλυτη σύγκριση, αλλά για μία δυνατότητα ελέγχου πορείας και απόδοσης: κατά την έναρξη λειτουργίας μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και με την προϋπόθεση ότι σε εκείνη τη χρονική στιγμή η εγκατάσταση δουλεύει ιδανικά, εάν διασφαλίζεται το 100 % της τιμής εξόδου για το ποσοστό απόδοσης, τότε μέσω του υπολογισμού των υπόλοιπων τιμών ποσοστού απόδοσης μπορούν να ανιχνευτούν οι αποκλίσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου και να παρθούν έγκαιρα αντίμετρα. Επομένως, οι αποκλίσεις της τιμής του ποσοστού απόδοσης με τιμές κάτω από την κανονική περιοχή, σας δείχνουν από νωρίς μία πιθανή βλάβη της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης

#### **4.3.2 Πως υπολογίζεται το ποσοστό απόδοσης**

Για τον υπολογισμό του ποσοστού απόδοσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης χρειάζονται διάφορα μεγέθη. Ένα από αυτά είναι οι τιμές πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο σημείο τοποθέτησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Τις τιμές αυτές μπορούμε να τις πληροφορηθούμε μέσω μίας συσκευής μέτρησης, η οποία μετρά την ποσότητα ενέργειας για τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που προέρχεται από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Άλλα μεγέθη που χρειάζονται είναι η επιφάνεια μονάδας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών μονάδων. Ο βαθμός απόδοσης μονάδας υπάρχει στο φύλλο στοιχείων της φωτοβολταϊκής μονάδας.

### 4.3.3 Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το ποσοστό απόδοσης

Το ποσοστό απόδοσης είναι ένα απλό μέγεθος ορισμού, το οποίο θα μπορούσε να πάρει τιμές μεγαλύτερες του 100 % υπό την επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων. Ο λόγος για αυτό είναι ότι κατά τον υπολογισμό του ποσοστού απόδοσης χρησιμοποιούνται παράμετροι ισχύος για τις φωτοβολταϊκές μονάδες, οι οποίες προσδιορίζονται βάσει των συνθηκών των βασικών δοκιμών (πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας 1.000 W ανά τετραγωνικό μέτρο και θερμοκρασία μονάδας 25 βαθμοί Κελσίου). Επομένως, αποκλίνουσες συνθήκες κατά την πραγματική λειτουργία επηρεάζουν το ποσοστό απόδοσης.

Πέρα από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα αναφερθούν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των πλαισίων.

#### 4.3.3.1 Περισσότεροι παράγοντες

- Χρονικό διάστημα καταγραφής
- Απώλειες αγωγού
- Βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών μονάδων
- Βαθμός απόδοσης του μετατροπέα
- Διαφορετικές τεχνολογίες ηλιακών κυψελών στις φωτοβολταϊκές μονάδες και τη συσκευή μέτρησης
- Υποβιβασμός των ηλιακών κυψελών
- Διάταξη της συσκευής μέτρησης

(Σε περίπτωση που μία συσκευή μέτρησης είναι τμήμα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασής αλλά δεν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα προς τις φωτοβολταϊκές μονάδες της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, τότε εξαιτίας της διαφορετικής πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας οι τιμές του ποσοστού απόδοσης μπορεί να φτάσουν και πάνω από 100 %.)

## 4.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Ο βαθμός απόδοσης αναγράφεται πάντα στα τεχνικά φυλλάδια. Ωστόσο θα πρέπει να

γνωρίζει κανείς ότι κάθε αντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. Ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφέων εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση αντιστροφέων σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, όπου θα πρέπει να εξετάζεται, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Έτσι για υπέρ - διαστασιολογημένους αντιστροφείς (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), είναι πιθανό να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Από την άλλη πλευρά, αντιστροφείς που εμφανίζονται υπό- διαστασιολογημένοι σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή tracker) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$\eta_E = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%}$$

όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

### 5.1 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι έλεγχοι και πιστοποιήσεις φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων υλοποιούνται σε τέσσερα διαδοχικά στάδια:

**1ο στάδιο :** έλεγχος και επαλήθευση μελέτης της Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

**2ο στάδιο :** έλεγχος και πιστοποίηση της καταλληλότητας / συμμόρφωσης των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών

**3ο στάδιο :** έλεγχος και επαλήθευση των στοιχείων της μελέτης καθώς και έλεγχος και πιστοποίηση ολόκληρης της εγκατάστασης κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης / κατασκευής του έργου

