

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Επιβλέπων: ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΔΟΣ, Καθηγητής

Συνεπιβλέπουσα: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ, Εργ. Συνεργάτης

**Μελέτη και οικονομική αξιολόγηση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης
σε οικία στη νήσο Κω**

**«Design and economic evaluation of a Photovoltaic system in a
residence in Kos Island»**

Πτυχιακή Εργασία:
Χαράλαμπου Ο. Γαλουζή Α.Μ. 24572
(Τμήμα Ηλεκτρολογίας)
Πετρούλας Σ.Ιωαννίδου Α.Μ. 31986
(Τμήμα Μηχανολογίας)

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται μία τεχνικο-οικονομική μελέτη ενός διασυνδεδεμένου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ αιχμής 4.50 kWp. Ο συγκεκριμένος φ/β σταθμός μελετήθηκε για το γεωγραφικό πλάτος της Κω. Στις μέρες μας, η ανάπτυξη φ/β συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γνωρίζει μεγάλη άνθηση και το μέλλον σε αυτόν τον τομέα αναμένεται ακόμη πιο ευοίωνο, ειδικά για μία χώρα με τόσο πλούσιο ηλιακό δυναμικό όπως η Ελλάδα.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που τις χαρακτηρίζουν και τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογή. Ακόμα παρουσιάζεται η ιστορική τους εξέλιξη διεθνώς, καθώς και η ελληνική πραγματικότητα.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μία λεπτομερής ανάλυση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και γενικότερα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται η περιγραφή και ανάλυση των επιμέρους στοιχείων που συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Επίσης, αναλύονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων και οι σημαντικότεροι παράγοντες που τα επηρεάζουν.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται μία λεπτομερής τεχνική μελέτη του οικιακού φ/β συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μελέτη αυτή αφορά το σύνολο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί (φ/β πλαίσια, αντιστροφείς, καλωδιώσεις, βάσεις στήριξης κλπ).

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** εξηγούνται βασικές οικονομικές έννοιες, πραγματοποιείται η οικονομική μελέτη του συστήματος και ερευνάται η οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου έργου.

ABSTRACT

The aim of the present thesis is the analysis of a grid connected photovoltaic system, which generates all its produced electrical power to the grid and has a nominal power of 4.50 kWp. In nowadays there is a significant rise in photovoltaic investments and the immediate future is expected to be more auspicious.

The **first chapter** is an enterprise to the global and the Greek present situation and trends, as far as the electricity generation from renewable energy resources and specifically from photovoltaics, is concerned. A short outline of the photovoltaic technology's advantages and disadvantages is also given.

In the **second chapter**, a detailed analysis of the photovoltaic technology is presented.

In the **third chapter**, the main parts of a photovoltaic system are presented in detail. Moreover, the electrical properties of cells and modules are explained in detail and also the factors affecting their efficiency.

In the **fourth chapter**, there is a detailed technical study of a grid connected photovoltaic system. All the electrical and mechanical equipment is concerned (pv modules, inverters, wiring, groundings etc).

In the **fifth chapter**, there is a theoretical economic analysis.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πέτρο Γ. Βερνάδο για τη δυνατότητα που μας έδωσε να πραγματοποιήσουμε την παρούσα εργασία καθώς και για την καθοδήγησή του και τις καίριες υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής.

Ευχαριστούμε εκ βαθέων τη συνεπιβλέπουσα εργ. συνεργάτη κ. Εριέττα Ι. Ζουντουρίδου για την καθοριστικής σημασίας συμβολή της, το χρόνο που διέθεσε καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές της για την περάτωση της πτυχιακής μας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Πηγές Ενέργειας.....	8
1.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	9
1.4 Υδατόπτωση.....	10
1.5 Ενέργεια Κυμάτων ή Παλιρροϊκών Κινήσεων.....	10
1.6 Βιομάζα.....	10
1.7 Γεωθερμική Ενέργεια.....	11
1.8 Αιολική Ενέργεια.....	12
1.9 Φωτοβολταϊκή Ηλεκτρική Ενέργεια.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	14
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	14
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	14
2.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	15
2.2.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	15
2.2.2 Ηλιακό Δυναμικό.....	16
2.2.3 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	19
2.2.4 Ημιαγωγός.....	21
2.2.5 Επαφή p-n.....	23
2.2.6 Ορθή και Ανάστροφη Πόλωση της Διόδου.....	24
2.2.7 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	26
2.3 Η Ηλιακή Τεχνολογία σήμερα.....	28
2.4 Χαρακτηριστικά Ηλιακού Κυττάρου.....	28
2.5 Ελληνική Νομοθεσία.....	29
2.6 Ένας Πρακτικός Οδηγός για τα Φωτοβολταϊκά.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	38
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	38
3.1 Το Σύστημα.....	38
3.2 Συσσωρευτές.....	39
3.3 Συστήματα Ρύθμισης Ισχύος.....	40
3.4 Αντιστροφέας.....	41
3.4.1 Μονοφασικός Αντιστροφέας.....	41
3.4.2 Τριφασικός Αντιστροφέας.....	42
3.4.3 Βαθμός Απόδοσης Αντιστροφέα.....	43
3.5 Είδη Ηλιακών Κυττάρων.....	44
3.5.1 Μονοκρυσταλλικά Κύτταρα Si.....	45

3.5.2 Πολυκρυσταλλικά Κύτταρα Si.....	46
3.5.3 Κύτταρα Λεπτής Μembrάνης.....	47
3.5.4 Υβριδικά Κύτταρα.....	47
3.6 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια.....	48
3.6.1 Εισαγωγή.....	48
3.6.2 Συστήματα Επίπεδων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	49
3.6.3 Συστήματα Συγκεντρωτικών Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	50
3.6.4 Φωτοβολταϊκή Συστοιχία (string).....	51
3.7 Τα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φ/Β Στοιχείων.....	53
3.8 Βαθμός Απόδοσης Φωτοβολταϊκών.....	54
3.8.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Βαθμό Απόδοσης.....	55
3.9 Είδη Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	60
3.9.1. Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο.....	60
3.9.2. Συστήματα Απομονωμένα από το Δίκτυο.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	63
ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	63
4.1 Σενάριο.....	63
4.2 Ηλιακό Δυναμικό για την Πόλη της Κω.....	63
4.3 Σταθερή Ετήσια Κλίση.....	64
4.4 Επιλογή Φ/β Πλαισίων.....	65
4.5 Επιλογή Αντιστροφέα.....	69
4.6 Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	71
4.7 Βάσεις Στήριξης.....	72
4.8 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο Εγκατάστασης.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	74
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	74
5.1 Αξία του Χρήματος.....	74
5.2 Καθαρές Ταμειακές Ροές.....	75
5.3 Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV).....	76
5.3.1 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης - ΕΒΑ (Internal Rate of Return - IRR).....	77
5.3.2 Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής - ΕΠΑ (Discounted Pay Back Period - DPB).....	77
5.4 Βιωσιμότητα Επένδυσης.....	78
ΣΥΜΠΕΡΑΜΑΤΑ.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Εισαγωγή

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

- Το 1952 στο Λονδίνο αναφέρονται χιλιάδες θάνατοι, όταν η άπνοια παγίδεψε τους αέριους ρύπους των εργοστασίων πάνω από την πόλη.
- Το 1982 εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα καταστροφής των δασών της Κεντρικής Ευρώπης λόγω της όξινης βροχής. Αιτία η καύση των υδρογονανθράκων ή γαιανθράκων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το 1989, το ναυάγιο του πετρελαιοφόρου Exxon Valdez στον κόλπο Prince William Sound της Αλάσκας, μας υπενθύμισε το κόστος της χρήσης 60 εκ. βαρελιών πετρελαίου την ημέρα.
- Το 1986 στην Ουκρανία γίνεται έκρηξη στην πυρηνική μονάδα του Τσέρνομπιλ. Το ραδιενεργό νέφος, εκτός από την γύρω περιοχή, έπληξε το μεγαλύτερο μέρος της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης αλλά και μέρος της χώρας μας. Τα δυσμενή αποτελέσματα καταμετρούνται ακόμη και σήμερα.
- Στο διάστημα 1989-1995 παρατηρήθηκε ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός φυσικών καταστροφών, όπως οι θυελλώδεις άνεμοι που έπληξαν το 1990 τη Βόρεια Ευρώπη, οι μεγάλοι κυκλώνες που έπληξαν την Ασία το 1991, η καταιγίδα " Andrew" στις ΗΠΑ το 1992, αλλά και οι τρομακτικές πλημμύρες στην περιοχή του Μισισσιπή το 1993. [1]

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

Όσον αφορά την Ελλάδα, στις μέρες μας γίνεται μια προσπάθεια να υιοθετηθεί ένα δόγμα που θα δίνει έμφαση στην εξοικονόμηση, την ορθολογική χρήση των συμβατικών ενεργειακών πόρων και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς τα στοιχεία και οι δείκτες δείχνουν ότι τα οφέλη από τις ΑΠΕ είναι πολλά (πίνακας 1.1).

Η χώρα μας είναι ιδιαίτερα προικισμένη από ήλιο και αέρα και συνεπώς κατέχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα στην παραγωγή ενέργειας από αυτές τις πηγές. Το αιολικό

δυναμικό της Ελλάδας παραμένει ανεκμετάλλευτο, με λίγες εξαιρέσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η Κρήτη όπου, το 2000, το 10% του ηλεκτρισμού παράχθηκε από αιολικά πάρκα. Το ποσοστό αυτό μάλιστα αναμένεται να αυξηθεί σύντομα, καθώς νέες επενδύσεις αιολικών πάρκων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη. [2]

Τεχνολογία	Πρόσθετη Δυναμικότητα	Μείωση Εκπομπών CO ₂	Εκατομμύρια τόνοι ετησίως το 2010
Αιολικά	1500-2.000 MW	4,2–5,6%	4.500–6.000
Υδροηλεκτά	750-850 MW	1,6-1,8%	700-800
Φωτοβολικά	150-200 MW	0,2–0,25%	2.000–2.500
Συλλέκτες	7.000.000–9.000.000 m ²	3,8–4,9%	8.000–10.000
Βιομάζα	1400 –1800 ktoe	4,0–5,2%	9.000-11.500
Γεωθερμία	160- 200 Ktoe	0,4 –0,5%	800-11.500
Σύνολο		14,2-18,75	25.000–31800

Πίνακας 1.1: Ωφέλη από την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. την περίοδο 1999 –2010

Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια, το υψηλό κόστος αποτέλεσε τροχοπέδη στην ανάπτυξη και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στη χώρα, αλλά η ενεργειακή πολιτική της χώρας (κρατικές επιδοτήσεις κτλ) θα δώσει ώθηση στο μέλλον για επενδύσεις.

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

1.2 Πηγές Ενέργειας

Πηγή ενέργειας ονομάζεται κάθε ύλη, σύστημα ή διάταξη από όπου μπορεί να αποληφθεί ενέργεια, για την παραγωγή θερμότητας, φωτός ή ισχύος.

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που διαθέτει η ανθρωπότητα διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- Συμβατικές ή αναλώσιμες

Είναι οι πηγές που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της γης . Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο, κτλ) αναφερόμενα και ως συμβατικά καύσιμα και η χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια.

- Ανανεώσιμες

Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν κύρια γενεσιουργό αιτία την ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση εκείνη που αφορά στην ενέργεια των παλιροϊκών κινήσεων που οφείλονται στη βαρυτική δράση. Η ηλιακή ενέργεια, που φτάνει στη γη, συμβάλλει στη δημιουργία και διατήρηση της ζωής, ενώ συγχρόνως παρέχει ενέργεια που αξιοποιείται με διάφορες μορφές. Θερμαίνοντας και εξατμίζοντας μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού δημιουργεί τις λίμνες και τα ποτάμια (Υδραυλική ενέργεια). Απορροφούμε από κατάλληλα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο), ή θερμαίνει το νερό οικιακής χρήσης (Ηλιακή θερμική μετατροπή). Θερμαίνοντας το έδαφος και αυτό με την σειρά του τον αέρα, δημιουργεί τα ρεύματα αέρα (Αιολική ενέργεια) και τα κύματα (Ενέργεια κυμάτων). Τέλος, συμβάλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας και η καύση των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (Βιομάζα).

Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα τους για τελική χρήση, οι πηγές ενέργειας διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Πρωτογενείς

Είναι οι πηγές ενέργειας, που προέρχονται από τη φύση πριν από οποιονδήποτε μετασχηματισμό (π.χ. αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο, ηλιακή ενέργεια).

- Δευτερογενείς

Είναι οι πηγές ενέργειας, που προέρχονται από τον μετασχηματισμό των πρωτογενών πηγών με μηχανικά, χημικά και θερμικά μέσα ή πυρηνική αντίδραση (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο, υγροποιημένο φυσικό αέριο).

- Χρήσιμες

Είναι οι πηγές ενέργειας, που έχουν την επιθυμητή μορφή για τον καταναλωτή (π.χ. θερμότητα, ηλεκτρισμός, φωτισμός). [3]

1.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Πλεονεκτήματα

1. Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
2. Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
3. Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
4. Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
5. Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
6. Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα

1. Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
2. Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
3. Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
4. Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
5. Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. [4]

1.4 Υδατόπτωση

Είναι ένας από τους πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, με ανανεώσιμη συμπεριφορά. Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή και ταυτόχρονα το μειονέκτημα, σε πολλές περιπτώσεις, η δημιουργία των κατάλληλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, να καταστρέφει εύφορες εκτάσεις, που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Καλύπτει, περίπου, το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

1.5 Ενέργεια Κυμάτων ή Παλιρροϊκών Κινήσεων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, κυρίως στις βόρειες θάλασσες. Στη Βρετάνη της Γαλλίας λειτουργεί από το 1966 σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 240 MW.

1.6 Βιομάζα

Γενικά ως βιομάζα ορίζεται η μάζα που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται, οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Σε 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 με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) όπως π.χ. το σόρνο, το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.α.

Τα υποπροϊόντα και τα κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως πχ τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκι, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.α. Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από την μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως πχ τα ελαιοπυρηνόξυλα, πριονίδι κ.α..

Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μια δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών.

Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

1.7 Γεωθερμική Ενέργεια

Στα μέσα της δεκαετίας του '70, μια αξιοσημείωτη αύξηση του κόστους της ενέργειας που προερχόταν από τα συμβατικά καύσιμα συντέλεσε στην συνειδητοποίηση του γεγονότος ότι αυτά κάποτε θα εξαντληθούν. Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στην επιτάχυνση για οικονομικά αξιοποιήσιμη παραγωγή ενέργειας από άλλες πηγές, εκτός των συμβατικών και πυρηνικών καυσίμων, οι οποίες, επιπλέον, παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό ότι είναι ανεξάντλητες. Οι πηγές αυτές ονομάζονται ανανεώσιμες, μεταξύ αυτών και η γεωθερμική ενέργεια. Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Μια άλλη χρήση των θερμών νερών, αυτή για θεραπευτικούς σκοπούς, ήταν γνωστή εδώ και χιλιάδες χρόνια σε όλο τον κόσμο. Στην χώρα μας υπάρχει πλήθος ιαματικών πηγών. Βέβαια εκτός από τις θεραπευτικές τους ιδιότητες, τα γεωθερμικά ρευστά, μπορούν να αξιοποιηθούν και για ενεργειακούς σκοπούς. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα, μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.

Αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία, η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών αποδίδεται στην εκλυόμενη ενέργεια κατά διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργεια τους χρησιμοποιείται κυρίως σε θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών, κ.α., ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή (>150°C) μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό που αφορά αποκλειστικά σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανέρχεται παγκοσμίως, το 2003, σε 10GW. Στη χώρα μας, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται κυρίως σε θερμοκηπιακές μονάδες, σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και σε νησιά του Βορειοανατολικού και Κεντρικού Αιγαίου.

1.8 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας, που δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί την μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από την μια περιοχή στην άλλη, δημιουργεί δηλαδή τους ανέμους. Ο άνεμος είναι δυνατό να περιστρέφει ανεμοτροχούς, να κινεί ιστιοφόρα πλοία ή να κινεί αντικείμενα, μπορεί δηλαδή η ενέργεια του να καταστεί εκμεταλλεύσιμη. Η πηγή αυτής τη ενέργειας είναι πρακτικά ανεξάντλητη, ανανεωμένη συνεχώς, γι' αυτό ονομάζεται ανανεώσιμη. Δυστυχώς μόνο ένα μικρό ποσοστό της τεράστιας αυτής ποσότητας ενέργειας είναι σήμερα εκμεταλλεύσιμη. Εντούτοις, υπολογίζεται ότι το 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 μέτρα το δευτερόλεπτο σε ύψος πάνω από 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης. Όταν σε μια περιοχή η άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Τα σύγχρονα συστήματα εκμεταλλεύσεις της αιολικής ενέργειας αφορούν σχεδόν μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και στις οποίες ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται ώστε να βρίσκεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο.
- Τις ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα, οποίος και παραμένει σταθερός.

Σήμερα, στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Γενικά, αυτή αποτελείται από:

- Τον δρομέα με δύο ή τρία πτερύγια συνήθως
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στην σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας.
- Την ηλεκτρογεννήτρια σύγχρονη ή επαγωγική
- Το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας
- Το σύστημα προσανατολισμού το οποίο αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με την διεύθυνση του ανέμου
- Τον πύργο, επάνω στον οποίο εδράζει όλη η ηλεκτρομαγνητική εγκατάσταση
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου.

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το αιολικό δυναμικό

Της περιοχής όπου εγκαθίσταται. Το δε μέγεθος της είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει. [5]

1.9 Φωτοβολταϊκή Ηλεκτρική Ενέργεια

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται 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), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστό 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.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και την λειτουργία, οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες μπορούν να καταταγούν σε 3 κυρίως κατηγορίες:

- τις *απλές διατάξεις*, όπου τα ηλιακά κύτταρα είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με την φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.
- τις *διατάξεις με κινητά πλαίσια* που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά κύτταρα να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό κύτταρο μέχρι 50% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδού της επιφανείας του.
- Τις *διατάξεις που με την χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων* συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ υμπεκνωμένη πάνω στα ηλιακά κύτταρα. [6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στα συστήματα ενέργειας και τα πολεοδομικά συστήματα είναι πολύ ισχυρή. Ο παράγοντας ενέργεια επηρεάζει όχι μόνο την αρχιτεκτονική του κτήριου αλλά και την πολεοδομική οργάνωση γενικότερα.

Για να χρησιμοποιηθούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα στα κτήρια χρειάστηκε να περάσουν πάνω από 100 χρόνια.

Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μελετήθηκε για πρώτη φορά από το Γάλλο φυσικό Becquerel το 1838.

Το 1877 οι επιστήμονες Adams και Day από το Cambridge, παρουσίασαν στην Royal Society, την εργασία τους επί των μεταβολών των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του στοιχείου Se, όταν εκτίθεται στο φως.

Το 1883 ο Charles Edgar Fritts, από τη Νέα Υόρκη κατασκεύασε ένα φωτο- στοιχείο από Σελήνιο που μοιάζει με τα σημερινά στοιχεία.

Το 1918 ο Czochralski πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si).

Το 1949 οι Mott και Schottky ανέπτυξαν τη θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης.

Το 1954 οι Chapin, Fuller και Pearson κατασκεύασαν το πρώτο ηλιακό κελί που είχε απόδοση 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας.

Το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιήθηκε για διαστημικές εφαρμογές. Ο δορυφόρος Vanguard I είχε τοποθετημένο ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Μέχρι το 1962 η εταιρεία Sharp εγκαθιστά στην Ιαπωνία τη μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε ένα φάρο, ισχύος 242 Wp.

Τη δεκαετία του '70 εξαιτίας της ενεργειακής κρίσης εμφανίστηκε ένας νέος τομέας της αρχιτεκτονικής ο οποίος ονομάστηκε ενέργεια και αρχιτεκτονική και κυρίαρχο στοιχείο της ήταν η χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Από οικονομική άποψη η εφαρμογή των ενεργητικών συστημάτων απαιτούσε προηγμένη τεχνολογία με μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης.

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των φωτοβολταϊκών αυξάνει όλο και περισσότερο.

Σήμερα έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά υλικά και πολλές χώρες έχουν επενδύσει τεράστια κονδύλια για περαιτέρω βελτίωση της Φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα προσαρμόζονται στις προσόψεις κτηρίων, σε κελύφη, σε αίθρια, σε στέγαστρα, σε θόλους και σε οροφές.

Η ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στηρίζεται σε ένα σύστημα κρυστάλλων το οποίο στην ουσία αποθηκεύει την ηλιακή ακτινοβολία και με κατάλληλες διαδικασίες επιτυγχάνει την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Αναλυτικότερα το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκό κύτταρο (Φ/Β) και αποτελεί ένα ημιαγώγιμο στοιχείο, μια

κρυσταλλοδιόδο (ένωση p-n που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που μετατρέπει μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. [7]

2.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

2.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας καθώς δίνει ζωή σε κάθε οργανισμό της βιόσφαιρας, δημιουργεί τους ανέμους, παράγει την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ξύλα και ορυκτά καύσιμα, και επομένως είναι η πηγή όλης σχεδόν της ενέργειας που χρησιμοποιούμε. Ο ήλιος είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους όπου, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που επικρατούν (μερικών εκατομμυρίων °C), τα μόρια και άτομα των στοιχείων που τον συνθέτουν βρίσκονται σε κατάσταση νέφους θετικών και αρνητικών ιόντων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάστηκε. Σε αυτές τις θερμοκρασίες οι ταχύτητα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου. Η πυρηνική αυτή σύντηξη είναι ισχυρά εξώθερμη και οι παραγόμενες τεράστιες ποσότητες ενέργειας ακτινοβολούνται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Η γη συλλαμβάνει το ένα δισεκατομμυριοστό της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, που όμως αντιστοιχεί σε τεράστια ενεργειακή ποσότητα αν αναλογιστούμε ότι η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη σε μία εβδομάδα είναι περίπου ίση με τη συνολικά αποθηκευμένη ενέργεια όλων των καυσίμων του πλανήτη.

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους: θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η θερμική αξιοποίηση περιλαμβάνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα κυρίως για θέρμανση νερού και μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση αμοστροβίλων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων ή συστοιχιών τους. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ. Η εξέλιξή της επέτρεψε τη μείωση του κόστους στην παραγωγή ηλεκτρισμού από \$300 σε \$4 ανά Watt. Λόγω της σχετικά χαμηλής απόδοσής τους και του συνεπαγόμενου υψηλού συνολικού κόστους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν κυρίως εφαρμογή ως μονάδες μικρής δυναμικότητας σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή. [8]

Με μία καλή προσέγγιση, ο ήλιος ενεργεί ως μία τέλεια πηγή ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μία θερμοκρασία κοντά στους 5.800 K. Η προσπίπτουσα κατά μέσο όρο ροή ενέργειας πάνω σε μία μονάδα επιφάνειας κάθετη προς τη διεύθυνση της δέσμης έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, είναι γνωστή ως ηλιακή σταθερά και ισούται με $S = 1367 \text{ W/m}^2$. Γενικότερα, η ολική ισχύς από μία πηγή ακτινοβολίας που πέφτει πάνω στη μονάδα επιφάνειας, ονομάζεται ένταση ακτινοβολίας. [9]

Η ατμόσφαιρα της γης, μειώνει σημαντικά την ακτινοβολία με τους μηχανισμούς της ανάκλασης, απορρόφησης (από το όζον, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα) και σκέδασης (από τα μόρια αέρα, σκόνης ή ρύπους). Όταν η ηλιακή

ακτινοβολία αθροίζεται στη διάρκεια ενός έτους, προκύπτει η ετήσια ηλιακή ενέργεια, συνήθως σε kWh/m². Η τιμή αυτή διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία.

Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της στην επιφάνεια κάθε τόπου εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική του θέση, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος π.χ. δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές. [8]

2.2.2 Ηλιακό Δυναμικό

Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρα μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως.

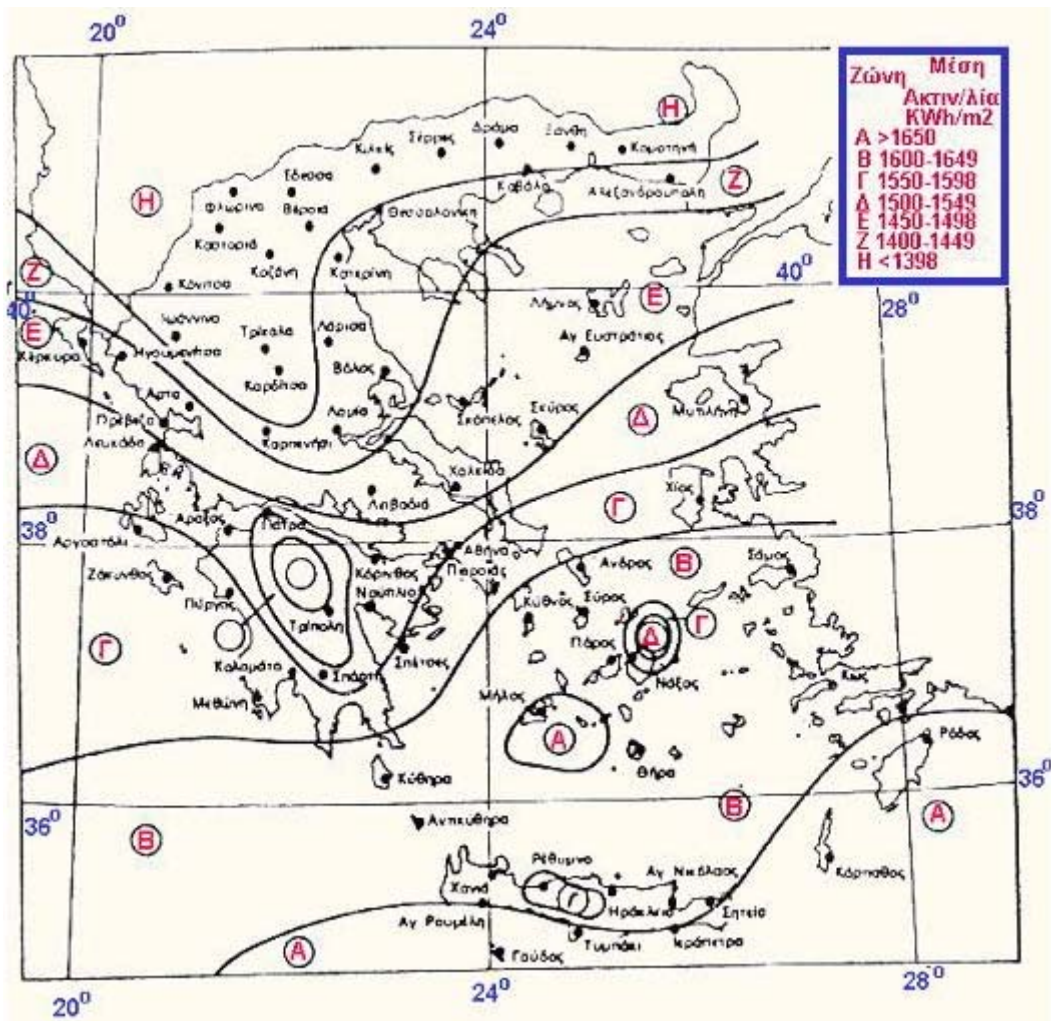
Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται από τα υψηλότερα της Ευρώπης, κάνοντας τα φ/β ελκυστικά για αξιοποίηση. Όμως δεν μπορούν να εξαχθούν ανάλογα συμπεράσματα για όλες τις περιοχές της χώρας, καθώς κάποια σημεία δέχονται υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. νησιά νοτιοανατολικού Αιγαίου), ενώ άλλα πολύ χαμηλότερα (π.χ. βόρεια Ελλάδα).

