

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ 1282

**ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΕ ΔΙΩΡΟΦΗ
ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

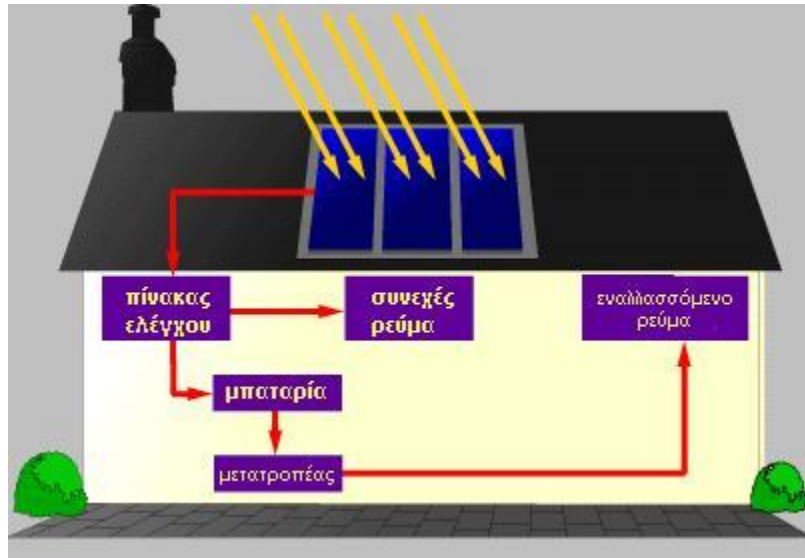
ΓΕΡΑΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΜΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία ολοκληρώθηκε με την αμέριστη βοήθεια του καθηγητή κυρίου Χαραλαμπίκου Βασιλείου Νεκτάριο τον οποίο και ευχαριστούμε ιδιαίτερα.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας των οποίων η αμέριστη συμπαράσταση υπήρξε καταλυτική στην επιτυχή πραγματοποίηση των σπουδών μας.

Περιεχόμενα

| | |
|---------------|---|
| Περίληψη..... | 6 |
| Πρόλογος..... | 7 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

| | |
|--|----|
| 1.1 | |
| Γενικά..... | 12 |
| 1.2 Ηλιακή Ενέργεια..... | 14 |
| 1.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια..... | 17 |
| 1.4 Ενέργεια από Βιομάζα..... | 19 |
| 1.5 Γεωθερμική Ενέργεια..... | 21 |
| 1.6 Ενέργεια από τη Θάλασσα..... | 22 |
| 1.6.1 Ενέργεια από τις Παλίρροιες..... | 23 |
| 1.6.2 Ενέργεια από Κύματα..... | 24 |
| 1.7 Αιολική Ενέργεια..... | 25 |
| 1.7.1 Τρέχουσα Κατάσταση της Αιολικής Ενέργειας..... | 26 |
| 1.7.1.1 Παγκόσμια..... | 26 |
| 1.7.1.2 Ευρώπη..... | 28 |
| 1.7.1.3 Ελλάδα..... | 30 |
| 1.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΑΠΕ..... | 31 |
| 1.9 Διεσπαρμένη Παραγωγή..... | 33 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ..... 35

| | | |
|--------|--|----|
| 2.1. | Τι είναι το φωτοβολταϊκό στοιχείο;..... | 35 |
| 2.2. | Τύποι Φωτοβολταϊκών Στοιχείων Πυριτίου..... | 37 |
| 2.2.1. | Πολυκρυσταλλικά Στοιχεία Πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si) | 37 |
| 2.2.2. | Μονοκρυσταλλικά Στοιχεία (Single-crystal Silicon)..... | 38 |
| 2.2.3. | ΦΒ Στοιχεία Ταινίας (Ribbon Silicon)..... | 38 |
| 2.2.4. | ΦΒ Στοιχεία Άμορφου πυριτίου (Amorphous Silicon)..... | 39 |
| 2.3. | Απόδοση ΦΒ πλαισίων και παράγοντες που την επηρεάζουν..... | 39 |
| 2.3.1. | Γενικά για το συντελεστή απόδοσης..... | 39 |
| 2.3.2. | Αναλυτική παρουσίαση παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση ΦΒ πλαισίων..... | 40 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.4. | Συγκριτικά στοιχεία και επίδραση της θερμοκρασίας σε αυτά | 42 |
| 2.4.1. | Επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου..... | 42 |
| 2.4.2. | Εξάρτηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του πλαισίου από τη θερμοκρασία κυψελίδας | 44 |
| 2.5. | Η καμπύλη I-V | 45 |
| 2.6. | Πρότυπες συνθήκες ελέγχου (StandartTestConditions, STC) των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείων. Η έννοια της ισχύος αιχμής..... | 48 |
| 2.7. | Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά στάδιο..... | 49 |
| 2.7.1. | Κατασκευή..... | 49 |
| 2.7.2. | Μεταφορά..... | 50 |
| 2.7.3. | Εγκατάσταση | 50 |
| 2.7.4. | Λειτουργία..... | 51 |
| 2.8. | Συντήρηση | 52 |
| 2.8.1. | Αποικοδόμηση..... | 52 |
| 2.9. | Τεχνολογίες/τεχνικές απαλοιφής περιβαλλοντικών επιπτώσεων | 52 |
| 2.10. | Ηλιοθερμικά συστήματα ισχύος | 54 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ..... | | 55 |
| 3.1. | Εισαγωγή | 55 |
| 3.2. | Εκτός δικτύου ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα | 56 |
| 3.3. | Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα..... | 56 |
| 3.4. | Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα | 57 |
| 3.5. | Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο | 57 |
| 3.6. | Σύνδεση πλαισίων - σύνδεση με δίκτυο | 58 |
| 3.6.1. | Αυτοδύναμα ή Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα | 58 |
| 3.6.2. | Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φωτοβολταϊκά συστήματα | 58 |
| 3.7. | Ηλεκτρονικά | 60 |
| 3.7.1. | Ελεγκτής φόρτισης | 60 |
| 3.7.2. | Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC..... | 61 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ:ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥΣ | | 63 |
| 4.1. | Προϋποθέσεις εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων | 63 |
| 4.2. | Κλίση και προσανατολισμός του συλλέκτη | 64 |
| 4.3. | Η ιδανική κλίση των συλλεκτών | 65 |

| | | |
|---|---|------|
| 4.4. | Τρόποι στήριξης των συλλεκτών..... | 68 |
| 4.4.1. | Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης | 68 |
| 4.4.2. | Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης κλίσης του συλλέκτη . | 70 |
| 4.4.3. | Στήριξη του συλλέκτη σε κινητές βάσεις..... | 70 |
| 4.5. | Τρόποι στήριξης Φ/Β πλαισίων σε κτήρια | 7171 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ:ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟ-ΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | | 74 |
| 5.1. | Εισαγωγή | 74 |
| 5.2. | Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις..... | 74 |
| 5.3. | Η χρονική περίοδος..... | 77 |
| 5.4. | Η φωτοβολταϊκήγεννήτρια | 79 |
| 5.4.1. | Η κλίση συλλεκτών | 79 |
| 5.4.2. | Η τάση του συστήματος | 80 |
| 5.4.3. | Η επιλογή, το πλήθος και η οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων | 81 |
| 5.5. | Οι συσσωρευτές..... | 86 |
| 5.6. | Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης | 88 |
| 5.7. | Επιλογή Inverter | 89 |
| 5.8. | Έλεγχος συμβατότητας φωτοβολταϊκής συστοιχίας και μετατροπέα | 93 |
| 5.9. | Υπολογισμός της έκτασης των φωτοβολταϊκών πανέλων..... | 94 |
| 5.10. | Επιλογή βοηθητικής ηλεκτρικής παραγωγής..... | 95 |
| 5.11. | Οικονομικά στοιχεία μελέτης | 96 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | | 99 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | | 100 |
| ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | | 106 |
| ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ | | 106 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το περιεχόμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, αφορά την εκπόνηση οικονομικοτεχνικής μελέτης για την εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε μονοκατοικία.

Αρχικά γίνεται εκτενής αναφορά στις Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, στην παγκόσμια, στην ευρωπαϊκή αλλά και στην εγχώρια αγορά καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών.

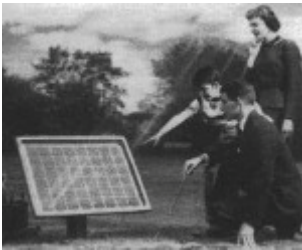
Στη συνέχεια γίνεται μια αρχική ανάλυση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων και αποτελέσματα επιστημονικών ερευνών. Η Πτυχιακή Εργασία συνεχίζεται με αναφορά στους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων που είναι διαθέσιμοι στην αγορά, καθώς και στους δύο τρόπους σύνδεσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στα ηλεκτρονικά μέρη όπως ελεγκτής φόρτισης και μετατροπείς.

Στο επόμενο κεφάλαιο η Πτυχιακή Εργασία πραγματεύεται τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων και τους τρόπους στήριξής τους, ενώ γίνεται και η μελέτη για την βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα των διαφόρων παραγόντων.

Στο πέμπτο και ουσιαστικά το σημαντικότερο κεφάλαιο στη παρούσα Πτυχιακή Εργασία γίνεται η τεchnοοικονομική μελέτη του Αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων της οικίας σε εικοσιτετράωρη βάση κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο. Με βάση αυτή την ανάλυση γίνεται η μελέτη του συστήματος και η επιλογή των επιμέρους ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων του..

Τέλος παραθέτουμε τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

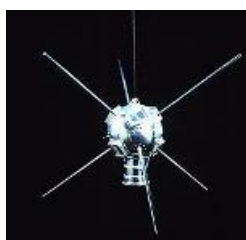
ΠΡΟΛΟΓΟΣ



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο δηλαδή το φαινόμενο της άμεσης μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια ιστορικά διαπιστώθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο φυσικό επιστήμονα **Edmund Becquerel** (1839) όταν παρατήρησε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα ηλεκτρόδιο πλατίνας αυξάνεται, υπό την παρουσία φωτός, όταν αυτό είναι βυθισμένο σε ηλεκτρολύτη.

Το 1876 οι **Adams** και **Day** παρατηρούν αυξομειώσεις στις ηλεκτρικές ιδιότητες του Σεληνίου (Se) όταν αυτό εκτίθεται στον ήλιο. Το 1883 ο **Charles Edgar Fritts** από την Νέα Υόρκη κατασκεύασε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο χρησιμοποιώντας κρύσταλλο από Σελήνιο παρόμοιο με το με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου με απόδοση μικρότερη του 1%. Ωστόσο η ουσιαστική κατανόηση των παραπάνω φαινομένων έπρεπε να περιμένει την πρόοδο της επιστήμης προς την κβαντική θεωρία στις αρχές του εικοστού αιώνα, όπου το 1900 ο **Planck** διατυπώνει το αξίωμα της κβαντικής φύσης του φωτός . Και το 1904 ο **Albert Einstein** γράφει την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Η κατανόηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγικών τρανζίστορ, συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη των Φ/Β στοιχείων. Τα τρανζίστορ και τα Φ/Β στοιχεία κατασκευάζονται από συναφή υλικά και η λειτουργία τους διέπεται από αρχές παρόμοιων φυσικών μηχανισμών. Πριν την ανακάλυψη του τρανζίστορ το 1930 προτείνεται η κβαντική θεωρία των στερεών από τον **Wilson**. Το 1940 οι **Mot** και **Schottky** διατυπώνουν την θεωρία του ανορθωτού στερεάς κατάστασης (διόδου). Το 1949 οι **Bardeen, Brattain** και **Schockley** εφευρίσκουν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των **p** και **n** ενώσεων των ημιαγωγών υλικών. Το 1954 οι **Chapin, Fuller** και **Pearson** αναγγέλλουν 6% απόδοση για το ηλιακό στοιχείο πυριτίου- το πρώτο χρησιμοποιήσιμο ηλιακό στοιχείο.



Οι Reynolds et al αναφέρουν την κατασκευή ηλιακού στοιχείου βασισμένου στο θειούχο κάδμιο. Έκτοτε δεν χρειάστηκε να περιμένουμε πολύ για να δούμε σε εφαρμογή τα ηλιακά στοιχεία καθώς 1958 η ανθρωπότητα έγινε μάρτυρας της εκτόξευσης του πρώτου δορυφόρου που χρησιμοποιούσε ενέργεια από τον ήλιο (**VANGUARD 1**).

Από την πρώτη εκείνη εκτόξευση του δορυφόρου και μέχρι και σήμερα η χρήση των ηλιακών στοιχείων (Φωτοβολταϊκών) γίνεται ολοένα και εκτενέστερη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ραγδαία ώθηση για την εφαρμοσμένη χρήση του ηλιακού ηλεκτρισμού έδωσε και η πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του εβδομήντα.

Σήμερα ένα πολύ μεγάλο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο παράγεται με τη χρήση ηλιακών κυττάρων ενώ παρατηρείται συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των συγκεκριμένων στοιχείων στο μερίδιο της

παραγωγής. Παράλληλα σε πολλούς ερευνητικούς χώρους ανά τον κόσμο πραγματοποιείται εκτεταμένη έρευνα που αφορά την ανακάλυψη νέων τεχνολογιών (οργανικά υλικά) καθώς και την βελτίωση των ιδιοτήτων των ήδη υπάρχουσων τεχνολογιών.

1839 Ο 19χρονος φυσικός Edmund Becquerel ανακαλύπτει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, καθώς πειραματιζόταν με ηλεκτρολυτικό στοιχείο αποτελούμενο από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγωγίμο υγρό. Η ροή αυξανόταν με την έκθεση στον ήλιο. Οι σημειώσεις του γύρω από το φαινόμενο, είχαν φανεί πολύ ενδιαφέρουσες στην επιστημονική κοινότητα αλλά χωρίς πρακτική εφαρμογή.

1883 Ο Charles Fritz παράγει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 1-2%.

1904 Ο Albert Einstein γράφει την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για την θεωρητική του εξήγηση τιμήθηκε με βραβείο Nobel το 1921.

1918 Ο Πολωνός Jan Czochralski κατασκευάζει το πρώτο στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

1932 Παρατηρείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο κάδμιο σελήνιο. Σήμερα το CdS αποτελεί πολύ σημαντικό υλικό παραγωγής φωτοβολταϊκών panel.

1954 Στα Bell Laboratories, ανακαλύπτουν ότι το πυρίτιο μαζί με συγκεκριμένα ρυπαρότητες είναι πολύ ευαίσθητο στο φως. Το αποτέλεσμα είναι τα πρώτα πρακτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία με απόδοση 6%.

1958 Κατασκευάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 9%. Στις 17 Μαρτίου εκτοξεύεται το Vanguard I, ο πρώτος δορυφόρος τροφοδοτούμενος από φωτοβολταϊκά, που θα δουλέψει συνεχόμενα για 8 χρόνια.

- Δύο ακόμη δορυφόροι ο Explorer III & ο Vanguard II εκτοξεύονται από τους Αμερικάνους και ο Sputnik III από τους Σοβιετικούς.
- Στην Georgia κατασκευάζεται ο πρώτος τροφοδοτούμενος από φωτοβολταϊκά στοιχεία τηλεφωνικός αναμεταδότης.

1959 Παράγονται φωτοβολταϊκά με 10% απόδοση.

- Η Αμερική εκτοξεύει τους δορυφόρους Explorer VI & VII με 9.600 φωτοβολταϊκά στοιχεία.

1960 Παράγονται φωτοβολταϊκά με 14% απόδοση.

1963 Η Ιαπωνία εγκαθιστά φωτοβολταϊκά σε φάρους - η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή διάταξη της εποχής.

1972 Οι Γάλλοι εγκαθιστούν άμορφα CdS φωτοβολταϊκά σε ένα σχολείο στην επαρχία Niger.

1976 Ξεκινούν οι πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών για την τροφοδότηση ψυγείων, τηλεπικοινωνιακού & ιατρικού εξοπλισμού, άντλησης νερού και φωτισμού.

1977 Η συνολική παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 500 kW.

- Στην Αυστραλία στο Pentax World Solar Challenge νικά ένα κινούμενο από φωτοβολταϊκά αυτοκίνητο της General Motors με μέση ταχύτητα 71 km/h.

1983 Η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 21,3 MW.

1984 Κυκλοφορούν τα άμορφα φωτοβολταϊκά.

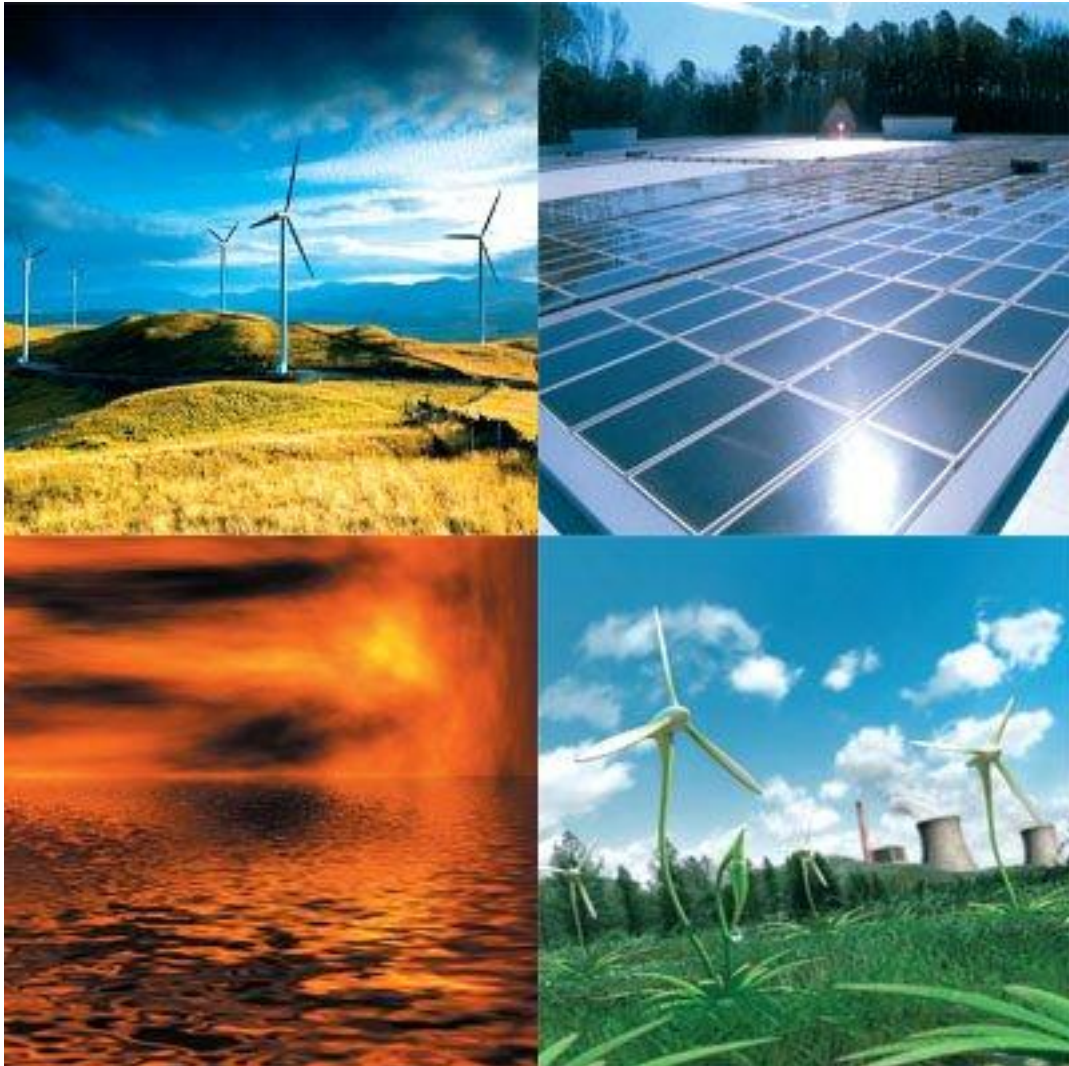
1999 Η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά φτάνει τα 1000 MW.

2002 Η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά φτάνει τα 2000MW.

Σήμερα Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών είναι η συμπληρωματική παραγωγή ενέργειας. Στην Βόρεια Αμερική πολλές εταιρείες παραγωγής ενέργειας (αντίστοιχες ΔΕΗ) υποστηρίζουν τα φορτία του κλιματισμού τους θερινούς μήνες με φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ο **αυριανός** **στόχος**
Το 20% της συνολικής παραγωγής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



1.1 Γενικά

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» προς το περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των μη ανανεώσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και από πολλούς θεωρούνται αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Είδη ήπιων μορφών ενέργειας:

- **Αιολική Ενέργεια.** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή Ενέργεια.** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (π.χ. ηλιακοί θερμοσίφωνες) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδροηλεκτρική Ενέργεια.** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- **Βιομάζα.** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.