**4ο στάδιο :** επαλήθευση και πιστοποίηση της εγκατάστασης μετά την ολοκλήρωση του έργου και τη σύνδεσή της με το δίκτυο της ΔΕΗ

Περαιτέρω προσφερόμενες υπηρεσίες που σχετίζονται με τον έλεγχο Φ/Β εγκαταστάσεων:

- Έλεγχος και πιστοποίηση βάσεων στήριξης Φ/Β συστημάτων βάσει των Ευρωκωδικών 1,3 και 9 και του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού 2000 (Ε.Α.Κ. 2000)
- Έλεγχος και πιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης του έργου με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και βάσει της τελικής μελέτης εφαρμογής
- Έλεγχος της πληρότητας του τεχνικού φακέλου και ανασκόπηση της μελέτης εγκατάστασης ως προς την αναμενόμενη οικονομική απόδοση του συστήματος
- Δειγματοληπτικός έλεγχος κατά την παραλαβή των υλικών που θα ενσωματωθούν στο έργο και πλήρης ανασκόπηση των συνοδευτικών τους εγγράφων με σκοπό τη συμμόρφωση ως προς τις τεχνικές προδιαγραφές (π.χ. γεωμετρία και ισχύς πάνελ, ταξινόμηση, διατομές καλωδίων, διατομές πασσάλων, πίνακες κ.τ.λ.)
- Επαλήθευση ηλεκτρολογικών μεγεθών της εγκατάστασης βάσει μελέτης ή/ και των απαιτήσεων των προτύπων EN 62446:2009 και HD 384 (π.χ. έλεγχος θεμελιακής γείωσης, αντικεραυνικής προστασίας,...)
- Επιτόπου επισκέψεις επιθεωρητών διαφόρων ειδικοτήτων (Πολιτικού, Μηχανολόγου και Ηλεκτρολόγου Μηχανικού) σε όλα τα στάδια κατασκευής της εγκατάστασης (π.χ. τοποθέτηση πασσάλων και βάσεων στήριξης φ/β συστημάτων και σύνδεση αυτών, τοποθέτηση φ/β πάνελ και σύνδεση τους με τις βάσεις στήριξης, τοποθέτηση καλωδίων και πινάκων, ηλεκτρολογικές συνδέσεις) και πιστοποίηση αυτής.
- Επιτόπου παρουσία κατά τη διάρκεια δοκιμών παράδοσης – παραλαβής, και κατά την οριστική παραλαβή των έργων και την αυτοψία που θα πραγματοποιηθεί από τη Δ.Ε.Η.
- Έκδοση τελικού πιστοποιητικού συμμόρφωσης της εγκατάστασης ως προς τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης και των σχετικών προδιαγραφών και προτύπων.



## **5.2 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ**

Ο όμιλος Solar Cells Hellas, παραγωγός δισκίων πυριτίου (Wafers) και Φ/Β στοιχείων (solar cells) πολυκρυσταλλικού πυριτίου, αποδεικνύει την αφοσίωσή του στην παροχή προϊόντων υψηλής ποιότητας, έχοντας πραγματοποιήσει επιτυχώς την πιστοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής των Φ/Β πλαισίων της εταιρείας Soltech A.E. κατά τα διεθνή πρότυπα ISO και OHSAS. Η επιθεώρηση έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της Soltech στην βιομηχανική περιοχή Πατρών από τον φορέα TUV Rheinland Greece. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της επιθεώρησης πιστοποιήθηκε η λειτουργία της γραμμής παραγωγής Φ/Β πλαισίων σύμφωνα με τα παρακάτω πρότυπα:

- ISO 9001 : 2008. Πρόκειται για Σύστημα Διασφάλισης Ποιότητας η εφαρμογή του οποίου συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος και εξασφαλίζει τη σταθερότητα της ήδη υπάρχουσας ποιότητας καθώς και την αξιοπιστία των προϊόντων και υπηρεσιών.
- ISO 14001 : 2004. Το Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, τη διαρκή βελτίωση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και φυσικών πόρων
- OHSAS 18001. Με το Σύστημα Διαχείρισης Υγιεινής και Ασφάλειας Εργασίας προάγεται η διαχείριση του κινδύνου στην εργασία, που σχετίζεται με τις δραστηριότητες του Οργανισμού καθώς και η Υγιεινή και η Ασφάλεια της Εργασίας.