Ο Ελλαδικός χώρος μπορεί να χωριστεί σε 7 ζώνες ανάλογα με το ποσό της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται (Σχήμα 2.1).

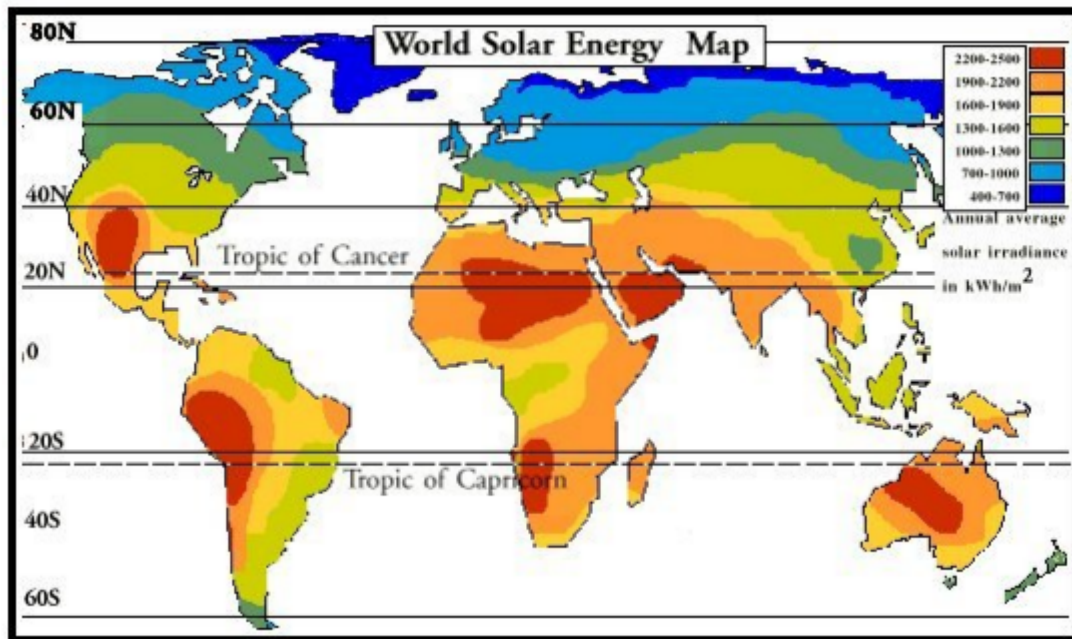
Ένα Φ/Β σύστημα στην Ελλάδα εν γένει παράγει ετησίως 1100-1500 kWh ανά εγκατεστημένο kW. Εννοείται ότι στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας μας, ένα Φ/Β παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ'ότι στις βόρειες. Για παράδειγμα, αναφέρουμε ότι ένα Φ/Β σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1300-1400 kWh/έτος/kW, στη Θεσσαλονίκη 1150-1250 kWh/έτος/kW στην Κρήτη ή Ρόδο (άρα και στην Κω) 1350-1500 kWh/έτος/kW και στην Ζάκυνθο άρα και στην Κεφαλλονιά 1350-1450 kWh/έτος/kW. [10]

Συνεπώς η Ελλάδα αποτελεί μία από τις κατεξοχήν κατάλληλες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για εφαρμογές εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

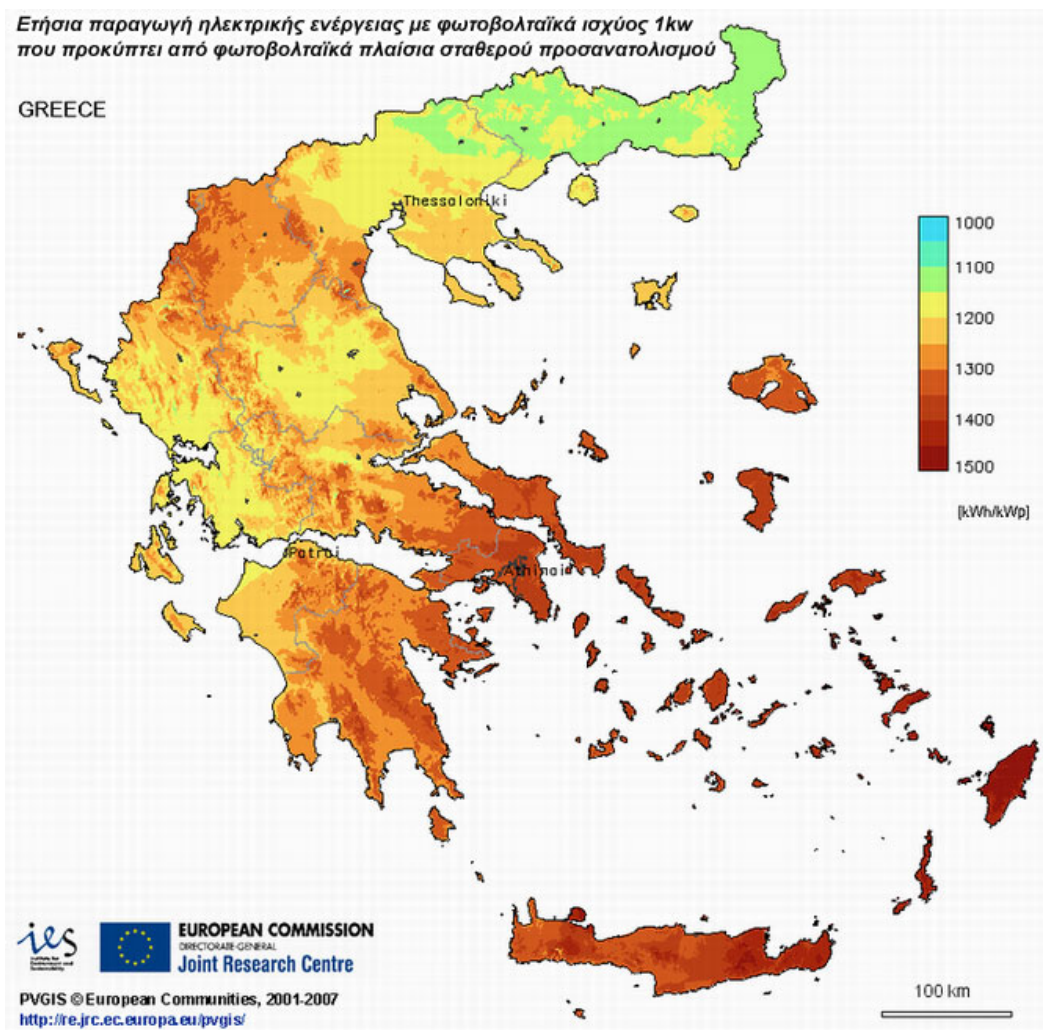
Στο σχήμα 2.2, φαίνονται τα ποσά πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως ανά τον κόσμο και στο σχήμα 2.3, όσον αφορά την Ελλάδα. Στον πίνακα 2.1 φαίνεται η ετήσια πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορα κεκλιμένα επίπεδα και διαφορετικές πόλεις της Ελλάδας.



Σχήμα 2.1: Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Όπως δείχνεται στον ένθετο πίνακα η ζώνη A δέχεται πάνω από 1650 Kwh/m² η ζώνη B από 1649 Kwh/m² κλπ.



Σχήμα 2.2: Παγκόσμιος χάρτης ετήσιας ηλιακής ενέργειας [11]



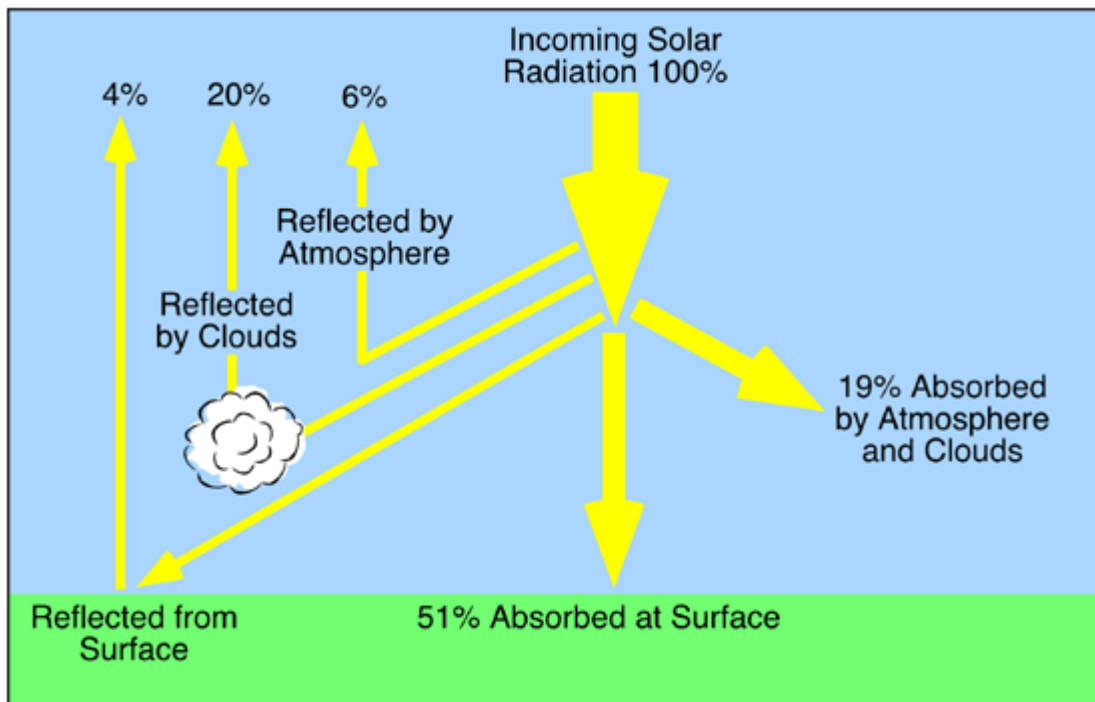
Σχήμα 2.3: Χάρτης ετήσιας ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα [12]

	0°	30°	45°	60°	90°
Αθήνα	1581	1730	1680	1549	1090
Θεσσαλονίκη	1403	1544	1505	1395	1000
Κόρινθος	1526	1666	1617	1490	1050
Πάρος	1629	1751	1685	1538	1058
Πάτρα	1479	1611	1563	1441	1018
Χανιά	1630	1738	1667	1517	1033

Πίνακας 2.1: Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²) σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, σε επίπεδα με κλίση 0°, 30°, 45°, 60° και 90° και προσανατολισμό προς το Νότο [13]

2.2.3 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης, συνίσταται από ένα μέρος άμεσης ακτινοβολίας και ένα μέρος διάχυτης όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4. Το 51% της ακτινοβολίας απορροφάται άμεσα από το έδαφος, το 19% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα ενώ το υπόλοιπο 30% ανακλάται από την επιφάνεια, τα σύννεφα και την ατμόσφαιρα. Η άμεση συνιστώσα της ακτινοβολίας, προέρχεται από την κατεύθυνση του ήλιου σε αντίθεση με τη διάχυτη, η οποία σκεδάζεται από τον ουράνιο θόλο και δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση.



Σχήμα 2.4: Ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα [14]

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα οριζόντιο επίπεδο είναι το άθροισμα της ακτινικής και διάχυτης ακτινοβολίας:

$$I = I_b + I_d \quad (2.1)$$

όπου I η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης

I_b η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο

I_d η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο

Εάν η επιφάνεια είναι κεκλιμένη, τότε στον προηγούμενο ορισμό προσθέτουμε την ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος:

$$I_T = I_{b,T} + I_{d,T} + I_{refl,T} \quad (2.2) \quad [15]$$

όπου I_T η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης

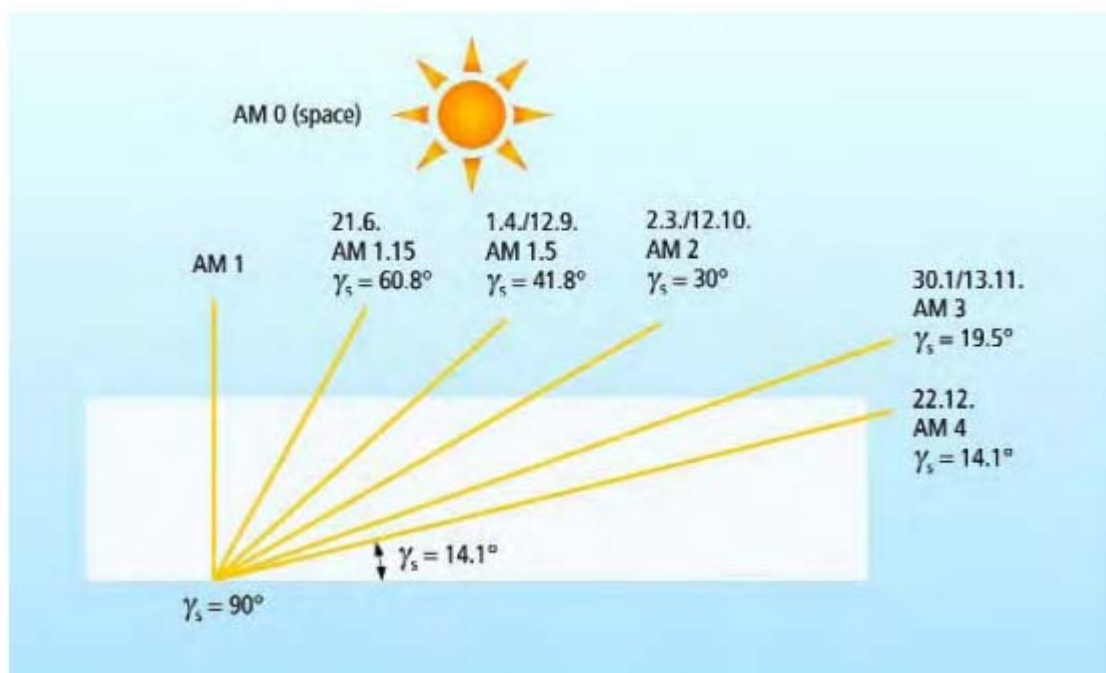
$I_{b,T}$ η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

$I_{d,T}$ η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

$I_{refl,T}$ η ανακλώμενη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος είναι φυσικά άκρως μεταβλητή. Επιπλέον, πέρα από την κανονική ημερήσια και ετήσια μεταβολή λόγω της φαινόμενης κίνησης του ήλιου, ακατάστατες μεταβολές (κάλυψη από σύννεφα) προκαλούνται από τις κλιματολογικές συνθήκες καθώς επίσης και τη γενικότερη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Γι' αυτό το λόγο, η σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος βασίζεται στη λήψη μετρούμενων δεδομένων που λαμβάνονται στη τοποθεσία εγκατάστασης ή κοντά σε αυτή.

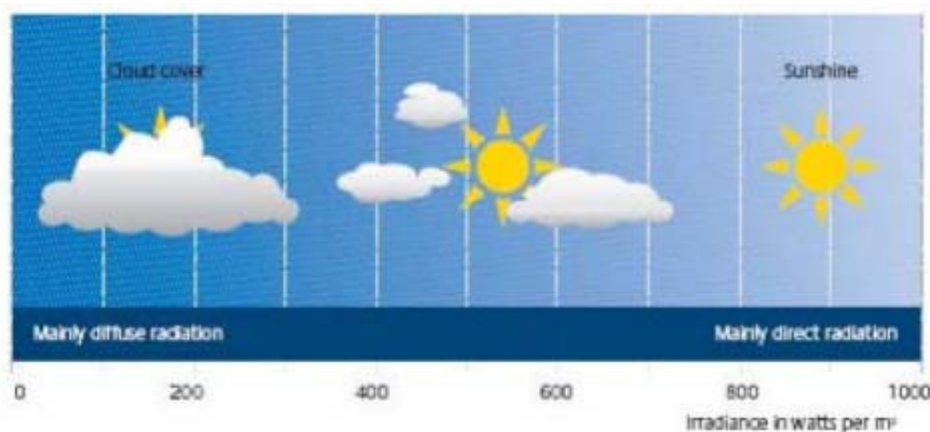
Ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει την επίδραση της καθαρής ατμόσφαιρας στη διαδρομή του ηλιακού φωτός, είναι η μάζα αέρος (A.M), ίση προς το σχετικό μήκος της διαδρομής της απευθείας δέσμης διαμέσου της ατμόσφαιρας. Στη διάρκεια μίας ηλιόλουστης καλοκαιρινής ημέρας στο επίπεδο της θάλασσας, η ακτινοβολία από τον ήλιο, όταν βρίσκεται στο Ζενίθ, αντιστοιχεί σε μάζα αέρος 1. Σε άλλες περιπτώσεις, η μάζα αέρος (A.M), είναι κατά προσέγγιση ίση προς το $1/\cos\gamma_s$, όπου γ_s είναι η γωνία του Ζενίθ όπως μας δείχνει το Σχήμα 2.5. [9]



Σχήμα 2.5: Ορισμός μάζας αέρος A.M. [16]

Ανάλογα με τις συνθήκες συννεφιάς και την ώρα της ημέρας (γωνία ύψους του ήλιου), η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία διαφοροποιούνται σημαντικά. Τις αίθριες ημέρες, η άμεση ακτινοβολία, είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα, σε πολύ συννεφιασμένες μέρες (κυρίως το χειμώνα), η συνολική ακτινοβολία οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη της διάχυτης συνιστώσας όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στη γη, κατανέμεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές. Οι περιοχές κοντά στον ισημερινό λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία από οποιεσδήποτε άλλες. Η ηλιακή ακτινοβολία διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εποχές και εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, το κλίμα (ιδιαίτερα τα σύννεφα που σκεδάζουν τις ακτίνες του ήλιου) και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες καθορίζουν το ποσό της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται για τα φωτοβολταϊκά συστήματα.



Σχήμα 2.6: Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας σε αίθριες και συννεφιασμένες μέρες [16]

Το ποσό της ενέργειας που παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία αλλά επηρεάζεται σημαντικά και από την ικανότητα των στοιχείων να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια (conversion efficiency).

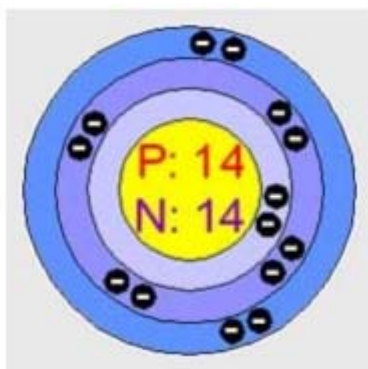
2.2.4 Ημιαγωγός

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται κύρια με τη χρήση των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων (Φ/Β), που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά, όπως το πυρίτιο που είναι το συνηθέστερο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος της ακτινοβολίας διεγείρει ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να κινούνται σχετικά ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου υποχρεώνει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, παράγοντας

ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η ισχύς καθορίζεται από τη ροή των ηλεκτρονίων και την εφαρμοζόμενη τάση στο φωτοβολταϊκό κύτταρο. Για να αυξηθεί η ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων προστίθενται στο καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο προσμίξεις, όπως ο φώσφορος και το βόριο.

Κάθε άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια καταναμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι δύο πρώτες είναι συμπληρωμένες με 2 και 8 άτομα αντίστοιχα. Η εξωτερική στοιβάδα περιλαμβάνει τα υπολειπόμενα 4 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου σχηματίζοντας την κρυσταλλική πυραμιδική δομή του καθαρού πυριτίου (Σχήμα 2.7).



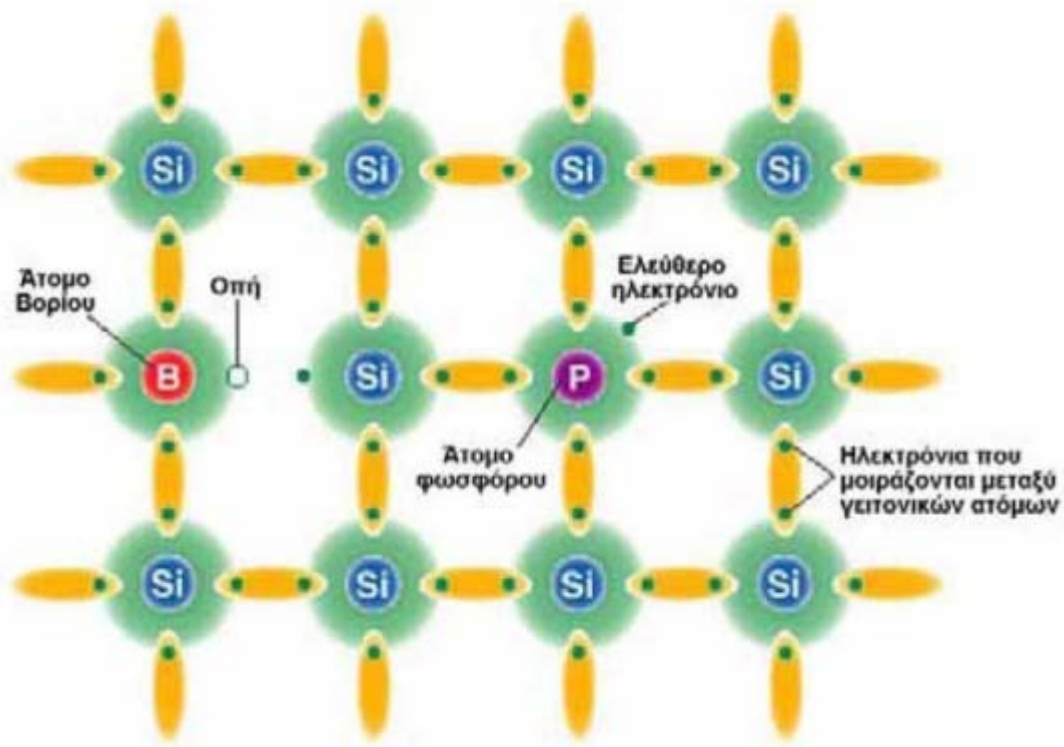
Σχήμα 2.7: Άτομο πυριτίου [7]

Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού καθώς δεν υπάρχουν ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια όπως στην περίπτωση του μεταλλικού πλέγματος. Όταν διοχετεύεται ενέργεια στο κρυσταλλικό πυρίτιο, κάποια ηλεκτρόνια διεγείρονται, σπάζουν τους δεσμούς τους και απομακρύνονται προς γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας διαθέσιμες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Οι θέσεις αυτές καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ροή ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό. Ο αριθμός όμως των ηλεκτρονίων που μπορούν να κινηθούν είναι σημαντικά περιορισμένος για να χρησιμεύσει στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Για το λόγο αυτό εισάγονται ετεροάτομα στην κρυσταλλική δομή, όπως π.χ. φωσφόρου. Η εξωτερική στοιβάδα του φωσφόρου έχει 5 ηλεκτρόνια εκ των οποίων τα 4 συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου, ενώ το πέμπτο συγκρατείται ηλεκτροστατικά από τα πρωτόνια του πυρήνα. Το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο απαιτεί σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης για να κινηθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα. Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η πρόσμιξη του κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί ημιαγωγό τύπου n.

Όταν προστίθεται στο κρυσταλλικό πυρίτιο βόριο προκύπτουν ημιαγωγοί Τύπου p. Το βόριο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 3 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με άτομα πυριτίου. Επειδή σε κάθε άτομο απαιτούνται 8 ηλεκτρόνια για τη συμπλήρωση της εξωτερικής τους στοιβάδας, στην εξωτερική στοιβάδα του βορίου υπάρχουν διαθέσιμες 2 ελεύθερες θέσεις ηλεκτρονίων, δημιουργώντας αντίστοιχες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Η κατάληψη των οπών από ηλεκτρόνια

γειτονικών ατόμων δίνει την εικόνα διάδοσής τους στο υλικό ή μεταφοράς θετικών φορτίων στην κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού. [8]

Στο παρακάτω σχήμα 2.8 φαίνεται ο κρυσταλλικός δεσμός πυριτίου (Si), Φωσφόρου (P) και βορίου (B).



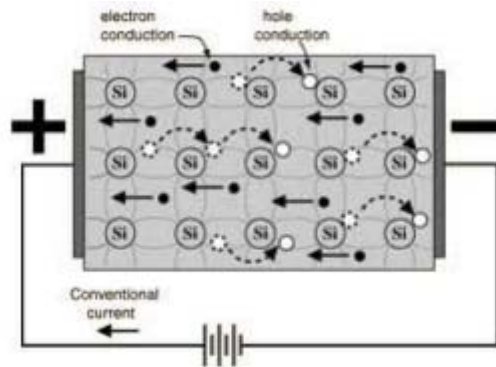
Σχήμα 2.8: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με πρόσμιξη ατόμων βορίου και φωσφόρου [17]

2.2.5 Επαφή p-n

Κάθε κρυσταλλικός ημιαγωγός, για να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές, θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγωγικών υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν υπό την επίδραση της ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν κενές θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς p).

Λόγω της ασυμμετρίας που έχουν οι δύο περιοχές στη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών ενεργοποιείται στην περιοχή της επαφής τους το φαινόμενο της διάχυσης και έτσι ηλεκτρόνια από την περιοχή n (περίσσεια) μεταφέρονται προς την περιοχή p αποτέλεσμα αυτού είναι να δημιουργείται στον ημιαγωγό n μια περιοχή κοντά στην διεπαφή p-n όπου είναι αυξημένο το θετικό φορτίο. Αντιστρόφως οπές από την περιοχή p (περίσσεια) μεταφέρονται στην περιοχή n. Συνέπεια τούτου είναι σε ένα τμήμα του ημιαγωγού p κοντά στην διεπαφή p-n να επικρατεί αρνητικό φορτίο. Όλη αυτή η δυναμική ισορροπία συγκέντρωσης φορτίων ηλεκτρονίων και οπών περί την

διεπαφή p-n αναπτύσσεται χωρίς την επίδραση φωτός. Ακόμα και αν οι δύο ημιαγωγοί n και p συνδεθούν με έναν αγωγό δεν θα εμφανισθεί ρεύμα.