- **Γεωθερμική Ενέργεια.** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.
- **Ενέργεια από τη Θάλασσα.**
 - **Ενέργεια από Παλίρροιες.** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
 - **Ενέργεια από Κύματα.** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
 - **Ενέργεια από τους Ωκεανούς.** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

Αναγκαίες προϋποθέσεις για να είναι χρήσιμη μια πηγή ενέργειας είναι:

- Η ενέργεια αυτή να είναι άφθονη και η πρόσβαση στην ενεργειακή πηγή εύκολη.
 - Να μετατρέπεται χωρίς δυσκολία σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα σύγχρονα μηχανήματα.
 - Να μεταφέρεται εύκολα.
 - Να αποθηκεύεται εύκολα.
- Προκειμένου να εγκατασταθεί σύστημα παραγωγής ενέργειας που βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές και το σύστημα αυτό να παρέχει αυτονομία από το δίκτυο θα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:
- Η τοποθεσία που βρίσκεται η εγκατάσταση να έχει επαρκές δυναμικό Α.Π.Ε.
 - Να μην υπάρχει υφιστάμενη σύνδεση με το δίκτυο ή να μην απαιτείται για να υλοποιηθεί επέκταση γραμμών που επιφέρει μεγάλο κόστος.
 - Να υπάρχει επιθυμία για ενεργειακή ανεξαρτησία από τον παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
 - Να υπάρχει επιθυμία και οικονομική δυνατότητα να επενδυθούν σε ΑΠΕ για περιβαλλοντικούς λόγους.
 - Να υπάρχει μελλοντικός σχεδιασμός για επέκταση του δικτύου και αγορά από το δίκτυο της πλεονάζουσας ενέργειας.

1.2 Ηλιακή Ενέργεια



Με τον όρο Ηλιακή Ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας με τριών ειδών συστήματα:

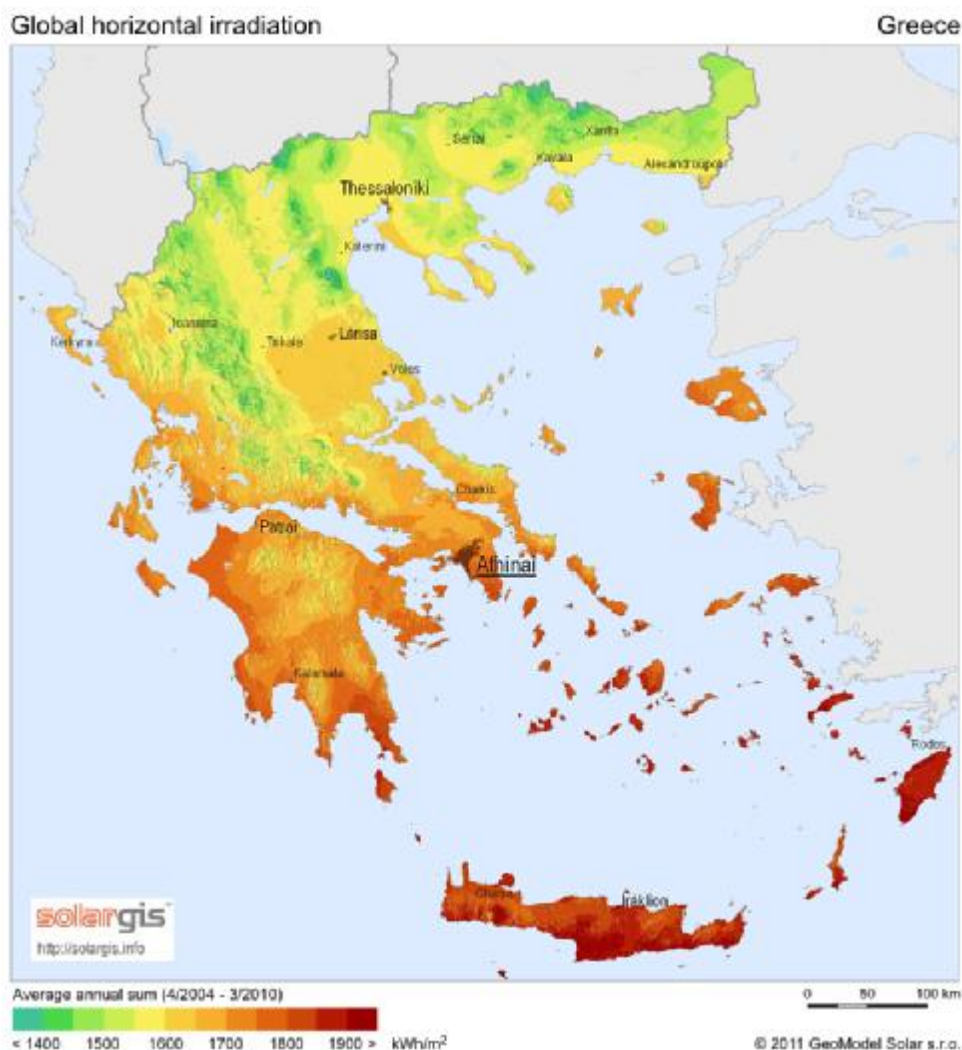
- **Θερμικά Ηλιακά Συστήματα.** Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι οποίοι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια, τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών καλά προσανατολισμένων στον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με νερό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που παρέλαβαν. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, τελευταία δε ακόμη και για τη θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω κατάλληλων διατάξεων.
- **Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.** Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της

Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτιρίων.

- **Φωτοβολταϊκά Συστήματα.** Όλοι έχουμε συναντήσει φωτοβολταϊκά συστήματα σε μικρούς υπολογιστές και ρολόγια. Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και που, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο καταναλωτών. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους. Η ηλεκτροπαραγωγή από Φωτοβολταϊκά έχει το τεράστιο πλεονέκτημα να αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου παρουσιάζεται και η μέγιστη ζήτηση. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας.

Ανάλογα με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα Φ/Β κατατάσσονται σε:

- Αυτόνομα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση.
- Διασυνδεδεμένα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού.



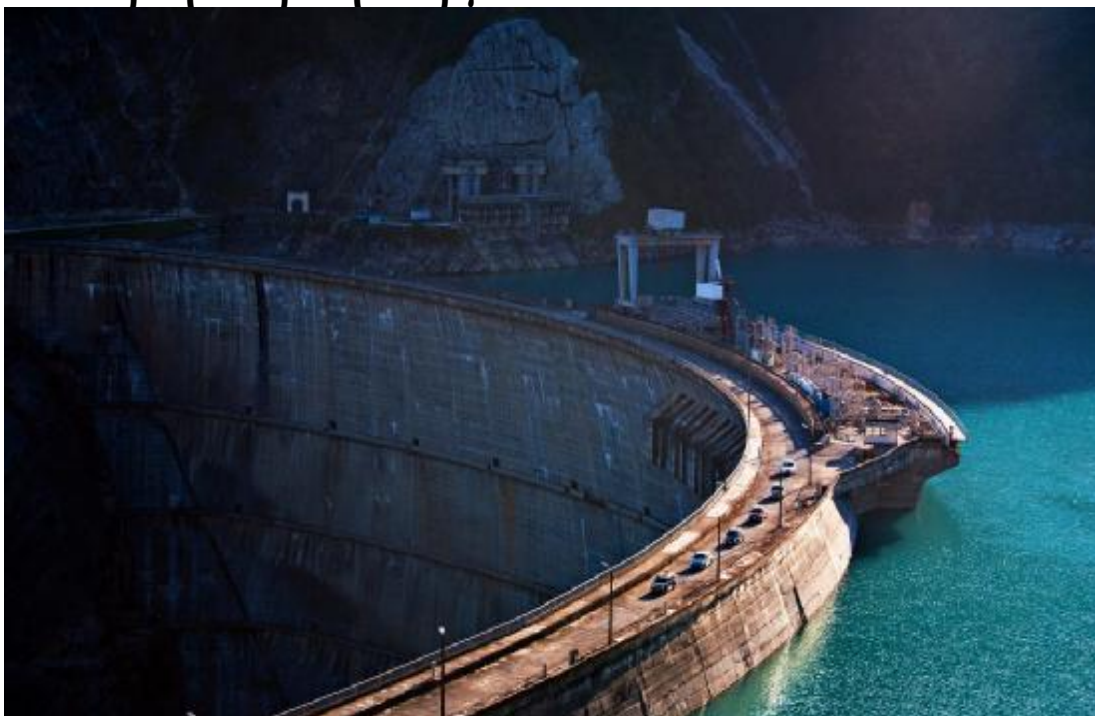
Σχήμα 1.1: Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας της Ελλάδας.

Σε παγκόσμια κλίμακα, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που καταφθάνει στη γη μέσα σε μία περίοδο δύο εβδομάδων είναι ισοδύναμη με την ενέργεια όλων των αποθεμάτων φυσικών καυσίμων υδρογονανθράκων (γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου). Είναι γεγονός ότι η συνολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη γήινη ατμόσφαιρα μέσα σε ένα χρόνο, ισούται περίπου με 35.000 φορές την ενέργεια που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα ετησίως. Η μέση ένταση της ηλιακής ενέργειας στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας είναι 1.36 kWatts ανά τετραγωνικό μέτρο αριθμός που αποτελεί ηλιακή σταθερά και λαμβάνει τη μέγιστη αυτή τιμή όταν ο ήλιος είναι κατακόρυφος στον ουρανό. Κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης ημέρας, η λαμβανόμενη ενέργεια εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών πάνω στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας. Υπάρχουν, βέβαια, και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη λαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια, όπως το γεωγραφικό πλάτος, η χρονική στιγμή της ημέρας και η

εποχή του χρόνου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για το μισό περίπου χρονικό διάστημα η γη δεν λαμβάνει απευθείας ηλιακή ενέργεια.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας αυτής δεν μπορεί να συλλεχθεί καθώς διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα, ανακλάται πίσω στο διάστημα ή απορροφάται από τα φυτά και τις υδάτινες μάζες. Παρά το γεγονός ότι οι απώλειες αυτές είναι σημαντικές, ο ήλιος αποτελεί μια πραγματικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και παρέχει τεράστια αποθέματα ενέργειας. Αξίζει να αναφέρουμε ότι περίπου το 13% της ηλιακής ενέργειας στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας, φθάνει στο έδαφος.

1.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια



Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της περωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο.

Η δέσμευση/αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση

Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

- Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Ωστόσο ακόμα και το μειονέκτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξ αιτίας των μεγάλης κλίμακας έργων πολιτικού μηχανικού, τα οποία ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο προϋποθέτει, με μια καλοσχεδιασμένη μελέτη, μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα, κατά την οποία ο κατακλυσμός της περιοχής από ύδατα μετά τη δημιουργία του φράγματος, δημιούργησε ένα νέο υγροβιότοπο, ο οποίος σύντομα μετατράπηκε σε πόλο τουριστικής έλξης δίνοντας ταυτόχρονα νέες αρδευτικές δυνατότητες στη γύρω περιοχή.
- Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των *30 MW* χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμειυτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η μεγαλύτερη και πιο ώριμη εφαρμογή ανανεώσιμης ενέργειας, με περίπου *1000 GW* εγκατεστημένης ισχύος, τα οποία παρήγαγαν το *2009* πάνω από το *14%* της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Στη Δυτική Ευρώπη, τα υδροηλεκτρικά συνεισέφεραν το *20%* περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε. (αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό την εκπομπή εκατομμυρίων τόνων *CO₂* ετησίως). Παρά το μεγάλο υφιστάμενο υδροηλεκτρικό δυναμικό, υπάρχουν ακόμη περιθώρια για περαιτέρω ανάπτυξη, καθώς, σύμφωνα με τις περισσότερες εκτιμήσεις, αυτό αποτελεί μόνο το *10%* περίπου του

συνολικού παγκόσμιου βιώσιμου υδροδυναμικού.

Στη Ελλάδα, όπου δεν υπάρχει αφθονία σε νερά, οι υδατοταμιευτήρες δεν είναι δυνατό να τροφοδοτούν συνεχώς με νερό τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν μόνο τις ώρες αιχμής κατά τη διάρκεια των οποίων χρειαζόμαστε πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια. Βέβαια, αξίζει να αναφερθεί ότι σε πολλές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, αφού το νερό των ταμιευτήρων χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον υδροηλεκτρικό σταθμό, αξιοποιείται για την ύδρευση κοντινών πόλεων ή για την άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 9% των ενεργειακών μας αναγκών σε ηλεκτρισμό.

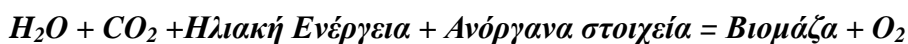
1.4 Ενέργεια από Βιομάζα



Με τον όρο βιομάζα ονομάζουμε την ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση, δηλαδή οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα δασικά προϊόντα, τα υπολείμματα καλλιεργειών, τα κτηνοτροφικά απόβλητα, τα απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.), και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

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

συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν μέσω της τροφής και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, κατά την χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά την φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Σε αντίθεση με αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν και να μαγειρέψουν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.).

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κλπ.) είτε με απευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών.

Επειδή η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει συνήθως τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής-μεταποίησης-μεταφοράς-αποθήκευσης, κρίνεται αναγκαίο η αξιοποίηση της να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής της. Έτσι αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευχερέστερα σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως:

- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης ή και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες.

- Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών.
- Θέρμανση θερμοκηπίων.
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή της βιομάζας.
- Παραγωγή καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας.
- Ενεργειακές καλλιέργειες.
- Βιοαέριο.

1.5 Γεωθερμική Ενέργεια



Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια, σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Η ενέργεια αυτή είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο με την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, αποτελούν μια βιώσιμη οικονομικά λύση.

Πιο συγκεκριμένα Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε την φυσική θερμική ενέργεια του μάγματος του πυρήνα της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια, είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών, είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από $25^{\circ} C$ μέχρι $360^{\circ} C$. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία(πάνω από $150^{\circ} C$), η

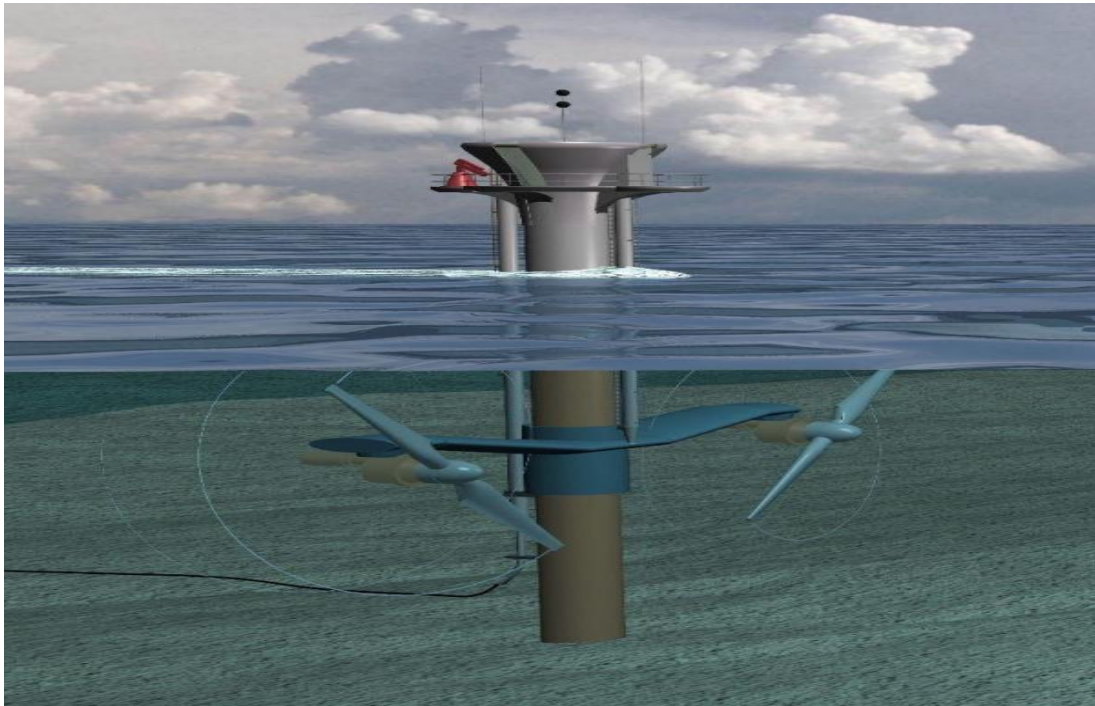
γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση, δηλαδή θέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων.

Κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ο ευκολότερος τύπος γεωθερμικής πηγής είναι η πηγή ξηρού ατμού από γεώτρηση. Στις πηγές αυτού του είδους οι ενεργειακοί σταθμοί είναι απλοί και στην αρχή λειτουργίας και πρακτικά. Οι γεωτρήσεις παρέχουν τον ατμό είτε με τη μορφή κορεσμένου ατμού είτε σαν ελάχιστο υπέρθερμο. Συνήθως, ο ατμός φιλτράρεται για απομάκρυνση στερεών και ξηραίνεται για απομάκρυνση συμπυκνωμάτων που πιθανόν να σχηματιστούν στον αγωγό μεταφοράς. Στη συνέχεια οδηγείται σε ένα κλασικό στρόβιλο χαμηλής πίεσης, ο οποίος κινεί μία ηλεκτρογεννήτρια. Ο εν μέρει συμπυκνωμένος ατμός ή στέλνεται σε ένα συμπυκνωτή ή εκκενώνεται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Η τελευταία λύση είναι και η πιο απλή και συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μικρά αντλητικά συγκροτήματα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης αγρών ακόμα και αν σπαταλείται κάποια ενέργεια ατμού. Ένας στρόβιλος συμπύκνωσης παράγει τη διπλάσια ηλεκτρική ενέργεια από ένα μη συμπύκνωσης για τις ίδιες συνθήκες εισόδου.

Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη), μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή έχει χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων. Στη χώρα μας, οι ιαματικές εφαρμογές της γεωθερμίας κυριαρχούν με ποσοστό 39%, ενώ η αξιοποίηση της γεωθερμίας στην θέρμανση των χώρων φαίνεται να χρησιμοποιείται στην Ελλάδα σε ποσοστό μόνο 1%.

1.6 Ενέργεια από τη Θάλασσα



1.6.1 Ενέργεια από τις Παλίρροιες

Παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής είναι ένας ηλεκτρικός σταθμός που μετατρέπει την ενέργεια των παλιρροιών της θάλασσας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο παλιρροϊκός σταθμός εκμεταλλεύεται τη διαφορά στάθμης του ύδατος κατά τη πλημμυρίδα και την άμπωτη. Όταν ένα φράγμα κλείσει τον κόλπο ή τις εκβολές ενός ποταμού που ρέει στη θάλασσα σχηματίζεται υδατοδεξαμενή, που καλείται λεκάνη παλιρροϊκού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Αν η πλημμυρίδα προκαλεί αρκετή διαφορά ύψους (πάνω από 4 μέτρα) μπορεί να δημιουργηθεί αρκετή πίεση για να περιστρέψει υδροστρόβιλους συνδεδεμένους με ηλεκτρογεννήτριες που έχουν εγκατασταθεί στο φράγμα. Παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με λεκάνη, που λειτουργεί σε κανονικό παλιρροϊκό κύκλο 12 ωρών, μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια αδιάκοπα για 4 ή 5 ώρες, τέσσερις φορές την ημέρα, με αντίστοιχα διαλειμματα μιας ή δύο ωρών.

Για να αποφευχθεί η ανομοιόμορφη παραγωγή ηλεκτρισμού, η λεκάνη του παλιρροϊκού σταθμού μπορεί να χωριστεί με φράγματα σε δύο ή τρεις μικρότερες. Στην πρώτη λεκάνη η στάθμη ύδατος διατηρείται στη στάθμη της άμπωτης και στη δεύτερη στη στάθμη πλημμυρίδας, ενώ η τρίτη λεκάνη είναι εφεδρική. Η γεννήτρια υδραυλικού κινητήρα εγκαθίσταται στα διαχωριστικά φράγματα. Αλλά ακόμα και αυτή η διάταξη δεν αποτρέπει εντελώς τις διακυμάνσεις της ηλεκτρικής ισχύος που προκαλούνται από την περιοδική ύψη των παλιρροιών σε περίοδο μισού μηνά. Όταν ο παλιρροϊκός σταθμός περιληφθεί στο σύστημα ηλεκτρικής ισχύος με άλλους θερμικούς σταθμούς, η

ηλεκτρική ενέργεια που παράγει μπορεί να βοηθήσει για την κάλυψη του φορτίου αιχμής του συστήματος. Αν το σύστημα περιλαμβάνει υδροηλεκτρικούς σταθμούς με υδατοδεξαμενές, ο παλιρροϊκός σταθμός μπορεί να αντισταθμίσει τις διακυμάνσεις της παλιρροϊκής ενέργειας, που παρουσιάζονται κατά την περίοδο ενός μηνός.