Τα οφέλη της εταιρείας από την εφαρμογή των παραπάνω προτύπων θεωρούνται ως υψίστης σημασίας τόσο για την ίδια την εταιρεία, τα στελέχη και τους εργαζομένους της, όσο και για τις άλλες εταιρείες που συνεργάζονται με αυτή.

## **5.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ISO 9001 : 2008**

Το πρότυπο πιστοποίησης ISO 9001 : 2008 όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, είναι ένα σύστημα πιστοποίησης ποιότητας που χρησιμοποιείται από εταιρίες που ασχολούνται με την

κατασκευή φ/β συστημάτων για την πιστοποίηση της ποιότητας των προϊόντων τους. Το σύστημα αυτό καθορίζει το γενικό πλαίσιο που απαιτείται από την επιχείρηση για να παρέχει ένα αποδεκτό προϊόν ή υπηρεσία. Το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας κατά ISO 9001 : 2008 μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε επιχείρηση και να αποτελέσει μέρος της δράσης της για ανάπτυξη. Κάποιες από τις βασικές αρχές και χαρακτηριστικά που το διέπουν παρατίθενται παρακάτω.

#### 1) Έννοια και πεδίο εφαρμογής

Ποιότητα κατά το συγκεκριμένο σύστημα, είναι :

- Η αντίληψη των αναγκών του πελάτη
- Ο έλεγχος της εμπορικής-παραγωγικής διαδικασίας
- Η παρακολούθηση σημαντικών παραμέτρων
- Η διαρκής βελτίωση των προσφερόμενων προϊόντων-υπηρεσιών

#### 2) Αναμενόμενα οφέλη

- Αξιολόγηση και έλεγχος της ποιότητας των προϊόντων-υπηρεσιών
- Διαρκής βελτίωση και σταθερή ποιότητα προϊόντων-υπηρεσιών
- Εκσυγχρονισμός και καλύτερη οργάνωση των δραστηριοτήτων της επιχείρησης
- Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά, συμμετοχή σε νέες αγορές και διαγωνισμούς
- Εδραίωση της εμπιστοσύνης των πελατών

#### 3) Μεθοδολογία ανάπτυξης του συστήματος

- Αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης
- Συλλογή δεδομένων Προϊόντος-Υπηρεσίας
- Καθιέρωση διαδικασιών τεκμηρίωσης και επαλήθευσης του συστήματος
- Σύνταξη περιγραφών θέσεων εργασίας, οδηγιών εργασίας, εντύπων.
- Τεκμηρίωση πολιτικής ποιότητας και καταγραφή αντικειμενικών στόχων
- Εσωτερικές επιθεωρήσεις
- Διορθωτικές ενέργειες μετά την πιστοποίηση
- Παρακολούθηση συστήματος

#### 4) Λόγοι υιοθέτησης του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας κατά ISO 9001 : 2008

- Πιέσεις από το εξωτερικό επιχειρηματικό περιβάλλον
- Εσωτερικές Ανάγκες

- ο Επιχειρηματική Στρατηγική

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 6.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ

Με τον όρο βιομάζα, όπως προαναφέρθηκε, ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Είναι η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί. Στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η χρήση της βιομάζας γίνεται συνήθως με την καύση σε σύγχρονους λέβητες υψηλής τεχνολογίας, με αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη παροχή αέρα, οι οποίοι είναι σε θέση να αποδώσουν περισσότερο από το 90% της ενέργειας που περιέχεται στο ξύλο για θέρμανση. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού των επιφανειών εναλλακτών θερμότητας και αυτόματη απομάκρυνση της στάχτης, ενώ ορισμένα μοντέλα συμπιέζουν τις στάχτες, ώστε το καθάρισμα να είναι αναγκαίο μόνο δύο φορές το χρόνο. Οι σύγχρονοι λέβητες ξύλου δεν παράγουν ορατό καπνό και οι εκπομπές τους είναι πολύ χαμηλές.