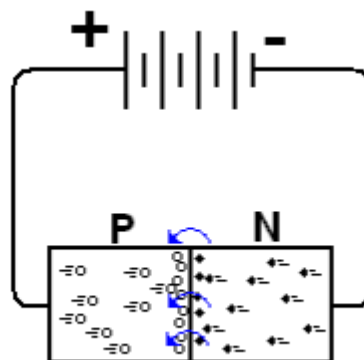


Σχήμα 2.9: Επαφή p-n [18]

Συνέπεια του παραπάνω φαινομένου είναι η ανάπτυξη στην περιοχή της διεπαφής p-n ενός εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου με κατεύθυνση από την περιοχή n προς την περιοχή p. Λόγω της ανάπτυξης του παραπάνω ηλεκτρικού πεδίου το φαινόμενο της διάχυσης δεν δύναται να συνεχιστεί αφού όπως είναι γνωστό από την φυσική τα ηλεκτρόνια κινούνται αντίθετα από τη φορά του πεδίου ενώ τα θετικά φορτία σύμφωνα με την κατεύθυνση του πεδίου. Και με αυτό τον τρόπο επέρχεται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p-n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος. [19]

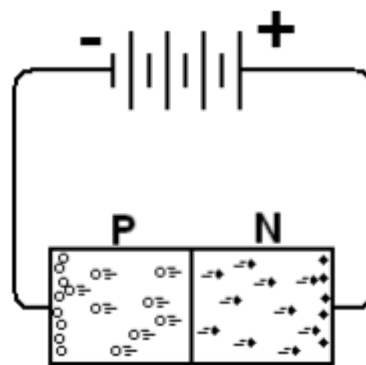
2.2.6 Ορθή και Ανάστροφη Πόλωση της Διόδου

Η μία περίπτωση είναι να επιβληθεί στη δίοδο p-n ορθή πόλωση, δηλαδή ο αρνητικός πόλος της πηγής να συνδεθεί με το τμήμα τύπου n της διόδου, και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p. Τότε, τα ηλεκτρόνια ρέουν ανεμπόδιστα από την πηγή, διαμέσου του τμήματος τύπου n, προς την περιοχή της ένωσης όπου επανασυνδέονται με τις οπές που σχηματίζονται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής, διαμέσου του τμήματος τύπου p.



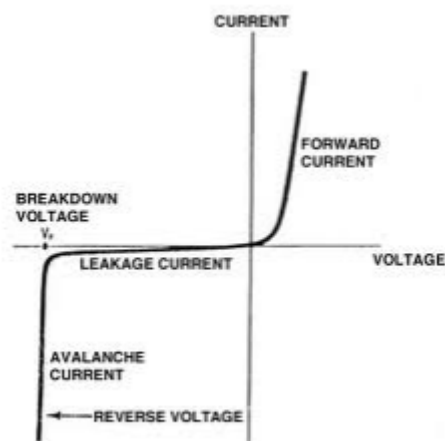
Σχήμα 2.10: Συνδεσμολογία ορθής πόλωσης [14]

Αντίθετα, στην ανάστροφη πόλωση, δηλαδή αν ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδεθεί με το τμήμα τύπου p και ο θετικός με το τμήμα τύπου n, τότε επανασυνδέονται οι οπές του τμήματος τύπου p με τα ηλεκτρόνια που έρχονται από την πηγή, και, από την άλλη μεριά, απομακρύνονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τμήματος τύπου n, προς το θετικό πόλο της πηγής. Έτσι, οι συγκεντρώσεις των φορέων μειώνονται πάρα πολύ, το πάχος της ζώνης εξάντλησης αυξάνει, και τα φορτισμένα άτομα των προσμίξεων δημιουργούν ένα ισχυρό εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αντίθετο προς το πεδίο που επιβάλλει η πηγή. Το αποτέλεσμα είναι ότι τώρα η διόδος προβάλλει μεγάλη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Δηλαδή μπορεί μια διόδος που έχει σε ορθή πόλωση αντίσταση μόλις 10 Ω, να την αυξάνει στην αντίστροφη πόλωση σε 100 MΩ, δηλαδή να γίνεται δέκα εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη.



Σχήμα 2.11 : Συνδεσμολογία ανάστροφης πόλωσης [20]

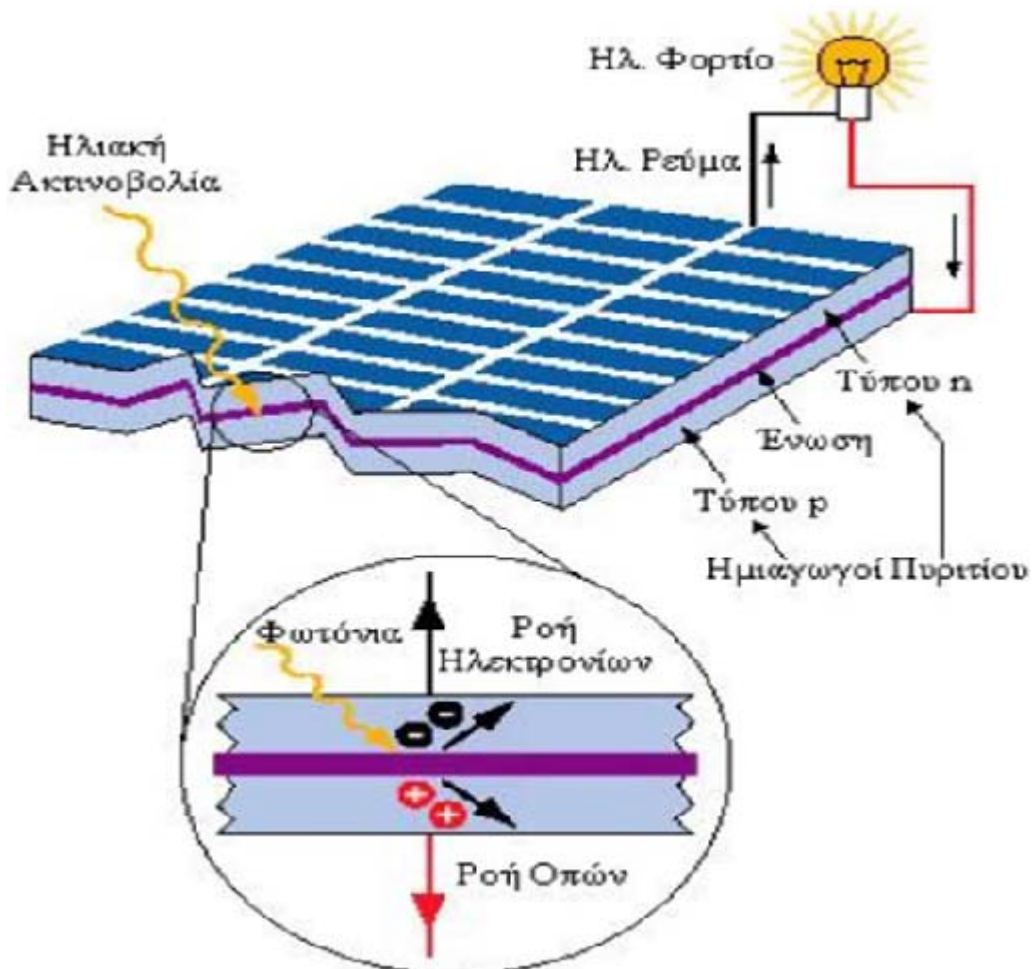
Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει ακριβώς την ιδιόμορφη μεταβολή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει μια διόδος ένωσης p-n, σε συνάρτηση με την τιμή της τάσης και το είδος της πόλωσης που εφαρμόζεται.



Χαρακτηριστική I-V 1: Διόδου [21]

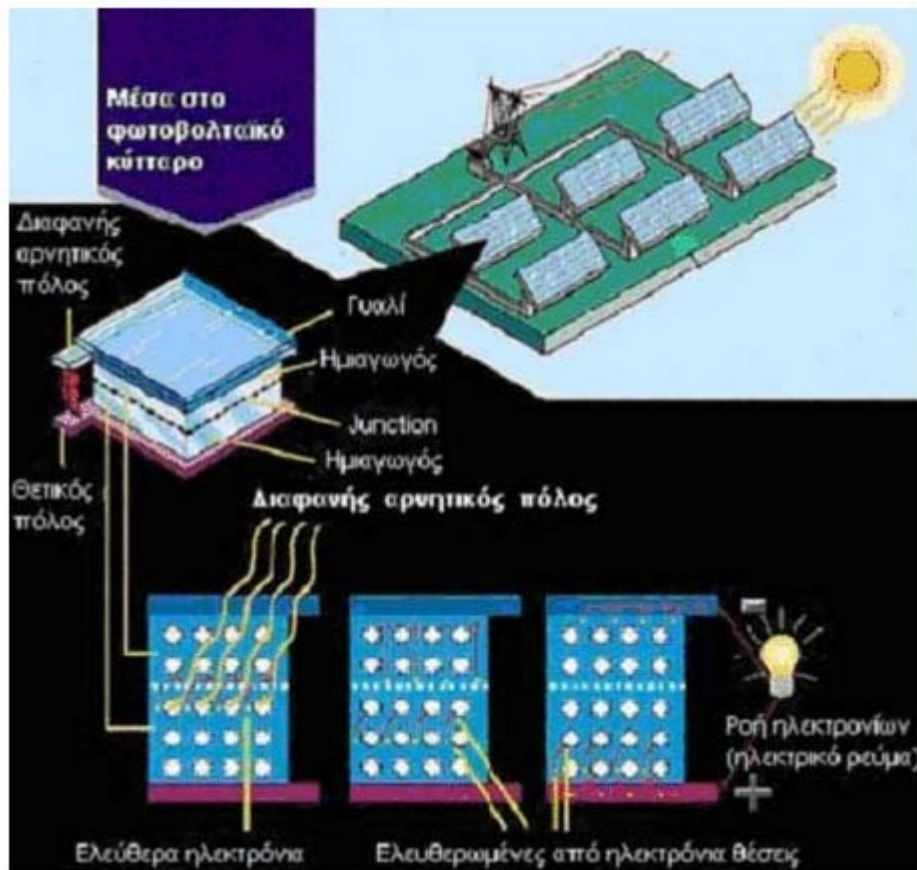
2.2.7 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Φέρνοντας σε επαφή τους ημιαγωγούς τύπου n και p σχηματίζεται ηλεκτρικό πεδίο. Τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου n κινούνται προς τις κενές θέσεις του πυριτίου τύπου p για να τις καλύψουν. Στην ένωση των δύο υλικών επιτυγχάνεται ισορροπία και δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στις δύο πλευρές. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο p στο n αλλά όχι αντίστροφα. Όταν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, κατάλληλου μήκους κύματος, προσπίπτουν σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο διεγείρουν ηλεκτρόνια και τα ελευθερώνουν δημιουργώντας παράλληλα αντίστοιχες οπές. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μια οπή. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή βρεθούν κοντά στην ένωση p-n ημιαγωγών, το πεδίο θα εξαναγκάσει το ηλεκτρόνιο να πάει στον ημιαγωγό n και θα οδηγήσει την οπή στο πυρίτιο p. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισορροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιηθεί μία εξωτερική αγωγική οδός τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση από όπου το ηλεκτρικό πεδίο τα απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος.



Σχήμα 2.12: Λειτουργία των φωτοβολταϊκών κυττάρων στηριζόμενη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο [22]

Το μέγιστο θεωρητικό ποσό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι περίπου το 25% της ενέργειας που δέχεται, αλλά το πιο συνηθισμένο ποσοστό είναι λιγότερο από 15%. Καθώς η ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν είναι μονοχρωματική, αποτελείται από φάσμα διαφορετικών μηκών κυμάτων, άρα και από φωτόνια διαφορετικών επιπέδων ενέργειας. Τα φωτόνια χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου δεν μπορούν να διεγείρουν ηλεκτρόνια του ημιαγωγού και απλώς διέρχονται μέσα από το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Μόνο τα φωτόνια που μεταφέρουν μεγαλύτερη ή ίση ενέργεια από ένα συγκεκριμένο ποσό που εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το κύτταρο (ενεργειακό διάκενο) μπορούν να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια. Η τεχνολογία των ημιαγωγικών υλικών επέτρεψε την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς ενδεχόμενη χρήση αγώγιμων υλικών, όπως τα μέταλλα, θα οδηγούσε μεν σε μεγαλύτερη ροή ηλεκτρονίων αλλά θα παρουσίαζε πολύ χαμηλή τάση πεδίου. [8]



Σχήμα 2.13: Μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια [8]

2.3 Η Ηλιακή Τεχνολογία Σήμερα

Στην σημερινή αγορά των ηλιακών κυττάρων και συστημάτων χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικοί τύποι ημιαγώγιμων υλικών: η κρυσταλλική σιλικόνη, η άμορφη σιλικόνη και πιο πρόσφατα τα $CuInSe_2$ και $CdTe$.

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

Ας μελετήσουμε αναλυτικότερα τους 4 διαφορετικούς τύπους:

1. Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο: μονοκρυσταλλικά κύτταρα αυξημένου πυριτίου, (200 μm). Τα ερευνητικά κύτταρα έχουν φθάσει σχεδόν σε αποδοτικότητα 24%, με τις εμπορικές ενότητες των μονοκρυσταλλικών κυττάρων να υπερβαίνουν το 15%.
2. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο: Τεμαχισμένα κομμάτια χυτού πυριτίου. Τα κύτταρα αυτά είναι λιγότερο ακριβά να κατασκευαστούν και λιγότερο αποδοτικά από τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου. Η αποδοτικότητα προσεγγίζει το 18% των ερευνητικών κυττάρων, και οι εμπορικές ενότητες πλησιάζουν αποδοτικότητα 14%.
3. $CuInSe_2$: πολυκρυσταλλικό υλικό με ενσωματωμένη τεχνολογία λεπτών ταινιών Copper Indium Diselenide ($CuInSe_2$). Έχει φθάσει σε ερευνητική αποδοτικότητα το 17,7%, παραδίδει την υψηλότερη ολοκληρωμένη αποδοτικότητα ενότητας για τις πλήρεις μεγέθους ενότητες δύναμης, που φθάνουν πάνω από 11%.
4. Telluride καδμίου ($CdTe$): λεπτό πολυκρυσταλλικό υλικό, που προέρχεται από την ηλεκτροαπόθεση. Οι μικρές εργαστηριακές συσκευές εξάτμισης υψηλού ποσοστού πλησιάζουν την αποδοτικότητα 16%, με τις εμπορικώς ταξινομημένες ενότητες (7200m^2) που μετριοούνται στις ενότητες αποδοτικότητας και παραγωγής 8,34% σε περίπου 7%. [23]

2.4 Χαρακτηριστικά Ηλιακού Κυττάρου

Το ηλιακό κύτταρο είναι σχετικά μικρό σε διαστάσεις, περίπου $10 \times 10\text{cm}$, και παράγει χαμηλή τάση. Η τάση που παράγει το φωτοβολταϊκό μεταβάλλεται ελάχιστα με την ένταση της ακτινοβολίας, σε αντίθεση με το παραγόμενο ρεύμα, το οποίο είναι ανάλογο της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν αυξάνεται δηλαδή η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνεται και το ρεύμα που παράγεται από το φ/β κύτταρο. Το βασικό χαρακτηριστικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η φ/β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φ/β ηλιακά στοιχεία.

Η τάση και η ισχύς των Φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φ/β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5V περίπου και ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4W περίπου. Για αυτό, τα Φ/β στοιχεία που

προορίζονται για τη συγκρότηση φ/β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης, π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει περίπου 15-20 V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες, για την φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4V μέχρι 22V, και ένταση ρεύματος από περίπου 0,5 A μέχρι 2,5A.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν σκούρο χρώμα, γεγονός που βοηθά στην απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοστών ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και στην αύξηση της θερμοκρασίας τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας όμως, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της τάσης που δημιουργείται στα άκρα του φ/β κυττάρου, συγκεκριμένα πάνω από τους 25°C για κάθε ένα παραπάνω βαθμό υπάρχει αντίστοιχη μείωση της απόδοσης κατά 0,4%.

2.5 Ελληνική Νομοθεσία

Περιγραφή του αρχικού νόμου για τα φωτοβολταϊκά Ν.3468/2006

Ο νόμος που άλλαξε άρθρο το σκεπτικό της αγοράς των ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ο Ν.3468/06. Ο σκοπός αυτού του νόμου είναι η εναρμόνιση ουσιαστικά της Ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία της ευρωπαϊκής κοινότητας 2001/77/ΕΚ. Με αυτόν τον νόμο θεσπίζονται επιτέλους σοβαρά κίνητρα στους ιδιώτες για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κυρίως με σκοπό την οικονομική επένδυση.

Ο νόμος που άλλαξε άρθρο το σκεπτικό της αγοράς των ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ο Ν.3468/06. Ο σκοπός αυτού του νόμου είναι η εναρμόνιση ουσιαστικά της Ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία της ευρωπαϊκής κοινότητας 2001/77/ΕΚ. Με αυτόν τον νόμο θεσπίζονται επιτέλους σοβαρά κίνητρα στους ιδιώτες για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κυρίως με σκοπό την οικονομική επένδυση.

ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ Ν.3468/06 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ

Το κυριότερο του σημείο είναι η κρατική δέσμευση για αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η έκδοση του σχετικού τιμοκαταλόγου με τον οποίο καθορίζονται τιμές πώλησης της ενέργειας για κάθε πιθανή δραστηριότητα στον χώρο των ΑΠΕ.

ΕΚΔΟΣΗ ΑΔΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΞΑΙΡΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΑΥΤΗΝ ΕΞΑΙΡΕΣΗ ΑΠΟ ΛΗΨΗ ΑΔΕΙΑΣ

Τροχοπέδη μέχρι σήμερα για την συμμετοχή ιδιωτικών επενδύσεων στον χώρο της ενέργειας αποτελούσαν οι δαιδαλώδεις διαδικασίες σχετικά με την έκδοση Άδειας Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νέος νόμος έχει καλύψει πλέον κάποιες ασάφειες που υπήρχαν στο πρόσφατο νομικό καθεστώς και μάλιστα απλοποιεί εξαιρετικά τις διαδικασίες αδειοδότησης «μικρών» εγκαταστάσεων ΑΠΕ.

Συγκεκριμένα στο άρθρο 4 του νόμου, θεσπίζονται τα όρια της εγκατεστημένης ισχύος για κάθε τύπο ΑΠΕ, κάτω από τα οποία απλοποιείται η διαδικασία έκδοσης άδειας παραγωγής.

Για περιπτώσεις σταθμών παραγωγής από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ με εγκατεστημένη ισχύ : $\leq 20\text{Kwe}$ δεν απαιτείται η γνωμοδότηση της ΡΑΕ (εκτός τις περιπτώσεις των μη διασυνδεδεμένων νήσων)

Επίσης σύμφωνα με το άρθρο 8 για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις εξαιρέσεων, δεν απαιτείται άδεια εγκατάστασης και άδεια λειτουργίας απαιτείται όμως η περιβαλλοντολογική αδειοδότηση.

Για την περιβαλλοντολογική αδειοδότηση υποβάλλονται ή εξαιρείται από άδεια παραγωγής καθώς και Μελέτη Περιβαλλοντολογικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) στην αρμόδια υπηρεσία της οικίας νομαρχίας.

ΕΚΔΟΣΗ ΑΔΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Στις περιπτώσεις σταθμών που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία της «εξαιρέσης» η διαδικασία έκδοσης άδειας παραγωγής είναι σαφώς περισσότερο πολύπλοκη. Χωρίς να εισέλθουμε σε πολύ μεγάλη ανάλυση περιληπτικά τα βασικά σημεία της αδειοδότησης είναι τα ακόλουθα.

Χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης κατόπιν γνωμοδότησης της ΡΑΕ.

Αναφορικά τα βασικά κριτήρια έκδοσης άδειας και η σχετική διαδικασία αδειοδότησης έχει ως εξής:

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

- Εθνική ασφάλεια
- Προστασία δημόσιας υγείας
- Ασφάλεια εγκαταστάσεων συστήματος - Δικτύου
- Ενεργειακή αποδοτικότητα του έργου
- Ωριμότητα διαδικασίας υλοποίησης
- Δικαίωμα χρήσης θέσης εγκατάστασης
- Επιστημονική - οικονομική - τεχνική επάρκεια αιτούντος για υλοποίησης της επένδυσης

- Διασφάλιση παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας
- Προστασία του περιβάλλοντος

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η ΡΑΕ εξετάζει το κατά πόσο πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια στον φάκελο του αιτούντος και

- συνυπολογίζει την αξιολόγηση της Προμελέτης Περιβαλλοντολογικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.) από την αρμόδια αρχή (60 ημέρες από κατάθεση ΠΠΕ)
- Σε διάστημα εντός 4μηνών από την γνωστοποίηση σε αυτήν της αίτησης γνωμοδοτεί στον Υπουργό Ανάπτυξης
- Ο Υπουργός Ανάπτυξης αποφασίζει για την έκδοση άδειας σε διάστημα 15 ημερών από την γνωμοδότηση της ΡΑΕ

Διάρκεια άδειας παραγωγής : 25 χρόνια με δυνατότητα ανανέωσης για ακόμα 25.Χρονικό περιθώριο για έκδοση άδειας εγκατάστασης : 2 χρόνια (+1 υπό προϋποθέσεις)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ ΑΔΕΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η άδεια εγκατάστασης για τα έργα που κατατάσσονται στην 2η υποκατηγορία της Α' Κατηγορίας και στην 3η ή 4η υποκατηγορία της Β' Κατηγορίας εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός. Σε περίπτωση που δεν καθίσταται δυνατό αρμόδιος για την έκδοση της άδειας θα είναι ο Υπουργός Ανάπτυξης.

Για τα έργα που κατατάσσονται στην 1η υποκατηγορία της Α' Κατηγορίας καθώς και για έργα σε προστατευμένες περιοχές ή άδεια εκδίδεται με κοινή απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης και του κατά περίπτωση αρμόδιου Υπουργού.

- Η άδεια εγκατάστασης ισχύει για δύο (2) έτη και μπορεί να παρατείνεται για ακόμα (2) σε ειδικές περιπτώσεις

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ ΑΔΕΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Αρμόδια αρχή για την έκδοση της άδειας λειτουργίας είναι αυτή που έκδωσε την άδεια εγκατάστασης. Εκδίδεται μετά από δοκιμαστικές διαδικασίες ελέγχων των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης και της παραγόμενης ενέργειας.

- Ισχύει για είκοσι (20) έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα. [24]

2.6 Ένας Πρακτικός Οδηγός για τα Φωτοβολταϊκά

Γιατί να στραφώ στην ηλιακή ενέργεια;

Για να καλυφθούν δύο βασικές ανάγκες. Την ανάγκη σε ενέργεια και την ανάγκη να προστατευτεί το περιβάλλον. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από την ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξείδιο του άνθρακα . Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “ αέριο του θερμοκηπίου ” που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί την μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη.

Συμφέρει η ηλιακή ενέργεια :

Ναι, στις περιπτώσεις εκείνες όπου παρέρχονται κίνητρα και υπάρχει ξεκάθαρη πολιτική στήριξης της ηλιακής τεχνολογίας. Όταν, για παράδειγμα, παρέχεται ενισχυμένη τιμή της πωλούμενης ηλιακής κιλοβατώρας, (όπως ισχύει πλέον και στην χώρα μας), τότε, ο καταναλωτής όχι μόνο κάνει απόσβεση της επένδυσης αλλά έχει και ένα λογικό κέρδος από την παραγωγή και τροφοδοσία πράσινης ενέργειας στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις πάλι των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές εκτός δικτύου, η ανταγωνιστική τεχνολογία είναι οι πανάκριβες στην λειτουργία τους, θορυβώδεις και ρυπογόνες ηλεκτρογεννήτριες, οπότε τα φωτοβολταϊκά είναι μια συμφέρουσα εναλλακτική λύση.

Εξοικείωση με την ορολογία

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο: η ηλεκτρονική διάταξη παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φ/β κύτταρο ή φ/β κυψέλη (PV cell).φωτοβολταϊκό πλαίσιο: Ένα σύνολο φ/β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί την βασική δομική μονάδα της φ/β γεννήτριας (PV module).

Φωτοβολταϊκό πανέλο: ένα ή περισσότερα φ/β πλαίσια , που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φ/β εγκατάσταση (PV panel).

Φωτοβολταϊκή συστοιχία: μια ομάδα από φ/β πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (PV array).

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια: Το τμήμα μιας φ/β εγκατάστασης που περιέχει φ/β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα (PV generator).

Αντιστροφέας (inverter): ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller): Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει την φόρτιση των συσσωρευτών.

KW (κιλοβάτ): Μονάδα ισχύος.

KWh (κιλοβατώρα): Μονάδα ενέργειας.

Γιατί να διαλέξω φωτοβολταϊκά:

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5%-19% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (με την σημερινή τεχνολογία η οποία βελτιώνεται). Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν πχ τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα φωτοβολταϊκά “λεπτού υμενίου” (όπως είναι τα άμορφα, τα μικρομορφικά κ.λπ.).

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

Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Μηδενική ρύπανση
- Αθόρυβη λειτουργία
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (φτάνει τα 30 χρόνια)
- Απεξάρτηση για την τροφοδοσία καυσίμων για της απομακρυσμένες περιοχές
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- Ελάχιστη συντήρηση

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

Τα φωτοβολταϊκά είναι μια από της πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στον χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί έναν ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. 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 συμβάλουν με αυτόν τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Δεδομένου ότι η παραγωγή και η κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται η σημαντικές απώλειες της

μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της

τάξης του 10% σε σχέση με την 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 αναμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1.3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου κ.λπ.). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά την διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για την μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο. Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. Ευρώ.

Μπορώ να απαλλαγώ από τη ΔΕΗ αν στραφώ στην ηλιακή ενέργεια;

Υπάρχουν δύο τρόποι να χρησιμοποιήσει κανείς τα φωτοβολταϊκά. Σε συνεργασία με το δίκτυο της ΔΕΗ ή ανεξάρτητα από αυτό.

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

2. Εναλλακτικά, μια φωτοβολταϊκά εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για την συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής- UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκέσει αυτή. Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί μέχρι πρόσφατα στην Ελλάδα εξυπηρετούσαν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, επειδή στις περιπτώσεις αυτές η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι πολύ πιο εμφανής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η εναλλακτική λύση μιας ηλεκτρογεννήτριας αποδεικνύεται μακροπρόθεσμα εξαιρετικά ακριβή. Όταν όμως υπάρχουν ισχυρά κίνητρα για την παραγόμενη ηλιακή κιλοβατώρα (όπως ισχύει πλέον), τότε συμφέρει στον καταναλωτή να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και να πουλά ηλιακό ηλεκτρισμό σ' αυτό έναντι μια ορισμένης από το νόμο τιμής.

Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Τις ημέρες που δεν έχει ήλιο ή τη νύχτα, τι γίνεται;

Ότι σύστημα και να επιλέξετε, θα συνοδεύεται από κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας. Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων, το "σύστημα αποθήκευσης" είναι το δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ τα αυτόνομα συστήματα συνοδεύονται από μπαταρίες.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Αυτό που ενδιαφέρει, είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημα μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150 – 1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος /KW). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες.

Πόσο ισχυρό πρέπει να είναι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού.

Το πόση ισχύος θα είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται μόνο από δύο παραμέτρους. Αν επιλέχτηκε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα.

Τη διαθέσιμη επιφάνεια στο κτίριο ή το οικόπεδο για να εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά και τα χρήματα που διατίθενται για επένδυση.