Οι γεννήτριες τύμπανου διωδραυλικών κινητήρων που εγκαθίστανται στους παλιρροϊκούς σταθμούς, μπορούν να λειτουργούν με σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε άμεσα ή ανάστροφα συστήματα γεννήτριας και αντλίας και σαν ανοίγματα για τη ροή ύδατος. Κατά τις ώρες που η περίοδος χαμηλού φορτίου του συστήματος συμπίπτει με την άμπωτη ή την πλημμυρίδα, οι γεννήτριες διωδραυλικών κινητήρων κλείνουν ή λειτουργούν σαν αντλίες κατευθύνοντας το νερό από τη λεκάνη κάτω της στάθμης της άμπωτης στη λεκάνη πάνω από τη στάθμη της πλημμυρίδας. Έτσι συσσωρεύεται ενέργεια μέχρι τη στιγμή της ζήτησης αιχμής. Όταν η πλημμυρίδα ή η άμπωτη συμπίπτουν χρονικά με το μέγιστο φορτίο του συστήματος ο παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής λειτουργεί σαν γεννήτρια. Κατά συνεπεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής. Ο παλιρροϊκός σταθμός των 240 MW στο στόμιο του ποταμού Ράνς στη Γαλλία που κατασκευάστηκε το 1966 λειτουργεί με αυτό τον τρόπο.

1.6.2 Ενέργεια από Κύματα

Τα θαλάσσια κύματα είναι μια ισχυρή πηγή ενέργειας. Ωστόσο, το πρόβλημα είναι ότι δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενέργεια για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλα πόσα. Κατά συνεπεία, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων είναι σπάνιοι. Υπάρχουν διαφορές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, αλλά μια από τις αποτελεσματικότερες λειτουργεί όπως μια μηχανή κυμάτων πισινών. Έτσι, σε μια πισίνα, ο αέρας φυσιέται μέσα και έξω από μια μηχανή εκτός από τη λίμνη, η οποία κάνει το νερό να μετακινείται πάνω-κάτω, προκαλώντας τα κύματα. Παρόμοια, σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων, η άφιξη των κυμάτων προκαλεί άνοδο και πτώση του νερού εντός του θαλάμου του σταθμού, προκαλώντας έτσι στον αέρα να κινείται μέσα και έξω από μια τρυπά στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτή τη τρυπά τοποθετούμαι μια τουρμπίνα, η οποία γυρίζει με την κίνηση του αέρα μέσα-έξω, με αποτέλεσμα η τουρμπίνα να λειτουργεί ως γεννήτρια. Ένα πρόβλημα σε αυτό το σχέδιο είναι ότι ο κινούμενος αέρας μπορεί να είναι πολύ θορυβώδης, εκτός και εάν εγκατασταθεί στο στρόβιλο σιγαστήρας. Παρόλα αυτά ο θόρυβος δεν είναι τεράστιο πρόβλημα, δεδομένου ότι τα κύματα κάνουν αρκετό θόρυβο από μόνα τους. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την ταχύτητα του κύματος, το ύψος, το βάθος και τη ροή κάτω από το πλησιάζον κύμα, παράγοντας κατά συνέπεια την ενέργεια αποτελεσματικότερα και φθηνότερα από αλλά θαλάσσια κύματα και τις

υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες.

1.7 Αιολική Ενέργεια



Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες.

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της περωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Η αιολική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό, σε αρκετές περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου, της Ευβοίας και φυσικά στα νησιά του Αιγαίου. Σε αυτές τις περιοχές θα συναντήσουμε και τα περισσότερα αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών σε βέλτιστη διάταξη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού.

Η σύνδεση ανεμογεννητριών στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί, από οικονομικής απόψεως, μια πολύ σημαντική εφαρμογή τους. Η συνολική ενέργεια που παράγεται στο αιολικό πάρκο διοχετεύεται στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι ανεμογεννήτριες

μπορεί, επίσης, να λειτουργούν αυτόνομα για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανική ενέργεια, σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητα. Παρόλα αυτά, σε τέτοιου είδους εφαρμογές η ισχύς που παράγεται, όπως επίσης και η οικονομική τους σημασία, είναι περιορισμένη.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ανεμογεννήτριες και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό, είναι η μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγάλη.

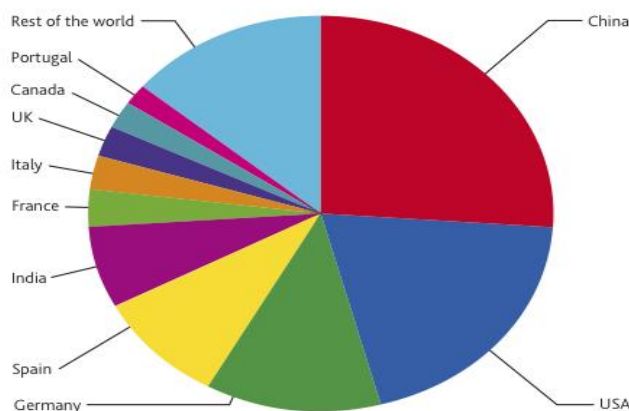
1.7.1 Τρέχουσα Κατάσταση της Αιολικής Ενέργειας

Πολλές χώρες παγκοσμίως παράγουν μέρος της αναγκαίας ενέργειας τους με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Σύμφωνα με κανονισμούς, μέχρι το 2020, πρέπει να έχουμε αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην τελική κατανάλωση στο επίπεδο το 20% για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Γενικότερα στις μέρες μας, υπάρχει μια στροφή προς την «πράσινη ενέργεια» από όλες τις χώρες παγκοσμίως, λόγω της ασύμφορης εξάρτησης από το πετρέλαιο. Λόγω της ενθάρρυνσης τέτοιων πολιτικών, έχουν αρχίσει να εγκαθίστανται μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα.

1.7.1.1 Παγκόσμια

Παγκοσμίως υπάρχουν πολλές χώρες οι οποίες παράγουν ένα σημαντικό μέρος της αναγκαίας ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Από αυτές ξεχωρίζουμε την Γερμανία, την Ισπανία και την Γαλλία από την Ευρώπη, την Κίνα και την Ινδία από την Ασία και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής από την Βόρεια Αμερική. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τις χώρες με τη μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγή αιολικής ισχύος.

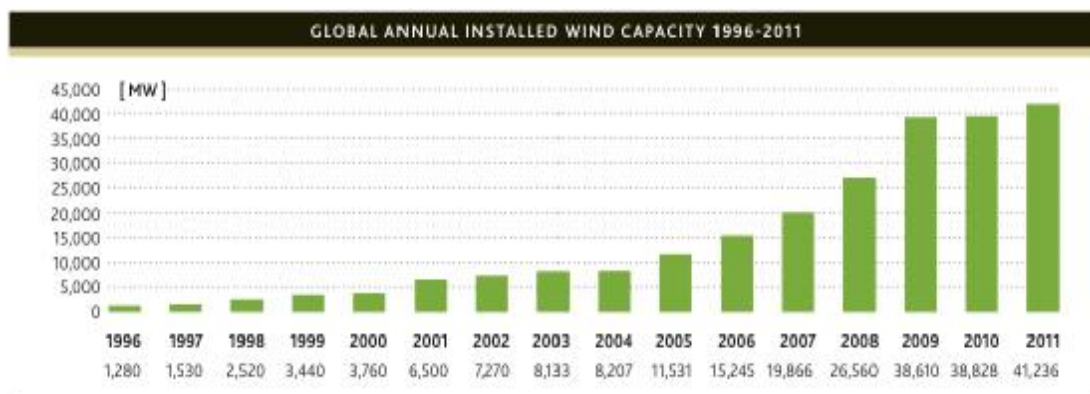
TOP 10 CUMULATIVE CAPACITY DEC 2011



| Country | MW | % SHARE |
|---------------------|----------------|--------------|
| China** | 62,733 | 26.3 |
| USA | 46,919 | 19.7 |
| Germany | 29,060 | 12.2 |
| Spain | 21,674 | 9.1 |
| India | 16,084 | 6.7 |
| France** | 6,800 | 2.9 |
| Italy | 6,747 | 2.8 |
| UK | 6,540 | 2.7 |
| Canada | 5,265 | 2.2 |
| Portugal | 4,083 | 1.7 |
| Rest of the world | 32,446 | 13.6 |
| Total TOP 10 | 205,905 | 86.4 |
| World Total | 238,351 | 100.0 |

Σχήμα 1.2: Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγή αιολικής ισχύος.

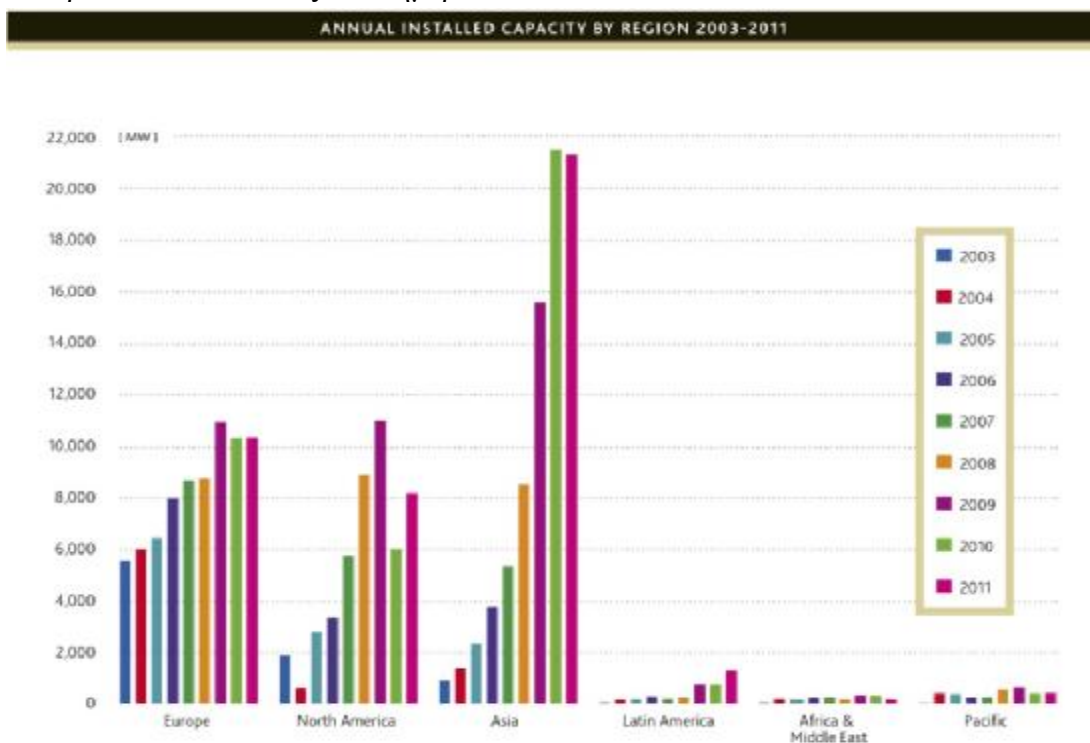
Σημαντική ήταν και η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την αιολική ενέργεια τα τελευταία 15 χρόνια. Υπήρχε μια σταδιακή αύξηση της ετήσιας εγκαταστημένης αιολικής ενέργειας κάτι που οδήγησε την αιολική ενέργεια σε σημαντική συνιστώσα των ΑΠΕ. Στο σχήμα 1.3 βλέπουμε την ετήσια παγκόσμια εγκατάσταση αιολικής ισχύος από το 1996 έως και σήμερα.



Σχήμα 1.3: Η ετήσια παγκόσμια εγκατάσταση αιολικής ισχύος από το 1996 έως και σήμερα.

Σε αυτή την ετήσια συνεισφορά κυρίαρχο ρόλο έχουν τα τελευταία 8 χρόνια η Ευρώπη, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής αλλά και η Ασία. Παρακάτω απεικονίζεται η ετήσια συνεισφορά σε κάθε ήπειρο από το 2003 έως και το 2011.

Στο σχήμα 1.4 βλέπουμε την ετήσια εγκατάσταση αιολικής ισχύος ανά Ήπειρο από το 2003 έως και σήμερα.

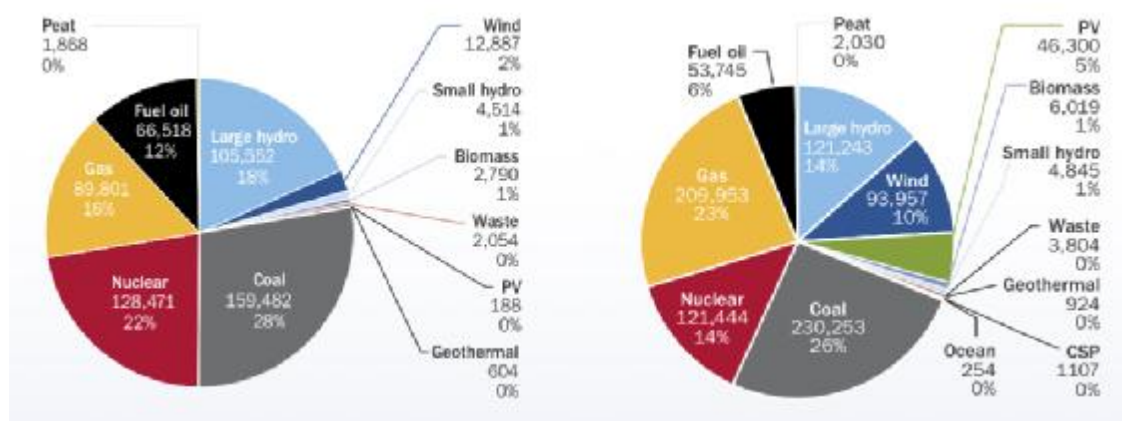


Σχήμα 1.4: Η ετήσια εγκατάσταση αιολικής ισχύος ανά Ήπειρο από το 2003 έως και σήμερα.

1.7.1.2 Ευρώπη

Σύμφωνα με στατιστικά, το 2011, η αιολική ενέργεια παρήγαγε συνολικά στις

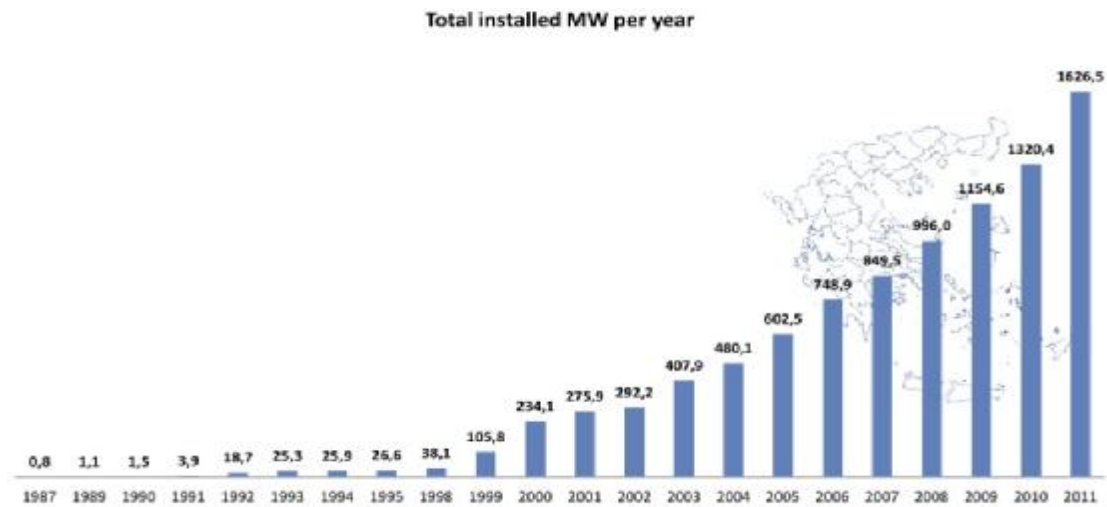
ηλεκτρικής ενέργειας (93,957 MW) το 2011. Ο στόχος είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές συνολικά στην Ε.Ε, να ανέλθει στο 20% το 2020. Έτσι, δημιουργείτε ένας νέος ενεργειακός χάρτης στην Ευρώπη, όπου η αιολική ενέργεια κατέχει ένα σημαντικό ποσοστό της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο σχήμα 1.6 βλέπουμε το ποσοστό συμμετοχής των διαφόρων πηγών ενέργειας στην ΕΕ το 2000 και το 2010.



Σχήμα 1.6: Το ποσοστό συμμετοχής των διαφόρων πηγών ενέργειας στην ΕΕ το 2000 και το 2010.

1.7.1.3 Ελλάδα

Η χώρα μας διαθέτει πλούσιο αιολικό δυναμικό, ειδικότερα στα παραλία της ηπειρωτικής Ελλάδας και κυρίως στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους, όπου οι άνεμοι που πλέουν ξεπερνούν πολύ συχνά σε ένταση τα 8 ή και 9 *Beaufort* (ταχύτητα ανέμου άνω των 60 km/h). Η αιολική ενέργεια λοιπόν μπορεί να αποτελέσει σημαντική δύναμη ανάπτυξης. Έτσι, τα τελευταία 10 χρόνια η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας ήταν ραγδαία. Πλέον υπάρχουν 1626,5MW εγκατεστημένη ισχύς και αναμένονται να εγκατασταθούν άλλα 145MW παρά τις δυσμενείς οικονομικές συνθήκες για το 2012. Τον Μάρτιο του 2012 το ποσοστό ανανεώσιμων πηγών στην τελική ενεργειακή κατανάλωση ήταν 9.2% ενώ στόχος για τη χώρα δεδομένων των οικονομικών της αποδόσεων, είναι 18% για το 2020. Στο σχήμα 1.7 βλέπουμε την συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα από το 1987 έως και σήμερα.



Σχήμα 1.7: Η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα από το 1987 έως και σήμερα.

1.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Α.Π.Ε



Πλεονεκτήματα:

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- 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.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.
- Οι επενδύσεις των Α.Π.Ε. δημιουργούν πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- Το λειτουργικό τους κόστος είναι συνήθως χαμηλό και δεν επηρεάζεται από την κατάσταση που επικρατεί στην παγκόσμια οικονομία ούτε από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Βοηθούν στην οικονομική και κοινωνική αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών με την προώθηση επενδύσεων, όπως είναι η κατασκευή αιολικών πάρκων και εργοστασίων ενεργειακής αξιοποίησης γεωργικής βιομάζας και η δημιουργία καλλιέργειών σε θερμοκήπια με χρήση της γεωθερμίας
- Συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο καθώς είναι εγχώριες πηγές ενέργειας.

Μειονεκτήματα:

- 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.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- 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.
- 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.
- 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.

1.9 Διεσπαρμένη Παραγωγή

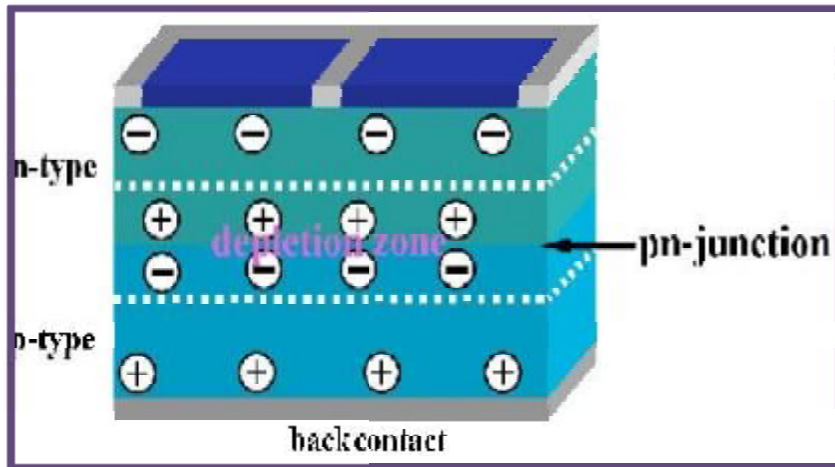
Η ανάγκη για μείωση της χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας για περιβαλλοντικούς λόγους, με τη συμμετοχή εναλλακτικών, καθαρότερων μορφών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού οδήγησε στη διασπαρμένη παραγωγή. Με τον όρο διασπαρμένη παραγωγή καλούμε τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πολλές μονάδες, διεσπαρμένες στο σύστημα. Οι μονάδες διασπαρμένης παραγωγής χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι δεν είναι τοποθετημένες σε ένα συγκεκριμένο κεντρικό σημείο. Η διασπαρμένη παραγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί από φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα, από συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, από μικρά υδροηλεκτρικά, από βιομάζα και άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εξαιτίας της φύσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, η διασπαρμένη παραγωγή έχει μικρή σχετικά δυνατότητα παραγωγής, ενώ θα πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο, όπου για παράδειγμα υπάρχει άνεμος, ήλιος, ή οτιδήποτε απαιτείται για την εκάστοτε μορφή ενέργειας. Άρα, οι μονάδες αυτές θα βρίσκονται διασκορπισμένες μέσα στο δίκτυο με δυνατότητες παραγωγής η κάθε μία συνήθως μικρότερη από 50- 100 MW.