Ένας από τους οργανισμούς που ασχολείται με τη βιομάζα και την ποιότητα των διαδικασιών που έχουν να κάνουν με αυτήν είναι το Τμήμα Βιομάζας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Κάποια από τα αντικείμενα και τις αρμοδιότητες του τμήματος είναι τα εξής :

1. Ενεργειακές Καλλιέργειες - Διερεύνηση και αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων - Εκτέλεση πιλοτικών έργων εκμετάλλευσης βιομάζας σε συνεργασία με τρίτους - Αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού φυτών καλλιεργούμενων σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη - Απογραφή και διερεύνηση τεχνολογιών συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της βιομάζας - Διερεύνηση και αξιολόγηση της παραγωγικότητας διαφόρων ενεργειακών φυτών, όπως του γλυκού σόργου, της αγριαγκινάρας, του μίσκανθου κ.ά. σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη, με απώτερο σκοπό την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων είτε με στερεά καύσιμα, είτε με υγρά, που θα παραχθούν με θερμοχημικές διεργασίες και θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή θερμότητας, ψύξης και κίνησης - Μελέτη και κατασκευή ενός ολοκληρωμένου συστήματος προετοιμασίας, μεταφοράς και θερμοχημικής επεξεργασίας της βιομάζας, με απώτερο στόχο την παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος), που θα χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμη ύλη μεταφορών σε πρόσμειξη με βενζίνη μέχρι και 20%, για αύξηση του βαθμού οκτανίων (παραγωγή αμόλυβδης), καθώς και για εξοικονόμηση βενζίνης.
2. Εφαρμογές Βιομάζας - Υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, με υπολείμματα βιομάζας που προέρχονται από τη δραστηριότητά τους - Παραγωγή χημικών λιπασμάτων από υπολείμματα πτηνοτροφίας - Τηλεθέρμανση κατοικιών με δασικά υπολείμματα - Συμπααραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού με την αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας σε βιομηχανικές μονάδες, Δήμους ή Κοινότητες - Εκπόνηση μελετών για έργα Τηλεθέρμανσης/Τηλεψύξης και Συμπααραγωγής με χρήση Βιομάζας - Εκπόνηση μελετών -στα πλαίσια Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων - ενεργειακού σχεδιασμού διαφόρων περιοχών της χώρας, με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση των διαθέσιμων ποσοτήτων βιομάζας και των ενεργειακών καλλιεργειών.
3. Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας - Πιλοτική μονάδα (12 kg/h) αστραπιαίας πυρόλυσης βιομάζας για παραγωγή πυρολυτικών υγρών (βιοέλαιο) - Ανάπτυξη μονάδας 50 KW με αεριοποίηση βιομάζας σε συνεργασία με το Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας αεριοποίησης 150 KW στο Τρίγωνο Έβρου.

## 6.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ) στην Ελλάδα αποτελούν μία από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρουσιάζουν δε, σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την αξιοποίηση συμβατικών μορφών ενέργειας (λιγνίτη, πετρέλαιο κ.ά.). Παρά ταύτα, δεν είναι λίγες οι φορές που οργανώσεις ή η τοπική κοινωνία αντιτίθεται στην κατασκευή των ΜΥΗΣ εξαιτίας κάποιων ενδεχόμενων αρνητικών περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Κάποια από τα στοιχεία που κρίνουν την ποιότητα των ΜΥΗΣ είναι οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων και η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων που αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗΣ. Συνήθως οι βαθμοί απόδοσής τους είναι πολύ υψηλοί (90% και άνω) και η διάρκεια ζωής τους πολύ μεγάλη (μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη).

Κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά των μικρών υδροηλεκτρικών έργων είναι η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - απόζευξης στο δίκτυο, ή η αυτόνομη λειτουργία τους, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας αρίστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης, η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης, κλπ.), η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις, κ.α.

Ένας φορέας που ασχολείται με τα ΜΥΗΣ και την αξιολόγησή τους είναι το Τμήμα Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Το αντικείμενο και οι αρμοδιότητες του τμήματος είναι οι εξής:

1. Η αποτίμηση του Ελληνικού μικροϋδροηλεκτρικού δυναμικού.
2. Η καταγραφή και αξιολόγηση των πιθανών θέσεων εγκατάστασης Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων.
3. Η μελέτη και ο σχεδιασμός των έργων αυτών.
4. Η παροχή τεχνικής στήριξης, βοήθειας και ενημέρωσης προς κάθε φορέα για την προώθηση της εκμετάλλευσης των Μ.Υ.Η.Ε.