Θα υπήρχε η δυνατότητα π.χ. να βάλετε ένα σύστημα που καλύπτει μόλις το 10% των αναγκών του κτιρίου (αν διατίθενται λίγα χρήματα και λίγος χώρος) ή και να

υπερκαλύψετε πολλές φορές τις ανάγκες του κτιρίου (πουλώντας πράσινη ενέργεια στο δίκτυο).

Στην περίπτωση των αυτόνομων εφαρμογών, η κατοικία θα έχει πολύ διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες αν χρησιμοποιείται ως κύρια κατοικία ή ως εξοχικό, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται, τον αριθμό των ατόμων και τις ώρες που διαμένουν εκεί, ακόμα και τις συνήθειες τους. Θα πρέπει να υπολογιστή η βέλτιστη ισχύ ώστε να καλυφτούν με ασφάλεια οι ανάγκες χωρίς να μπου σε περιττά έξοδα.

Τι ενεργειακές ανάγκες μπορώ να καλύψω με ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα;

Ότι θα καλύπτατε και με το ρεύμα της ΔΕΗ. Δεν υπάρχει καμία απολύτως διαφορά.

Για λόγους απόδοσης και οικονομίας πάντως, δεν συνίσταται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ ή θερμοσυσσωρευτές. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο γεωθερμικός κλιματισμός, οι κουζίνες ή τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα, κ.λπ.

Ας πάρουμε το παράδειγμα της θέρμανσης νερού: αν χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρικό θερμοσίφωνα που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, το ηλιακό φως μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και κατόπιν από το θερμοσίφωνα σε θερμότητα. Το συνολικό κόστος των δύο αυτών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

Από την άλλη μεριά, ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης και η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών (υπολογιστές, ηχητικά συστήματα, ψυγεία, τηλεοράσεις, τηλεπικοινωνίες κ.λπ.) αποτελούν ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν εύκολα και οικονομικά με φωτοβολταϊκά.

Κτίζω τώρα την κατοικία μου. Ποια είναι η καλύτερη στιγμή για να σκεφτώ την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών;

καλό είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα που θα εγκατασταθεί να έχει ενταχθεί από την αρχή στο σχεδιασμό του σπιτιού. Μια συνολική μελέτη που να καλύπτει την εξοικονόμηση ενέργειας θα σας βοηθήσει να πετύχετε το καλύτερο αποτέλεσμα με το μικρότερο κόστος.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν σε οικόπεδα, στέγες (επίπεδες και κεκλιμένες) ή και σε προσόψεις κτιρίων. Παρέχονται σε διάφορα μεγέθη και μπορούν π.χ. να υποκαταστήσουν τμήμα μιας κεραμοσκεπής (μειώνοντας αντίστοιχα το κόστος) ή να υαλοστάσια σε μια πρόσοψη. Μπορούν επιπλέον να παίξουν και το ρόλο σκιάστρων πάνω από παράθυρα (βοηθώντας έτσι και στη μείωση των εξόδων για επιπλέον κλιματισμό). Τέλος παρέχονται και σε διάφορα χρώματα και διαφάνειες (κατόπιν παραγγελίας) για ειδικές αρχιτεκτονικές εφαρμογές.

Είναι το κτίριο που διαθέτω κατάλληλο να δεχθεί φωτοβολταϊκά:

Τα περισσότερα κτίρια είναι κατάλληλα. Αρκεί να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Ως ένα πρόχειρο κανόνα υπολογίστε πως χρειάζεστε περίπου 1-1.5 τετραγωνικό μέτρο για κάθε 100 Watt (αν χρησιμοποιήσετε τα συνηθισμένα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά του εμπορίου). Χρειάζεται περίπου 7-10 τ.μ/KW για κεραμοσκεπή και 15 τ.μ/KW για δώμα ή οικόπεδο. Αν πάλι τοποθετήσετε άμορφα φωτοβολταϊκά, το συνολικό κόστος θα είναι περίπου το ίδιο ή και μικρότερο, θα απαιτηθεί όμως περίπου διπλάσια επιφάνεια. Ο χώρος θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά, το σύστημα σας θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση. Ένας χοντρικός κανόνας για να βεβαιωθείτε ότι το σύστημα σας δεν θα αποδίδει λιγότερο λόγω σκιάσεων, είναι ο εξής: η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο (κτίριο, δέντρο, κ.λπ.) πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.
- Τα φωτοβολταϊκά έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις από το νότο έως και 45° είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση.
- Η σωστή κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Συνήθως επιλέγεται μια κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Στην Ελλάδα, η βέλτιστη κλίση είναι γύρω στις 30°. [25]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

3.1 Το Σύστημα

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το ηλιακό κύτταρο (solar cell). Ένα κύτταρο παράγει μικρή ποσότητα ισχύος που είναι ίση με 1 έως 2W. Για να αυξηθεί η ισχύς στην έξοδο των κυττάρων, τοποθετούμε πολλά κύτταρα μαζί (ενώνοντας την θετική επαφή του ενός με την αρνητική του επόμενου, δηλαδή εν σειρά, αυξάνουμε την τάση, ενώ ενώνοντας τις θετικές μεταξύ τους και τις αρνητικές μεταξύ τους, δηλαδή παράλληλα, αυξάνουμε το ρεύμα) και έτσι δημιουργούνται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Με την συνένωση πολλών πλαισίων μαζί δημιουργούνται μονάδες μεγαλύτερης ισχύος που λέγονται συστοιχίες. Συνεχίζοντας αυτήν την διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί οποιαδήποτε ηλεκτρική ισχύς μας χρειάζεται όσο μικρή ή μεγάλη κι αν είναι.

Το βασικό στοιχείο στο εμπόριο είναι το φωτοβολταϊκό (φ/β) πλαίσιο (module). Το μέγεθος ενός φ/β πλαισίου χαρακτηρίζεται από την ισχύ που μπορεί να παράγει και συγκεκριμένα με βάση την ισχύ που δίνει υπό καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας φ/β κυττάρου (25°C) και ακτινοβολίας (1000W/m²) και είναι γνωστή ως «ισχύς αιχμής» (peak Watt, Wp). Για παράδειγμα, όταν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια δύναται να παράγει 10 Wp αυτό σημαίνει ότι παράγει 10W για ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m² και θερμοκρασία κυττάρου 25°C.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν ένα μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος, το οποίο είναι κάθε φορά σχεδιασμένο για συγκεκριμένες λειτουργίες. Οι άλλες συσκευές που προστίθενται στο πλαίσιο μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Συσσωρευτές**, που χρησιμεύουν στην αποθήκευση ενέργειας και στην απόδοσή της όταν αυτό απαιτείται (το βράδυ ή τις βροχερές μέρες).
- **Αντιστροφείς**, που απαιτούνται για την αντιστροφή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται στο φωτοβολταϊκό σε εναλλασσόμενο (AC).
- **Ρυθμιστές**, που διαχειρίζονται την αποθηκευμένη ενέργεια στον συσσωρευτή και διοχετεύουν ενέργεια στο φορτίο.
- **Μηχανικές Κατασκευές**, που απαιτούνται για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών και των λοιπών συσκευών.

Πρακτικά δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλες οι παραπάνω συσκευές σε όλα τα συστήματα. Για παράδειγμα, σε συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν χρειάζεται αντιστροφήας. Για συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο δεν είναι απαραίτητος ο συσσωρευτής διότι το δίκτυο χρησιμεύει και για αποθήκευση. Δηλαδή, όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων-φορτίου, τότε αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση έλλειψης ενέργειας, η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται λαμβάνεται από το δίκτυο. Κάποια συστήματα απαιτούν συσκευές που δεν σχετίζονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως για παράδειγμα είναι μερικά απομονωμένα συστήματα που έχουν ντιζελογεννήτρια για την παροχή ρεύματος όταν εξαντληθεί η ενέργεια των συσσωρευτών.

3.2 Συσσωρευτές

Σε συστήματα απομονωμένα από το δίκτυο, το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παρέχει κάθε φορά την ενέργεια που απαιτείται ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (συννεφιά ή ηλιοφάνεια). Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συσσωρευτές που αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας (σχήμα 3.1). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταριών είναι οι μολύβδου-ασβεστίου και μολύβδου-αντιμονίου (σχήμα 3.2). Για περιπτώσεις όπου ο συσσωρευτής είναι εκτεθειμένος σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται οι νικελίου-καδμίου. Εξαιτίας της συνεχώς μεταβαλλόμενης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας και του φορτίου, οι συσσωρευτές πρέπει να περνούν από πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς να χάνουν τις ιδιότητές τους γρήγορα. Το ποσοστό της χωρητικότητας του συσσωρευτή που μπορεί να εκφορτιστεί χωρίς να καταστραφεί ονομάζεται βάθος εκφόρτισης και εξαρτάται από τον τύπο του. Οι μολύβδου- ασβεστίου είναι μικρού βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 20% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι νικελίου-καδμίου είναι μεγάλου βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 80% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι συσσωρευτές χρειάζονται αλλαγή κάθε 5 με 10 χρόνια ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που κάνουν. Οι συσσωρευτές παρέχουν αυτονομία στο σύστημα από μερικές μέρες μέχρι δύο βδομάδες. Η χρονική διάρκεια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, δηλαδή από την τοποθεσία του και την ύπαρξη ή όχι γεννήτριας. Οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από την τάση τους, η οποία συνήθως είναι πολλαπλάσιο των 12 V, και από την χωρητικότητά τους, που μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Για παράδειγμα συσσωρευτής 50Ah, 48V θα αποθηκεύσει υπό ονομαστικές συνθήκες 2400Wh.

Οι συσσωρευτές, πέραν της μείωσης της απόδοσης που προκαλούν, χρειάζονται περιοδική συντήρηση (έλεγχο υγρών) και έναν μεγάλο χώρο για να αποθηκευτούν. Ο σωστός υπολογισμός του μεγέθους του συσσωρευτή του συστήματος είναι καθοριστικός για την επίτευξη μεγάλης διάρκειας ζωής του, για την ιδανική απόδοση και για την επίτευξη ονομαστικού κόστους κύκλου ζωής του συστήματος (LCC). [26]



Σχήμα 3.1: Συσσωρευτές



Σχήμα 3.2: Είδη συσσωρευτών

3.3 Συστήματα Ρύθμισης Ισχύος

Υπάρχουν αρκετά ηλεκτρονικά συστήματα (σχήμα 3.3) που χρησιμεύουν στον έλεγχο και στην ρύθμιση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Πιο συγκεκριμένα είναι:

- Οι ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών για την ρύθμιση των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης της συσσωρευτή. Όταν ο συσσωρευτής είναι τελείως φορτισμένος, ο ρυθμιστής δεν αφήνει άλλο ρεύμα να εισρεύσει από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στον συσσωρευτή. Ομοίως, όταν ο συσσωρευτής έχει αδειάσει σε ένα προαποφασισμένο επίπεδο, το οποίο ελέγχεται με μέτρηση της τάσης του συσσωρευτή, ο ελεγκτής δεν επιτρέπει να δώσουν άλλο ρεύμα οι συσσωρευτές προτού επαναφορτιστούν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του συσσωρευτή.
- Ο ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT), η οποία είναι μια συσκευή που επεξεργάζεται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ώστε σε κάθε χρονική στιγμή το σύστημα, να απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια.



Σχήμα 3.3: Συστήματα ρύθμισης ισχύος

- Οι αντιστροφείς, οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Η τάση που παράγεται από τη Φ/Β γεννήτρια είναι ακατάλληλη για την άμεση σύνδεση του Φ/Β σταθμού στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Φ/Β στοιχεία παράγουν συνεχή τάση. Παρόλα αυτά, η χρησιμοποίηση εναλλασσόμενου ρεύματος σε Φ/Β εφαρμογές επιβάλλεται, στις περισσότερες των περιπτώσεων, εξαιτίας της επικράτησής του, κατά γενικό τρόπο, σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στη βιομηχανία. Ο απλούστερος τρόπος μετατροπής DC ισχύος σε AC είναι η μηχανική σύνδεση ενός DC κινητήρα με AC γεννήτρια, που όμως παρουσιάζει μικρό βαθμό απόδοσης. Όμως, η καθιερωμένη πλέον μέθοδος για μία τέτοια μετατροπή βασίζεται στη χρήση ημιαγωγών στοιχείων (transistor, thyristor) και έτσι προκύπτει ο καθαρά ηλεκτρονικός αντιστροφέας DC/AC inverter. Ο ρόλος λοιπόν του αντιστροφέα (DC/AC inverter) είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα ΦΒ στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας για σύνδεση στο δίκτυο (ή σε εφαρμογές οικιακής χρήσεως).

Γενικά, ένας αντιστροφέας πρέπει να εκτελεί τρεις λειτουργίες, που είναι α) αντιστροφή, β) ρύθμιση της τάσης και γ) διαμόρφωση της κυματομορφής

Οι βασικές κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα (Inverter) είναι να αποτελείται από εύκολα συναρμολογούμενα μέρη για να γίνονται εύκολα μετατροπές και αναβαθμίσεις, ενώ πρέπει να είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να μη σταματάει η λειτουργία του σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες. Ακόμα, πρέπει να υπάρχει πλήρης γαλβανική απομόνωση του κυκλώματος από τα κυκλώματα ελέγχου και προστασίας ώστε να έχει τη δυνατότητα ο αντιστροφέας (Inverter) να συνδέεται με άλλα ψηφιακά συστήματα.

Οι βασικές λειτουργικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα τάσης (Inverter) είναι να μπορεί να μετατρέπεται εύκολα η λειτουργία του από μονοφασική σε τριφασική, να είναι απλός ο επαναπρογραμματισμός του χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγισή του, ώστε να εξασφαλιστεί η ανάπτυξη και ο έλεγχος λειτουργίας. Επίσης, πρέπει να έχει τη δυνατότητα, σε περίπτωση προβλήματος όπως κάποιο βραχυκύκλωμα, ή υπέρταση, να σταματάει τη λειτουργία του κυκλώματος και να υπάρχει μια ένδειξη η οποία να μας προσδιορίζει το πρόβλημα. [26]

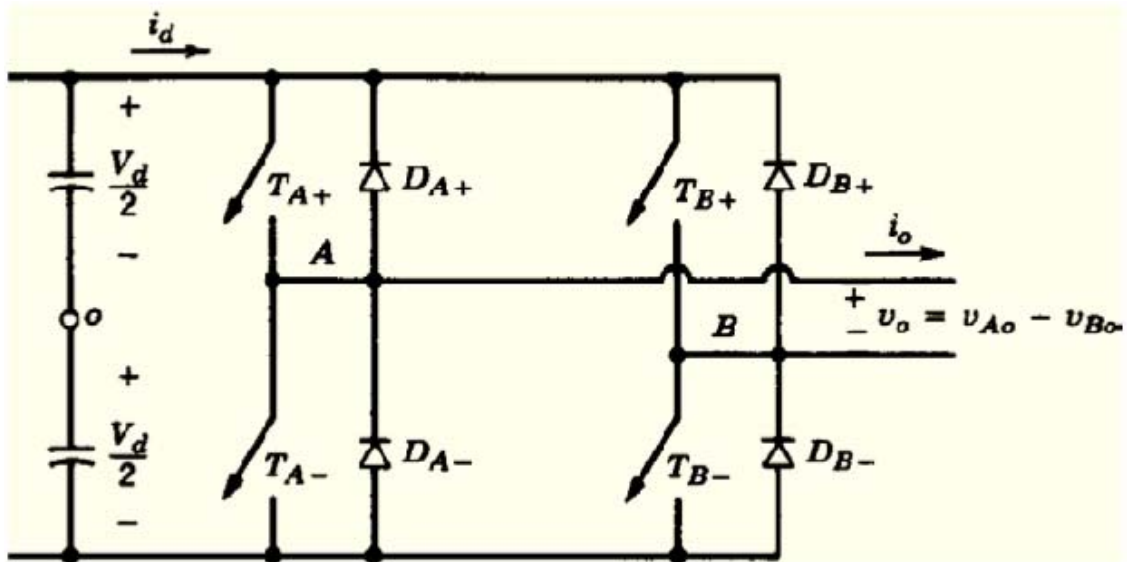
Οι αντιστροφείς DC/AC μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί.

3.4 Αντιστροφέας

3.4.1 Μονοφασικός Αντιστροφέας

Οι μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους σε αντιστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας. Όταν η είσοδος των αντιστροφέων είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς πηγής τάσης (Voltage Source Inverters VSI) ενώ όταν ως

είσοδος λαμβάνεται μια πηγή έντασης ονομάζονται αντιστροφείς πηγής έντασης (Current Source Inverters CSI). Ο χαρακτηρισμός του αντιστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αντιστροφείς πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αντιστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

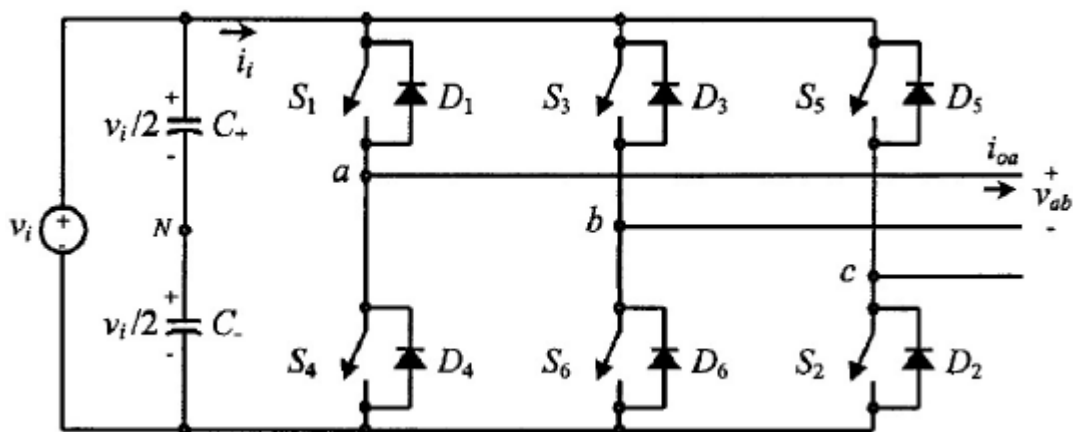


Σχήμα 3.4: Μονοφασικός Αντιστροφέας πηγής τάσης

3.4.2 Τριφασικός Αντιστροφέας

Οι τριφασικοί μετατροπείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, συνηθίζεται η χρήση τους για ισχείς πάνω από 5KW. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μία τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα.

Η τοπολογία ενός τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης φαίνεται στο σχήμα 3.5:

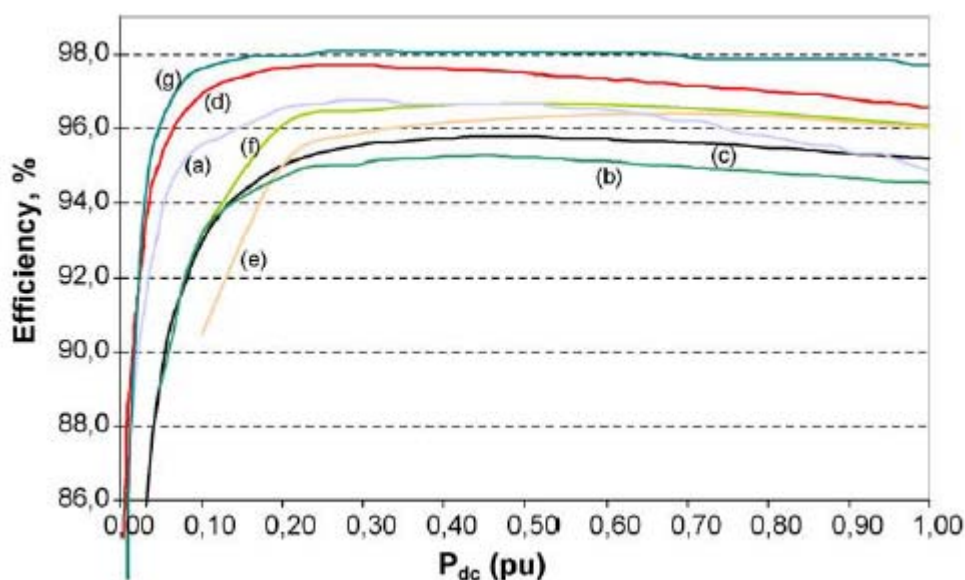


Σχήμα 3.5: Τοπολογία τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης

3.4.3 Βαθμός Απόδοσης Αντιστροφέα

Οι απώλειες ισχύος σε έναν αντιστροφέα αποτελούνται από δύο μέρη. Ένα σταθερό και ένα μεταβλητό το οποίο εξαρτάται από το φορτίο. Το σταθερό μέρος σχετίζεται με την ισχύ που απαιτείται για την τροφοδοσία των κυκλωμάτων ελέγχου και άλλων βοηθητικών μερών του αντιστροφέα. Το μεταβλητό αποτελείται από τις απώλειες αγωγής και διακοπής στα διακοπτικά στοιχεία (συνήθως IGBTs) του αντιστροφέα. Οι απώλειες αυτές είναι ανάλογες του ρεύματος εξόδου. Γι' αυτό ο βαθμός απόδοσης ενός αντιστροφέα δεν είναι σταθερός.

Η μεταβολή του βαθμού απόδοσης σε συνάρτηση με την ανά μονάδα (per unit – pu) τιμή της dc ισχύος φαίνεται στο σχήμα 3.6 για διάφορους αντιστροφείς, σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους. Η ονομαστική ισχύς των αντιστροφέων αυτών είναι 2kW-1000kW, με τους μικρούς σε ισχύ (2kW-11kW) να είναι μονοφασικοί ενώ οι υπόλοιποι τριφασικοί. Παρατηρείται ότι η απόδοση μειώνεται πολύ για επίπεδο φόρτισης 10-20% της ονομαστικής ισχύος λόγω της σχετικής σημασίας των σταθερών απωλειών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αυτό σημαίνει ότι ένας αντιστροφέας με σχετικά μεγάλη ονομαστική ισχύ θα λειτουργεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με μειωμένη απόδοση (κατά την ανατολή και δύση του ηλίου και τις συννεφιασμένες μέρες).



Σχήμα 3.6 – Βαθμός απόδοσης διαφόρων αντιστροφέων ως προς την pu dc ισχύ εισόδου (a)Solar Konzept - 2kW, (b)Sunways – 3kW, (c)SMA – 5kW, (d)SMA – 11kW, (e)Satcon – 50kW, (f)Satcon 100kW, (g)Siemens – 1000kVA.

Από την άλλη, ένας αντιστροφέας με σχετικά μικρή ονομαστική ισχύ δεν θα μεταφέρει στο δίκτυο την dc ισχύ η οποία είναι μικρότερη της ονομαστικής ισχύος του, καθώς ο αντιστροφέας δεν επιτρέπει το ac ρεύμα να ξεπερνά την ονομαστική τιμή του. Επίσης, από το διάγραμμα φαίνεται ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ενός αντιστροφέα εμφανίζεται σε ένα μικρό εύρος φόρτισης. Γι' αυτό είναι απαραίτητο για την αξιολόγηση ενός αντιστροφέα να ληφθεί υπόψη ο βαθμός απόδοσής του σε όλο το εύρος ισχύος στο οποίο

λειτουργεί και όχι μόνο η μέγιστη τιμή του. Έτσι καθιερώθηκε το 1991 ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (Euro-efficiency value), ο οποίος είναι δυναμικός βαθμός απόδοσης, σταθμισμένος στο κλίμα της κεντρικής Ευρώπης. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως εξής:

$$\eta_{\text{Euro}} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{6\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.10 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%} \quad (3.1)$$

όπου υποτίθεται ότι ο αντιστροφέας θα λειτουργεί στην ονομαστική του ισχύ για το 20% του έτους, στο 50% της ονομαστικής του ισχύος για το 48% του έτους κ.ο.κ..

Μια απλή μαθηματική συνάρτηση που περιγράφει με πολύ καλή ακρίβεια την καμπύλη απόδοσης του αντιστροφέα είναι η παρακάτω:

$$\eta(P_{\text{dc,pu}}) = D + GP_{\text{dc,pu}} + \frac{F}{P_{\text{dc,pu}}} \quad (3.2)$$

όπου είναι ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα σε % και η ανά μονάδα ισχύς του αντιστροφέα. D, G, F είναι σταθερές προς προσδιορισμό. Είναι εμφανές από τη σχέση (3.2) ότι απαιτούνται τρία ζεύγη τιμών (η , $P_{\text{dc,pu}}$) ώστε να γίνει ο προσδιορισμός αυτός. Αυτά τα ζεύγη τιμών μπορούν να βρεθούν από την καμπύλη απόδοσης του αντιστροφέα που παρέχει ο κατασκευαστής. Μια καλή επιλογή είναι τα ζεύγη που αντιστοιχούν σε $P_{\text{dc,pu}} = 0.1, 0.2$ και $1pu$, διότι το $P_{\text{dc,pu}} = 0.1pu$ αντιστοιχεί στο ανελθόν μέτωπο της καμπύλης απόδοσης, το $P_{\text{dc,pu}} = 0.2pu$ στο μέγιστο της καμπύλης και το $P_{\text{dc,pu}} = 1pu$ στην ουρά της. Οπότε οι παράμετροι μπορούν πλέον να βρεθούν λύνοντας ένα σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους. Βέβαια οι σταθερές D, G, F μπορούν να βρεθούν και μέσω μιας μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων.

Οι τιμές των D, G, F που αντιστοιχούν στους αντιστροφείς του διαγράμματος (3.1) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (3.1)

	D	G	F
Satcon, 50kW	99.799	-2.977	-0.892
Satcon, 100kW	99.316	-2.697	-0.578
Siemens, 1000kVA	98.778	-0.873	-0.105
SMA, 5kW	97.004	-1.580	-0.362
SMA, 11kW	98.641	-1.782	-0.153
Solar Konzept, 2kW	97.330	-1.801	-0.141
Sunways, 3kW	97.157	-2.272	-0.398

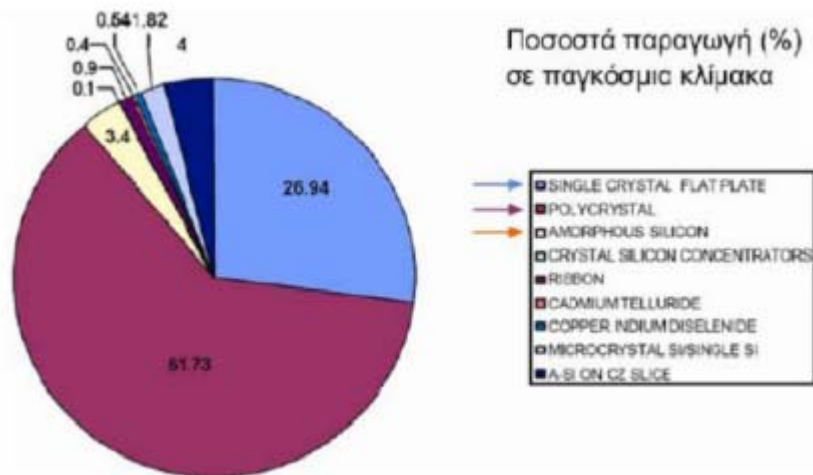
Πίνακας 3.1

3.5 Είδη Ηλιακών Κυττάρων

Η μεγάλη πλειοψηφία των φωτοβολταϊκών κυττάρων αυτή τη στιγμή γίνεται από πυρίτιο, αλλά υπάρχουν και άλλα ημιαγωγικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως το GaAs και το CdTe. Τα είδη ηλιακών κυττάρων, που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην αγορά είναι τα εξής:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου.
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου.
- Λεπτής μεμβράνης (Thin- film).
- Υβριδικά.