Η ισχύς στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με κεντρική παραγωγή ρέει από την υψηλή προς την χαμηλή τάση. Με τη διείσδυση όμως της διασπαρμένης παραγωγής, η ροή της ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να αντιστραφεί, αν η διείσδυση αυτή είναι αρκετά σημαντική. Ακόμη μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να έχουμε

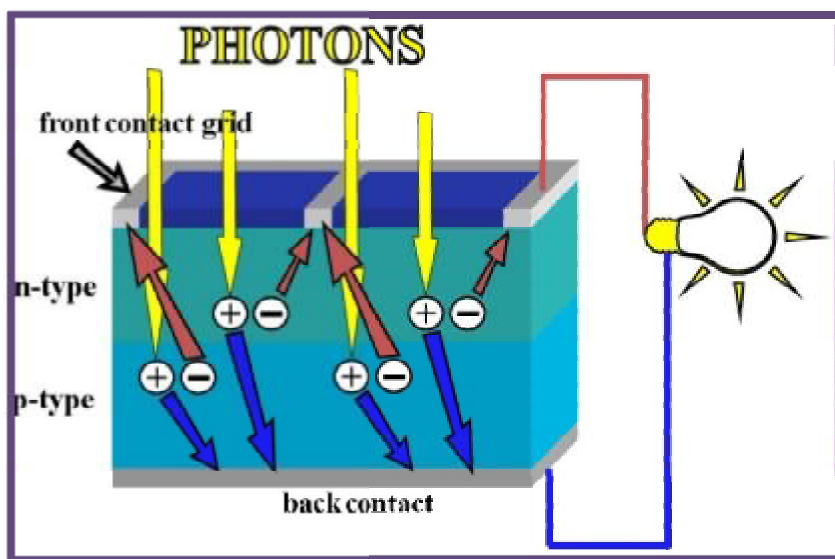
αντίστροφη πορεία του ρεύματος, αν υπερκαλύπτεται το φορτίο ενός ζυγού και των φορτίων στα κατάντη αυτού από την παραγωγή της διασπαρμένης μονάδας που βρίσκεται στο ζυγό αυτό. Έτσι, οι τάσεις και οι ροές ισχύος μεταβάλλονται και καθορίζονται πλέον από τις μονάδες παραγωγής που υπάρχουν διεσπαρμένες στο δίκτυο και τα φορτία. Ο συντελεστής ισχύος με τον οποίο μπορεί να λειτουργήσουν οι μονάδες αυτές μεταβάλλει τις τάσεις στο δίκτυο, ενώ μπορεί να υπάρξουν και αρμονικές συνιστώσες στο ρεύμα από την παρουσία ηλεκτρονικών ισχύος. Αυτές οι μεταβολές έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1. Τι είναι το φωτοβολταϊκό στοιχείο;



Σχήμα 2.1. – Η επαφή pn σε ηρεμία



Σχήμα 2.2. – Η επαφή pn όταν φωτιστεί

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ημιαγωγικές δίοδοι που η επάνω τους επιφάνεια (n- πλευρά) καλύπτεται από ένα πλέγμα μεταλλικών επαφών για τη συλλογή του ηλεκτρισμού και η κάτω τους επιφάνεια (p-πλευρά) καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα μετάλλου.

Ο ήλιος φωτοβολεί την επάνω πλευρά (n) και τα φωτόνια που εισέρχονται στον ημιαγωγό ελευθερώνουν ηλεκτρόνια τα οποία κάτω από την επίδραση του εγγενούς ηλεκτροστατικού δυναμικού της διόδου δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή τάση του στοιχείου η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει με ηλεκτρικό ρεύμα ένα εξωτερικό κύκλωμα.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν συνήθως τετραγωνική μορφή, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει την όλη την επιφάνεια του πλακιδίου. Για να έχουμε μια συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}) 17V με 22V συνδέουμε πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία μεταξύ τους σε σειρά και έτσι δημιουργούμε μια φωτοβολταϊκή διάταξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιλέγεται ώστε να ταιριάζει με την τάση φόρτισης ενός συσσωρευτή (Pb/H_2SO_4) με ονομαστική τάση 12V.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προσφέρουν την ανανεώσιμη ενέργεια από μια απεριόριστη πηγή ενέργειας, τον ίδιο τον ήλιο. Μία ερώτηση στην φωτοβολταϊκή βιομηχανία είναι πώς να επιτευχθούν χαμηλότερες δαπάνες χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων η οποία καθορίζει την ισχύ που δίνουν τα ΦΒ πλαίσια. Οι κατασκευαστικές εταιρίες για να αντιμετωπίσουν το προηγούμενο πρόβλημα αναπτύσσουν συνέχεια την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών κυψελών.

Πριν όμως ένα καινούργιο ΦΒ πλαίσιο εισαχθεί στην αγορά είναι σημαντικό από τους κατασκευαστές να μάθουν πόση ενέργεια παράγουν τα καινούργια πλαίσια σε διαφορετικές περιβαλλοντολογικές συνθήκες και πώς διατηρούν την απόδοσή τους κατά την διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων.

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου (PV Module), η οποία εξαρτάται από την εισερχόμενη ακτινοβολία, από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και από άλλους παράγοντες οι οποίοι αναλύονται στην συνέχεια.

Οι κατασκευαστές φωτοβολταϊκών πλαισίων παρέχουν τις χαρακτηριστικές ποσότητες των πλαισίων (I_{sc} , V_{oc} , n , $I_{p_{max}}$, $V_{p_{max}}$, P_{max}) σε συγκεκριμένες συνθήκες (Standard Test Conditions) που για την θερμοκρασία είναι οι 25 °C βαθμοί Κελσίου. Σε πραγματικές συνθήκες είναι λογικό ότι η θερμοκρασία θα διαφέρει σημαντικά από την θερμοκρασία αναφοράς, π.χ. σε μια καλοκαιρινή ημέρα η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να φτάσει στους 50 °C και άνω ανάλογα με τη στήριξη του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Σε αυτήν την Πτυχιακή Εργασία ασχοληθήκαμε σε πρώτη φάση με την θεωρητική μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς φωτοβολταϊκών πλαισίων τόσο κρυσταλλικών, πολυκρυσταλλικών όσο και άμορφων. Η εξάρτηση της παραγόμενης ενέργειας από την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια, τη γωνία πρόσπτωσης της απευθείας ακτινοβολίας, τη σκόνη και την θερμοκρασία του

πλασίου είναι κάποια θέματα τα οποία μελετήθηκαν. Επίσης μελετήθηκαν και χαρακτηριστικές ποσότητες όπως η τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc), το ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc) για να καθοριστεί πειραματικά η εξάρτησή τους από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες του κατασκευαστή.

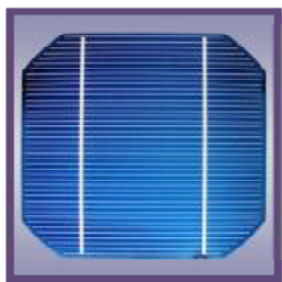
2.2. Τύποι Φωτοβολταϊκών Στοιχείων Πυριτίου

Σήμερα οι βιομηχανίες που παράγουν φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιούν το πυρίτιο ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών κυψελών. Το πυρίτιο προέρχεται από την άμμο η οποία όταν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία τότε παράγεται το πυρίτιο που στην τελική του μορφή χαρακτηρίζεται από την υψηλή του καθαρότητα (99,99999%).

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες (τύπους) :

- Πολυκρυσταλλικά (polycrystalline Silicon)
- Μονοκρυσταλλικά (single-crystal Silicon)
- Ταινίας (Ribbon Silicon), και τα
- Άμορφα (amorphous or thin film Silicon)

2.2.1 Πολυκρυσταλλικά Στοιχεία Πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)



Εικόνα 2.1. - Πολυκρυσταλλικό στοιχείο

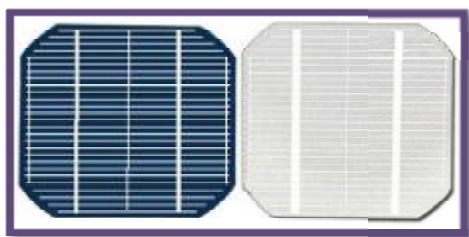
Με αυτά τα στοιχεία έχουμε τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε μεγάλες επιφάνειες φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία κόβονται συνήθως σε μικρά τετράγωνα τα οποία συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους στο εσωτερικό του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Αυτού του είδους τα στοιχεία αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 μμέως 50 μm. Στην επιφάνεια της πολυκρυσταλλικής κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές στις οποίες τα όριά τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων, οπότε όσο μικρότερο είναι το συνολικό μήκος αυτών των ορίων τόσο καλύτερη θα είναι η αγωγιμότητά τους. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι το ορθογώνιο ή τετραγωνικό σχήμα που έχουν οι μονοκρυσταλλικές περιοχές έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη χρησιμοποίηση της περιοχής ενότητας σε σύγκριση με τις στρογγυλές μονοκρυσταλλικές περιοχές.

Από τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού ΦΒ στοιχείου, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοσή του. Σε εργαστηριακής μορφής κυψελίδα η απόδοση κυμαίνεται από 17% έως περίπου 20% ενώ σε βιομηχανικής μορφής ΦΒ πλαισίου από 10% έως και 14%.

Τα πολυκρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια χαρακτηρίζονται από την υψηλή χρονική σταθερότητα που έχουν, το χαμηλό κόστος παραγωγής τους (χαμηλότερο από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο) και από το χρώμα τους το οποίο είναι γαλάζιο.

2.2.2 Μονοκρυσταλλικά Στοιχεία (Single-crystal Silicon)



Εικόνα 2.2 - Μονοκρυσταλλικά στοιχεία

Το βασικό υλικό αυτών των στοιχείων είναι μονοκρυσταλλικό του οποίου το πάχος είναι περίπου 300μm. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από περίπου 21% έως περίπου 24% όταν έχουν μορφή κυψελίδας ενώ όταν έχουν μορφή κυψελίδων η απόδοσή τους κυμαίνεται από 13% έως 16%.

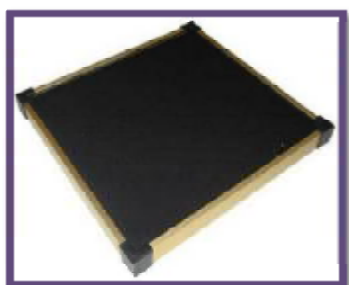
Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το υψηλό κόστος κατασκευής τους και το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε.

2.2.3ΦΒ Στοιχεία Ταινίας (Ribbon Silicon)

Τα ΦΒ στοιχεία ταινίας είναι στην ουσία μια λεπτή ταινία από τηγμένο υλικό το οποίο είναι πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με απόδοση 13%. Προς το παρόν το συγκεκριμένο είδος φωτοβολταϊκού στοιχείου έχει πολύ υψηλό κόστος κατασκευής και για το λόγο αυτό είναι περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.

2.2.4 ΦΒ Στοιχεία Αμορφουπυριτίου (AmorphousSilicon)

Πιο συγκεκριμένα για τη δημιουργία αυτών των στοιχείων χρησιμοποιείται μία τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων η οποία έχει πολύ χαμηλό κόστος παραγωγής λόγω της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Στα αρχικά στάδια φωτισμού του συγκεκριμένου είδους φωτοβολταϊκών στοιχείων η απόδοσή τους μειώνεται πάρα πολύ από 6% έως 8%. Η απόδοσή τους πέφτει τον χειμώνα και ανακάττει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το ενεργειακό χάσμα του άμορφου πυριτίου ταιριάζει καλύτερα στο ηλιακό φάσμα από ότι το ενεργειακό χάσμα του κρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 2.3. - Στοιχείο a-Si

Σήμερα η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων φωτοβολταϊκών στοιχείων με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Με σταθεροποιημένη απόδοση σε εργαστηριακές συνθήκες φτάνει στα 13%. Ένα χαρακτηριστικό τους είναι η δημιουργία διαδοχικών ΦΒ στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες ΦΒ πλαισίων οπότε τα καθιστά θελκτικά για εφαρμογές προσόψεων.

2.3. Απόδοση ΦΒ πλαισίων και παράγοντες που την επηρεάζουν

2.3.1. Γενικά για το συντελεστή απόδοσης

Ο συντελεστής απόδοσης ενός ΦΒ πλαισίου είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο, ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας $G \cdot S$.

$$n_m = \frac{P_m}{G \cdot S} \quad (2.1)$$

Όπου P_m η αποδιδόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύς

Γη πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου

S το εμβαδόν του πλαισίου.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής τους, τη θερμοκρασία των κυψελίδων και την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Άλλος παράγοντας είναι το φαινόμενο της θερμής κηλίδας σύμφωνα με το οποίο όταν μία κυψελίδα υποστεί βλάβη επιφέρει ολική αχρήστευση του φωτοβολταϊκού πλαισίου διότι η σκιασμένη κυψελίδα λειτουργεί όπως η απλή δίοδος p-n, η οποία όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις άλλες μια υψηλή ανάστροφη τάση με αποτέλεσμα την καταστροφή της.

Άλλοι παράγοντες είναι η εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό των ΦΒ πλαισίων και οι συνακόλουθες αλλοιώσεις δομής της ΦΒ κυψελίδας, οι σκόνες και άλλα σώματα στην επιφάνεια όψης των πλαισίων.

2.3.2. Αναλυτική παρουσίαση παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση ΦΒ πλαισίων

- **Παράγοντας γήρανσης ΦΒ πλαισίου:** Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης ΦΒ πλαισίου λόγω της γενικότερης αλλοίωσης της ΦΒ κυψελίδας η οποία οφείλετε κυρίως στην υπερθέρμανση κάποιων ΦΒ στοιχείων ή τμημάτων του πλαισίου. Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου μειώνεται τυπικά 1% το χρόνο λόγω της γήρανσης του υλικού και για αυτό το λόγο οι εταιρίες δίνουν εγγύηση 25 χρόνων.
- **Οπτικές ενεργειακές απώλειες:** Αυτές καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης σε σχέση με αυτή των πρότυπων συνθηκών, λόγω των επόμενων αιτιών:
- **Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας ΦΒ πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC:** Δηλαδή η αύξηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνειά του. Σε γωνίες πρόσπτωσης πάνω από τις 60° έχουμε αυξημένη ανακλαστικότητα ενώ για μικρότερες γωνίες είναι η μεταβολή είναι ασήμαντη.

- **Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1.5:** Αφορά την επίδραση που έχει η διαφοροποίηση του AM κατά την διάρκεια της ημέρας σε σχέση με το AM1.5 των προτύπων συνθηκών.
- **Απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης:** Διαφοροποίηση της πόλωσης της προσπίπτουσας-διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Η μέση ετήσια επίδραση του παράγοντα αυτού προσδιορίζεται σε ~2%.
- **Απώλειες χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας:** Σε χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται η απόδοση της φωτοβολταϊκής κυψελίδας και κυρίως σε ηλιακή ακτινοβολία κάτω της τιμής των 200W/m². Οι συγκεκριμένες απώλειες υπολογίζονται σε 3% κατά μέσο όρο το έτος.
- **Καθαρότητα όψεως του ΦΒ πλαισίου:** Η καθαρότητα της γυάλινης επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι σημαντική διότι η επικάλυψη σκόνης και λοιπών άλλων σωματιδίων προκαλεί μείωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.
- **Επίδραση θερμοκρασίας ΦΒ κυψελίδας:** Περιγράφει την διαφοροποίηση της απόδοσης του πλαισίου, λόγω της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψελίδας και της θερμοκρασίας της σε πρότυπες συνθήκες (STC). Ο παράγων θερμοκρασίας της φωτοβολταϊκής κυψελίδας περιγράφεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$n_T = 1 + \gamma_{pm} * (\theta_c - \theta_{STC})$$

(2.2)

Όπου θ_c = θερμοκρασία κυψελίδας,

γ_{pm} = Θερμικός συντελεστής της απόδοσης

Για το πυρίτιο ο θερμικός συντελεστής είναι περίπου -0,0045K στη περιοχή θερμοκρασιών κυψελίδας 20-60 °C. Αυτή η εξάρτηση της θερμοκρασίας της φωτοβολταϊκής κυψελίδας από τις συνθήκες περιβάλλοντος του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να δοθεί με μια πιο αναλυτική έκφραση η οποία είναι:

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G_t}{G_{STC}} * (T_1 * e^{B*ws} + T_2 + \Delta\theta)$$

(2.3)

Όπου θ_a = θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα
 G_t = πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου,
 B = εμπειρικός συντελεστής
 ws = ταχύτητα ανέμου,
 T_1 και T_2 = εμπειρικοί συντελεστές που προσδιορίζονται με βάση τις οριακές τιμές της θερμοκρασίας κυψελίδας σε χαμηλές και υψηλές ταχύτητες ανέμου,
 $\Delta\theta$ = η διαφορά θερμοκρασιών κυψελίδας και της πίσω επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής, n_D : Είναι ένας συντελεστής ο οποίος εκφράζει τις απώλειες ενέργειας στη δίοδο αντεπιστροφής οι οποίες εκτιμώνται σε ~1% άρα ο συντελεστής απωλειών είναι $n_D = 0.99$.

2.4. Συγκριτικά στοιχεία και επίδραση της θερμοκρασίας σε αυτά

Τα ηλεκτρικά στοιχεία που θα τεθούν υπό σύγκριση είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} , η τιμή του ρεύματος του πλαισίου I_m , η τάση V_m στο σημείο μέγιστης ισχύος και η μέγιστη ισχύς του, P_m . Τα ηλεκτρικά στοιχεία αυτά θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα που δίνει ο κατασκευαστής σε πρότυπες συνθήκες (STC).

2.4.1. Επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στην κυψελίδα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της. Σε συνθήκες χρήσης στο ύπαιθρο, όπου το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ενσωματωμένο σε ΦΒ πλαίσιο, η διαφορά θερμοκρασιών λειτουργίας της κυψελίδας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα αυξάνεται γραμμικά, ως συνάρτηση της πυκνότητας της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή:

$$\frac{\theta_c - \theta_a}{G} = 30 \text{ }^\circ\text{C} / \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

(2.4)

Όπου θ_c = θερμοκρασία λειτουργίας κυψελίδας

θ_a = θερμοκρασία περιβάλλοντα αέρα

G = πυκνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

Εφόσον μεταβάλλεται λοιπόν αυτή η διαφορά, μεταβάλλονται το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Γενικά παρατηρείται μια

σταθερή ποσοστιαία αύξηση του I_{sc} από τους $-10^{\circ}C$ έως τους $60^{\circ}C$ της θερμοκρασίας της φωτοβολταϊκής κυψελίδας. Αυτή η αύξηση αποδίδεται ως εξής:

$$I_{sc} = \frac{E}{E_{STC}} \cdot I_{sc,STC} \cdot (1 + a_{I_{sc}} \cdot (q_c - q_{STC})) \quad (2.5)$$

Όπου $a_{I_{sc}} = \frac{dI_{sc}}{I_{sc}dT}$ = θερμικός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου,

$I_{sc,STC}$ = η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε STC,

E = η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας,

$E_{STC} = 1000W/m^2$

$T = 273 + \theta$.

Από τον προηγούμενο τύπο βλέπουμε ότι έχουμε αναλογική εξάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης από την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας. Ο συντελεστής $a_{I_{sc}}$ έχει τιμές στο διάστημα $0.0001 \div 0.001K^{-1}$, με τιμή αναφοράς $a_{I_{sc}} = 0.0005K^{-1}$. Η τάση ανοικτού κυκλώματος μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας της κυψελίδας. Αυτή την εξάρτηση την βλέπουμε αναλυτικά στην παρακάτω έκφραση:

$$V_{oc} = V_{oc,STC} \cdot (1 + b_{V_{oc}} \cdot (q_c - q_{STC})) \cdot \left(1 + d(q_c) \cdot \ln \left(\frac{E}{E_{STC}} \right) \right) \quad (2.6)$$

Όπου $V_{oc,STC}$ = τάση ανοικτού κυκλώματος σε STC,

$d(q_c)$ = διορθωτικός παράγοντας της εξάρτησης της V_{oc} από την E ,

$b_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{V_{oc}dT}$ = θερμικός συντελεστής τάσης ανοικτού κυκλώματος του

φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Το $b_{V_{oc}}$ έχει τιμές στο διάστημα $-0.003 \div -0.005K^{-1}$ με τιμή αναφοράς

$b_{V_{oc}} = -0.004K^{-1}$.