5. Η εκτέλεση πιλοτικών Μ.Υ.Η.Ε. σε συνεργασία με τρίτους
6. Η τεχνική υποστήριξη για χάραξη τοπικής και περιφερειακής στρατηγικής σχετικά με τη μικροϋδροηλεκτρική ανάπτυξη.
7. Η συμμετοχή σε κοινές προσπάθειες συλλογής και επεξεργασίας πρωτογενών πληροφοριών κλιματολογικού περιεχομένου, καθώς και κατασκευής των πρώτων Ελληνοποιημένων υδροστρόβιλων
8. Καταγραφή κυματικού και παλιρροιακού δυναμικού και ανάπτυξη τεχνολογιών αξιοποίησής τους.
9. Ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων μικροϋδροηλεκτρικής απόληψης

### 6.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ένα σύστημα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελείται από τρία κύρια μέρη :

- Την αντλία θερμότητας (heat pump) που λειτουργεί όπως οι αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5 °C) και την μεταφέρει σε άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία (π.χ. 25°C).
- Το Σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου, που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coils). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λειτουργούν και με καλοριφέρ
- Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (γεωεναλλάκτη θερμότητας, κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.

Η ποιότητα ενός τέτοιου συστήματος έχει άμεση σχέση με την απόδοσή του. Ένα σύστημα γεωεναλλάκτη είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος είναι:

- Ο σχεδιασμός του συστήματος
- Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- Η ποιότητα εγκατάστασης
- Το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- Οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- Οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπως όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης (COP), ο οποίος προσδιορίζει την ενέργεια που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν COP 3-5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύστημα, 3-5 μονάδες παρέχονται ως θερμότητα. Ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300%-500%. Τα συστήματα γεωεναλλακτών πρακτικά δεν χρειάζονται συντήρηση. Με ορθή εγκατάσταση ο γεωεναλλάκτης θα λειτουργεί για πολλές δεκαετίες. Τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος, η αντλία θερμότητας, οι κυκλοφορητές και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας βρίσκονται εντός του κτιρίου προστατευμένα από τις εξωτερικές συνθήκες. Συνήθως οι περιοδικοί έλεγχοι για τη σωστή λειτουργία είναι η μόνη απαραίτητη συντήρηση.

Το Τμήμα Γεωθερμικής Ενέργειας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) είναι ένας φορέας που ασχολείται με θέματα ποιότητας στην γεωθερμία και έχει ως αντικείμενο και αρμοδιότητες τις εξής :

- Μελέτες σκοπιμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων και τηλεθέρμανση ορισμένων πόλεων και χωριών με γεωθερμική ενέργεια.
- Μελέτες σκοπιμότητας και έργα εφαρμογής για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας για αφαλάτωση.
- Μελέτες και έργα εφαρμογών γεωθερμικής ενέργειας στο αεροδρόμιο "ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ" Θεσσαλονίκης.
- Σχεδιασμός και ανάπτυξη συστημάτων γήινων εναλλακτών θερμότητας σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων.
- Δημιουργία βάσης δεδομένων για την πληροφόρηση και διάδοση των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στη γεωθερμία και κατάρτιση οδηγών γεωθερμικών πεδίων και εφαρμογών σε αυτά, τόσο για τον ελληνικό όσο και για το διεθνή χώρο.

## 6.4 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

### 6.4.1 Επιλογή τοποθεσίας αιολικού πάρκου

Βασικό κριτήριο για την επιλογή της θέσης είναι ότι η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή προσπελάσιμη από τα συνήθη μεταφορικά μέσα, να υπάρχει πρόσβαση σε λιμάνια ή συγκοινωνιακούς κόμβους κ.α. Επίσης κρίνεται απαραίτητο να είναι κοντά στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. στην περίπτωση σύνδεσής της με το εθνικό δίκτυο καθώς το αιολικό πάρκο αποτελεί κατανεμημένη παραγωγή, συμφέρει δηλαδή να παράγουμε ενέργεια εκεί που την χρειαζόμαστε ώστε να μην έχουμε απώλειες. Παράλληλα, απαιτείται και η σύμφωνη γνώμη του κοινωνικού περιγύρου, με τη διαβεβαίωση ότι η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δε θα αλλοιώσει το περιβάλλον, καθώς και με την υπενθύμιση ότι η αιολική ενέργεια είναι μία τελείως καθαρή μορφή ενέργειας.