Αυτήν την περίοδο οι τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό) αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της γενικής παραγωγής ηλιακών κυττάρων όπως μπορούμε να δούμε και στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7: Υλικά κατασκευής φ/β κυττάρων σε παγκόσμιο κλίμακα

3.5.1 Μονοκρυσταλλικά Κύτταρα Si

Η ονομασία τους προέρχεται από την μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος των ατόμων Si που πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο (σχήμα 3.8). Το πυρίτιο και τα οξυγόνο – τα δύο πλέον άφθονα στοιχεία της γης – σχηματίζουν μια χημική ένωση, το SiO_2 , που αποτελεί το πρωταρχικό υλικό, το οποίο με κατάλληλες βιομηχανικές διεργασίες δηλαδή τήξη, αργή στερεοποίηση, πρόσθεση προσμίξεων, καθαρισμός, κοπή και στίλβωση, καταλήγει σε λεπτές πλάκες τα ηλιακά κύτταρα (σχήμα 3.9). Βασικό μειονέκτημα της όλης διαδικασίας είναι το κόστος κατασκευής του κυττάρου, που είναι σχετικά μεγάλο, λόγω της ανάγκης χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού Si, η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος αυξάνει το κόστος παραγωγής. Η εμπορική αποδοτικότητα τους όμως φτάνει μεταξύ 15% και 18% δίνοντας τους τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από όλες τις τεχνολογίες κατασκευής κυττάρων. Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην υπέρυθη ακτινοβολία που το ενεργειακό της περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό.



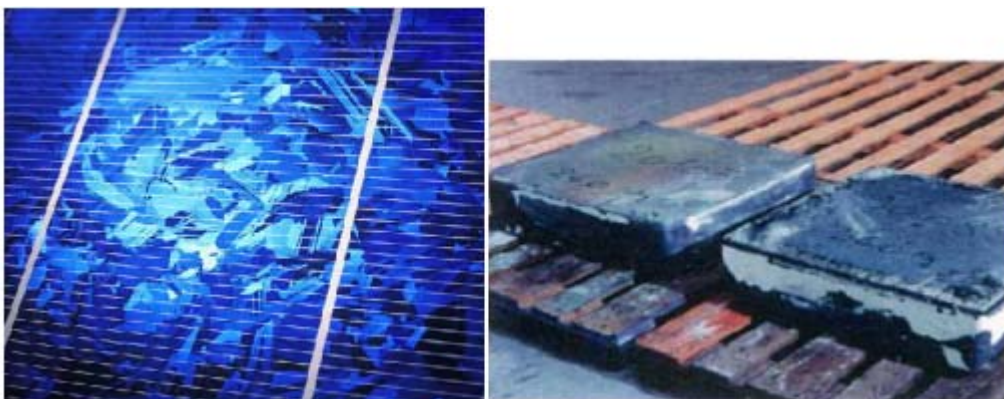
Σχήμα 3.8: Μονοκρυσταλλικοί ράβδοι Si



Σχήμα 3.9: Πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε λειτουργία

3.5.2 Πολυκρυσταλλικά Κύτταρα Si

Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα στο πλέγμα τους περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα που κατασκευάζονται συνήθως μετά από τήξη και διαδικασία στερεοποίησης, είναι λιγότερο ακριβές να παραχθούν διότι είναι μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη η ψύξη του Si. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη το πολυκρυσταλλικό πλέγμα πριονίζεται στα λεπτά φ/β κύτταρα (σχήμα 3.10). Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με αποτέλεσμα έναν βαθμό απόδοσης περίπου 14 %.



Σχήμα 3.10: Φωτοβολταϊκά κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου

3.5.3 Κύτταρα Λεπτής Μεμβράνης

Η τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών χρησιμοποιεί πολύ λεπτά στρώματα (πάχους λίγων μικρών) του ημιαγωγού και με τον τρόπο αυτό μειώνεται το κόστος (σχήμα 3.11). Τα πιο γνωστά υλικά που χρησιμοποιούνται στα κύτταρα αυτά είναι :

- Άμορφο πυρίτιο (a-Si).
- Copper Indium Diselenide (CIS).
- Cadmium Telluride (CdTe).
- Gallium Arsenide (GaAs).

Με τα δυο πρώτα να είναι τα σημαντικότερα.

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Σήμερα ένα εμπορικό φ/β πλαίσιο με κύτταρα άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%, ενώ τα κύτταρα μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 11-14%.

Λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού, το οποίο έχει καλυφθεί από διάφανο οξειδίο του κασσιτέρου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στη συνέχεια η όλη διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων άλλα ξεχωριστών στοιχείων και στο τέλος γίνεται η ενσωμάτωση τους σε μια φ/β μονάδα.



Σχήμα 3.11: Κύτταρα λεπτής μεμβράνης

3.5.4 Υβριδικά Κύτταρα

Για να επιτευχθεί ουσιαστική βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων έπρεπε να γίνει κάποια σημαντική αλλαγή. Σε μια προσπάθεια να γίνει αυτό έγινε μελέτη στη χρήση υβριδικών δομών, στις οποίες κύτταρα με διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης φωτός συνδέονται μαζί. Αυτό επιτρέπει να πετύχουμε καλύτερα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα υλικά και διαδικασίες.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μιας δομής με πολλά στρώματα είναι τα εξής:

- Είναι δυνατόν να απορροφηθεί το φως σε μια πιο πλατιά φασματική περιοχή, δηλαδή αποτελεσματικότερα.
- Είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότερες τάσεις ανοιχτού κυκλώματος.
- Είναι δυνατόν να πέσει σε κάποιο βαθμό ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης των κυττάρων, ο οποίος οφείλεται σε φαινόμενα οπτικής υποβάθμισης που παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται υλικά άμορφου πυριτίου.

Στον πίνακα 3.2 γίνεται μια σύγκριση όλων των τεχνολογιών που περιγράφηκαν. [27]

Συγκριτικός Πίνακας Τεχνολογιών Φωτοβολταϊκών Κυττάρων				
Τύπος	Λεπτής μεμβράνης	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά	Υβριδικά
Απόδοση	Άμορφα : 5-7% CIS : 7-10%	11-14%	13-16%	16-17%
Επιφάνεια ανά KWp	10-20 m ²	8-10 m ²	7-8 m ²	6-7 m ²

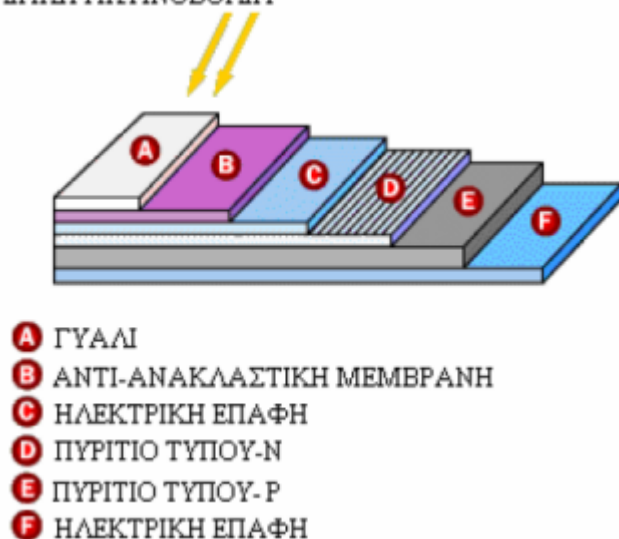
Πίνακας 3.2: Σύγκριση της απόδοσης και της επιφάνειας των διαφόρων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών κυττάρων

3.6 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

3.6.1 Εισαγωγή

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο πυριτίου αποτελείται από 36 ηλιακά κύτταρα σε σειρά, έχει έξοδο με συνεχές ρεύμα και συνεχή τάση. Συνήθως τροφοδοτεί συσσωρευτή τάσης 12V. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.12 που ακολουθεί, η επιφάνεια που είναι στραμμένη προς τον ήλιο καλύπτεται από γυάλινο κάλυμμα που είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία, προφυλάσσει τα κύτταρα και τις ηλεκτρικές επαφές από την βροχή, το χαλάζι και το χιόνι που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση. Κάτω από το γυάλινο κάλυμμα υπάρχει αντί-ανακλαστική μεμβράνη, ώστε να μειωθεί το ποσοστό της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Πάνω και κάτω από την επιφάνεια του πυριτίου υπάρχουν ηλεκτρικές επαφές από υλικό μικρής θερμικής αντίστασης που το συνδέουν με το εξωτερικό κύκλωμα. Τέλος, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ασφαλίζεται μέσα σε μια μεταλλική θήκη αλουμινίου.

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



- A** ΓΥΑΛΙ
- B** ΑΝΤΙ-ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ
- C** ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΠΑΦΗ
- D** ΠΥΡΙΤΙΟ ΤΥΠΟΥ-N
- E** ΠΥΡΙΤΙΟ ΤΥΠΟΥ-P
- F** ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΠΑΦΗ

Σχήμα 3.12: Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

α) στα κλασσικά επίπεδα συστήματα και β) στα συστήματα συγκεντρωτικών συλλεκτών.

3.6.2 Συστήματα Επίπεδων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Πρόκειται για τον πιο κοινό τύπο φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα πλαίσια μπορούν είτε να είναι μόνιμα σε μια σταθερή γωνία κλίσης είτε να είναι κινητά και να ακολουθούν την κίνηση το ήλιου. Απορροφούν και την διάχυτη και την άμεση ακτινοβολία. Η σημαντικότητα του παραπάνω φαίνεται από το γεγονός ότι ακόμα και με καθαρό ουρανό η διάχυτη ακτινοβολία είναι το 10 με 20% της συνολικής, σε επίπεδη επιφάνεια. Σε μερικώς συννεφιασμένες μέρες το ποσοστό αυτό φτάνει το 50% και σε τελείως συννεφιασμένες μέρες φτάνει το 100%.

Τα πιο απλά επίπεδα πλαίσια είναι σε σταθερή θέση. Τα πλεονεκτήματα των σταθερών πλαισίων είναι ότι δεν έχουν κινητά μέρη, πρακτικά δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό, και είναι σχετικά ελαφριά. Αυτά τα χαρακτηριστικά τα κάνουν κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά από περιπτώσεις, όπως είναι και οι στέγες των σπιτιών. Ο προσανατολισμός των πλαισίων αυτών ώστε να αποδίδουν ικανοποιητικά πρέπει να είναι προς το Νότο και η κλίση ($\phi+15^\circ$) $\pm 5^\circ$ όπου ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Τα επίπεδα πλαίσια με μηχανισμό κίνησης επιτυγχάνουν μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας αφού μπορούν και έχουν την βέλτιστη γωνία κλίσης και προσανατολισμού κάθε χρονική στιγμή. Όμως έχουν επιπλέον κόστος και βάρος λόγω του μηχανισμού κίνησης. Βρίσκοντας μια ισορροπία μεταξύ των δύο μπορεί να γίνει η σωστή επιλογή για την κάθε περίπτωση.

3.6.3 Συστήματα Συγκεντρωτικών Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Ο κύριος λόγος χρήσης τέτοιων συστημάτων είναι η ικανότητά τους να χρειάζονται λιγότερα ηλιακά κύτταρα από τα επίπεδα συστήματα για την παραγωγή της ίδιας ισχύος. Τα κύτταρα αποτελούν το πιο ακριβό τμήμα ενός συστήματος μετρώντας το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας. Για το σύστημα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται φθηνά υλικά, όπως είναι πλαστικά κάτοπτρα και μεταλλικές θήκες, που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια από μια συγκριτικά μεγάλη επιφάνεια και την εστιάζουν σε μια μικρότερη επιφάνεια στην οποία βρίσκεται το κύτταρο.

Αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα των συγκεντρωτικών συστημάτων έναντι των επίπεδων. Έχουν αυξημένη ισχύ εξόδου και η απόδοση το συστήματος είναι μεγαλύτερη έχοντας ταυτόχρονα μικρότερο μέγεθος κυττάρων ή μικρότερο αριθμό κυττάρων. Το πόσο θα αυξηθεί η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απ' το σχήμα του ηλιακού κυττάρου και από το υλικό που είναι κατασκευασμένο. Ακόμα, η δυνατότητα χρήσης μικρών ηλιακών κυττάρων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα διότι είναι πιο δύσκολο να παραχθούν κύτταρα μεγάλης επιφάνειας με μεγάλη απόδοση απ' ότι μικρής επιφάνειας.

Απ' την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον. Για παράδειγμα τα απαιτούμενα οπτικά του συστήματος είναι σημαντικά πιο ακριβά από τα καλύμματα των επίπεδων συστημάτων. Επιπλέον, δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν την διάχυτη ακτινοβολία, δηλαδή ακόμη και σε μία ηλιόλουστη μέρα χάνεται το 20% της ακτινοβολίας, οπότε χρειάζεται να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθ' όλη την διάρκεια της μέρας και συνολικά του έτους. Άρα, για την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης πρέπει ο μηχανισμός κίνησης να είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα συστήματα.

Για την συγκέντρωση του φωτός χρησιμοποιούνται οι ανακλαστές και οι φακοί με πιο διαδεδομένο τον φακό FRESNEL που έχουν διατομή σαν δόντι πριονιού για να συγκεντρώσουν το εισερχόμενο φως. Όμως, δεν υπάρχει φακός που να μπορεί να μεταφέρει το 100% του προσπίπτοντος φωτός αλλά συνήθως μεταφέρεται 90-95% ή και λιγότερο (λόγω απορρόφησης και ανακλάσεως).

Ένα άλλο πρόβλημα είναι αυτό της υπερθέρμανσης των κυττάρων που παράγεται από την μεγάλη συγκέντρωση ακτινοβολίας που γενικά είναι επιθυμητή. Η θερμοκρασία των κυττάρων πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα διότι με την αύξηση όχι μόνο μειώνεται η απόδοσή τους αλλά και μακροπρόθεσμα μπορεί να διαταραχθεί η σταθερότητα στη λειτουργία τους ή ακόμα και να καταστραφούν πρόωρα. Μια από τις πιο σημαντικές προσπάθειες για διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας αποτελεί η ελαχιστοποίηση της ηλεκτρικής αντίστασης των επαφών που μεταφέρουν το ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας επαφές μεγαλύτερης επιφάνειας, το οποίο έχει όμως σαν αποτέλεσμα να προκαλείται σκίαση στο κύτταρο. Γι' αυτό υπάρχουν δύο λύσεις. Η μια είναι η τοποθέτηση πρισματικού καλύμματος πάνω από την επαφή οπότε το φως που θα προσέπιπτε στην επαφή, τώρα προσπίπτει στο πρίσμα, εκτρέπεται και διοχετεύεται στο κύτταρο. Η άλλη λύση είναι να τοποθετηθούν και οι δύο επαφές πίσω από το κύτταρο το οποίο όμως απαιτεί πολύ καλής ποιότητας υλικό πυριτίου. [24]

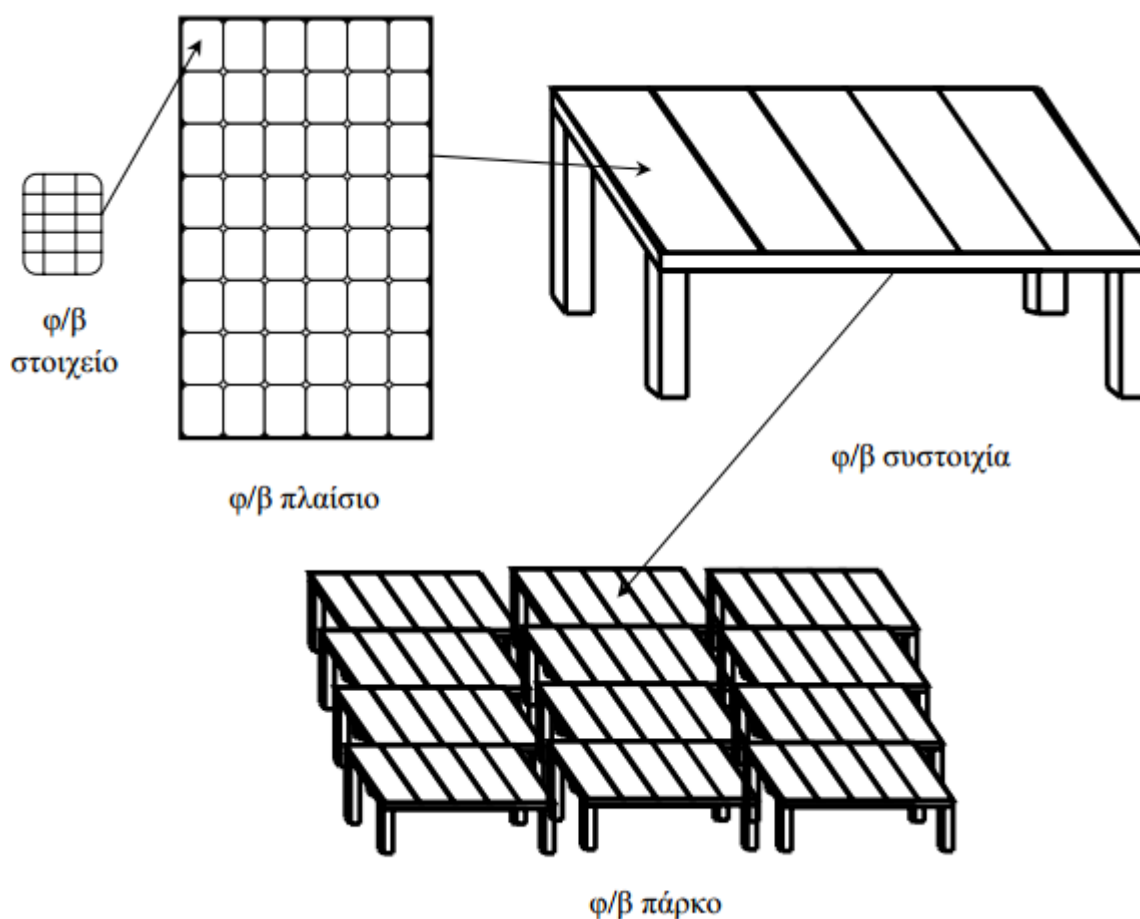
3.6.4 Φωτοβολταϊκή Συστοιχία (string)

Σε μια φ/β εγκατάσταση που έχει σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες φ/β πλαίσια. Όπως είναι αναμενόμενο τα φ/β πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φ/β συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες.

Με αυτόν τον τρόπο, αν ένα φ/β στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα.

Έτσι τα φ/β πλαίσια ομαδοποιούνται σε φ/β συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινή βάση στήριξης, η οποία είναι συνήθως μεταλλική. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται έτσι ώστε να η τάση εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή.

Η σχέση του φ/β πλαισίου με την φ/β συστοιχία και την φ/β γεννήτρια φαίνεται στο σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Η σχέση ανάμεσα στο φ/β στοιχείο, το φ/β πλαίσιο, τη φ/β συστοιχία και το φ/β πάρκο.

Σταθερές συστοιχίες

Ο απλούστερος τύπος μιας φ/β συστοιχίας είναι ο σταθερός (fixed), ο οποίος έχει το πλεονέκτημα των ακίνητων τμημάτων και το μειονέκτημα ότι δεν εκμεταλλεύεται με τον μέγιστο βαθμό την ηλιακή ακτινοβολία. Τα πλαίσια τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό (για το Βόρειο ημισφαίριο) και έχουν μια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο κατάλληλη ώστε να μεγιστοποιείται η πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που είναι επιθυμητό. Το ελαφρό τους βάρος και η απλότητά τους, τις καθιστά χρήσιμες για μια πληθώρα εφαρμογών. Ωστόσο, αν δεν είναι αρκετή η ενέργεια που παράγεται και δεν υπάρχει επιπλέον διαθέσιμος χώρος, αναγκαστικά πρέπει να καταφύγει κάποιος σε μια εκ των επομένων εναλλακτικών.

Στρεφόμενες συστοιχίες

Για να βελτιωθεί η απόδοση συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστοιχίες με κινητά πλαίσια, τα οποία θα παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου. Για να μεγιστοποιηθεί η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία απαιτείται η κίνηση των συστοιχιών τόσο στον οριζόντιο άξονα (άξονας ανύψωσης) όσο και στον πολικό άξονα (αζιμούθιος άξονας). Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν κινούνται σε έναν άξονα ή δύο άξονες.

α. Στρεφόμενες συστοιχίες ενός άξονα

Στις στρεφόμενες συστοιχίες ενός άξονα ως άξονας κίνησής τους μπορεί να επιλεγεί είτε ο οριζόντιος είτε ο πολικός. Ο πολικός άξονας πλεονεκτεί όσον αφορά την συγκομιδή ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έναντι του οριζόντιου άξονα κάνει όμως την εγκατάσταση πιο περίπλοκη μηχανικά.

β. Περιτροφικές συστοιχίες δύο αξόνων

Αποτελούν την πλειοψηφία των στρεφόμενων συστοιχιών και επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας. Η καθοδήγηση των μηχανισμών γίνεται με την βοήθεια θερμοϋδραυλικών διατάξεων, μικροϋπολογιστών για την πρόβλεψη της θέσης του ήλιου και ηλιακών αισθητήρων, όπως φωτοαντιστάσεις και φωτοτρανζίστορ.

Συστοιχίες με ανακλαστήρες/κάτοπτρα

Ένας άλλος σχεδιασμός που βοηθά στην αύξηση της απόδοσης ενός φ/β συστήματος επιτυγχάνεται με την χρήση ανακλαστήρων/κατόπτρων. Κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές (κοίλα, παραβολικά, ελλειπτικά, τριγωνικά, κωνικά, κ.α.) και σκοπός τους είναι να ενισχύουν και να εστιάζουν το ποσό του ηλιακού φωτός προς τα φ/β στοιχεία.

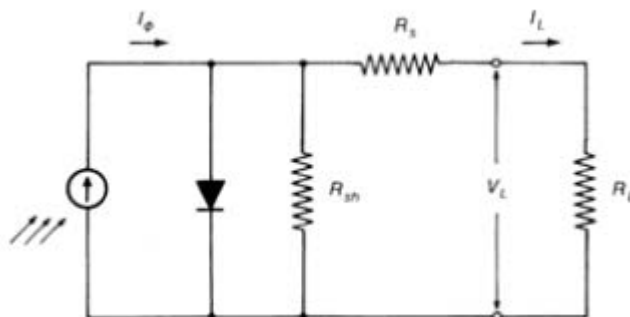
Στρεφόμενες συστοιχίες με κάτοπτρα

Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθούν στρεφόμενες συστοιχίες ταυτόχρονα με κάτοπτρα για ακόμη μεγαλύτερη πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας. Η παρακολούθηση του ήλιου επιτυγχάνεται είτε περιστρέφοντας την συστοιχία προς την κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων, είτε ανακλώντας τις ακτίνες με την χρήση περιστροφικών κατόπτρων προς το φ/β πλαίσιο. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν κινητά μέλη, ωστόσο το πλεονέκτημα της χρήσης κινητών κατόπτρων, αντί των κινητών συστοιχιών, είναι ότι η καταπόνηση, την οποία δέχεται η συστοιχία αποφεύγεται. Επιπλέον οι ανακλαστήρες θα πρέπει να

περιστρέφονται κατά το ήμισυ από ότι οι συστοιχίες, αφού το φαινόμενο της ανάκλασης διπλασιάζει την κίνηση του κατόπτρου. [28]

3.7 Τα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φ/Β Στοιχείων

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου φαίνεται στο σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.14: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου. Περιλαμβάνονται η αντίσταση σειράς R_s και η παράλληλη αντίσταση R_{sh} . [29]

Παρατηρούμε ότι το φ/β στοιχείο αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια διόδο. Το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει ακόμα την αντίσταση σειράς R_s , η οποία εμποδίζει την κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} , η οποία εμφανίζεται λόγω διαρροών ρεύματος κάνοντας των αντίσταση διαμέσου της διόδου μη άπειρη.

Το παραγόμενο φωτόρρευμα από το στοιχείο δίνεται από τη σχέση 3.3:

$$I_\phi = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{\gamma kT}\right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

όπου I_0 το ανάστροφο ρεύμα κόρου,

V η τάση που δημιουργείται στα άκρα της διόδου,

γ ο συντελεστής ποιότητας της διόδου (μεταξύ 1 και 2),

k η σταθερά Boltzmann,

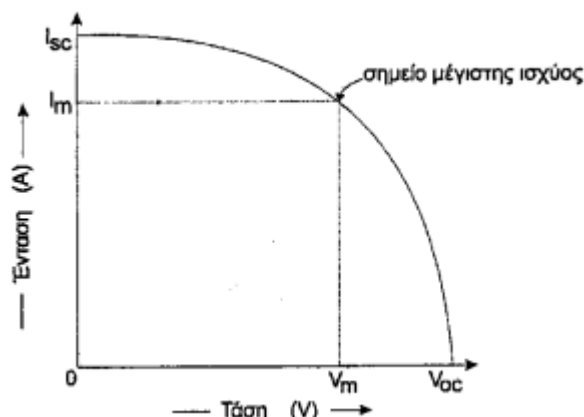
T η απόλυτη θερμοκρασία.

Ενώ με ανάλυση του ισοδύναμου κυκλώματος, το ρεύμα που καταλήγει τελικά στο φορτίο υπολογίζεται:

$$I_L = \frac{I_\phi - I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V_L - I_L R_s)}{\gamma kT}\right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{sh}}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \quad (3.4)$$

όπου V_L η τάση εξόδου του φ/β στοιχείου.

Η χαρακτηριστική τάσης-έντασης (V-I) ενός φ/β στοιχείου έχει τη μορφή του Σχήματος 3.15.



Σχήμα 3.15: Χαρακτηριστική τάσης-έντασης φ/β στοιχείου.