Αυτή η ελάττωση οφείλεται στην εξάρτηση του ρεύματος κόρου της διόδου από τη θερμοκρασία.

Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο όταν αυτό λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_m = V_m \cdot I_m \approx \frac{E}{E_{STC}} \cdot P_p \cdot (1 + g_{P_m} \cdot (q_c - q_{STC})) \quad (2.7)$$

Όπου $g_{P_m} = \frac{dP}{P_m dT}$ = θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος του φωτοβολταϊκού

στοιχείου,

$P_P = V_{m,STC} \cdot I_{m,STC}$ = μέγιστη ηλεκτρική ισχύς σε πρότυπες συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος είναι προσεγγιστικά ίσος με $g_{P_m} \approx -0.0045 K^{-1}$ για το c-Si.

Επομένως, ο παράγων θερμότητας που καθορίζει την επίδραση της θερμοκρασίας στην τιμή της ισχύς αιχμής και στο συντελεστή απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου δίνεται ως εξής:

$$n_T = 1 + g_{P_m} \cdot (q_C - q_{STC}) \quad (2.8)$$

Όπως βλέπουμε από τον παραπάνω τύπο η ισχύς αιχμής και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου εμφανίζουν γραμμική εξάρτηση από τη θερμοκρασία.

2.4.2. Εξάρτηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του πλαισίου από τη θερμοκρασία κυψελίδας

Οι σχέσεις των I_{SC} και V_{OC} που προαναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.4.1 οι οποίες περιγράφουν την εξάρτηση αυτών των στοιχείων από τη θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής κυψελίδας ισχύουν και στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού πλαισίου με τη διαφορά όμως ότι η V_{OC} προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους τάσεων των στοιχείων που βρίσκονται συνδεδεμένα σε σειρά.

Οι σχέσεις που περιγράφουν την εξάρτηση του ρεύματος και της τάσεως του φωτοβολταϊκού πλαισίου όταν αυτό λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος του είναι οι εξής:

$$I_m(\theta_c, E) = \frac{E}{E_{STC}} * I_{m,STC} * (1 + a_{I_m} * (\theta_c - \theta_{STC})) + C_0 \quad (2.9)$$

$$V_m = V_{m,STC} * (1 + \beta_{V_m} * (\theta_c - \theta_{STC})) + C_1 * \ln\left(\frac{E}{E_{STC}}\right) + C_2 * \left(\ln\left(\frac{E}{E_{STC}}\right)\right)^2 \quad (2.10)$$

Όπου a_{I_m} = θερμικός συντελεστής ρεύματος στην κατάσταση του σημείου λειτουργίας,

β_{V_m} = θερμικός συντελεστής τάσης στην κατάσταση του σημείου λειτουργίας,

$I_{m,STC}$ = ρεύμα σε πρότυπες συνθήκες,

$V_{m,STC}$ = τάση σε πρότυπες συνθήκες,

C_0, C_1, C_2 = εμπειρικοί συντελεστές προσαρμογής στα πειραματικά δεδομένα.

Οι θερμοκοί συντελεστές της τάσης και του ρεύματος εξαρτώνται από το υλικό των φωτοβολταϊκών στοιχείων, από τη θερμοκρασία και από την πυκνότητα ισχύος. Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο υπολογίζεται σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις ως εξής:

$$P_m(q_c, E) = I_m(q_c, E) \cdot V_m(q_c, E) \quad (2.11)$$

Η ισχύς αυτή στην περίπτωση του c-Si (κρυσταλλικό πυρίτιο) περιγράφεται από τη σχέση:

$$P_m(q_c, E) = \frac{E}{E_{STC}} \cdot P_p \{1 + g_{P_m} \cdot (q_c - q_{STC})\} \quad (2.12)$$

Όπου g_{P_m} είναι ο θερμοκός συντελεστής μέγιστης ισχύος ο οποίος εξαρτάται από τη θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής κυψελίδας, το υλικό της και την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

2.5. Η καμπύλη I-V

Μελετώντας τις εξισώσεις μεταφοράς των φορέων φορτίου στην περιοχή μετάβασης, ο αποκαλούμενος ιδανικός νόμος της διόδου μπορεί να εξαχθεί για μια επαφή p_n στο σκοτάδι, όταν κανένα φορτίο δεν παράγεται από το φως του ήλιου. Αυτός ο νόμος γράφεται ως εξής:

$$I = I_0(e^{qV/kBT} - 1) \quad (2.13)$$

Όπου I = ρεύμα της διόδου

I_0 = ρεύμα κορεσμού

q = στοιχειώδες φορτίο

V = η τάση της διόδου

T = θερμοκρασία

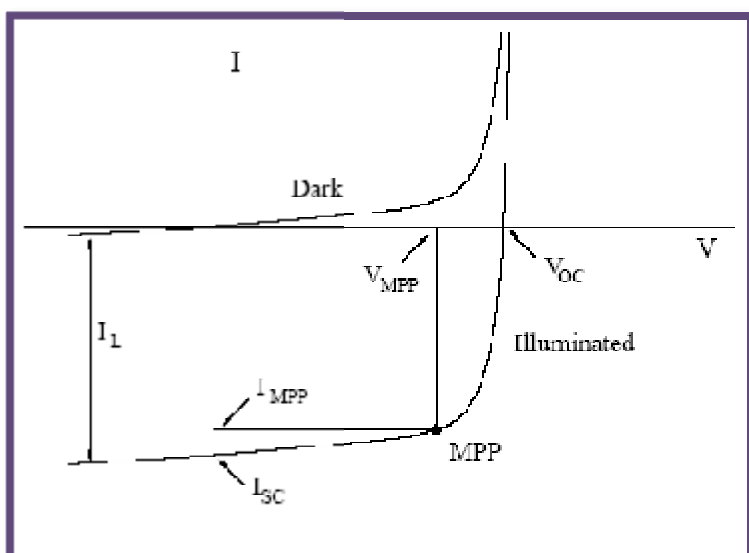
Όταν ο φωτισμός λαμβάνεται υπόψη, η εξίσωση τροποποιείται ως εξής:

$$I = I_0(e^{qV/kBT} - 1) - I_L \quad (2.14)$$

Όπου I_L = το φωτο-παραγόμενο ρεύμα. Η παραπάνω εξίσωση καθορίζει τη σχέση ρεύματος-τάσης μιας ιδανικής φωτοβολταϊκής κυψελίδας με σειριακή αντίσταση (Seriesresistance) $R_S = 0$ και $R_{SH} \rightarrow \infty$ (Shuntresistance). Τις

χαρακτηριστικές I-V που αντιστοιχούν στις εξισώσεις (2.5.1) και (2.5.2) τις βλέπουμε στο γράφημα 2.1.

Στό γράφημα 2.1 βλέπουμε ότι η σκοτεινή χαρακτηριστική της διόδου βρίσκεται στο πρώτο και στο τρίτο τεταρτημόριο, ενώ η καμπύλη IV μιας φωτισμένης διόδου, η οποία αντιπροσωπεύει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε λειτουργία, περνάει από το τέταρτο τεταρτημόριο. Αυτό το τεταρτημόριο, όπου το ρεύμα είναι αρνητικό και η τάση θετική, είναι το τεταρτημόριο όπου το φωτοβολταϊκό στοιχείο παράγει ισχύ. Τέσσερις σημαντικές παράμετροι έχουν χαρακτηριστεί στο παραπάνω γράφημα. Το ρεύμα σε μηδενική τάση καλείται ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{SC}), ενώ η τάση σε μηδενικό ρεύμα καλείται τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{OC}).



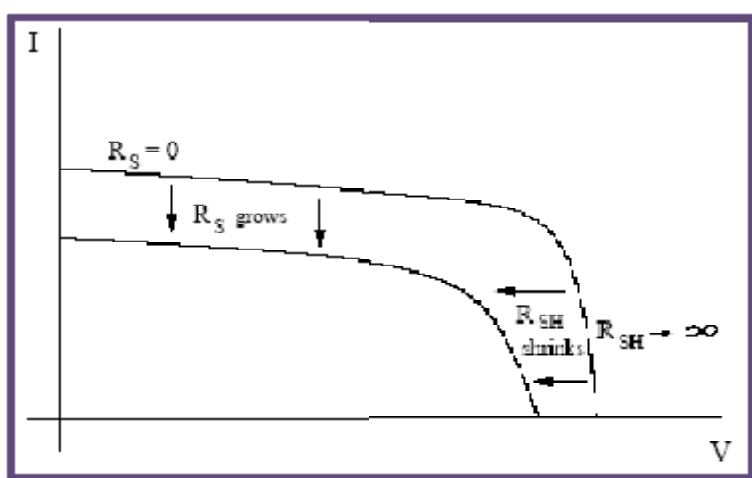
Γράφημα 2.1 - Η χαρακτηριστική IV μιας φωτισμένης επαφής pn είναι στην ουσία η σκοτεινή καμπύλη IV που μετατοπίζεται προς τα κάτω από το ρεύμα I_L . Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης βρίσκονται εκεί όπου η καμπύλη εφάπτεται με τους άξονες. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να εξαχθεί από το ΦΒ στοιχείο βρίσκεται στο σημείο (V_{MPP} , I_{MPP})

Το σημείο στη χαρακτηριστική IV όπου η παραγόμενη ισχύς είναι στο μέγιστο δεν είναι κανένα από αυτά τα σημεία, αλλά είναι μάλλον κάπου στο τόξο.

Αυτό το σημείο ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος. Οι αντίστοιχες τιμές του ρεύματος και της τάσης καλούνται σημείο μέγιστης ισχύος ρεύματος (I_{MPP}) και μέγιστης ισχύος τάσης (V_{MPP}). Δεδομένου ότι μόνο το μέρος της

χαρακτηριστικής IV που βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο είναι σχετικό για εφαρμογές με φωτοβολταϊκά στοιχεία, η καμπύλη IV είναι αντιστραμμένη ως προς άξονα της τάσης και κομμένη και στους δύο άξονες, έτσι ώστε και το ρεύμα και η τάση να έχουν μόνο θετικές τιμές.

Η καμπύλη IV, σε ένα κανονικό φωτοβολταϊκό στοιχείο με R_s και αντιστάσεις shunt R_{SH} , (βλέπε γράφημα) μετατοπίζεται πιο κοντά στους άξονες του ρεύματος και της τάσης. Μεγάλες τιμές R_s προκαλούν μείωση του ρεύματος, ενώ οι μικρές τιμές R_{SH} μειώνουν την τάση όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 2.2 - Η καμπύλη IV, σε ένα κανονικό φωτοβολταϊκό στοιχείο με R_s και αντιστάσεις shunt

Μηχανισμοί απωλειών είναι επίσης υπεύθυνοι που η καμπύλη IV γίνεται πιο επίπεδη, και ο αποκαλούμενος παράγων πλήρωσης (FF) είναι ένα μέτρο προσέγγισης αυτής. Ορίζεται ως:

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.15)$$

Ο παράγων πλήρωσης αντιστοιχεί στην αναλογία μεταξύ της παραχθείσας ισχύος και της ισχύος σε μια ιδανική περίπτωση όπου η καμπύλη IV έχει ορθογώνια μορφή χωρίς απώλειες. Ο παράγων πλήρωσης, η απόδοση και οι παράμετροι της καμπύλης IV είναι πολύ σημαντικοί στη μελέτη των φωτοβολταϊκών, διότι οι τιμές τους μας αποκαλύπτουν το πόσο καλά λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Η καμπύλη IV ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι όμοια με αυτή ενός μόνο ΦΒ στοιχείου, αλλά συνήθως είναι πιο επίπεδη λόγω απωλειών. Το σημείο της καμπύλης IV που πρέπει να λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος (*MPP*). Σε πρακτικές εφαρμογές, το σημείο λειτουργίας καθορίζεται από το φορτίο στο κύκλωμα, παραδείγματος χάριν από την μπαταρία που φορτίζεται.

2.6. Πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Standart Test Conditions, STC) των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείων. Η έννοια της ισχύος αιχμής

Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται σε ένα εργαστηριακά παρασκευασμένο ΦΒ στοιχείο καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό προϊόν (φωτοβολταϊκό πλαίσιο), είναι:

- η ενεργειακή απόδοση η ,
- ο παράγων πλήρωσης FF ,
- το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} ,
- και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} ,

σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού (πυκνότητα ισχύος και φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας) και θερμοκρασίας του στοιχείου. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του φωτοβολταϊκού στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκαν διεθνώς, οι ακόλουθες πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Standard Test Conditions, STC) των χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ή πλαισίου

Πίνακας 2.1 - Πρότυπες Συνθήκες Ελέγχου

ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας | 1 kW/m ² |
| Ηλιακό φάσμα | AM1.5 |
| Θερμοκρασία ΦΒ στοιχείου | 25°C ± 2°C |

Στα ειδικά εργαστήρια ελέγχου και πιστοποίησης των χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών στοιχείων, ο χώρος ελέγχου βρίσκεται στην προκαθορισμένη

θερμοκρασία των 25°C. Το φάσμα εκπομπής της χρησιμοποιούμενης πηγής φωτισμού, προσομοιάζει προς το ηλιακό, του συγκεκριμένου φάσματος (AM1.5). Η πηγή αυτή λειτουργεί στιγμιαία, ώστε η θερμοκρασία του υλικού του ΦΒ στοιχείου να παραμένει στα προκαθορισμένα όρια των προτύπων συνθηκών.

Επιπλέον, η ακτινοβολία από την τεχνητή πηγή προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Στην πράξη, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, ενσωματωμένα στη μονάδα που ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο, λειτουργούν κάτω από φυσικό ηλιακό φως, του οποίου τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας καθ' όλο το έτος και η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και από τις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες του τόπου εγκατάστασης.

Σε μερικά εργαστήρια, πραγματοποιούνται μετρήσεις χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών στοιχείων-πλαisiών χρησιμοποιώντας φυσικό ηλιακό φως με τα χαρακτηριστικά των πρότυπων συνθηκών.

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες, εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής (P_p), ως χαρακτηριστικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η δε μονάδα της στο SI είναι W_p .

Ισχύς αιχμής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που μπορεί να αποδώσει, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC).

Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται ομοίως, για το χαρακτηρισμό ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ή μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Αποτελεί το χαρακτηριστικό στοιχείο με βάση το οποίο προσδιορίζεται το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά στάδιο

2.7.1. Κατασκευή

- **Ατμόσφαιρα:** Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) στοιχείων είναι διεργασία με υψηλή ενεργειακή ένταση, που συνεπάγεται έκλυση ατμοσφαιρικών ρύπων. Η παραγωγή του κρυσταλλικού Si είναι η διεργασία με τη μεγαλύτερη ενεργειακή ένταση. Εκπομπές επίσης προκαλούνται από την παραγωγή των πλαισίων, των συστημάτων εξισορρόπησης, ενώ κάποιες εκπομπές που συνδέονται με τα πλαίσια και τις δομές στήριξης στην ανύψωση, ιδιαίτερα στα στοιχεία CdTe, δύναται να είναι σημαντικές.
- **Φυσικό κεφάλαιο:** Τα στοιχεία Si είναι φτιαγμένα από πρώτες ύλες ευρέως διαθέσιμες (χαλαζία). Η παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα στοιχείων από ίνδιο και

τελλούριο θα μπορούσε να προκαλέσει εξάντληση των αποθεμάτων του διαθέσιμου φυσικού κεφαλαίου.

- **Έδαφος & υδάτινοι αποδέκτες:** Για την παραγωγή των ΦΒ στοιχείων χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός υλικών, των οποίων η μη ασφαλής αποθήκευση ή η «ατυχηματική» διαρροή δύναται να προκαλέσει ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων.
- **Άνθρωπος:** Στην παραγωγική διαδικασία των ΦΒ στοιχείων απασχολείται εργατικό δυναμικό, ενώ για την εφαρμογή καινοτομιών τόσο κατά την παραγωγή όσο και κατά το σχεδιασμό απασχολείται ειδικευμένο προσωπικό. Επιπλέον χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός υλικών αυξημένης επικινδυνότητας και τοξικής δράσης (π.χ. διαλύτες). Η έκθεση στα υλικά αυτά θα μπορούσε να είναι επικίνδυνη για τη δημόσια και επαγγελματική υγεία.
- **Θόρυβος:** Στις εγκαταστάσεις κατασκευής των πλαισίων ή των βάσεων προκαλείται θόρυβος.
- **Χλωρίδα-Πανίδα:** Η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με αέριους ρύπους επιφέρει δυσμενείς συνέπειες σε χλωρίδα και πανίδα, μέσω της τροφικής αλυσίδας και μέσω της έκθεσης τους. Τοπίο: Οι αλλαγές στο τοπίο ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος της δραστηριότητας και την τεχνολογία του ηλιακού συστήματος.

2.7.2. Μεταφορά

- **Θόρυβος:** Κατά τη μεταφορά των ΦΒ στοιχείων στο χώρο εγκατάστασης, τα οχήματα αυξάνουν παροδικά τα επίπεδα θορύβου της περιοχής.
- **Ατμόσφαιρα:** Για τη μεταφορά των στοιχείων απαιτείται κατανάλωση ενέργειας, η οποία συνεπάγεται έκλυση αέριων εκπομπών, που είναι μικρές συγκριτικά με αυτές που εκλύονται κατά τη φάση παραγωγής των ΦΒ στοιχείων.

2.7.3. Εγκατάσταση

- **Θόρυβος:** Κατά την εγκατάσταση παρατηρείται αύξηση του επιπέδου θορύβου της περιοχής εγκατάστασης.

- **Τοπίο-Αισθητική-Οικοσυστήματα:** Αν και η αλλαγή στο τοπίο χαρακτηρίζεται ως ήπια, οι παρεμβάσεις αυτές προκαλούν οπτική όχληση και διατάραξη, έστω προσωρινά της ισορροπίας του «μικρο-οικοσυστήματος».
- **Άνθρωπος:** Τα ΦΒ στοιχεία δύναται να προκαλέσουν προσωρινή θάμβωση στους ανθρώπους που είτε εργάζονται κοντά σε αυτά είτε τα εγκαθιστούν.

2.7.4. Λειτουργία

- **Τοπίο-Χλωρίδα-Οικοσυστήματα:** Η σκίαση από τις διατάξεις συμβάλλει στη διατήρηση της υγρασίας σε θερμές και ξηρές περιοχές, με συνέπεια την αύξηση της εδαφικής υγρασίας και κατ' επέκταση την αύξηση της παραγωγικότητας της γης. Μεγάλα συστήματα θα μπορούσαν να είχαν σημαντικές επιπτώσεις ιδιαίτερα σε οικολογικά ευαίσθητες περιοχές.
- **Αισθητική:** Η οπτική όχληση εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το σχήμα του ΦΒ στοιχείου και είναι ανάλογη με την επιφάνεια που καταλαμβάνεται, αλλά κυρίως από το τρόπο χωροθέτησής του. Για μικρά απομονωμένα συστήματα η επίπτωση είναι αμελητέα και ιδιαίτερα μικρή αναφορικά με τα συστήματα οροφής. Όταν δεν υπάρχει δίκτυο, η επιβάρυνση που δημιουργείται είναι σημαντικά μικρότερη από την υποδομή (πυλώνες, καλώδια, μετασχηματιστές κλπ) που απαιτείται για τη σύνδεση με το δίκτυο.
- **Άνθρωπος:(α)** Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία: Για στοιχεία οροφής ή ενσωματωμένα στο κέλυφος των κτιρίων, τυχόν φωτά στο κτίριο οδηγεί σε απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα ρυπαντών από τα στοιχεία (Cd, Te, Se, As) με κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Ο κίνδυνος είναι πολύ μικρός για μικρές εγκαταστάσεις (<5 kWp). Για μεγαλύτερες (>100 kWp) απαιτούνται συνήθη μέτρα (π.χ. οι κάτοικοι σε απόσταση 1-2 km από την εγκατάσταση).
- **(β)** Κίνδυνοι για τη επαγγελματική υγεία: Κατά τη διάρκεια της κατασκευής και εγκατάστασης οι κίνδυνοι είναι τυπικοί, όπως για

κάθε εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Εν τούτοις, το συνεχές ρεύμα από τα ΦΒΣ είναι περισσότερο επικίνδυνο από το ισοδύναμο εναλλασσόμενο και για το λόγο αυτό απαιτείται κάποια επιπλέον προστασία. Επιπλέον είναι δυνατόν τα στοιχεία να προκαλέσουν προσωρινή θάμβωση σε ανθρώπους από τις ανακλώμενες ακτίνες ηλίου.

- **Περιβαλλοντικά οφέλη:** Θετικές συνέπειες κατά το στάδιο της λειτουργίας είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού ελλείπει ατμοσφαιρικών ρύπων, ηχορύπανσης και η ηλεκτροδότηση ακόμα και σε περιοχές απομακρυσμένες, συμβάλλοντας έτσι στην ανάπτυξή τους.