Από την πλευρά της βέλτιστης επιλογής της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, η τήρηση των βασικών ανεμολογικών κριτηρίων προϋποθέτει την επιλογή τοποθεσιών με:

- υψηλή μέση ταχύτητα ανέμου
- αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας, δηλαδή μεγάλη διάρκεια ισχυρών ανέμων και περιορισμένη ύπαρξη περιόδων νηνεμίας και
- απουσία αποφράξεων του ανέμου καθώς και υψηλών εμποδίων

Όσον αφορά τα ακραία καιρικά φαινόμενα, ένα από τα σημαντικότερα που θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την επιλογή της θέσης του αιολικού πάρκου είναι και η ύπαρξη παγετού. Η επικάθιση πάγου στα μέρη της εγκατάστασης αυξάνει τη στατική και δυναμική τους καταπόνηση, με αποτέλεσμα να πρέπει τα μέρη της εγκατάστασης αλλά και οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας να υπολογισθούν σε καταπονήσεις από αυξημένα μηχανικά φορτία. Επίσης, είναι πιθανόν να προξενηθεί εκτόξευση τμημάτων πάγου κατά την περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Ένας επιπρόσθετος κίνδυνος που συνοδεύει την εμφάνιση παγετού, είναι η καταστροφή των ανεμομέτρων ή η βλάβη των συστημάτων ελέγχου της εγκατάστασης. Για τους



παραπάνω λόγους αυξάνεται και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδος.

#### **6.4.2 Ποιότητα και αιολική ενέργεια**

Η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών επηρεάζει την ποιότητα ισχύος στο συνδεδεμένο δίκτυο. Ανάλογα με τη διαμόρφωση του δικτύου και τον τύπο των Α/Γ που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται διαφορετικά προβλήματα ποιότητας ισχύος. Όλες οι Α/Γ ακολουθώντας τις φυσικές μεταβολές του ανέμου έχουν ανομοιογενή παραγωγή ενέργειας.

Οι μονάδες αιολικής ενέργειας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με νέες τεχνολογίες οι οποίες τους δίνουν τη δυνατότητα να παρέχουν καλές υπηρεσίες και να παράγουν όσο το δυνατόν πιο «καθαρή» ενέργεια για το δίκτυο. Η πρόοδος στα ηλεκτρονικά ισχύος έχει επιτρέψει να ολοκληρωθεί μια ομαλότερη ρύθμιση. Εφαρμογές όπως η αντιστάθμιση άεργης ισχύος, η αποθήκευση ενέργειας και οι Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας είναι σύνηθες να υπάρχουν σε αιολικούς σταθμούς.

Επειδή το αιολικό πάρκο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο είναι σημαντικό να εντοπιστούν και να κατανοηθούν οι πηγές διαταραχών που επηρεάζουν την ποιότητα ισχύος. Η τάση και η συχνότητα πρέπει να διαφυλάσσονται όσο το δυνατόν σταθερές. Οι διαταραχές στην τάση και το ρεύμα λόγω των αρμονικών εξαιτίας της αντίδρασης της γραμμής πρέπει να παρακολουθούνται.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι Α/Γ με κριτήριο την καμπύλη ισχύος- ταχύτητας. Διακρίνονται σε :

- Α/Γ σταθερών στροφών ( σταθερής ταχύτητας και σταθερής συχνότητας)
- Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας ( μεταβλητής ταχύτητας και σταθερής συχνότητας)

Η παραγωγή τάσεως με σταθερή συχνότητα επιβάλλεται στην περίπτωση που οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο.

#### **6.4.3 Εταιρίες και οργανισμοί πιστοποίησης αιολικής ενέργειας**

Ένας από τους οργανισμούς που ασχολούνται με την αξιολόγηση της αιολικής ενέργειας είναι και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) το οποίο εποπτεύεται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα το Τμήμα Αιολικής Ενέργειας.

Το αντικείμενο και οι αρμοδιότητες του συγκεκριμένου τμήματος είναι οι εξής :