Από την χαρακτηριστική φαίνεται ότι θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης του φορτίου για την οποία η ισχύς που παράγεται από το φ/β στοιχείο θα είναι μέγιστη και σε αυτό αντιστοιχούν οι μέγιστες τιμές τάσης V_m και έντασης I_m . Καταλαβαίνουμε επομένως ότι η ισχύς που παράγεται για κάθε ζεύγος τιμών τάσης-έντασης δεν είναι πάντα σταθερή αλλά μηδενίζεται όπως φαίνεται εύκολα στις ακραίες συνθήκες ανοιχτοκύκλωσης-βραχυκύκλωσης και παρουσιάζει ένα μέγιστο για συγκεκριμένη τιμή τάσης-έντασης (Σχήμα 3.15). Επιθυμητό είναι λοιπόν σε κάθε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών οι συστοιχίες να λειτουργούν παράγοντας τις τιμές αυτές τάσης-έντασης που δίνουν κάθε στιγμή τη μέγιστη ισχύ. Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια τροφοδοτεί απευθείας ένα συγκεκριμένο φορτίο κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό καθώς η τιμή του φορτίου έχει συγκεκριμένη αντίσταση. Όταν όμως μεταξύ γεννητριών και κατανάλωσης παρεμβάλλονται ηλεκτρονικά για τον έλεγχο της ισχύος, για την ρύθμιση φόρτισης συσσωρευτών, για την ανύψωση ή και την αλλαγή μορφής της παραγόμενης τάσης, τότε υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργούν αυτές σε ένα μέγιστο σημείο. Αυτό το αναλαμβάνουν ειδικοί ανιχνευτές της μέγιστης ισχύος ή maximum power point trackers (MPPT). [12]

3.8 Βαθμός Απόδοσης Φωτοβολταϊκών

Ορισμός

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

$$\eta = \frac{P_{mmp}}{AG} = \frac{I_{mmp}V_{mmp}}{AG} = \frac{FFI_{sc}V_{oc}}{AG} \quad (3.5)$$

Η απόδοση αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική απόδοση $\eta_{\max,th}$, που δίνεται από τη σχέση 3.6:

$$\eta_{\max, \text{th}} = \frac{\varphi(E_g)V_m}{\varphi E_\mu} \quad (3.6)$$

όπου $\varphi(E_g)$ είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, φ είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και E_μ 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_μ της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως βρίσκουμε πρόχειρα ότι η μέγιστη θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου:

$$\eta = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = 22\% \quad (3.7)$$

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. [13]

3.8.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Βαθμό Απόδοσης

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.

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 .

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. [13]

Οι οπτικές απώλειες

Με τον όρο οπτικές απώλειες εννοούμε τη διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου (υαλοπίνακας, αντανakλαστικό 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°.

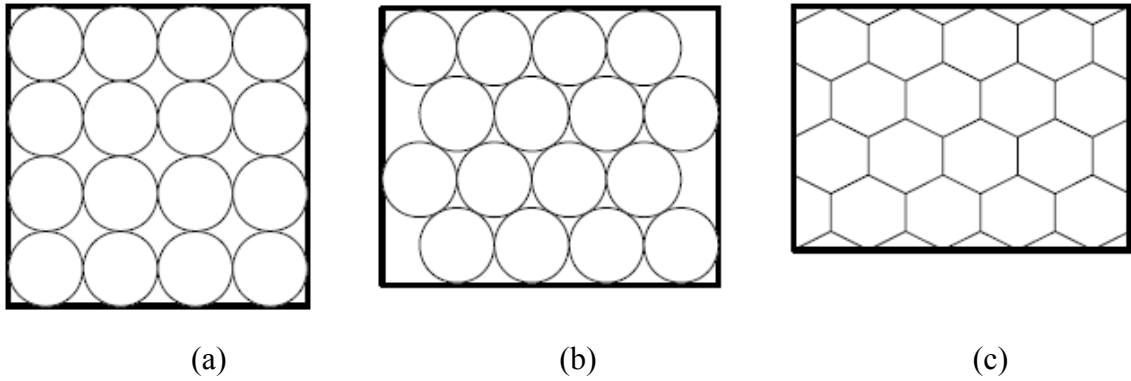
Επίσης, οπτικές απώλειες έχουμε και με τη διαφοροποίηση του φάσματος της ακτινοβολίας. Καθώς το $A.M=1.5$ ηλιακό φάσμα που καθορίζεται από τις STC, χρησιμοποιείται ως αναφορά για τις προδιαγραφές απόδοσης των πλαισίων, η ετήσια παραγωγή του πλαισίου θεωρείται σχετικά ανεξάρτητη από τις μεταβολές του 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/m². 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. [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 σ_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.

Η τιμή του κυμαίνεται από 0,78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλα στοιχισμένες σειρές (Σχήμα 3.16 (a)), 0,88 για κυκλικά στοιχεία συγχωνευμένα μεταξύ τους (Σχήμα 3.16 (b)) και φτάνει μέχρι 0,98 για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία (Σχήμα 3.16 (c)).



Σχήμα 3.16: Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων στα πλαίσια [13]

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 $\sigma_{\delta} = 0,99$. [30]

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.

Η σκίαση

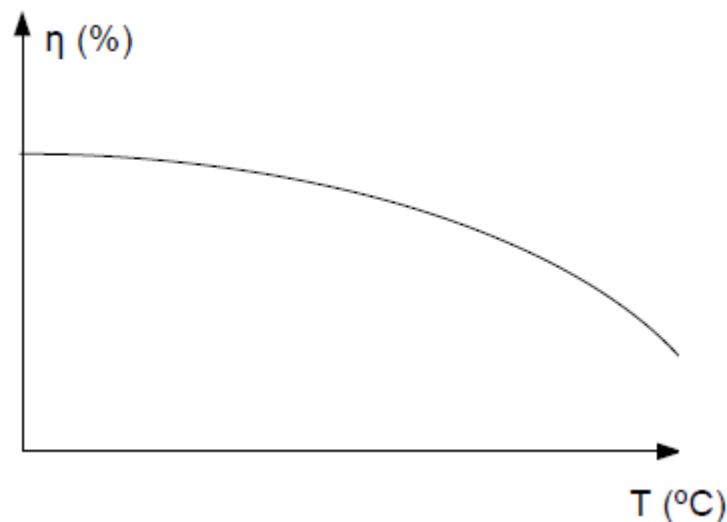
Ένας άλλος παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κλπ, είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης 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. [5]

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 : Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους

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

$$\eta_{\theta} = \eta \cdot \sigma_{\theta} \quad (3.8)$$

όπου σ_{θ} είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασίας διόρθωσης της απόδοσης. Στη δεδομένη θερμοκρασία, ο σ_{θ} είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου. [13]

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. [31]

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° (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον 45° 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 σ , 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 σ 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. [13]

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. [13]

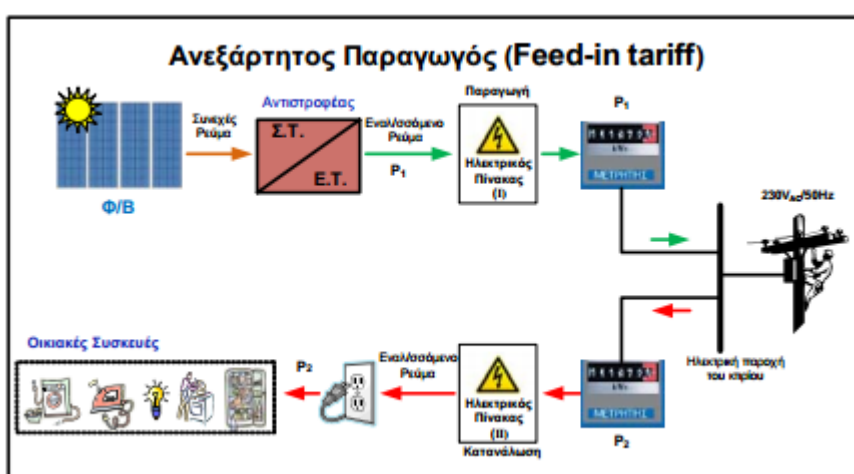
3.9 Είδη Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ποικίλες περιπτώσεις. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι δύο:

1. Συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο.
2. Συστήματα που είναι απομονωμένα από το δίκτυο.

3.9.1. Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Στα συνδεδεμένα συστήματα η φωτοβολταϊκή συστοιχία τροφοδοτεί απευθείας με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο (σχήμα 3.17), οπότε δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσσωρευτή.



Σχήμα 3.17: Δομή ενός Διασυνδεδεμένου κτηριακού Φ/Β συστήματος στην περίπτωση του ανεξάρτητου παραγωγού [32]

Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Στα συστήματα με κατακεκομμένες φωτοβολταϊκές συστοιχίες όπου οι συστοιχίες είναι τοποθετημένες στις σκεπές σπιτιών και εμπορικών κέντρων.
- Στις κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας όπου οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες συνδέονται με υποσταθμούς και μετά με το δίκτυο.

Στην πρώτη περίπτωση ο καταναλωτής-ιδιοκτήτης που έχει τη συστοιχία, μπορεί να αγοράζει και να πουλάει ενέργεια κάθε χρονική στιγμή. Είναι σε θέση να παίρνει την ενέργεια που χρειάζεται από τη συστοιχία και να χρησιμοποιεί το δίκτυο μόνο όταν είναι απαραίτητο (κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε πολύ συννεφιασμένες μέρες). Αυτό γίνεται εφικτό με την χρήση κατάλληλου μετρητή που έχει την ιδιότητα να είναι αμφίδρομος (διπλό ρολόι). Όταν η συστοιχία τροφοδοτεί το φορτίο του κτιρίου και της περισσεύει ενέργεια, την δίνει στο δίκτυο. Όταν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την παραγωγή της συστοιχίας τότε η ζήτηση ικανοποιείται με εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο. Έτσι, το δίκτυο δρα σαν μονάδα αποθήκευσης για το φωτοβολταϊκό σύστημα. Τυπικές τιμές για

οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 2 με 4 kWp ενώ για μεγάλα δημόσια κτίρια είναι 100kWp ή και περισσότερο.

Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε ολόκληρες μονάδες παραγωγής που αποτελούνται από φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Οι μονάδες αυτές εγκαθίστανται και συνδέονται εύκολα με το δίκτυο, οπότε κατασκευάζονται πολύ πιο γρήγορα από τις συμβατικές. Ακόμα, μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα σημεία του δικτύου όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη και μπορεί να αυξηθεί το μέγεθός τους προσθέτοντας συστοιχίες όταν αυξηθεί η ζήτηση. Τέλος, έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν καταναλώνουν καύσιμα, δεν παράγουν καυσαέρια ή απόβλητα και επιπλέον είναι αθόρυβες. Τέτοιου είδους μονάδες δεν είναι ακόμα διαδεδομένες παρόλο που έχουν μηδενικά έξοδα καυσίμου διότι το συνολικό κόστος της παραγόμενης ισχύος ευρώ/W παραμένει αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων, οπότε οι εταιρίες παραγωγής δεν τις προτιμούν. Τέλος, πρόβλημα δημιουργεί το ότι η παραγωγή δεν μπορεί να ακολουθήσει την ζήτηση την νύχτα ή όταν δεν έχει ηλιοφάνεια.

Τα πλεονεκτήματα των παραπάνω συστημάτων είναι η προβλεπόμενη μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας και η προστασία του περιβάλλοντος. Με την παραγωγή ενέργειας κοντά στο σημείο ζήτησης μειώνεται η απόσταση που πρέπει να διανύσει το ρεύμα και επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών απωλειών και των απωλειών ισχύος στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αποφευχθεί ή να αργήσει σημαντικά η ανάγκη για αναβάθμιση το δικτύου μεταφοράς αφού σε πολλές περιπτώσεις οι ώρες αυξημένης ζήτησης ταυτίζονται με τις ώρες του μεσημεριού για παράδειγμα που η φωτοβολταϊκή συστοιχία δύναται να παράγει μεγάλη ισχύ. Επίσης, γίνεται προσπάθεια μείωσης του κόστους δομικών υλικών κτιρίων όπως είναι κεραμίδια με προσαρμογή πάνω τους φύλλων φωτοβολταϊκών πλαισίων, ώστε να γίνουν ανταγωνιστικά των συμβατικών δομικών υλικών και να χρησιμοποιηθούν ευρέως.

3.9.2. Συστήματα Απομονωμένα από το Δίκτυο

Στα απομονωμένα συστήματα το φωτοβολταϊκό δεν συνδέεται με το δίκτυο. Τέτοιου είδους φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει AC δίκτυο, είτε επειδή έχει μεγάλο κόστος να εγκατασταθεί γραμμή σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μεταξύ της περιοχής και του AC δικτύου είτε τέλος η σύνδεση δεν είναι εφικτή λόγω μεγάλης απόστασης από τις μονάδες παραγωγής. Τα συστήματα αυτά είναι μικρής ισχύος, συνήθως λιγότερο από 10 kWp. Μπορεί να αποτελούνται μόνο από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ή να έχουν και συσσωρευτή ή αντλία νερού ή ακόμα και γεννήτρια.

Τα συστήματα που αποτελούνται μόνο από μία φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συστήματα που δεν χρειάζονται μονίμως ενέργεια. Εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι οι ηλιόλουστες μέρες που κάνουν το σύστημα να έχει μεγάλη παραγωγή ισχύος παράλληλα προκαλούν αυξημένες ανάγκες για ψύξη και εξαερισμό χώρων. Έτσι, συνδέοντας τη συστοιχία με ανεμιστήρες εξαερισμού βελτιώνονται οι συνθήκες του χώρου.

Ακόμα, η μεγάλη ηλιοφάνεια αυξάνει τις ανάγκες σε νερό για ύδρευση και άρδευση οπότε η συστοιχία συνδέεται με αντλία νερού για την άντληση νερού από κάποιο χαμηλότερο σημείο και την μεταφορά του είτε εκεί που υπάρχει ανάγκη, είτε για αποθήκευση σε

κάποιο ψηλότερο σημείο (δεξαμενή). Στη περίπτωση αυτή η δεξαμενή αποτελεί την αποθήκη ενέργειας.

Στη περίπτωση ύπαρξης συσσωρευτή το φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει την ενέργεια κάθε φορά που απαιτείται ανεξαρτήτως αν έχει ήλιο ή όχι διότι οι συσσωρευτές αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας όταν αυτή υπάρχει και την επιστρέφουν όταν χρειάζεται. Το πόση ενέργεια θα επιστρέψει εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος του συσσωρευτή. Χρησιμοποιούνται για φωτισμό ή και για άλλες συσκευές, κυρίως σε τροχόσπιτα και ιστιοφόρα.

Όταν υπάρχει άλλου είδους γεννήτρια τότε το σύστημα είναι υβριδικό. Η γεννήτρια μπορεί να είναι πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Στα συστήματα αυτά η γεννήτρια και η φωτοβολταϊκή συστοιχία αλληλοσυμπληρώνονται. Το πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι για να έχουμε επάρκεια σε χρονικές περιόδους μικρής ηλιοφάνειας αντί να βάλουμε φωτοβολταϊκή συστοιχία μεγαλύτερης επιφάνειας και συσσωρευτή μεγαλύτερης χωρητικότητας, παίρνουμε την ισχύ από την γεννήτρια. Επίσης, η κατανάλωση της γεννήτριας και το κόστος συντήρησής της είναι μικρότερο σε σχέση με ένα ίδιας ισχύος συστήματος παραγωγής με μια μόνο γεννήτρια. [12]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Σενάριο

Σκοπός της μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος σε οικία (δώμα) που θα έχει ονομαστική ισχύ περί τα 4,5 KWp στον ελλαδικό χώρο. Αρχικά εξετάζεται το ηλιακό δυναμικό και η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία της Κω. Όσον αφορά την κλίση των συστοιχιών εξετάζεται το ηλιακό δυναμικό με σταθερή ετήσια κλίση, σε αμετακίνητες βάσεις στήριξης. Δεν εξετάζεται η περίπτωση ενός συστήματος με κινούμενες συστοιχίες που θα ακολουθούν τις ακτίνες του ήλιου για λόγους ταχύτητας διεκπεραίωσης του έργου, συντήρησης και για λόγους μεγάλης οικονομικής επιβάρυνσης.

Τέλος γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη του φ/β συστήματος και εξετάζεται η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

4.2 Ηλιακό δυναμικό για την Πόλη της Κω

Όσον αφορά τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του έργου παραθέτονται στοιχεία τα οποία πάρθηκαν από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό. Συγκεκριμένα, τα μετεωρολογικά στοιχεία για τις συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ηλιοφάνειας που επικρατούν στην περιοχή. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με ήπιους βροχερούς χειμώνες και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι. Οι ψυχρότεροι μήνες του έτους είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, ενώ οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η ξηροθερμική περίοδος ξεκινά από τα μέσα του Μαρτίου και διαρκεί περίπου μέχρι και τα μέσα Οκτωβρίου. Η μεγάλη ηλιοφάνεια είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος της περιοχής και είναι αυτό το χαρακτηριστικό το οποίο αξιοποιείται από το προτεινόμενο έργο.

Πόλη	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο H (kWh/m ²)	Γεωγραφικό Πλάτος φ (μοίρες)	β _{opt} (μοίρες)	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για β _{opt} (kWh/m ²)
Κως	1686	36,47	30	1740,24

Πίνακας 4.1

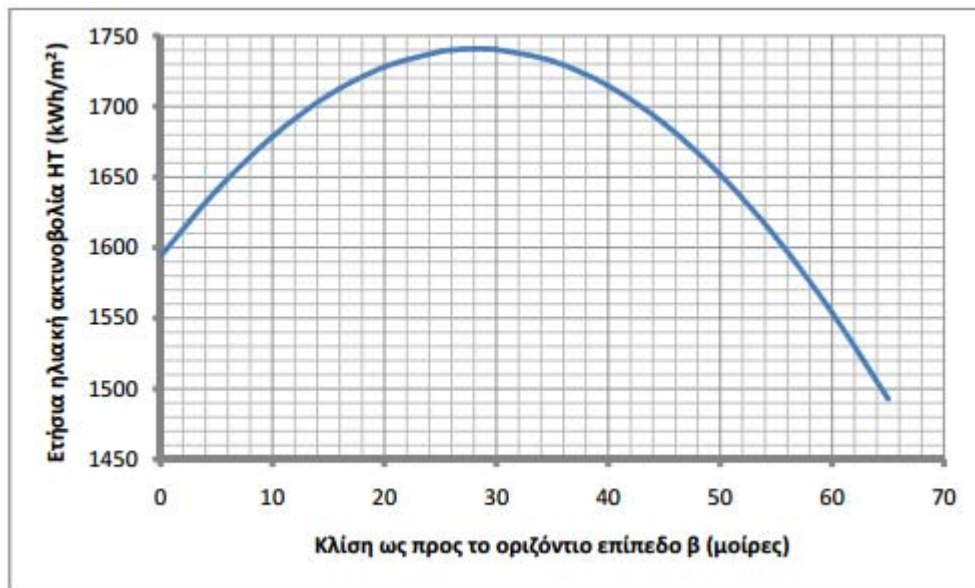
4.3 Σταθερή Ετήσια Κλίση

Αρχικός στόχος είναι η εύρεση της βέλτιστης κλίσης των φ/β συστοιχιών ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε ετήσια βάση, δηλαδή εκείνη η κλίση που θα εξασφαλίσει τη μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Όσον αφορά την τιμή της αζιμούθιας γωνίας γ , προφανώς αυτή επιλέγεται μηδενική, δηλαδή επιλέγεται απόλυτα νότιος προσανατολισμός. Οι τιμές της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην Κω, όπου θα εγκατασταθεί η φ/β γεννήτρια, καθώς και οι τιμές της για κλίσεις από 0° μέχρι 65° υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2, ενώ η καμπύλη που προέκυψε φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

Παρατηρούμε ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης β_{opt} είναι κοντά στις 28° - 29° και διαφέρει σημαντικά από το γεωγραφικό πλάτος της Κω που είναι $36,47^\circ$. Ένα επίσης πολύ σημαντικό γεγονός που προκύπτει από τους υπολογισμούς είναι ότι για αποκλίσεις $\pm 5^\circ$ από τη βέλτιστη γωνία, η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται μόλις κατά 0,5%. Δηλαδή η μεταβολή της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαίσθητη για μικρές μεταβολές της κλίσης περί το β_{opt} .

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο β (μοίρες)	Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία H_T (kWh/m ²)
0	1594,00
5	1640,50
10	1678,60
15	1707,88
20	1728,04
25	1738,86
26	1739,90
27	1740,55
28	1740,83
29	1740,72
30	1740,24
35	1732,12
40	1714,57
45	1687,71
50	1651,77
55	1607,04
60	1553,91
65	1492,84

Πίνακας 4.2



Σχήμα 4.1: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει της κλίσης β.

4.4 Επιλογή Φ/β Πλαισίων

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι γενικά ένα πολυσύνθετο πρόβλημα. Η πληθώρα κατασκευαστικών εταιριών και πλαισίων επιτείνουν ακόμα περισσότερο τη δυσκολία της επιλογής.

Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες έγινε η επιλογή των πλαισίων ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοσή τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί είχε να κάνει με τη επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του. Πολύ γρήγορα η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου, καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 3 έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές, δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφορες. Σύγκριση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων δίνεται στον πίνακα 4.3.

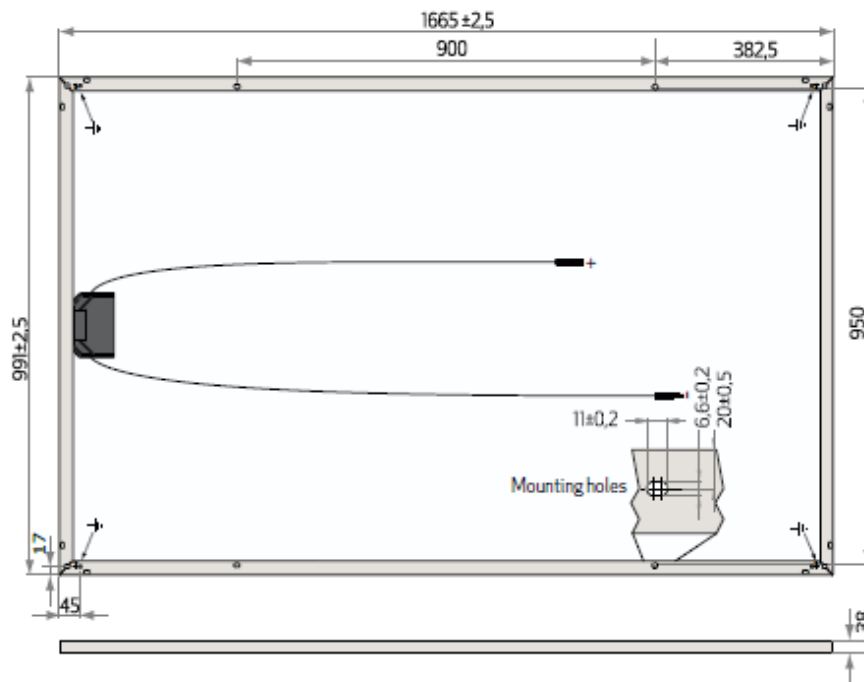
Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών γεννητριών είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξεως του 10-15% ακριβότερες. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τις πολυκρυσταλλικές. Όμως εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.

Υλικό φ/β στοιχείων	Απόδοση φ/β στοιχείων του εμπορίου	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	14-19%	<ul style="list-style-type: none"> • Ομοιόμορφη μοριακή δομή • Μεγάλος βαθμός απόδοσης 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος παραγωγής • Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής • Ενεργόβόρα διαδικασία παραγωγής
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο	10-14%	<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο • Τετραγωνικά δισκία επιτρέπουν μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης 	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλότερη απόδοση συγκρινόμενη με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο • Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής
Ribbon Πυρίτιο	Έως 15%	<ul style="list-style-type: none"> • Λιγότερες απώλειες πυριτίου στην παραγωγή 	<ul style="list-style-type: none"> • Χειρότερη ποιότητα πυριτίου από αυτή του μον/κού • Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Thin-film Πυρίτιο	Έως 17% (ραγδαία εξελισσόμενη έρευνα)	<ul style="list-style-type: none"> • Λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό • Όχι μεγάλες απαιτήσεις σε υλικό υποστρώματος • Πολλά υποσχόμενη τεχνολογία 	<ul style="list-style-type: none"> • Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Άμορφο Πυρίτιο	6-9%	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλό κόστος παραγωγής συγκρινόμενο με το κρυσταλλικό πυρίτιο • Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρός βαθμός απόδοσης • Βαθμιαία μείωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου
Αρσενικόυχο γάλλιο	25-30%	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλος βαθμός απόδοσης • Υψηλή θερμική αδράνεια 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος παραγωγής (5πλασιο του κρυσταλλικού πυριτίου)
Δισεληνιούχος Ινδιούχος Χαλκός	Έως 10%	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας • Δεν εμφανίζει βαθμιαία πτώση της απόδοσης όπως το άμορφο πυρίτιο 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύπλοκο υλικό • Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία • Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Τελλουριούχο Κάδμιο	6-13%	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας • Χαμηλό κόστος παραγωγής 	<ul style="list-style-type: none"> • Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία • Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα

Πίνακας 4.3: Συγκριτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της κατασκευάστριας εταιρίας. Λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού εταιριών που δραστηριοποιούνται σε αυτόν το χώρο, δεν ήταν δυνατόν να εξεταστούν όλες, για αυτό και επιλέχθηκαν 6 από τις μεγαλύτερες εταιρίες, των οποίων η τεχνογνωσία και αξιοπιστία είναι αναμφισβήτητες. Οι εταιρίες αυτές είναι: Bosch, Rec, Suntech, Schott Solar, Solar Energy, Sharp. Μετά από μία στοιχειώδη έρευνα αγοράς που πραγματοποιήσαμε στο διαδίκτυο, μελετώντας τα datasheet των παραπάνω εταιριών, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε πλαίσια της εταιρίας **Rec** (250 Wp, διαστάσεων 1,66x0,99m).

REC 250 PE



ELECTRICAL DATA @ STC	REC225PE	REC230PE	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE
Maximum Power - P_{MAX} (Wp)	225	230	235	240	245	250
Watt Class Tolerance - P_{TOL} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage - V_{MPP} (V)	28.9	29.2	29.6	29.9	30.2	30.5
Maximum Power Current - I_{MPP} (A)	7.8	7.9	8.0	8.0	8.1	8.2
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	36.2	36.5	36.7	37.0	37.2	37.5
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
Module Efficiency (%)	13.6	13.9	14.2	14.5	14.8	15.1

Values at standard test conditions STC (airmass AM 1.5, irradiance 1000 W/m², cell temperature 25°C).

At low irradiance of 200 W/m² (AM 1.5 and cell temperature 25°C) at least 97% of the STC module efficiency will be achieved.

ELECTRICAL DATA @ NOCT	REC225PE	REC230PE	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE
Maximum Power - P_{MAX} (Wp)	167	170	173	176	179	182
Maximum Power Voltage - V_{MPP} (V)	26.6	26.8	27.1	27.3	27.6	27.9
Maximum Power Current - I_{MPP} (A)	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	33.4	33.6	33.8	34.1	34.3	34.5
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	6.8	6.8	6.9	7.0	7.0	7.1

Nominal cell operating temperature NOCT (800 W/m², AM 1.5, windspeed 1 m/s, ambient temperature 20°C).