2.8. Συντήρηση

Κατά το στάδιο της συντήρησης είναι δυνατόν να αυξηθεί το επίπεδο του θορύβου στην περιοχή, ενώ η χρήση χημικών ουσιών είναι δυνατόν να επιβαρύνει το έδαφος σε περίπτωση διαρροής ή ατυχήματος.

2.8.1. Αποικοδόμηση

Εκτός από τις διατάξεις Si, η τοξικότητα του Cd αφορά στη διάθεση των διατάξεων CdTe. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται ανακύκλωση ή διάθεση σύμφωνα με τους κανονισμούς διάθεσης απορριμμάτων. Η καύση οδηγεί σε ανεξέλεγκτες αέριες εκπομπές Cd. Αντίστοιχα, η ανεξέλεγκτη διάθεση σε χωματερές οδηγεί σε ρύπανση των υπογείων υδάτων.

2.9. Τεχνολογίες/τεχνικές απαλοιφής περιβαλλοντικών επιπτώσεων

- **Άνθρωπος.** Για να καλύψει τις ανάγκες προσλαμβάνεται εξειδικευμένο προσωπικό. Στο στάδιο της παραγωγής απαιτείται ασφαλής αποθήκευση επικινδύνων χημικών, τήρηση κανόνων ασφάλειας χειρισμού επικινδύνων ουσιών και κατάλληλος εργασιακός εξοπλισμός (μάσκες ασφαλείας, γάντια) κατά την έκθεση ή τη διαχείριση των επικινδύνων χημικών. Κατά την εγκατάσταση απαιτείται η χρήση κανόνων καλής πρακτικής.

- **Χλωρίδα-Πανίδα-Οικοσυστήματα:** Υποστηρίζεται και επαναδημιουργείται η βιοποικιλότητα του χώρου εγκατάστασης για την ανάκτηση μεγάλου μέρους των αρχικών τους χαρακτηριστικών. Επιπλέον φυτεύονται φωτοευαίσθητοι θάμνοι ή πόες στις επιφάνειες σκίασης των συλλεκτών για τη μείωση της οπτικής όχλησης.
- **Αισθητική-Τοπίο:** Απαιτείται ορθή χωροθέτηση, ενώ αποφεύγεται η εγκατάσταση πλησίον περιοχών ιδιαίτερου φυσικού κάλλους ή πολιτιστικών και ιστορικών μνημείων. Το σχήμα του ΦΒΣ εναρμονίζεται με το κτίριο χρωματικά και σχηματικά. Επιδιώκεται η εναλλακτική χρήση ΦΒ στοιχείων
 - (α) ως σκίαστρα σε υπόστεγα χώρων στάθμευσης, αλλά και σε παράθυρα κτιρίων αντί συμβατικών μέσων σκίασης,
 - (β) ως ηχοπέτασμα σε εθνικές οδούς και περιμετρικά νοσηλευτικών ιδρυμάτων με κατάλληλη χωροθέτηση,
- **Ατμόσφαιρα:** Εισάγονται στοιχεία χωρίς πλαίσια για τη ενσωμάτωση στο κτίριο εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας για τα πλαίσια αλουμινίου ελαττώνοντας τις συνολικές εκπομπές του συστήματος. Με την ενσωμάτωσή τους στο κέλυφος του κτιρίου αποφεύγεται η χρήση συμβατικών υαλοπινάκων, και συνεπώς επιπτώσεις τόσο από την παραγωγή του γυαλιού, όσο και από την παραγωγή πλαισίων.
- **Διαχείριση αποβλήτων:** Ανακτώνται και ανακυκλώνονται οι χρησιμοποιούμενοι κρύσταλλοι κατά το στάδιο της αποικοδόμησης. Η διαχείριση των απορριμμάτων από ΦΒ στοιχεία γίνεται σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς διαχείρισης/επεξεργασίας επικινδύνων και συμβατικών αποβλήτων.

2.10. Ηλιοθερμικά συστήματα ισχύος

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό χρειάζεται να επιτευχθούν σχετικά μεγάλες θερμοκρασίες γεγονός που επιτυγχάνεται με τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια μικρή περιοχή ή σε ένα σημείο της συλλεκτικής επιφάνειας.

Η συγκέντρωση της ακτινοβολίας γίνεται με τη χρήση ειδικών κάτοπτρων. Τα τελευταία χρόνια τα ηλιοθερμικά συστήματα με τις διαθέσιμες τεχνολογίες των παραβολικών κάτοπτρων (κοίλων), των ηλιακών πύργων ισχύος και των ηλιακών δίσκων αποτελούν συστήματα ικανά να συμβάλουν ουσιαστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο.

Και στις τρεις πιο πάνω τεχνολογίες, η ηλιακή ενέργεια συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένο σημείο από το οποίο διέρχεται κάποιο θερμαντικό μέσο (νερό, λάδι, κ.λπ.), το οποίο θερμαίνεται παράγοντας ατμό, που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή μέσω ατμογεννητριών.

Οι τεχνολογίες αυτές είναι πλέον ώριμες και ως επί το πλείστον ενδείκνυνται για αξιοποίηση του πολύ υψηλού ηλιακού δυναμικού που διαθέτουν οι χώρες της Μεσογείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1. Εισαγωγή

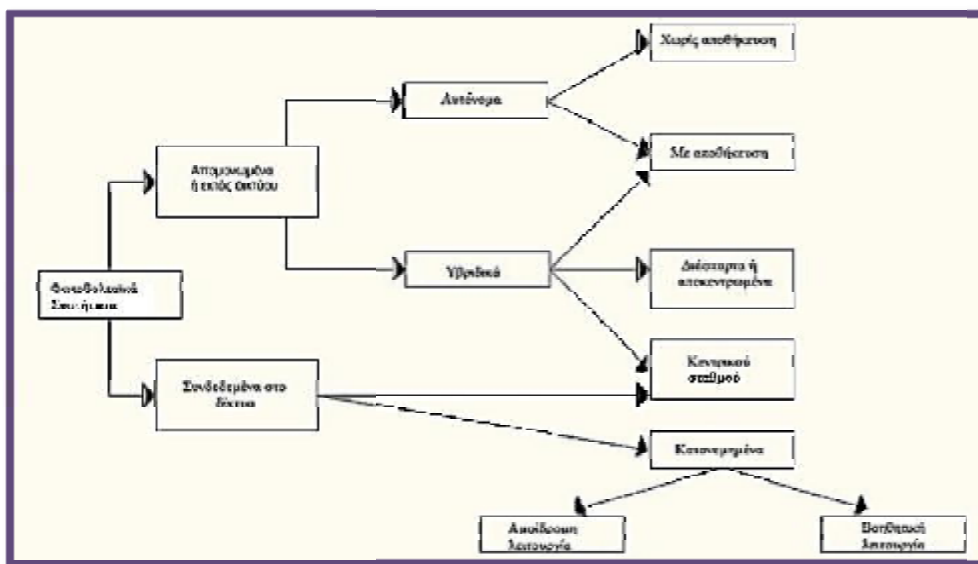
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών. Καλύπτουν μεγάλη περιοχή ισχύος, από το μέγεθος της πολύ χαμηλής ισχύος ευρείας χρήσεως καταναλωτικών προϊόντων, όπως είναι οι αριθμητικοί υπολογιστές, τα μικρά φωτιστικά κήπου κ.α., έως συστήματα μεγάλης ισχύος για την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

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

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

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

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τις κατηγορίες και την λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Σχήμα3.1. - Κατηγορίες και λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα - συγκροτήματα έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή ή μεγάλη ισχύ
- Δυνατότητα σταδιακής υλοποίησης του συστήματος
- Μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά την λειτουργία τους
- Αθόρυβη λειτουργία
- Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης
- Μεγάλη αξιοπιστία
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Αποδεκτή αισθητική παρουσία

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης

3.2. Εκτός δικτύου ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Χαρακτηρίζονται έτσι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Διακρίνονται σε αυτόνομα, στα οποία η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας και σε υβριδικά, στα οποία περιλαμβάνεται και άλλη πηγή ΑΠΕ ή συμβατική ηλεκτρική πηγή.

3.3. Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξολοκλήρου από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, χωρίς την συμμετοχή άλλων ΑΠΕ και μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές μη συνδεδεμένες στο εθνικό δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσόμενης (AC) τάσεως. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

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

3.4. Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από τον συνδυασμό Φωτοβολταϊκής συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας, δηλαδή, ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια) ή πηγές συμβατικών καυσίμων (π.χ. ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος).

Ο προσδιορισμός των συνιστωσών ΑΠΕ προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος, με κριτήριο τον βαθμό συμμετοχής του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους στην διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής. Στις περισσότερες των περιπτώσεων στο σύστημα προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές(αυτονομία αποθηκευμένης ενέργειας).

3.5. Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα συστήματα αυτά συνδέονται απευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ένα τεράστιο απόθεμα ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης.

Άρα, στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως καταναμημένα συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως.

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

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

Στη δεύτερη περίπτωση, το βασικότερο κριτήριο αφορά στην επιλογή εκείνης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας η οποία καλύπτει, κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής.

Στις χρονικές περιόδους που το φωτοβολταϊκό σύστημα υστερεί στην κάλυψη των καταναλώσεων της εφαρμογής, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο.

3.6. Σύνδεση πλαισίων-σύνδεση με δίκτυο

Σήμερα χρησιμοποιούνται οι τρόποι εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων που περιγράφονται στις παραγράφους 3.6.1 και 3.6.2.

3.6.1. Αυτοδύναμα ή Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα

Είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και όπου είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου σε περίπτωση χρήσης γεννήτριας ντίζελ. Το σύστημα απαιτεί και την ύπαρξη μονάδας αποθήκευσης (μπαταρίας) για την συνεχή λειτουργία του κατά τις νυκτερινές ώρες ή ώρες συννεφιάς.

Ένας ειδικός ρυθμιστής φόρτισης ρυθμίζει την ενέργεια των φωτοβολταϊκών για να εξασφαλίσει την άριστη φόρτιση των μπαταριών. Σε απλές εγκαταστάσεις, η ενέργεια απορροφάται κατευθείαν από τις μπαταρίες από DC καταναλωτές, ενώ σε εγκαταστάσεις με AC καταναλωτές, το ρεύμα της μπαταρίας μετατρέπεται από συνεχές σε εναλλασσόμενο με αντιστροφέα τάσης (inverter).

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα:

Σε αναμεταδότες(ραδιοφώνου ή TV),σε συστήματα επιτήρησης, σε τηλεφωνικούς θαλάμους, σε κεραιές κινητής τηλεφωνίας, σε φάρους, σε διαφημιστικές πινακίδες, στάσεις συγκοινωνίας και σε φωτισμό δρόμων και εθνικών οδών.

Επίσης σε βάρκες και τροχόσπιτα, σε αρδεύσεις, γεωτρήσεις και σε συντριβάνια.Όλες αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούν μπαταρίες για αποθήκευση, αλλά αν απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, μπορούν να συνδυαστούν με γεννήτριες βιομάζας, με ανεμογεννήτριες ή με γεννήτριες ντίζελ, ώστε να έχουμε ένα υβριδικό σύστημα τροφοδότησης ενέργειας.

3.6.2. Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φωτοβολταϊκά συστήματα

Θα αποτελέσουν, την κύρια περιοχή ενδιαφέροντος για τα επόμενα χρόνια, όταν επιτέλους αλλάξει η ελληνική νομοθεσία και δώσει κίνητρα, όπως σε όλες τις προηγμένες χώρες, και στις μικρές οικιακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις(<5kW).

Αυτά τα συστήματα συνδέονται με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια της ημέρας ο ηλεκτρισμός που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί ή να χρησιμοποιηθεί άμεσα(κάτι που είναι

σύνηθες για συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια γραφείων και άλλων εμπορικών χρήσεων) ή μπορεί να πωληθεί στην ΔΕΗ(κάτι που είναι σύνηθες για οικιακά συστήματα που ο ιδιοκτήτης μπορεί να λείπει κατά τη διάρκεια της ημέρας).

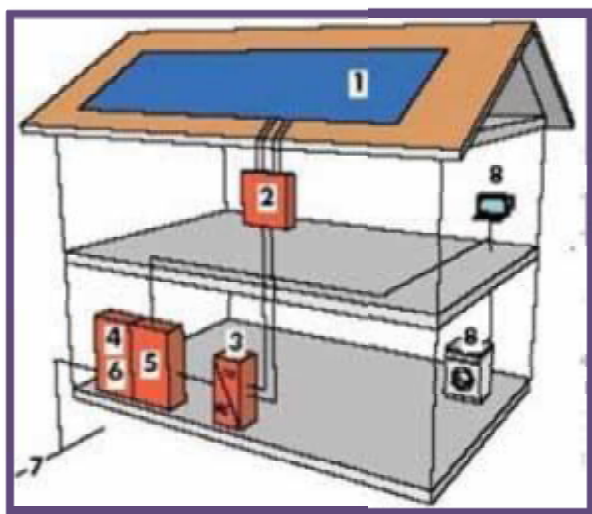
Τη νύχτα, όταν το Φωτοβολταϊκό δεν μπορεί πια να παράγει ενέργεια, μπορεί να αγοραστεί πλέον ενέργεια από τη ΔΕΗ. Στην πράξη δηλαδή η ΔΕΗ λειτουργεί σαν μια αποθήκη ενέργειας, γι' αυτό αυτά τα συστήματα δεν χρειάζονται μπαταρίες για αποθήκευση.

Μπορούμε όμως, αν θέλουμε, να τοποθετήσουμε μπαταρίες, οπότε πλέον το Φωτοβολταϊκό μας σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν σύστημα Αδιάλειπτης Παροχής Ενέργειας(UPS), σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι στην αντιμετώπιση από την ηλεκτρική εταιρεία ενός διασυνδεδεμένου συστήματος Φωτοβολταϊκών. Για παράδειγμα, στην Γερμανία, όλη η ενέργεια που παράγεται πωλείται στην ηλεκτρική εταιρεία και ο καταναλωτής αγοράζει για τις ανάγκες του.

Αντίθετα στην Αυστρία, η ενέργεια που παράγεται, πρώτα καλύπτει τις ανάγκες του παραγωγού και το περίσσειμα πωλείται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τέτοιο διασυνδεδεμένο συστήματα με τα εξαρτήματά τους (με ένα ή δύο μετρητές) φαίνετε στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.2. - Διασυνδεδεμένα συστήματα

- i. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια
- ii. Ηλεκτρολογικός πίνακας
- iii. Αντιστροφέας(inverter)
- iv. Ασφάλειες
- v. Μετρητής παραγωγής

- vi. Υφιστάμενος μετρητής
- vii. Δίκτυο ΔΕΗ
- viii. Εσωτερικές καταναλώσεις

3.7. Ηλεκτρονικά

Για τη σωστή διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, απαιτείται η παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό την βελτιστοποίηση της μεταφοράς ενέργειας με όσο το δυνατόν οικονομικότερο τρόπο αλλά και την προστασία των συσσωρευτών από υπερφόρτιση ή από υπεκφόρτιση.

Οι δύο βασικότερες ηλεκτρονικές διατάξεις είναι: ο ελεγκτής ή επιτηρητής φόρτισης-εκφόρτωσης και οι μετατροπείς τάσεως (inverters). Ο ελεγκτής φόρτισης τοποθετείται συνήθως σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται και ενσωματωμένος με τον inverter σε μια μονάδα.

3.7.1. Ελεγκτής φόρτισης

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους ώστε όταν φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε σαν συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης με αποτέλεσμα την μείωση της στάθμης του διαλύματος.

Επίσης απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση ώστε να προληφθεί η καταστροφική κατάσταση υπερεκφόρτισης.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης-εκφόρτωσης, περιλαμβάνει ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (relays), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος (MOSFETs, thyristors, triacs).

Σε κάθε περίπτωση στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω των κυκλωμάτων της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

Ειδικότερα στα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως πηγές σταθερού ρεύματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις παράλληλου ρυθμιστή φόρτισης με γραμμικό και με διακοπτικό στοιχείο.

Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά ανάλογα με την μέγιστη φόρτιση είτε ως διακόπτης ON/OFF.

Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση, το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το Φωτοβολταϊκό σύστημα χωρίς να προκαλείται καμία βλάβη σε αυτό. Έτσι απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσης της.

3.7.2. Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC

Οι μετατροπείς πολλαπλών επιπέδων τα τελευταία χρόνια αποκτούν όλο και ευρύτερη χρησιμότητα σε εφαρμογές χαμηλής και υψηλής ισχύος. Χρήσιμων μετατροπέων πολλαπλών επιπέδων είναι κατάλληλη ιδιαίτερα για εφαρμογές μετάδοσης ισχύος, συστήματα οδήγησης κινητήρων και κυκλώματα φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών στοιχείων καύσιμης ύλης (fuel cells).

Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής :

- Συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC-DC converter) οποιασδήποτε τάσης
- Συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC converter), οποιουδήποτε πλάτους και
- Εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC converter).

Ο **μετατροπέας τάσης (inverter DC/AC)** μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα πλαίσια σε εναλλασσόμενο ώστε αυτό να μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο. Ο μετατροπέας μπορεί να είναι είτε μονοφασικός είτε τριφασικός. Η επιλογή του πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς αποτελεί πολύ κρίσιμο στοιχείο του φωτοβολταϊκού συστήματος αφού μια πιθανή βλάβη του θα σταματήσει την παραγωγή ολόκληρου του συστήματος (αν το σύστημα έχει έναν κεντρικό μετατροπέα), ή ενός τμήματός του (αν το σύστημα έχει πολλούς μετατροπείς στοιχειοσειράς). Για την επιλογή του αντιστροφέα λαμβάνουμε υπόψη την αξιοπιστία της κατασκευάστριας εταιρείας, το βαθμό απόδοσης του, καθώς επίσης και τις τεχνικές απαιτήσεις που βάζει η ΔΕΗ όπως η διακύμανση της τάσης εξόδου, η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης κτλ

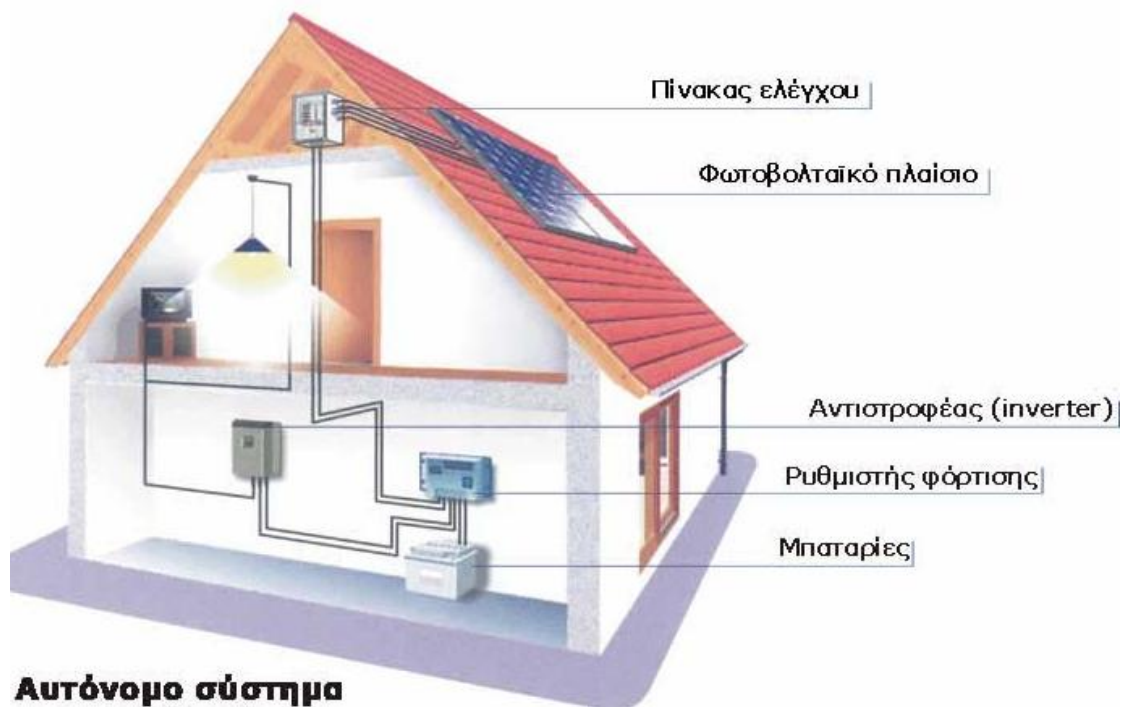
Οι **Μετατροπείς, DC/DC**, (converter), είναι συσκευές που παίρνουν τάση εισόδου 24VDC και βγάζουν τάση εξόδου 12V DC, μετατρέπουν το DC σε DC ανάλογα με τα φορτία που έχουμε επιλέγουμε και τα watt.