- Αποτίμηση Αιολικού Δυναμικού – Ανάπτυξη πλήρους μεθοδολογίας εκτίμησης και μέτρησης του αιολικού δυναμικού. Διερεύνηση και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού της χώρας.
- Εφαρμοσμένη Έρευνα και Ανάπτυξη Αιολικής Τεχνολογίας - Δημιουργία υποδομής για ανάλυση - σχεδιασμό - αξιολόγηση και πιστοποίηση Ανεμογεννητριών (Α/Γ). Καταγραφή φασμάτων φόρτισης Α/Γ στην χώρα. Ανάπτυξη βέλτιστων αεροτομών για τις συνθήκες της Ελλάδας - Εργαστήριο προσομοίωσης νησιωτικών δικτύων για τη μεγιστοποίηση της χρήσης της αιολικής ενέργειας στα νησιωτικά δίκτυα της χώρας. Ανάπτυξη συστημάτων Wind/Diesel – Σχεδιασμός αιολικών πάρκων.
- Πιστοποίηση Αιολικών Συστημάτων - Πιστοποίηση Α/Γ – Εργαστήριο ελέγχου, πιστοποίησης, ανάπτυξης και εξέλιξης πτερυγίων Α/Γ μέχρι 30μ μήκος - Ανάπτυξη μόνιμων και κινητών σταθμών αξιολόγησης αιολικών έργων και Α/Γ.
- Προώθηση Αιολικής Τεχνολογίας - Προώθηση της χρηματοδότησης και της συμμετοχής σε έργα που αφορούν στην εγκατάσταση Α/Γ σε συνεργασία με την Τοπική Αυτοδιοίκηση και άλλους φορείς - Τεχνική βοήθεια και επιμόρφωση σε χρήστες και στη βιομηχανία - Συμμετοχή στο στρατηγικό σχεδιασμό ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Μια εταιρεία που δραστηριοποιείται στον τομέα της εκτίμησης του αιολικού δυναμικού είναι η 2EN – Εναλλακτική Ενεργειακή. Η εταιρεία αυτή παρέχει διαπιστευμένες υπηρεσίες και κατασκευάζει προϊόντα δοκιμασμένης αντοχής και αξιοπιστίας. Κάποιες από τις διαπιστευμένες υπηρεσίες που η εταιρεία παρέχει είναι οι εξής :

- Πιστοποίηση κατά διαδικασίες Συστήματος Ποιότητας ISO 17025:2005 που χορηγήθηκε από τον φορέα Deutscher Akkreditierungs Rat και το Ελληνικό Σύστημα Διαπίστευσης στα παρακάτω πεδία:
  1. Μέτρηση και ανάλυση αιολικού δυναμικού
  2. Εκτίμηση ενεργειακής παραγωγής αιολικού πάρκου
- Παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών, μακροχρόνιες συσχετίσεις στατιστικών ανέμου και διαμόρφωση μετρητικών συστημάτων για εκπόνηση μελετών αιολικού δυναμικού.
- Μετρήσεις με χρήση LIDAR (τεχνολογία μέτρησης από απόσταση) για την εκτίμηση της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος της μέτρησης (wind shear)

μέχρι τα 200μ.

- Κατασκευή και Εμπορία σωληνωτών και δικτυωτών μετεωρολογικών ιστών από 10 μέχρι 65 μέτρα ύψος.
- Παραγωγή και εμπορία καινοτόμων και αξιόπιστων ανεμομέτρων και ανεμοδεικτών.
- Χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### Συμπεράσματα

Η ποιότητα κατά την κατασκευή συστημάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα του έργου. Αν κατά την κατασκευή δεν προσεχθεί αρκετά ένα σημείο, ενδέχεται να προκύψουν ελαττώματα γεγονός που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη της ανακατασκευής. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξει αυξημένο κόστος και καθυστερήσεις λόγω αυτού του γεγονότος. Μια σωστή εταιρεία προσπαθεί και διασφαλίζει την ποιότητα του συστήματος αυτού κατά την κατασκευή του, αλλά ακόμα σημαντικότερο ρόλο για την ποιότητά του αποτελεί το κομμάτι της σχεδίασής του.

Κάποιες φυσικές παράμετροι και τεχνικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός επίγειου Φ/Β πάρκου και άρα σχετίζονται με την ποιότητά του είναι οι εξής :

- Η θέση και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του πάρκου.
- Η μορφολογία του εδάφους (ανάγλυφο, φυσικά εμπόδια).
- Η ισχύς του πάρκου.

- Ο τύπος των συλλεκτών (ισχύς, τάση και ένταση εξόδου, διαστάσεις).
- Ο τύπος των μετατροπέων (inverter), δηλαδή η ισχύς και η τάση εισόδου –εξόδου τους.
- Οι αγωγοί μεταφοράς της ισχύος.
- Τα έργα υποδομής.

Στην ποιοτική κατασκευή του Φ/Β πάρκου σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασής του, κάτι που εξαρτάται από τον προσανατολισμό των Φ/Β πλαισίων, τα προβλήματα σκιασμών, τη στατική μελέτη και τα υλικά στήριξης.

Επιπλέον για την αξιολόγηση της ποιότητας ενός Φ/Β πάρκου χρησιμοποιούνται, όπως είδαμε, κάποιες Δείκτες Αξιολόγησης, όπως είναι το Ηλιακό κλάσμα, η Απόδοση σειράς, η Τελική απόδοση, οι Απώλειες Συστήματος, η Απόδοση αναφοράς, οι Απώλειες ακτινοβολίας και ο Λόγος απόδοσης. Επίσης, η ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοσή του που έχει να κάνει με την ποιότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, βάσεων στήριξης αλλά και πολλών άλλων παραγόντων. Η απόδοση του Φ/Β συστήματος εξαρτάται σημαντικά από τη σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας και από τη θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου.