15.1%	EFFICIENCY
10	YEAR PRODUCT WARRANTY
25	YEAR LINEAR POWER OUTPUT WARRANTY
TEMPERATURE RATINGS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	47.9°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MP}	-0.43 %/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.074 %/°C
GENERAL DATA	
Cell Type	60 REC PE multi-crystalline cells 3 strings of 20 cells - 3 by-pass diodes Cells produced in Norway
Glass	Solar glass with antireflection surface treatment by Sunarc Technology
Back Sheet	Double layer highly resistant polyester
Frame	Anodized aluminium
Cable	Radox 4mm ² solar cable, 0.90m +1.20m
Connectors	Radox 4mm ² twist locking connector
MAXIMUM RATINGS	
Operational Temperature	-40 ... +80°C
Maximum System Voltage	1000V
Maximum Load	551 kg/m ² (5400Pa)
Maximum Wind Speed	197 km/h (safety factor 3)
Maximum Series Fuse Rating	15A
Maximum Reverse Current	15A
MECHANICAL DATA	
Dimensions	1665 x 991 x 38 mm
Area	1.65 m ²
Weight	18 kg

Πίνακας 4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίων της εταιρίας Rec

4.5 Επιλογή Αντιστροφέα

Η επιλογή των αντιστροφέων είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης. Αν η προσέγγιση γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε αναμφισβήτητα θα καταλήξουμε στην επιλογή αντιστροφέων μεγάλης ισχύος, γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του φ/β συστήματος μικρή.

Επισημαίνεται ότι ο τύπος των αντιστροφέων για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους λειτουργίας.

Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική ισχύς εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να ταυτίζεται σε καμία περίπτωση με την ισχύ αιχμής των φ/β πλαίσιων στην είσοδό του. Μια τέτοια επιλογή θα ήταν λανθασμένη, καθώς τα φ/β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής τους υπό ιδανικές συνθήκες, οι οποίες δεν συναντώνται στην πράξη και αν συμβεί ποτέ αυτό διαρκεί για ένα πολύ μικρό διάστημα.

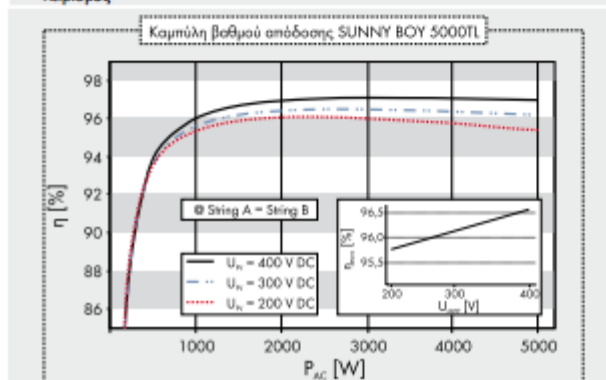
Καταρχήν πρέπει να επιλέξουμε την κατασκευάστρια εταιρία. Μετά από μία στοιχειώδη έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε αντιστροφέα της εταιρίας **SMA**, που αποτελεί μία εκ των μεγαλύτερων εταιριών σε αυτόν το χώρο και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία όσον αφορά την αξιοπιστία και την απόδοση.

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα έχει πρώτα από όλα να κάνει με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συμβιβάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 4,50 kWp, η ισχύς του αντιστροφέα πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή. Συγκεκριμένα για συστήματα ισχύος κάτω των 5kW η σύνδεση γίνεται μέσω μονοφασικής παροχής ενώ για συστήματα πάνω από 5kW μέσω τριφασικής παροχής στο δίκτυο. Η δική μας επιλογή είναι ο μονοφασικός αντιστροφέας **Sunny Boy 5000 TL** της εταιρίας **SMA**. Ακολουθεί πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 4.2: Sunny Boy 5000 TL

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny Boy 5000TL
Είσοδος (DC)	
Μέγιστη ισχύς DC (@ $\cos \varphi = 1$)	5300 W
Μέγιστη τάση DC	550 V
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	175 V - 440 V
Ονομαστική τάση DC	400 V
Ελάχιστη τάση DC / Τάση ακίνησης	125 V / 150 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου / ανά στοιχειοσειρά	2 x 15 A / 15 A
Αριθμός ανιχνευτών MPP / Στοιχειοσειρές ανά ανιχνευτή MPP	2 / A: 2, B: 2
Έξοδος (AC)	
Ονομαστική ισχύς AC (@ 230 V, 50 Hz)	4600 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	5000 VA
Ονομαστική τάση, περιοχή τάσεων AC	220, 230, 240 V, 180 - 280 V
Συχνότητα δικτύου, εύρος AC	50, 60 Hz, ± 5 Hz
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	22 A
Συντελεστής ισχύος ($\cos \varphi$)	1
Φάσεις τροφοδοσίας / Φάσεις σύνδεσης	1 / 1
Βαθμός απόδοσης	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Ευνο-Ετα (EBA)	97,0 % / 96,5 %
Διατάξεις προστασίας	
Προστασία αντιστροφής πόλων συνεχούς ρεύματος	●
Αποζεύκτης φορτίου DC ESS	●
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	●
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς τη γη	●
Επιτήρηση δικτύου (SMA Grid Guard)	●
Γαλβανική απομόνωση / μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ενσωμάτωτη σε όλα τα ρεύματα	-/●
Κατηγορία προστασίας / Κατηγορία υπέρτασης	I / III
Γενικά χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	470 / 445 / 180
Βάρος	25 kg
Εύρος τμύων θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C
Εκπομπή θορύβου, τυπική	≤ 29 dB(A)
Ιδία κατανάλωση (νύχτα)	< 0,5 W
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	OptiCool
Βάρος προστασίας ηλεκτρονικού συστήματος / Περιοχή σύνδεσης (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP54
Κατηγορία κλίματος (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4)	4K4H
Εξοπλισμός	
Σύνδεση DC: SUNCLIX	●
Σύνδεση AC: Κοχλιωτός συνδέκτης / Βύσμα σύνδεσης / Ελατηριωτός συνδέκτης	-/●/●
Οθόνη: Γραμμή κειμένου / Γραφικά	-/●
Διασύνδεση: RS485 / Bluetooth®	○/●
Εγγύηση: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 χρόνια	●/○/○/○/○
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις (περισσότερα κατόπιν αιτήματος) CE, VDE 0126-1-1, DK 5940, RD 1663, GB3/1-1, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/C11, PPDS, KEMCO (μόνο SB 3000TL-20)	
* Δεν ισχύει για όλα τα εθνικά προσαρτήματα του προτύπου EN 50438	
● Βασικός εξοπλισμός ○ Προαιρετικά - Δεν διατίθεται	
Στοιχεία για ονομαστικές συνθήκες	
Χαρισμός	SB 5000TL-20

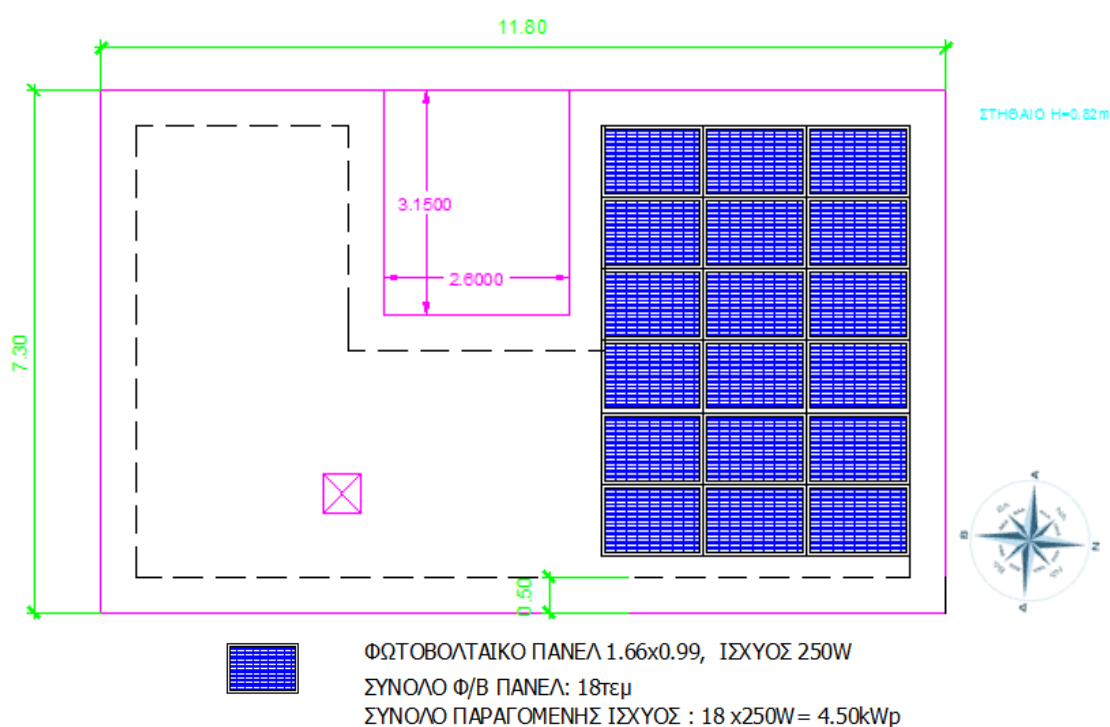


Πίνακας 4.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά inverter της εταιρίας SMA

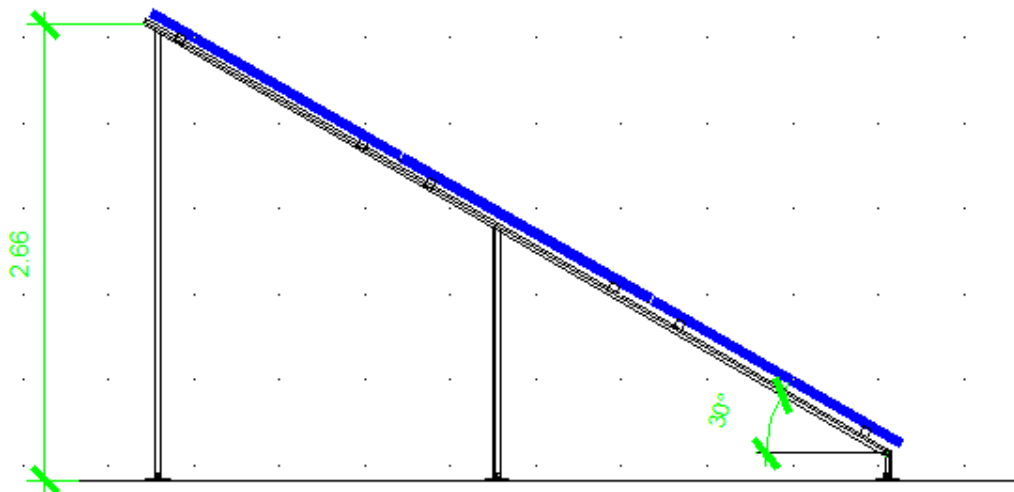
4.6 Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Για να επιτύχουμε μέγιστη απόδοση τοποθετήσαμε τα πλαίσια με προσανατολισμό νότιο και κλίση 30° από το οριζόντιο επίπεδο. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται η χωροθέτηση των πλαισίων, όπως αυτή σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Autocad.

Η σχεδίαση των θέσεων στις οποίες τοποθετούνται οι σειρές των πλαισίων πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά. Αρχικά επιλέξαμε οριζόντιο προσανατολισμό για τα πλαίσια καθ'ότι υπολογίστηκε ότι έτσι μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερα απ'ότι αν τα τοποθετούσαμε κάθετα. Ο χώρος μέσα στον οποίο τοποθετούνται τα πλαίσια απέχει 50cm από την άκρη της ταράτσας και του δώματος, όσο και η απαραίτητη από την ελληνική νομοθεσία απόσταση. Αυτός ο καθαρός χώρος οριοθετείται από τις διακεκομμένες γραμμές.



Σχήμα 4.3: Τοποθέτηση 18 πλαισίων των 250W, οι αποστάσεις δίνονται σε μέτρα (m).

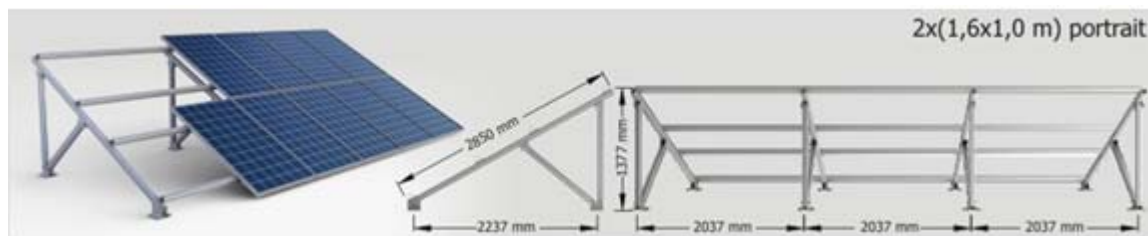


Σχήμα 4.4: Κλίση φωτοβολταϊκού πλαισίου ως προς το οριζόντιο επίπεδο

4.7 Βάσεις Στήριξης

Η στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι ο απλούστερος και ο πιο οικονομικός τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους.

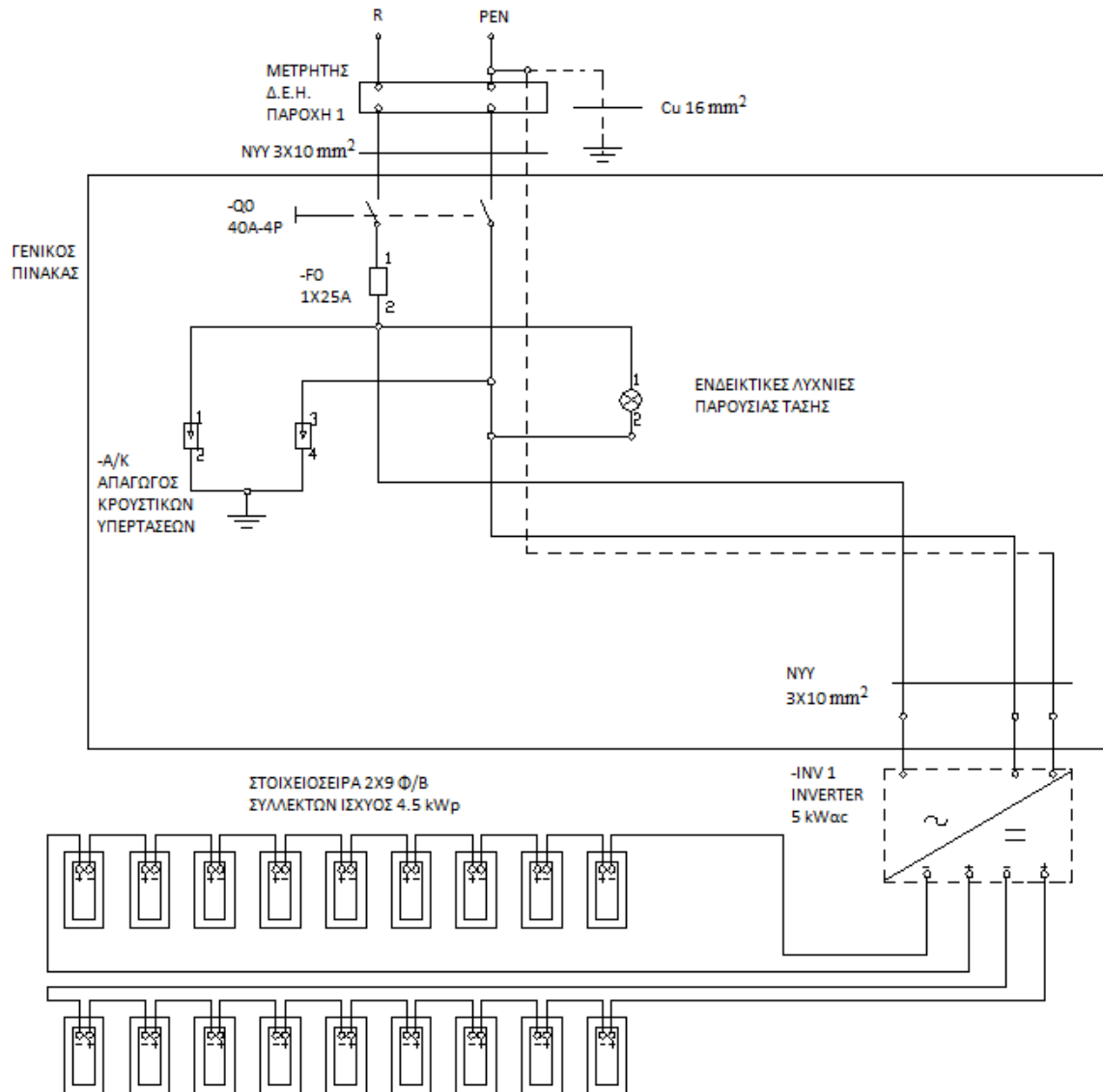
Επιλέξαμε βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων της εταιρίας Alumil Solar.



Σχήμα 4.5: Βάσεις στήριξης Φ/Β πλαισίων της Alumil Solar

Οι βάσεις είναι μεταλλικές και σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν το μηχανικό φορτίο (βάρος, καταπονήσεις από τον άνεμο, χιόνι). Είναι από αλουμίνιο και παρέχουν προστασία από ολίσθηση και ανατροπή.

4.8 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο Εγκατάστασης



Σχήμα 4.6: Τριγραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης

Για την καλωδίωση του φωτοβολταϊκού συστήματος χρησιμοποιούνται πιστοποιημένα καλώδια του Γερμανικού οίκου LAPP Group τα οποία είναι πιστοποιημένα για υψηλές θερμοκρασίες, υπεριώδη ακτινοβολία και αντοχή σε όξινο περιβάλλον κατά τα πρότυπα EN50369, HD605/A1, EN60811-2-1 κλπ.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όπως σε κάθε επένδυση, έτσι και στα Φωτοβολταϊκά, προτού ληφθεί μια απόφαση εκκίνησης, θα πρέπει να λαμβάνονται μια πληθώρα παραγόντων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον ανάληψη του ρίσκου που εμπεριέχει οποιαδήποτε επένδυση.

Παράγοντες όπως:

- Τιμή πώλησης
- Διακύμανση τιμής πώλησης
- Τραπεζική Χρηματοδότηση
- Θεσμικό πλαίσιο
- Έτη απόσβεσης επένδυσης
- Φορολογία κερδών

Είναι καθοριστικοί ώστε να ληφθεί η σωστή απόφαση.

Παρακάτω ακολουθεί μία μικρή ανάλυση βασικών αρχών αξιολόγησης επενδύσεων καθώς και η βιωσιμότητα της επένδυσης.

5.1 Αξία του Χρήματος

Η Παρούσα Αξία (**Present Value**) ενός ποσού μετά από N χρόνια δίνεται από τον τύπο:

$$PV = \frac{X}{(1+d)^N} \quad (5.1)$$

όπου d το προεξοφλητικό επιτόκιο. Το προεξοφλητικό επιτόκιο (ή επιτόκιο αναγωγής) είναι η αποδοτικότητα του κεφαλαίου που επιθυμεί να έχει ο ιδιώτης από την επένδυσή του. Προφανώς θέλουμε: $d > i$ (i: πληθωρισμός).

Η Παρούσα Αξία ποσών X_j συντελούμενων στο τέλος κάθε χρόνου για N χρόνια είναι:

$$PV = \sum_j^N = 1 \frac{X_j}{(1+d)^j} \quad (5.2)$$

Αν τα ποσά αυτά είναι ίδια και ίσα με A, τότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$PV = A \cdot \frac{1-(1+d)^{-N}}{i} \quad (5.3)$$

Η Μελλοντική Αξία F μετά από N χρόνια, ιδίων ποσών A συντελούμενων στο τέλος κάθε χρόνου, δίνεται από τον τύπο:

$$F = A \cdot \frac{(1+d)^N - 1}{i} \quad (5.4)$$

Λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς τα ίδια ποσά A, προκύπτει:

$$A = F \cdot \frac{i}{(1+d)^N - 1} \quad (5.5)$$

Τέλος, η Ισοδύναμη Ετήσια Αξία (**Equivalent Annual Value**) ποσού X για N χρόνια, δίνεται από τον τύπο:

$$EAV = X \cdot \frac{d}{1 - (1+d)^{-N}} \quad (5.6)$$

5.2 Καθαρές Ταμειακές Ροές

Πριν προχωρήσουμε στις τεχνικές αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων, θα αναφερθούμε πρώτα στις καθαρές ταμειακές ροές ενός επενδυτικού σχεδίου. Συχνά, αυτό που ενδιαφέρει κατά την αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου είναι οι σχετικές ΚΤΡ που προκύπτουν από το νέο επενδυτικό σχέδιο, σε σύγκριση με τη μη ανάληψή του. Οι καθαρές ταμειακές ροές ορίζονται ως:

$$(ΚΤΡ)_i = (Ταμειακές \text{ Εισροές})_i - (Ταμειακές \text{ Εκροές})_i$$

όπου:

Ταμειακές Εισροές = (Εισπράξεις από πωλήσεις ή εξοικονομήσεις κόστους λειτουργίας ως αποτέλεσμα της επένδυσης σε νέα μηχανήματα ή σε εκσυγχρονισμό των παλαιών) + (Υπολειμματική αξία).

Ταμειακές εκροές = (Αρχικό κόστος επένδυσης) + (Λειτουργικό κόστος) + (Φόροι) = (Κεφάλαιο για την απόκτηση επενδυτικών στοιχείων + Κόστος εγκατάστασης επενδυτικών στοιχείων - Έσοδα από την πώληση παλαιών μηχανημάτων ± Φόροι επί της τιμής πώλησης παλαιών μηχανημάτων + Κεφάλαιο κίνησης) + (Μισθοί + Πρώτες ύλες + Λοιπές λειτουργικές δαπάνες) + (Φόροι).

5.3 Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας, ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+d)^t} + \frac{SV_N}{(1+d)^N} \quad (5.7)$$

όπου:

- K: αρχική επένδυση
- F_t : ετήσιο καθαρό όφελος
- N: οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης
- d: επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου)
- SV_N : υπολειμματική αξία της επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής

Διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις περιπτώσεις:

- $NPV > 0$: Η επένδυση είναι βιώσιμη
- $NPV < 0$: Η επένδυση δεν είναι βιώσιμη
- $NPV = 0$: Η επένδυση είναι βιώσιμη με ετήσιο ρυθμό απόδοσης ίσο με d (οριακή κατάσταση).

Κατά την αξιολόγηση σχεδίων τα οποία αποκλείονται αμοιβαία, δηλαδή η επιλογή του ενός αποκλείει την επιλογή του άλλου, επιλέγεται το επενδυτικό σχέδιο με το μεγαλύτερο NPV. Πρέπει να τονιστεί ότι η εφαρμογή του κριτηρίου προϋποθέτει την ίδια διάρκεια ζωής της επένδυσης.

Στην περίπτωση που έχουμε διαφορετική διάρκεια ζωής, διαμορφώνονται νέα επενδυτικά σχέδια με διάρκεια ζωής είτε θεωρητικά άπειρη είτε ίση με το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο της διάρκειας των επενδύσεων. Η κάθε μία από τις επενδύσεις θα περιλαμβάνει μία σειρά από επαναλαμβανόμενες επενδύσεις σε τακτό χρονικό διάστημα, ίσο με τη διάρκεια ζωής κάθε αρχικής επένδυσης αντίστοιχο. Τελικά το κριτήριο εφαρμόζεται στις νέες επενδύσεις που τώρα έχουν την ίδια διάρκεια ζωής.

5.3.1 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης - ΕΒΑ (Internal Rate of Return - IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης ορίζεται ως το επιτόκιο αναγωγής που μηδενίζει το NPV και προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$NPV_{(d=IRR)} = 0 \Leftrightarrow -K + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+IRR)^t} + \frac{SV_N}{(1+IRR)^N} = 0 \quad (5.8)$$

Το πρόβλημα επιλύεται με δοκιμές.

Ο επενδυτής θέτει ένα ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο για την τιμή του IRR, κάτω από το οποίο απορρίπτεται η επένδυση. Το επιτόκιο αυτό είναι το κόστος ευκαιρίας της επένδυσης, δηλαδή το επιτόκιο αναγωγής d . Τελικά εάν το IRR προκύψει μεγαλύτερο από το επιτόκιο αναγωγής, η επένδυση είναι αποδεκτή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η επένδυση απορρίπτεται. Μεταξύ δύο εναλλακτικών επενδύσεων προκρίνεται αυτή με το μεγαλύτερο IRR.

5.3.2 Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής - ΕΠΑ (Discounted Pay Back Period - DPB)

Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης καθώς και των τόκων που θα μπορούσαν να ληφθούν από μία εναλλακτική τοποθέτηση του αρχικού κεφαλαίου. Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης:

$$NPV_{(N=DPB)} = 0 \quad (5.9)$$

όπου η ένδειξη $N = DPB$ υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς N . Με άλλα λόγια, η ΕΠΑ είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο $NPV=0$. Εάν η υπολειμματική αξία της επένδυσης είναι ίση με το μηδέν ($SV_N=0$) και επιπλέον θεωρηθεί ότι το λειτουργικό ετήσιο όφελος F_t παραμένει σταθερό σε σταθερές τιμές, τότε η λύση της εξίσωσης της παραπάνω σχέσης παίρνει την αναλυτική μορφή:

$$DPV = \frac{-\ln\left(1 - \frac{d \cdot K}{F}\right)}{\ln(1+d)} \quad (5.10)$$

Μία επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη όταν η τιμή του DPB ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς τον χρόνο αποπληρωμής.