Ανορθωτές AC/DC ονομάζονται οι διατάξεις ισχύος, οι οποίες μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Ανάλογα με τη μορφή της

εναλλασσόμενης εισόδου οι ανορθωτές διακρίνονται σε μονοφασικούς και πολυφασικούς (διφασικούς, τριφασικούς, εξαφασικούς).

Ακόμη διακρίνονται σε ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους, ανάλογα με το αν η τάση εξόδου είναι μεταβαλλόμενη ή σταθερή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥΣ



4.1. Προϋποθέσεις εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων

Αρχικά θα πρέπει να γίνει υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή για όλη την διάρκεια του έτους και σε κάποιες περιπτώσεις και κατά μήνα του έτους. Σε αντίθεση με τα διασυνδεδεμένα συστήματα όπου στόχος είναι η μέγιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, στα απομονωμένα συστήματα υπάρχουν εφαρμογές όπου η ενεργειακές ανάγκες είναι μεγαλύτερες σε κάποιους συγκεκριμένους μήνες του χρόνου ή ακόμα και σε κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας

Να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Ως ένα πρόχειρο κανόνα υπολογίστε πως χρειάζεστε περίπου $0,8 \text{ m}^2$ για κάθε 100Watt.

Προσέχουμε ιδιαίτερα, ο χώρος να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά το σύστημά θα λειτουργεί με

μικρότερη απόδοση. Επίσης πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση που πρέπει να έχουν μεταξύ τους οι συστοιχίες των πλαισίων για την επισκεψιμότητα και την αποφυγή σκίασης.

Η σωστή κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Σχεδόν πάντα επιλέγουμε μια κλίση που να δίνει καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η σωστή κλίση είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου. Επειδή βέβαια κάθε κανόνας έχει και την εξαίρεσή του, την βέλτιστη κλίση θα την αποφασίσει ο τεχνικός που θα κάνει την εγκατάσταση.

Σιγουρεύουμε ότι έχουμε απαιτούμενο χώρο για τα ηλεκτρονικά συστήματα και τις μπαταρίες, αν επιλέξουμε αυτόνομο σύστημα.

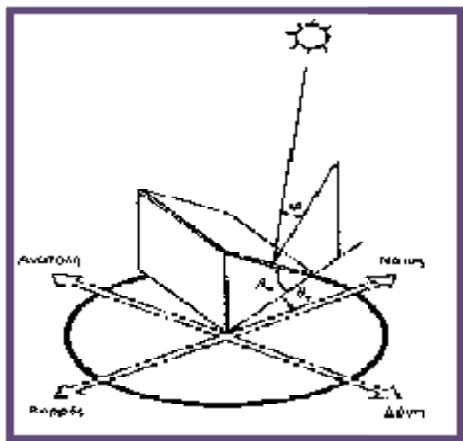
Υπολογίζουμε τις κατασκευές στις οποίες θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, εκτός από το δικό τους βάρος (περίπου 15-20 kg / m²), πρέπει να είναι ικανές να αντέξουν στο βάρος των φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθώς και των φορτίων που οφείλονται στη δυναμική δράση του ανέμου και στη συσσώρευση του χιονιού. Πρόκειται για μεταλλικά προφίλ από αλουμίνιο και γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα.

Καλό είναι να γνωρίζουμε εάν υπάρχουν ενδείξεις για διαφοροποίηση του μικροκλίματος στην περιοχή (π.χ αυξημένες βροχοπτώσεις, αυξημένη υγρασία - ομίχλες λόγω γειτονικού ποταμού, ενδεχόμενη ύπαρξη έλους κλπ), αυτό γιατί θα επηρεάσουν την απόδοση του Φ/Β συστήματος.

4.2. Κλίση και προσανατολισμός του συλλέκτη

Πίνακας 4.1. - Συσχέτιση απόδοσης Φ/Β συστήματος με την κλίση του επί τις %.

| Προσανατολισμός | Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο | | |
|----------------------------------|------------------------------------|-----|-----|
| | 0° | 30° | 90° |
| Αιτιατικός - Δυτικός | 90 | 85 | 50 |
| Νοτιοανατολικός - Νοτιοδυτικός | 90 | 95 | 60 |
| Νότιος | 90 | 100 | 60 |
| Βορειοανατολικός - Βορειοδυτικός | 90 | 67 | 30 |
| Πόρσιος | 90 | 60 | 20 |



Σχήμα 4.1 - Η κλίση (β_{σ}) και η αζιμούθια γωνία (θ_{σ}) που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (θ_{σ}) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω από οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^{\circ}$.

Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^{\circ}$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση τι συλλέκτη προς τον βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς τ νότο και η γωνία $+90^{\circ}$ προς τη δύση.

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε έναν επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν επιφάνειά του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν γωνία πρόσπτωσης (φ) είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

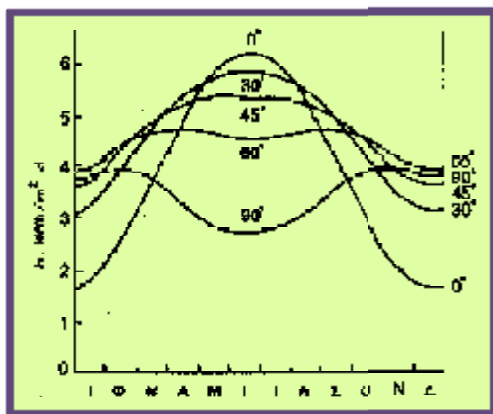
Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε επιφάνειά του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας φακούς ή κάτοπτρα.

4.3. Η ιδανική κλίση των συλλεκτών

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της

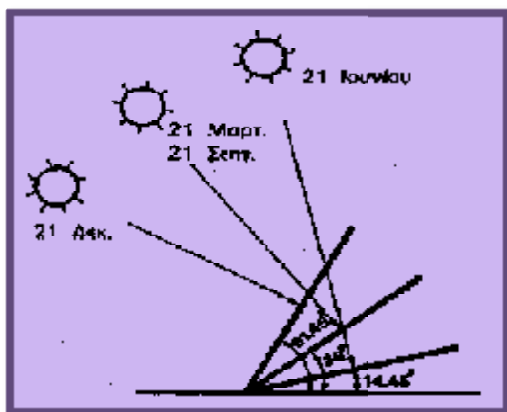
ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους.

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφική παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή.



Σχήμα 4.2 - Παράδειγμα της εξάρτησης της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας H , που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια κατά τη διάρκεια των διαφόρων μηνών του έτους, σε συνάρτηση με την κλίση της. Το παράδειγμα είναι για τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 45° και αφορά σε κλίσεις του ηλιακού συλλέκτη (β_c) ίσες με 0° (οριζόντιο επίπεδο), 30° , 45° , 60° , και 90° (κατακόρυφο επίπεδο).

Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικότερες ημερομηνίες του έτους.



Σχήμα 4.3 - Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στο θερινό (21 Ιουνίου) και το χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο και στην εαρινή (21 Μαρτίου) και τη φθινοπωρινή (21 Σεπτεμβρίου) ισημερία, σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 35°, όπως τα Χανιά. Τα ύψη του ήλιου που ακονίζονται αφορούν στα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

Παρατηρούμε στον πίνακα ότι η κλίση 30° πλεονεκτεί επί 7 μήνες (Μάρτης μέχρι Σεπτέμβρη), η κλίση 60° πλεονεκτεί επί 3 μήνες (Ιανουάριος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος), ενώ η κλίση 45° πλεονεκτεί επί 2 μήνες (Φεβρουάριος και Οκτώβριος), και το πλεονέκτημα της ασήμαντο σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές της κλίσης 60° στους ίδιους μήνες.

Επομένως, επιλέγουμε την κλίση 30° για του μήνες Μάρτη μέχρι Σεπτέμβρη, και την κλίση 60° για τους μήνες Οκτώβρη μέχρι Φεβρουάριο. Προβλέπουμε, δηλαδή για μια κατάλληλη κατασκευή στήριξης των Φ/Β συλλεκτών π.χ. με αρθρωτά στηρίγματα, που να είναι εύκολη με ένα απλό χειροκίνητο μηχανισμό, η αλλαγή από τη μια κλίση στην άλλη, δύο φορές τον χρόνο.

Πίνακας 4.2. - Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/d) για διαφορετικές κλίσεις του συλλέκτη, και η μέση θερμοκρασία του αέρα (°C) στη διάρκεια των φωτεινών ωρών της ημέρας.

| ΜΗΝΑΣ | ΚΛΙΣΗ30° | ΚΛΙΣΗ45° | ΚΛΙΣΗ60° | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C) |
|---------|----------|----------|----------|-----------------|
| ΙΑΝ. | 2,22 | 2,39 | 2,45 | 10,1 |
| ΦΕΒ. | 2,94 | 3,09 | 3,07 | 10,8 |
| ΜΑΡ. | 3,74 | 3,73 | 3,56 | 12,1 |
| ΑΠΡ. | 4,82 | 4,58 | 4,11 | 17,0 |
| ΜΑΙΟΣ | 5,74 | 5,20 | 4,45 | 20,7 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 6,19 | 5,50 | 4,59 | 25,0 |
| ΙΟΥΛ. | 6,42 | 5,74 | 4,82 | 27,3 |
| ΑΥΓ | 6,37 | 5,93 | 5,20 | 27,0 |
| ΣΕΠΤ. | 5,54 | 5,47 | 5,10 | 23,5 |
| ΟΚΤ. | 4,12 | 4,30 | 4,26 | 19,2 |
| ΝΟΕΜ. | 3,00 | 3,27 | 3,36 | 15,4 |
| ΔΕΚΕΜ. | 2,30 | 2,54 | 2,65 | 11,9 |

4.4. Τρόποι στήριξης των συλλεκτών

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών:

- Σταθερής στήριξης,
- Εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης
- Συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Tracker).

4.4.1. Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης

Με την απουσία κινητών μερών στη στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδουμε στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην αναξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Χρησιμοποιούνται επίσης στατικές συλλεκτικές επιφάνειες, ενσωματωμένες σε κτίρια.

Την πιο απλή περίπτωση την έχουμε όταν ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για τη συστοιχία και κλίση κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης.

Όταν η κλίση ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο. Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες στην περιοχή μετεωρολογικές συνθήκες και η ανακλαστικότητα του εδάφους.

Έτσι για να βρούμε τη βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, χρειάζεται να συλλέξουμε στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ακτινοβολίας, τουλάχιστον σε οριζόντια προσανατολισμένο αισθητήρα, για μια σειρά ετών για αυτή την περιοχή.

Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή περιοχή, εμπλουτισμένες με πρόσφατες μετρήσεις στην περιοχή αυτή. Με βάση τώρα τις μετρήσεις αυτές αλλά και με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, προσδιορίζουμε την ολική ακτινοβολία σε κάθε γωνία κλίσης ενός συλλέκτη, απ' όπου προκύπτει η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη για συγκεκριμένη περιοχή.

Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι η κλίση του συλλέκτη για βέλτιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, για τόπους με μέσα ή μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, για παράδειγμα των 20° , είναι μέσα στην περιοχή: { γεωγραφικό πλάτος - $(10^\circ - 15^\circ)$ }.

Για μικρά γεωγραφικά πλάτη, γύρω από τον Ισημερινό, η καλύτερη θέση για συλλέκτη είναι η οριζόντια ή ελάχιστα κεκλιμένη.

Η θέση της καλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης της ημερήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως, κατά πάσα πιθανότητα είναι σε γεωγραφικό πλάτος 10° .

Για αυτό το λόγο, αν δεν διατίθενται δεδομένα για τον τόπο εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος, το καλύτερο που έχουμε να κάνουμε είναι να επιλέξουμε κλίση συλλέκτη ίση με το παραπάνω γεωγραφικό πλάτος.

Αν επιπλέον ενδιαφερόμαστε για πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων μιας εφαρμογής την περίοδο του χειμώνα, όπου κατά την οποία η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το συλλέκτη είναι η χαμηλότερη του έτους, τότε η καταλληλότερη κλίση για σταθερούς συλλέκτες είναι μέσα στην περιοχή γεωγραφικού πλάτους $+(10^\circ - 15^\circ)$.

Τέλος, αν τώρα υπάρχουν φυσικά εμπόδια που σκιάζουν το συλλέκτη ορισμένη περίοδο της ημέρας, για παράδειγμα από το μεσημέρι και μετά, τότε προσανατολίζουμε το συλλέκτη αζιμουθιακά, μετά από σχετική μελέτη του κλίματος και των στοιχείων ηλιοφάνειας της περιοχής, σε ορισμένη

νοτιοανατολική κατεύθυνση. Αν τώρα η σκίαση γίνεται το πρωί και από το μεσημέρι και μετά δεν υπάρχει πρόβλημα σκίασης, τότε η συστοιχία προσανατολίζεται νοτιοδυτικά.



Εικόνα 4.1. - Παράδειγμα στήριξης του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης.

4.4.2. Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης κλίσης του συλλέκτη

Υπάρχει μια διάταξη συλλεκτών με νότιο προσανατολισμό, η οποία εκ κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης της. Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος αλλαγών. Οι θέσεις του συλλέκτη είναι δύο :

- μια για το θερινό εξάμηνο, δηλαδή από 21 Μαρτίου έως 22 Σεπτεμβρίου, με κλίση ίση με α_{ϵ} = (γεωγραφικό πλάτος -10° - 15°) και
- μια για το χειμερινό, δηλαδή από 22 Σεπτεμβρίου έως 21 Μαρτίου, με κλίση ίση με α_{μ} = (γεωγραφικό πλάτος $+10^{\circ}$ - 15°).

Όπως και στην περίπτωση συλλέκτη σταθερής κλίσης όλο το έτος, έτσι και στην περίπτωση επιλογής χειμερινής και θερινής θέσης, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας για το συλλέκτη σε κάθε περίοδο απαιτεί γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους, που καθορίζει την ανακλαστικότητά του.

4.4.3. Στήριξη του συλλέκτη σε κινητές βάσεις

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες τοποθετούνται σε κινητές βάσεις. Στόχος της κατασκευής είναι η βελτιστοποίηση του αποτελέσματος όπως προκύπτει από την συνεχή παρακολούθηση του ηλίου με περιστροφή κατά το επίπεδο που

ορίζεται από τους άξονες X και Ψ (οριζόντια), στον άξονα Z η κλίση της κατασκευής είναι 30°.

Η περιστροφή γίνεται πάνω σε σιδηροτροχιά η οποία εδράζεται σε κυκλικό θεμέλιο από οπλισμένο σκυρόδεμα πλάτους 0,40 m και βάθους 0,80 m. Στην κατασκευή αυτή τοποθετείται σκελετός από γαλβανισμένο εν θερμό χάλυβα.

Η κίνηση του μηχανισμού γίνεται με την βοήθεια ενός κινητήρα ισχύος 0,37 Kw.

Ο μηχανισμός παρακολουθεί την κίνηση του ηλίου με βάση τα στοιχεία που είναι καταχωρημένα στο λογισμικό που συνοδεύει την συσκευή, ήτοι δεν γίνεται χρήση αισθητήρων έντασης φωτός αλλά χρήση αστρονομικών δεδομένων.



Εικόνα 4.2. - Σύστημα παρακολούθησης ηλιακής ακτινοβολίας(ηλιοτρόπιο, suntrackingsystem)

4.5. Τρόποι στήριξης Φ/Β πλαισίων σε κτήρια

Οι κατασκευές στήριξης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται απ' το βάρος των πλαισίων και τους τοπικούς ανέμους, να μην προκαλούν σκιασμό στα πλαίσια, να επιτρέπουν την προσέγγιση στα πλαίσια, αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίζουν την ασφάλειά τους.

Η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων στην οροφή ή στην πρόσοψη ενός κτιρίου γίνεται με πολλούς τρόπους. Στις καινοτόμες λύσεις που έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς περιλαμβάνεται και η χρήση Φ/Β στοιχείων στη θέση άλλων δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτιρίου ή στα σκίαστρα.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι για την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων σε ένα κτίριο:

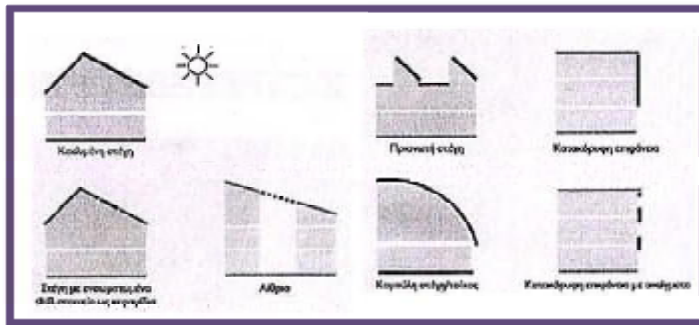
- **ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ:** Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από ξύλινα ή μεταλλικά είδη στηριγμάτων και οι

περισσότεροι κατασκευαστές Φ/Β συστημάτων προσφέρουν στηρίγματα που ταιριάζουν ακριβώς στα Φ/Β πλαίσια. Σε μερικές περιπτώσεις, η κλίση είναι ρυθμιζόμενη. Η τοποθέτηση αυτή προσφέρει εύκολη πρόσβαση τόσο στο εμπρός όσο και στο πίσω μέρος των Φ/Β πλαισίων, όταν χρειάζεται να γίνει συντήρηση, βοηθά επίσης, στον καλό αερισμό και στο δροσισμό των στοιχείων, αυξάνοντας έτσι την απόδοσή τους. Εντούτοις, το κόστος είναι σχετικά υψηλό, γιατί απαιτείται η χρήση πρόσθετων υλικών και επιπλέον εργασία.

- **ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΕΙΔΙΚΗ ΒΑΣΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ:** Η κατασκευή αυτή στηρίζεται στο εξωτερικό κέλυφος του κτηρίου. Χρειάζεται, όμως, προσοχή για την καλή μόνωση των σημείων στα οποία στηρίζεται η βάση. Η τοποθέτηση αυτή επιτρέπει επίσης τον καλό αερισμό και την ψύξη των Φ/Β στοιχείων. Το κόστος είναι συνήθως μικρότερο σε σύγκριση με το κόστος που απαιτεί η τοποθέτηση σε κεκλιμένα στηρίγματα, αλλά μεγαλύτερο από το κόστος των μεθόδων που περιγράφονται στη συνέχεια. Αποτελεί μια καλή λύση, ειδικά σε ανακαινιζόμενα κτίρια, στα οποία δεν είναι δυνατόν να γίνουν μεγάλες αλλαγές στο εξωτερικό του κελύφους.
- **ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ:** Στην περίπτωση αυτή, η εξωτερική επίστρωση του κτιρίου αντικαθίσταται από Φ/Β πλαίσια. Παραδείγματος χάριν, τα Φ/Β στοιχεία τοποθετούνται με τρόπο που το ένα να επικαλύπτει εν μέρει το άλλο, όπως ακριβώς τα κεραμίδια. Το φωτοβολταϊκό κάλυμμα προστατεύει το κτίριο, αλλά δεν είναι πλήρως στεγανό και απαιτούνται μέτρα για τη στεγανοποίησή του.

Το κόστος όμως αυτής της μεθόδου είναι σχετικά χαμηλό, γιατί απαιτεί ελάχιστα πρόσθετα υλικά. Επίσης, η υποκατάσταση ορισμένων δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την εξωτερική κάλυψη του κελύφους του από τα Φ/Β πλαίσια μειώνει το συνολικό κόστος.

- **ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ:** Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην υποκατάσταση ολόκληρων τμημάτων του κτιριακού κελύφους από Φ/Β πλαίσια. Η καλή εφαρμογή αυτής της τεχνικής απαιτεί τη στεγανή σύνδεση των Φ/Β πλαισίων μεταξύ τους.



Εικόνα 4.3.- Στήριξη Φ/Β πλαισίων σε επιφάνειες και στέγες κτηρίων με διαφορετική γωνία κλίσης

Παραδείγματος χάριν, Φ/Β στοιχεία χωρίς μεταλλικό σκελετό τοποθετούνται σε στηρίγματα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη συμβατικών διαφανών οροφών ή προσόψεων. Τα νέα τύπου ημιδιαφανή στοιχεία είναι δυνατόν να τοποθετηθούν στη θέση υαλοπινάκων ή αδιαφανών στοιχείων, παρέχοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών φωτισμού και ηλιοπροστασίας παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ενσωμάτωση των Φ/Β παρέχει δυνατότητες για σημαντική μείωση του κόστους, καθώς εξοικονομείται το κόστος των δομικών στοιχείων του κελύφους τα οποία αντικαθίστανται από τα Φ/Β στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1. Εισαγωγή

Το παρόν Κεφάλαιο ασχολείται με το πρόβλημα τροφοδότησης κατοικίας απομακρυσμένης από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η κατοικία που μελετάμε στεγάζει μια μέση ελληνική οικογένεια στον νομό Αχαΐας, κοντά στην πόλη της Πατρας. Η οικογένεια αυτή αποτελείται από 4 μέλη, δύο ενήλικες και δύο παιδιά. Η κατοικία έχει εμβαδόν 120m² και αποτελείται από 2 ορόφους από 3 υπνοδωμάτια, 1 μπάνιο, κουζίνα και σαλόνι.