Για την κάλυψη όλων των φάσεων κατασκευής ενός Φ/Β συστήματος προτείνονται τα εξής :

- Επιτόπου παρουσία κατά τη διάρκεια δοκιμών παράδοσης-παραλαβής, και κατά την οριστική παραλαβή των έργων και την αυτοψία που θα πραγματοποιηθεί από τη Δ.Ε.Η.
- Έκδοση τελικού πιστοποιητικού συμμόρφωσης της εγκατάστασης ως προς τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης και των σχετικών προδιαγραφών και προτύπων.

Για αιολικά πάρκα σημαντικό ρόλο για την ποιότητά τους παίζουν η επιλογή τοποθεσίας του αιολικού πάρκου, η ποιότητα ισχύος του και η αξιοπιστία της αιολικής ενέργειας που θα παράγει. Για ένα γεωθερμικό σύστημα οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του συστήματος, που έχει άμεση σχέση με την απόδοσή του είναι:

- Ο σχεδιασμός του συστήματος

- Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- Η ποιότητα εγκατάστασης
- Το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- Οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- Οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Όσον αφορά τους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, κάποια από τα στοιχεία που κρίνουν την ποιότητά τους είναι οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων και η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων που αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των ΜΥΗΣ.

Τέλος, όσον αφορά τη βιομάζα, κάποιες ενέργειες που μπορούν να επηρεάζουν την ποιότητά της είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες, η διερεύνηση και αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, η εκτέλεση πιλοτικών έργων εκμετάλλευσης βιομάζας σε συνεργασία με τρίτους, η αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού φυτών καλλιεργούμενων σε γόνιμα και περιθωριακά εδάφη κ.α.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης, "Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας ", Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006
2. "Planning and installing photovoltaic systems. A guide for installers, architects and engineers", 2nd edition, 2008
3. Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, Σ. Τσελεπής, Μ. Σουλιώτης, J.K. Tonui, "Σχεδίαση και οικονομικά στοιχεία για υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά ηλιακά συστήματα", 3ο Εθνικό Συνέδριο, "Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ", Προοπτικές και Προτεραιότητες προς το Στόχο του 2010, 23-25 Φεβρουαρίου 2005, Αθήνα.
4. Γκατζή Χ. Α., Κατριάδακη Κ. Ι., "Μέτρηση βαθμού απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων και μελέτη της εξάρτησής του από τη θερμοκρασία", διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ., 2008.
5. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, "Φωτοβολταϊκά Συστήματα", Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2007.
6. Μενδρινός, Κ. Καρύτσας, "Γεωθερμία, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, εμπειρία Κ.Α.Π.Ε. ", Αθήνα.
7. "Ετήσια Έκθεση Κ.Α.Π.Ε.", Αθήνα 2008.
8. "Περιβαλλοντικός οδηγός Γεωθερμίας", Υπουργείο Ανάπτυξης.
9. California Energy Commission, "A guide to photovoltaic (PV) system design installation", First Edition, Endecon Engineering, June 2001.
10. Καγκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
11. P. Romanos, N. Hatziaergyriou, S. Bonias, N. Daniil, La Rocca, K. Pantazis et al (ICCS/NTUA). Photovoltaics in Smart Buildings. Hamburg : Twenty-Fourth European Photovoltaic Solar Energy, 2009
12. Eco Energia A.E. / [www.ecoenergia.gr](http://www.ecoenergia.gr)
13. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά» (Σεπτέμβριος 2010)
14. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ – <http://www.cres.gr/>): «Οδηγός για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις» (Αύγουστος 2009)
15. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός» (Ιανουάριος 2011)

16. Σ.Δ. Περδίας: «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις», Αθήνα 2007
17. Moller, Hans Joachim, Semiconductor for Solar Cells, Artech House, 1993
18. Scientific American, Δεκέμβριος 2006
19. Wurfel, P. Physics of Solar Cells, John Wiley and Sons Ltd, 2005
20. Αντωνόπουλος Κ.: «ΘΕΡΜΙΚΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», Πολυτεχνειακές Εκδόσεις, Μέρος Πρώτο (2004)