5.4 Βιωσιμότητα Επένδυσης

ΟΙΚΙΑΚΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ				
1. Γενική περιγραφή				
1.1	Ονομαστική ισχύς συστήματος		4,50	kWp
1.2	Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά kWp		1.345	kWh/kWp
1.3	Ετήσια πτώση παραγωγικότητας		0,5	%
1.4	Ετήσια παραγωγή ενέργειας (πρώτο έτος)		6.053	kWh
1.5	Παραγωγή ενέργειας στην 25ετία		142.234	kWh
1.6	Αποφυγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) στην 25ετία		110.942	Kg
2. Συνολική επένδυση				
2.1	Κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης (με ΦΠΑ)		10.000	€
2.2	Άλλα κόστη (π.χ. κόστος σύνδεσης με δίκτυο: με ΦΠΑ)		500	€
2.3	Συνολικό κόστος		10.500	€
2.4	Ίδια συμμετοχή	25,0 %	2.625	€
2.5	Μακροχρόνιο Δάνειο	75,0 %	7.875	€
2.6	Επιτόκιο μακροχρόνιου δανεισμού		6,00%	
2.7	Διάρκεια μακροχρόνιου δανείου		10	έτη
2.8	Επιτόκιο προεξόφλησης		6,00%	
3. Τιμή πώλησης ενέργειας				
3.1	Τιμή πώλησης ενέργειας (με ετήσιο συντελεστή προσαύξησης)		0,23	€/kWh
3.2	Ετήσιος συντελεστής προσαύξησης		0,050	%
4. Ετήσια αποτελέσματα (σε €)				
4.1	Έσοδα από πώληση ενέργειας (με αναλογούσα ετήσια αύξηση)		1.392	€
4.2	Λειτουργικά έξοδα (με ετήσια προσαύξηση)		0	€
4.3	Ετήσιος συντελεστής προσαύξησης		0,2	%
4.4	Συντελεστής φόρων		0%	
5. Δείκτες χρηματικών ροών				
5.1	Καθαρά Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)		6.563	€
5.2	IRR (Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης)		18,0%	
5.3	Απλή περίοδος αποπληρωμής		8,8	έτη
5.4	Απόσβεση επένδυσης		10,6	έτη
5.5	Έσοδα στην 25ετία		32.906	€
5.6	Τόκοι δανείων		2.825	€
5.7	Καθαρά έσοδα (κέρδη) στην 25ετία		22.207	€

Κόστος ανά κατηγορία δαπάνης				
	Δαπάνη	Ποσό (€)	%	€/W
1	Προμήθεια, μεταφορά, εγκατάσταση, δοκιμές και θέση σε λειτουργία	10.000	95,24	2,22
2	Άλλα κόστη (π.χ. κόστος σύνδεσης)	500	4,76	0,11
	Σύνολο	10.500	100,00	
	Κόστος €/W	2,33		

Όροι και αποπληρωμή μακροχρόνιου δανείου

1. Όροι δανείου

α.	Ποσό δανείου (€)	7.875
β.	Ετήσιο επιτόκιο	6,00%
γ.	Περίοδος δανείου (έτη)	10
δ.	Περίοδος χάριτος (έτη)	0
ε.	Τόκοι περιόδου χάριτος	0
στ.	Ποσό αποπληρωμής δανείου	7.875

1. Αποπληρωμή δανείου

Έτος	Ποσό δανείου	Ετήσια τοκοχρεολυτική δόση	Χρεολύσιο	Τόκος	Ανεξόφλητο υπόλοιπο
0	7.875				
1		1.070	597	473	7.278
2		1.070	633	437	6.644
3		1.070	671	399	5.973
4		1.070	712	358	5.261
5		1.070	754	316	4.507
6		1.070	800	270	3.708
7		1.070	848	222	2.860
8		1.070	898	172	1.962
9		1.070	952	118	1.009
10		1.070	1.009	61	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0	0
13		0	0	0	0
14		0	0	0	0
15		0	0	0	0
16		0	0	0	0
17		0	0	0	0
18		0	0	0	0
19		0	0	0	0
20		0	0	0	0
Σύνολο		10.700	7.875	2.825	

ΠΟΛΗ	Μέση αναμενόμενη ενέργεια (kWh/kWp/έτος)	Σύνηθες εύρος τιμών (kWh/kWp/έτος)
Άγιος Νικόλαος	1.365	1.325-1.435
Αργίριο	1.195	1.160-1.255
Αθήνα	1.345	1.305-1.410
Αίγιο	1.225	1.190-1.285
Αλεξάνδρεια	1.200	1.165-1.260
Αλεξανδρούπολη	1.170	1.135-1.230
Αλιάρτος	1.290	1.250-1.355
Αμαλιάδα	1.225	1.190-1.285
Άμφισσα	1.245	1.205-1.305
Άνω Λιόσια	1.350	1.310-1.415
Άραξος	1.205	1.170-1.265
Άργος	1.280	1.240-1.345
Αργοστόλι	1.215	1.180-1.275
Άρτα	1.170	1.135-1.230
Ασπρόπυργος	1.345	1.305-1.410
Αχαρναί	1.350	1.310-1.415
Βέροια	1.250	1.210-1.310
Βόλος	1.240	1.200-1.300
Γιαννιτσά	1.190	1.155-1.250
Γρεβενά	1.260	1.220-1.325
Δράμα	1.150	1.115-1.210
Έδεσσα	1.210	1.175-1.270
Ελευσίνα	1.330	1.290-1.395
Ερμούπολη	1.395	1.355-1.465
Ζάκυνθος	1.220	1.185-1.280
Ηγουμενίτσα	1.195	1.160-1.255
Ηράκλειο	1.355	1.315-1.420
Θεσσαλονίκη	1.200	1.165-1.260
Θήβα	1.335	1.295-1.400
Ιεράπετρα	1.410	1.370-1.480
Ιωάννινα	1.235	1.195-1.295
Καβάλα	1.160	1.125-1.220
Καλαμάτα	1.270	1.230-1.335
Κάλυμνος	1.410	1.370-1.480
Καρδίτσα	1.200	1.165-1.260
Καρπενήσι	1.260	1.220-1.325
Καστοριά	1.295	1.255-1.360
Κατερίνη	1.320	1.280-1.385
Κέρκυρα	1.230	1.195-1.290
Κιλκίς	1.195	1.160-1.255
Κοζάνη	1.265	1.225-1.330
Κομοτηνή	1.150	1.115-1.205
Κόνιτσα	1.240	1.200-1.300
Κόρινθος	1.300	1.260-1.365
Κορωπί	1.365	1.325-1.435
Κύθηρα	1.330	1.290-1.395
Κως	1.455	1.410-1.525

Απόδοση της επένδυσης

Έτος	Έσοδα	Λειτουργικές δαπάνες	Μικτό κέρδος	Αποσβέσεις	Τραπεζικές υποχρεώσεις	Φόροι	Καθαρή χρηματική ροή	Αθροιστική χρηματική ροή	Παρούσα αξία	Αθροιστική παρούσα αξία
0							-2.625	-2.625	-2.625	-2.625
1	1.392	0	1.392	0	1.070	0	322	-2.303	304	-2.321
2	1.386	0	1.386	0	1.070	0	316	-1.987	281	-2.040
3	1.380	0	1.380	0	1.070	0	310	-1.677	260	-1.780
4	1.373	0	1.373	0	1.070	0	303	-1.374	240	-1.540
5	1.367	0	1.367	0	1.070	0	297	-1.077	222	-1.318
6	1.361	0	1.361	0	1.070	0	291	-786	205	-1.113
7	1.354	0	1.354	0	1.070	0	284	-502	189	-924
8	1.348	0	1.348	0	1.070	0	278	-224	174	-749
9	1.342	0	1.342	0	1.070	0	272	48	161	-588
10	1.335	0	1.335	0	1.070	0	265	313	148	-440
11	1.329	0	1.329	0	0	0	1.329	1.642	700	260
12	1.323	0	1.323	0	0	0	1.323	2.965	657	917
13	1.316	0	1.316	0	0	0	1.316	4.282	617	1.534
14	1.310	0	1.310	0	0	0	1.310	5.592	579	2.114
15	1.304	0	1.304	0	0	0	1.304	6.895	544	2.658
16	1.297	0	1.297	0	0	0	1.297	8.193	511	3.169
17	1.291	0	1.291	0	0	0	1.291	9.484	479	3.648
18	1.285	0	1.285	0	0	0	1.285	10.768	450	4.098
19	1.278	0	1.278	0	0	0	1.278	12.047	422	4.521
20	1.272	0	1.272	0	0	0	1.272	13.318	397	4.917
21	1.265	0	1.265	0	0	0	1.265	14.584	372	5.289
22	1.259	0	1.259	0	0	0	1.259	15.843	349	5.639
23	1.253	0	1.253	0	0	0	1.253	17.096	328	5.967
24	1.246	0	1.246	0	0	0	1.246	18.342	308	6.275
25	1.240	0	1.240	0	0	0	1.240	19.582	289	6.563
	32.906	0	26.643		10.700	0	13.318			

Επιτόκιο προεξόφλησης	6,00%
Καθαρά Παρούσα Αξία (€)	6.563
IRR (Εσωτερικός Δείκτης Απόδοσης)	18,00%
Απλή περίοδος αποπληρωμής (έτη)	8,82
Απόσβεση επένδυσης (έτη)	10,6

Αναλυτικές χρηματικές ροές

		ΕΤΗΣΙΑ ΠΟΣΑ (€)															
A/A	ΧΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ/ΕΚΡΟΕΣ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Επένδυση																
1.1	Ίδια συμμετοχή	2.625															
1.2	Επιδότηση	0	0														
1.3	Δάνειο	7.875															
1.4	Κόστος επένδυσης	-10.500															
	Σύνολο	0	0														
2	Έσοδα																
2.1	Ετήσιες πωλήσεις ενέργειας		1.392	1.386	1.380	1.373	1.367	1.361	1.354	1.348	1.342	1.335	1.329	1.323	1.316	1.310	1.304
3	Έξοδα																
3.1	Σύνολο λειτουργικών		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Αποπληρωμή δανείου																
4.1	Τόκοι πληρωτέοι		473	437	399	358	316	270	222	172	118	61	0	0	0	0	0
4.2	Χρεολύσιο		597	633	671	712	754	800	848	898	952	1.009	0	0	0	0	0
4.3	Τοκοχρεολύσιο		1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	0	0	0	0	0
5	Λειτουργικό αποτέλεσμα																
5.1	Έσοδα-Έξοδα-Τόκοι πληρωτέοι		920	949	981	1.015	1.051	1.090	1.132	1.176	1.224	1.275	1.329	1.323	1.316	1.310	1.304
5.2	Κέρδη προ φόρων προς ίδια κεφάλαια		35,0%	36,2%	37,4%	38,7%	40,0%	41,5%	43,1%	44,8%	46,6%	48,6%	50,6%	50,4%	50,1%	49,9%	49,7%
6	Αποσβέσεις																
6.1	Ετήσιες αποσβέσεις		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Φόροι																
7.1	Φορολογητέο εισόδημα		920	949	981	1.015	1.051	1.090	1.132	1.176	1.224	1.275	1.329	1.323	1.316	1.310	1.304
7.2	Φόρος εισοδήματος		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Καθαρή χρηματική ροή	0	322	316	310	303	297	291	284	278	272	265	1.329	1.323	1.316	1.310	1.304
8.1	Κέρδη μετά από φόρους προς ίδια κεφάλαια		12,3%	12,0%	11,8%	11,6%	11,3%	11,1%	10,8%	10,6%	10,4%	10,1%	50,6%	50,4%	50,1%	49,9%	49,7%

Αναλυτικές χρηματικές ροές

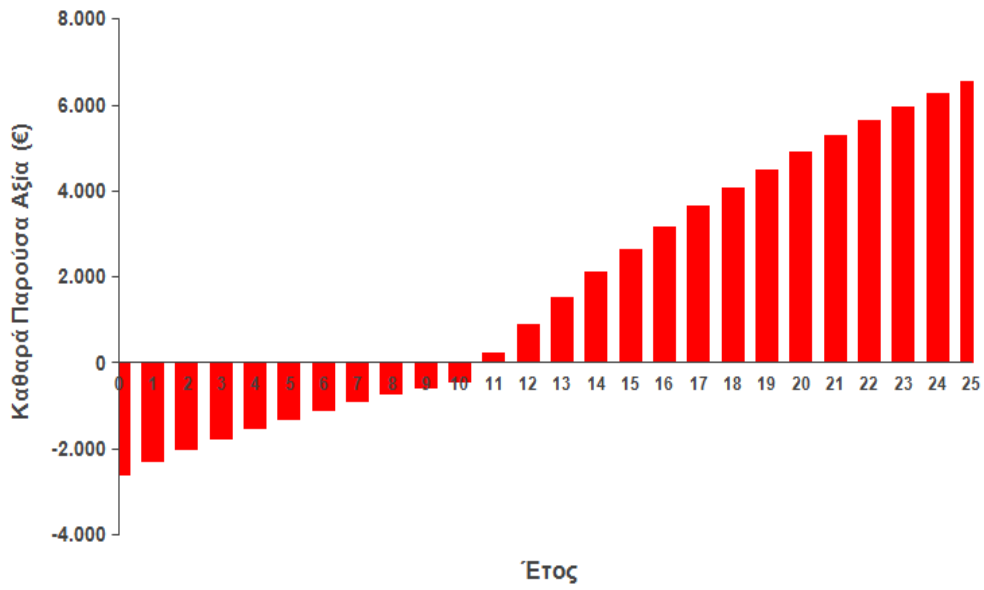
		ΕΤΗΣΙΑ ΠΟΣΑ (€)									
A/A	ΧΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ/ΕΚΡΟΕΣ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Επένδυση										
1.1	Ίδια συμμετοχή										
1.2	Επιδότηση										
1.3	Δάνειο										
1.4	Κόστος επένδυσης										
	Σύνολο										
2	Έσοδα										
2.1	Ετήσιες πωλήσεις ενέργειας	1.297	1.291	1.285	1.278	1.272	1.265	1.259	1.253	1.246	1.240
3	Έξοδα										
3.1	Σύνολο λειτουργικών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Αποπληρωμή δανείου										
4.1	Τόκοι πληρωτέοι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.2	Χρεολύσιο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.3	Τοκοχρεολύσιο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Λειτουργικό αποτέλεσμα										
5.1	Έσοδα-Έξοδα-Τόκοι πληρωτέοι	1.297	1.291	1.285	1.278	1.272	1.265	1.259	1.253	1.246	1.240
5.2	Κέρδη προ φόρων προς ίδια κεφάλαια	49,4%	49,2%	48,9%	48,7%	48,5%	48,2%	48,0%	47,7%	47,5%	47,2%
6	Αποσβέσεις										
6.1	Ετήσιες αποσβέσεις	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Φόροι										
7.1	Φορολογητέο εισόδημα	1.297	1.291	1.285	1.278	1.272	1.265	1.259	1.253	1.246	1.240
7.2	Φόρος εισοδήματος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Καθαρή χρηματική ροή										
8.1	Κέρδη μετά από φόρους προς ίδια κεφάλαια	49,4%	49,2%	48,9%	48,7%	48,5%	48,2%	48,0%	47,7%	47,5%	47,2%

Επιτόκιο προεξόφλησης	6,00%
Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	6.563
IRR (Εσωτερικός Δείκτης Απόδοσης)	18,00%
Απόσβεση επένδυσης (έτη)	10,63

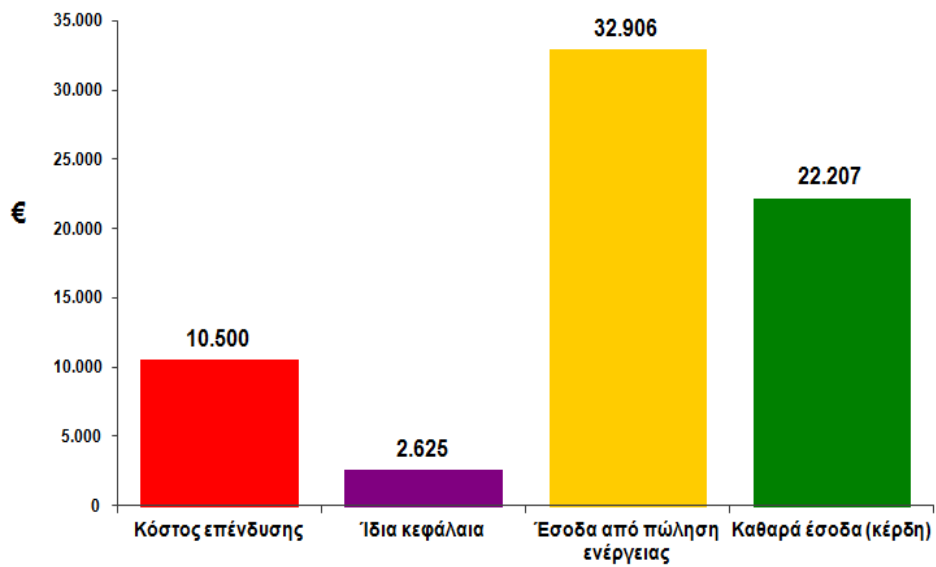
Έτος	Μικτά έσοδα (€)	Κέρδη προ τόκων, φόρων και αποσβέσεων EBITDA (€)	Κέρδη μετά από φόρους (€)
1	1.392	1.392	322
2	1.386	1.386	316
3	1.380	1.380	310
4	1.373	1.373	303
5	1.367	1.367	297
6	1.361	1.361	291
7	1.354	1.354	284
8	1.348	1.348	278
9	1.342	1.342	272
10	1.335	1.335	265
11	1.329	1.329	1.329
12	1.323	1.323	1.323
13	1.316	1.316	1.316
14	1.310	1.310	1.310
15	1.304	1.304	1.304
16	1.297	1.297	1.297
17	1.291	1.291	1.291
18	1.285	1.285	1.285
19	1.278	1.278	1.278
20	1.272	1.272	1.272
21	1.265	1.265	1.265
22	1.259	1.259	1.259
23	1.253	1.253	1.253
24	1.246	1.246	1.246
25	1.240	1.240	1.240
Σύνολο	32.906	32.906	22.207

Αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας & εκπομπές CO₂		
Έτος	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	
1	6.053	
2	6.022	
3	5.992	
4	5.962	
5	5.931	
6	5.901	
7	5.871	
8	5.841	
9	5.810	
10	5.780	
11	5.750	
12	5.720	
13	5.689	
14	5.659	
15	5.629	
16	5.599	
17	5.568	
18	5.538	
19	5.508	
20	5.478	
21	5.447	
22	5.417	
23	5.387	
24	5.356	
25	5.326	
Ενέργεια 25ετία	142.234	kWh
CO₂ 25ετία	110.942	Kg

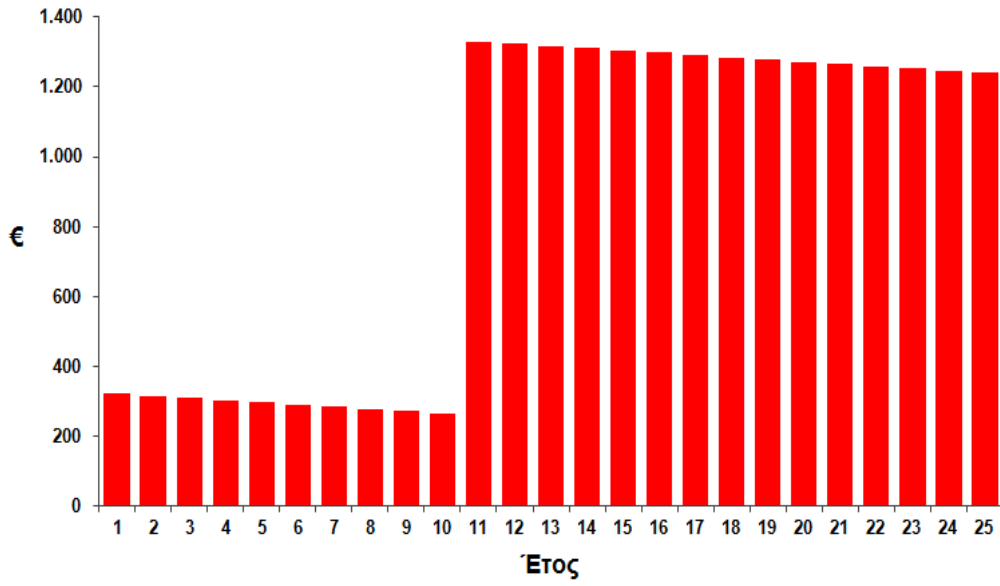
Απόσβεση επένδυσης



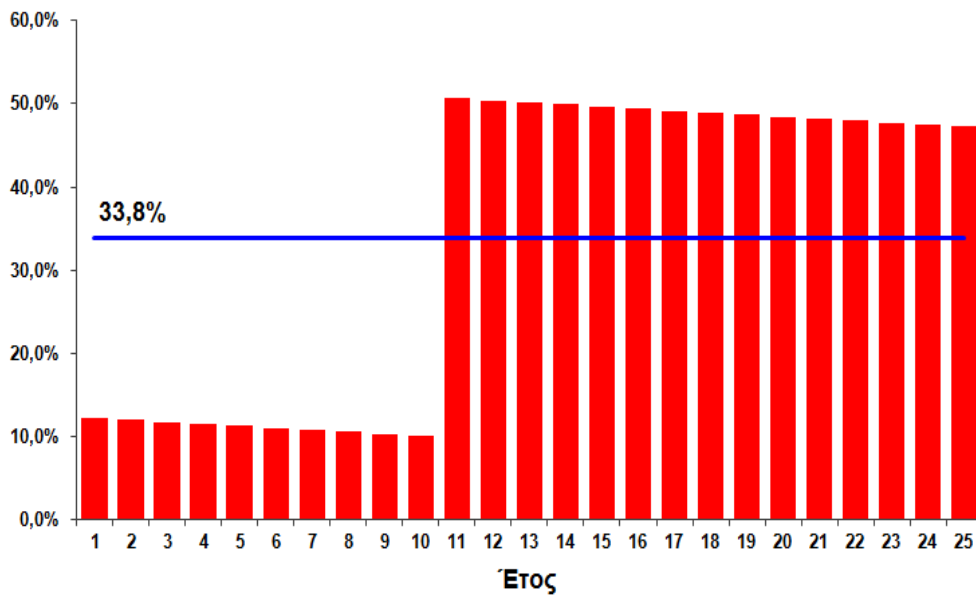
Απόδοση επένδυσης στην 25ετία



Ετήσια κέρδη



Απόδοση ιδίων κεφαλαίων Κέρδη προς ίδια κεφάλαια



ΣΥΜΠΕΡΑΜΑΤΑ

Στην σημερινή εποχή των μεγάλων οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και ενεργειακών κρίσεων, ο πλανήτης οδηγείται σε αδιέξοδο λόγω της απόλυτης εξάρτησης του στις συμβατικές μορφές ενέργειας. Η μόνη διέξοδος για την αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων είναι η στροφή προς τις Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας οι οποίες είναι το μέλλον της ανθρωπότητας. Μέρος των Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας αποτελούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η χρήση των οποίων ολοένα διαδίδεται παγκοσμίως. Με το πέρασμα του χρόνου, τα πλαίσια των φωτοβολταϊκών εξελίσσονται και ο βαθμός απόδοσής τους βελτιώνεται. Με την διαρκή διάδοση τους, το κόστος των φωτοβολταϊκών μειώνεται σταδιακά, ελκύοντας με αυτό τον τρόπο το ενδιαφέρον των επενδυτών.

Πρωταρχικό ρόλο για την αποτελεσματική λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος παίζει η ηλιακή ενέργεια, η οποία αποτελεί την αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού. Για την σωστή λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, βάση των υπολογισμών που έχουν γίνει μέσα από την έρευνα, πρέπει να μην υπάρχουν σκιάσεις πάνω στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, έτσι ώστε να είναι εφικτή η μέγιστη απολαβή της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, για να έχουμε την μέγιστη απολαβή από την ηλιακή ενέργεια, πρέπει να τοποθετηθούν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες με την κατάλληλη γωνία κλίσης η οποία καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής όπου γίνεται η εγκατάσταση ενός σταθμού. Ο χώρος όπου θα γίνει η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος, πρέπει να έχει όσο το δυνατό πιο μικρή απόκλιση από το Νότο. Ιδανικά, ο τέλειος προσανατολισμός του συστήματος είναι προς τον Νότο. Το έδαφος όπου θα γίνει η εγκατάσταση, θα πρέπει να μην είναι βραχώδες και γενικά να μην υπάρχουν δέντρα που θα δυσκολεύουν την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών.

Για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πλαισίων υπάρχουν διάφορα είδη υλικών, όπως έχουν αναφερθεί μέσα στην έρευνα. Φυσικά, ανάλογα με τις διάφορες τεχνολογίες υλικών, αλλάζει και ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Όσο πιο μεγάλη είναι η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, τόσο πιο ακριβή είναι η τεχνολογία κατασκευής του. Όσον αφορά τις βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, η καλύτερη επιλογή για την μεγαλύτερη απολαβή ενέργειας είναι οι ηλιοτροπικές βάσεις, οι οποίες ακολουθούν την πορεία του ήλιου από την ανατολή μέχρι την δύση, αλλά και πάλι το κόστος τους είναι υψηλό σε σχέση με τα άλλα είδη. Συμπερασματικά, η επιλογή των υλικών που χρειάζονται για την υλοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, εξαρτάται απόλυτα τόσο από την οικονομική ευχέρεια του επενδυτή όσο και από τον σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Μέσα από την οικονομική μελέτη που έγινε φαίνεται κατά πόσο κρίνεται συμφέρουσα η επένδυσή μας. Το παράδειγμα που έχει εφαρμοστεί στην πτυχιακή εργασία, δείχνει ότι η επένδυση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι συμφέρουσα, γιατί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα δεν έχει πολλά λειτουργικά έξοδα. Αν και η εγκατάστασή του έχει υψηλό αρχικό κόστος, η απόσβεση του γίνεται περίπου σε δέκα χρόνια, σύντομο χρονικό διάστημα, αν υπολογίσουμε ότι η ζωή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι περίπου εικοσι-πέντε

χρόνια. Μέσα από τον τύπο της καθαρής παρούσας αξίας που έχει εφαρμοστεί στην μελέτη, το αποτέλεσμα που βρίσκουμε είναι μεγαλύτερο από 0, οπότε η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα. Ο εσωτερικός δείκτης επένδυσης είναι αρκετά μεγάλος σε σχέση με το τραπεζικό επιτόκιο, οπότε φαίνεται επίσης και από εδώ ότι αυτή η επένδυση είναι συμφέρουσα.

Γενικά, οι εγκαταστάσεις τέτοιων φωτοβολταϊκών συστημάτων κρίνονται βιώσιμες, αλλά και οικονομικά πολύ κερδοφόρες. Φυσικά, το κράτος οφείλει να παροτρύνει τέτοιες επενδύσεις, αφού είναι πράσινη ενέργεια η οποία είναι φιλική προς το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://kpe-kastor.kas.sch.gr>
- [2] <http://www.ecocrete.gr>
- [3] ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΙΟΥΛ. - ΑΥΓ. 2008
- [4] el.wikipedia.org
- [5] Ι.Ε Φραγκιαδάκης, (2007), «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- [6] Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης <http://www.wel.teicrete.gr>
- [7] <http://www.selasenergy.gr>, <http://www.heliergia-photovoltaic.gr>
- [8] <http://www.allaboutenergy.gr>
- [9] Tomas Markvart, (2003), «Ηλεκτρισμός από ηλιακή ενέργεια», Εκδόσεις ΙΩΝ
- [10] <http://www.buildnet.gr>, <http://www.solar-systems.gr>
- [11] <http://www.solcomhouse.com>
- [12] <http://www.erdgas.gr>
- [13] Κ.Καγκαράκης, (1992), «Φωτοβολταϊκή τεχνολογία», Εκδόσεις Συμμετρία
- [14] <http://www.physicalgeography.net>
- [15] Duffie, J. A. & Beckman, W. A., (1991), «Solar Engineering of Thermal Processes», 2η Έκδοση, Wiley, New York
- [16] Photovoltaic basics, www.solarwatt.de
- [17] <http://gneng.blogspot.com>
- [18] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/intrin.html>
- [19] <http://www.heliergia-photovoltaic.gr>
- [20] <http://electronics-for-beginners.com>
- [21] <http://openwetware.org>
- [22] <http://www.alifragis.com.gr>
- [23] <http://www.solar-systems.gr>
- [24] <http://www.selasenergy.gr>
- [25] <http://www.env-edu.gr>
- [26] <http://www.fotovoltaiika-systems.gr>
- [27] <http://www.energotechniki.gr>
- [28] Yaw-Juen Wang, and Po-Chun Hsu, (2009), «Analysis of Partially Shaded PV Modules Using Piecewise Linear Parallel Branches Model»
- [29] Adel El Shahat, (2005-2010 Jatit), «PV Cell Module Modelling & Ann Simulation for Smart GridApplications», Journal of Theoretical and Applied Information Technology
- [30] Σταμάτης Δ. Περδίας, (2011), «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις», Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ - 4Μ, 3η Έκδοση
- [31] Thomas Carlson,(2001), «Experimental setup for Full Scale Field tests of CdTe and CIS Thin-film PV Modules», Espoo
- [32] «Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις» Αύγουστος 2009, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας ΚΑΠΕ