Η οικογένεια αποφάσισε να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά για την τροφοδότηση της κατοικίας με ηλεκτρικό ρεύμα διότι αποφάσισαν να επενδύσουν σε μία οικολογική μορφή ενέργειας, προσδοκώντας επίσης και σε οικονομικά οφέλη. Δεδομένης της κατάστασης, όλα τα μέλη της οικογένειας συμφώνησαν να περιορίσουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις ανάγκες τους σε ηλεκτρικό ρεύμα, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όπου η ηλιοφάνεια στην περιοχή είναι περιορισμένη σε σχέση με το καλοκαίρι όπου το σύστημα μας θα λειτουργεί υπό ιδανικές συνθήκες.

5.2. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

Ο σχεδιασμός πάντα ξεκινά με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος λειτουργίας τους στην διάρκεια του 24ώρου.

Συχνά είναι χρήσιμο να καταγράφεται η πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών, ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι σκόπιμο να γίνεται προγραμματισμένη κατανομή και ιεράρχηση της ζήτησης από τις διάφορες συσκευές για την αποφυγή υπερβολικών αιχμών.

Στην περίπτωσή μας, επιλέχθηκαν μοντέρνες οικιακές συσκευές, ενεργειακής κλάσης A, δηλαδή χαμηλότερης ηλεκτρικής κατανάλωσης, έτσι ώστε η οικογένεια να μπορεί να απολαμβάνει όλες τις ανέσεις στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Πίνακας 5.1. - Πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα

| Περιγραφή φορτίου | Αριθμός συσκευών | Ισχύς | Ώρες λειτουργίας | Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση |
|-----------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------------------|
| Ψυγειοκαταψύκτης | 1 | 80W | 12 h | 960 Wh |
| Απορροφητήρας | 1 | 260W | 2 h | 520 Wh |
| Αναδευτήρας χειρός | 1 | 180W | 1,8min | 5.4 Wh |
| Αναδευτήρας καφέ | 1 | 15W | 3min | 0.75 Wh |
| Μπλέντερ moulinex | 1 | 200W | 2.2min | 7.2 Wh |
| Τοστιέρα | 1 | 650W | 15min | 162,5 Wh |
| Καφετιέρα | 1 | 700 W | 20min | 231 Wh |
| Βραστήρας νερού | 1 | 2000 W | 15min | 500 Wh |
| Πλυντήριο ρούχων | 1 | 1200W | 0,5 h | 600 Wh |
| Ατμοσίδερο | 1 | 2000W | 0,5 h | 1000 Wh |
| Ηλεκτρική σκούπα | 1 | 1400W | 0,5 h | 700 Wh |
| Τηλεόραση LCD 32'' | 1 | 80W | 4 h | 320 Wh |
| Στεγνωτήρας μαλλιών | 1 | 1800W | 15min | 450 Wh |
| Laptop | 1 | 50W | 9 h | 450 Wh |
| Εκτυπωτής | 1 | 20W | 1min | 0,048 Wh |
| Στερεοφωνικό | 1 | 100W | 3 h | 300 Wh |
| Φωτισμός (εσωτερικός) | 2 | 15W | 6 h | 180 Wh |
| Φωτισμός (εσωτερικός) | 8 | 18 W | 6 h | 864 Wh |
| Φωτισμός (εξωτερικός) | 3 | 60 W | 3 h | 540 Wh |
| ΣΥΝΟΛΟ | | 11800 W | | 7,7 kWh |

Πίνακας 5.2. - Πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού

| Περιγραφή Φορτίου | Αριθμός συσκευών | Ισχύς | Ώρες λειτουργίας | Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση |
|--------------------------|------------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| Ψυγειοκαταψύκτης | 1 | 80W | 12 h | 960Wh |
| Απορροφητήρας | 1 | 260W | 2 h | 520 Wh |
| Αναδευτήρας χειρός | 1 | 180W | 1.8minh | 5,4 Wh |
| Αναδευτήρας καφέ | 1 | 15W | 3min | 0,75 Wh |
| Μπλέντερ moulinex | 1 | 200W | 2.2min | 7,2 Wh |
| Τοστιέρα | 1 | 650W | 15min | 162,5 Wh |
| Βραστήρας νερού | 1 | 2000W | 5min | 166 Wh |
| Πλυντήριο ρούχων | 1 | 1200W | 0,5 h | 600 Wh |
| Ατμοσίδερο | 1 | 2000W | 0,5 h | 1000 Wh |
| Ηλεκτρική σκούπα | 1 | 1400W | 0,5 h | 700 Wh |
| Τηλεόραση LCD 32'' | 1 | 80W | 4 h | 320 Wh |
| Στεγνωτήρας μαλλιών | 1 | 1800W | 15min | 450 Wh |
| Laptop | 1 | 50W | 9 h | 450 Wh |
| Εκτυπωτής | 1 | 20W | 1min | 0.048 Wh |
| Σtereοφωνικό | 1 | 100W | 3 h | 300 Wh |
| Φωτισμός (εσωτερικός) | 2 | 15W | 6 h | 180 Wh |
| Φωτισμός (εσωτερικός) | 8 | 18W | 6 h | 864 Wh |
| Φωτισμός (εξωτερικός) | 3 | 60W | 3 h | 540 Wh |
| Ανεμιστήρας | 3 | 60W | 3 h | 540 Wh |
| Κλιματιστικό (12000 Btu) | 2 | 1500W | 3 h | 12000 Wh |
| Σύνολο | | 14200W | | 16,8 kWh |

Για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης κρίνεται αναγκαία η αποφυγή ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη

θερμική κατανάλωση. Τέτοιες συσκευές αποτελούν οι ηλεκτρικές κουζίνες, τα ηλεκτρικά καλοριφέρ, τα αερόθερμα, οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, οι σταθεροί υπολογιστές (τύπου desktop) κ.ά. και μπορούν να αντικατασταθούν από κουζίνες και θερμάστρες υγραερίου, ηλιακούς θερμοσίφωνες και φορητούς υπολογιστές (laptop) καθώς και θέρμανση δαπέδου.

Στους πίνακες που ακολουθούν καταχωρήσαμε τα στοιχεία ημερήσιας κατανάλωσης κατά την διάρκεια των χειμερινών και των θερινών μηνών.

Όπως προέκυψε από τα παραπάνω δεδομένα, η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών είναι 7,7 kWh και κατά την διάρκεια των θερινών ημερών είναι 16,8 kWh, με χρήση κλιματιστικού.

Ωστόσο, ποτέ δεν μπορούμε να είμαστε πλήρως ακριβείς στις προβλέψεις μας επειδή είναι πολύ πιθανό να προκύψουν και πρόσθετες ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως η φόρτιση ενός κινητού τηλεφώνου, η χρήση κάποιας μικροσυσκευής ή ακόμη και η κατανάλωση ενέργειας από κάποια συσκευή που βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής.

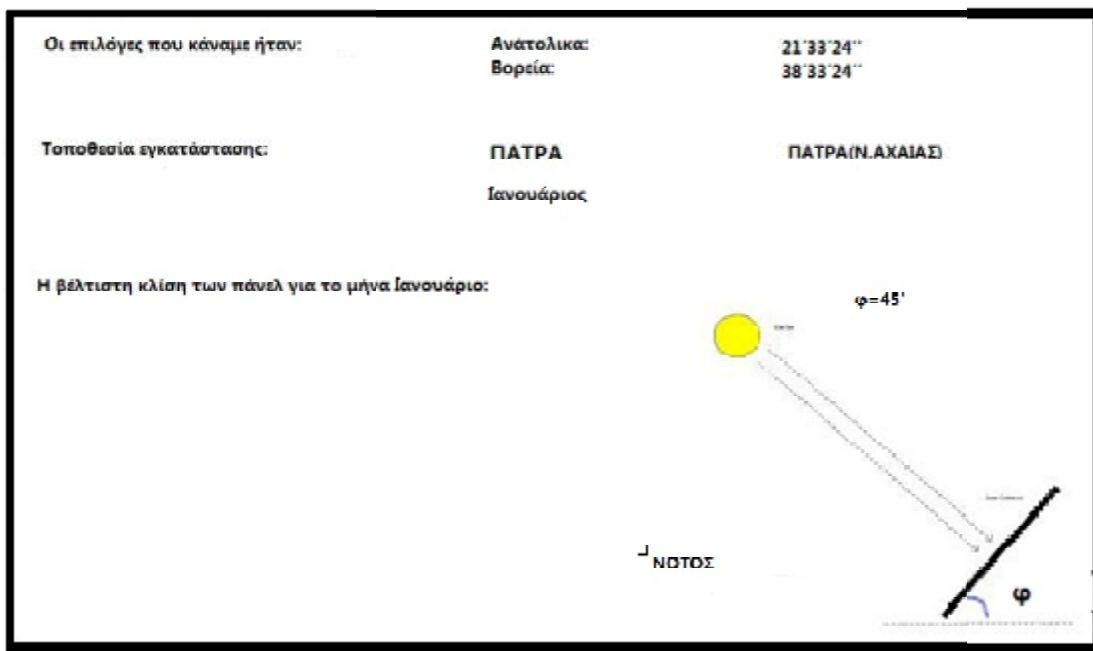
Έτσι, κρίνεται απαραίτητο να συνεχίσουμε τη μελέτη μας θεωρώντας ότι η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι 8 kWh, για τους χειμερινούς και για τους θερινούς μήνες, απουσία κλιματιστικού και 16,8 kWh για τους θερινούς μήνες, παρουσία κλιματιστικού.

Άρα:

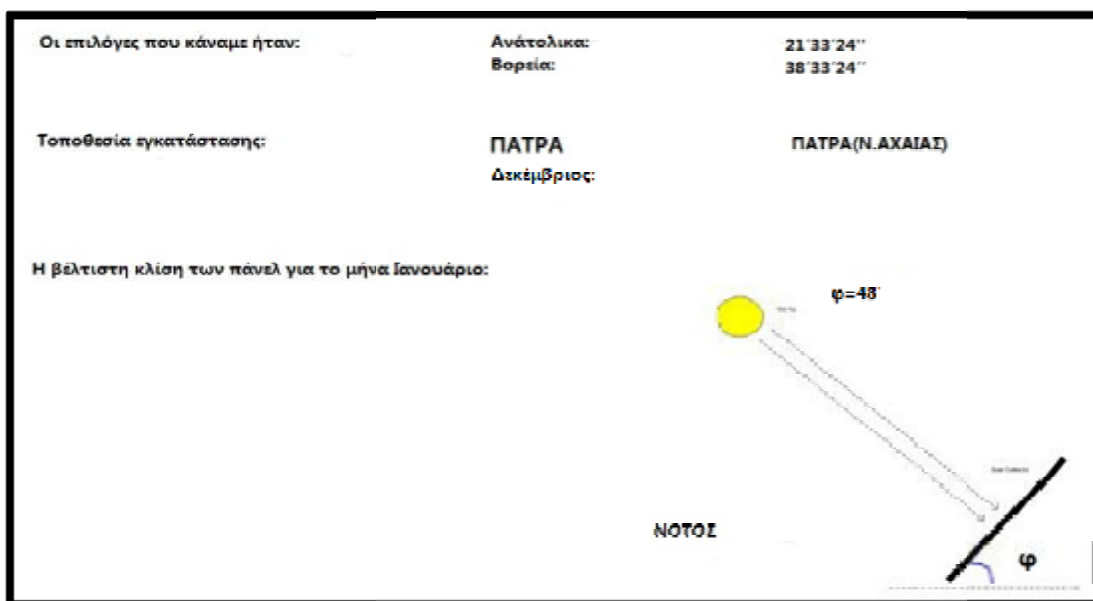
- Μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (χωρίς κλιματιστικό): 8 kWh
- Μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (με κλιματιστικό): 17 kWh

5.3. Η χρονική περίοδος

Είναι προφανές ότι το σύστημα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα καθόλη τη διάρκεια του έτους, αφού η αγροικία που μελετάμε είναι η μόνιμη κατοικία της οικογένειας. Συνεπώς, τα μεγέθη του φωτοβολταϊκού συστήματος (μέγεθος συλλεκτών, συσσωρευτών και λοιπών διατάξεων) πρέπει να προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, Δεκέμβριος ή Ιανουάριος, ανάλογα με την κλίση των συλλεκτών που θα επιλέξουμε.



Εικόνα 5.1.- Βέλτιστη κλίση πάνελ για το μήνα Ιανουάριο



Εικόνα 5.2.- Βέλτιστη κλίση πάνελ για το μήνα Δεκέμβριο

5.4. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

5.4.1. Η κλίση συλλεκτών

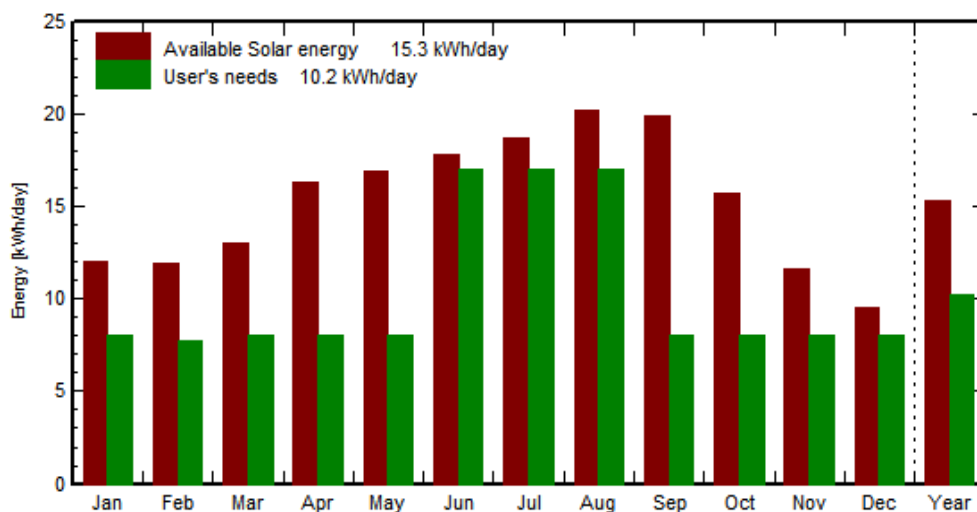
Η ηλιακή ακτινοβολία που θα δεχθεί μια επιφάνεια εξαρτάται από την κλίση και τον προσανατολισμό της. Για μια επιφάνεια σε έναν συγκεκριμένο τόπο, η αύξηση της κλίσης της έχει σαν αποτέλεσμα να δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τον χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι, είναι σύνηθες σε ηλιακές εφαρμογές που απαιτείται να γίνει χρήση της ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες τον χειμώνα, η κλίση τους να είναι μεγάλη ενώ αν οι συλλέκτες χρησιμοποιούνται το καλοκαίρι η κλίση τους να είναι μικρή.

Το μέρος που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα, όπως ήδη αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι στην περιοχή της Πάτρας. Δηλαδή πρόκειται για τόπο γεωγραφικού πλάτους 38°.

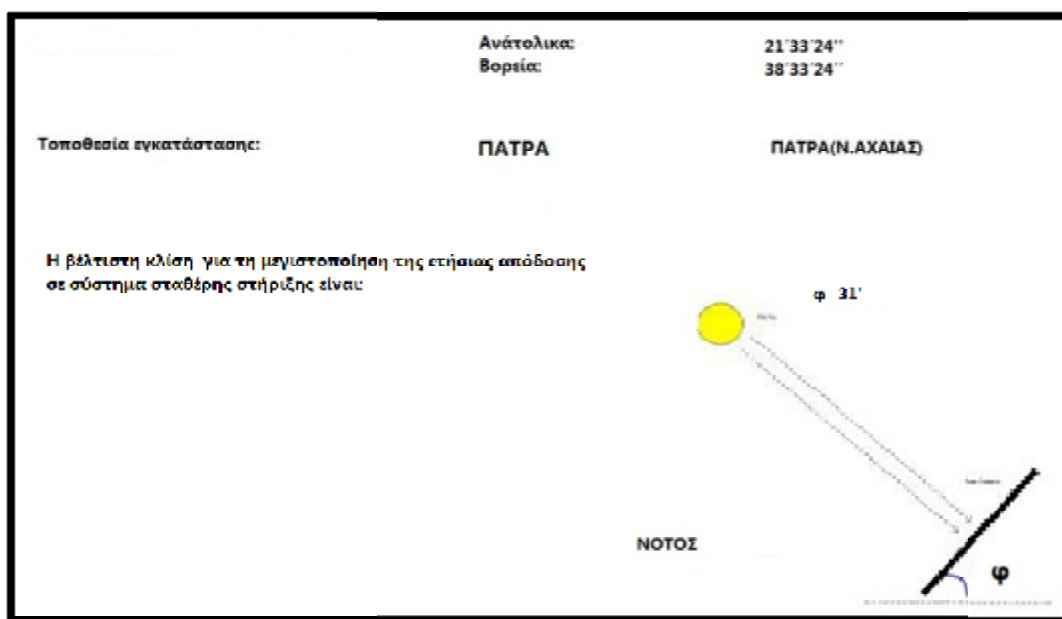
| | |
|-------------------------|--------------|
| Τοποθεσία εγκατάστασης | Πάτρα |
| Συντεταγμένες Ανατολικά | 21° 33' 24'' |
| Συντεταγμένες Βόρεια | 38° 33' 24'' |

| | Ηλιακή ενέργεια | Παραγωγή | Ζήτηση | Πλεόνασμα |
|---------------|--------------------|---------------|-------------|---------------|
| | kWh/m ² | kWh | kWh | kWh |
| Ιανουάριος | 3.7 | 374,5 | 248 | 126,5 |
| Φεβρουάριος | 3.6 | 347,4 | 224 | 123,4 |
| Μάρτιος | 3.9 | 404,9 | 248 | 156,9 |
| Απρίλιος | 4.8 | 490 | 240 | 250 |
| Μάιος | 5.0 | 523,8 | 248 | 275,8 |
| Ιούνιος | 5.3 | 533,5 | 510 | 23,5 |
| Ιούλιος | 5.5 | 580,9 | 527 | 53,9 |
| Αύγουστος | 6.0 | 627,3 | 527 | 100,3 |
| Σεπτέμβριος | 5.9 | 596,7 | 240 | 356,7 |
| Οκτώβριος | 4.6 | 486,6 | 248 | 238,6 |
| Νοέμβριος | 3.4 | 349,1 | 240 | 109,1 |
| Δεκέμβριος | 2.8 | 296,2 | 248 | 48,2 |
| Ετήσιο | 4.5 | 5610,9 | 3748 | 1862,9 |

Πίνακας 2.3 - Πρόβλεψη μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 5.4 - Πρόβλεψη μηνιαίας και μέσης παραγωγής και καταναλώσης ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 5.3. - Υπολογισμός βέλτιστης κλίσης φωτοβολταϊκών πάνελ για όλο το έτος

5.4.2. Η τάση του συστήματος

Η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να ισούται με την τάση των συσσωρευτών, καθώς και με την τάση εισόδου του μετατροπέα. Συνήθως, προτιμούμε τάση 12V, 24V ή 48V. Όσο υψηλότερη τάση χρησιμοποιούμε στο σύστημα τόσο μικρότερο ρεύμα απαιτείται, που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση των

απωλειών στα καλώδια. Ωστόσο, για να έχουμε υψηλή τάση θα πρέπει να συνδέσουμε μεγάλο πλήθος συσσωρευτών σε σειρά και κάτι τέτοιο αυξάνει υπερβολικά το κόστος εγκατάστασης. Για αυτούς τους λόγους πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ως προς την επιλογή της τάσης του συστήματος.

Στην παρούσα μελέτη, αποφασίστηκε να εγκαταστήσουμε inverter τάσης εισόδου 24V και, συνεπώς, η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών θα είναι και αυτή 24V.

5.4.3. Η επιλογή, το πλήθος και η οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί είναι διάφοροι και έχουν ιδιαίτερη βαρύτητα από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Υπάρχουν πολλοί που δίνουν μεγάλη σημασία στην χώρα προέλευσης και κατασκευής του πλαισίου και δει στο να προέρχεται από την Ευρώπη. Μεγάλες Γερμανικές εταιρίες έχουν εμπειρία στον τομέα που πολλές φορές ξεπερνά το 30 χρόνια, με αποτέλεσμα να θεωρούνται πρωτοπόροι στον ευαίσθητο αυτό τομέα. Αυξανόμενη επίσης ζήτηση παρουσιάζουν και άλλες εταιρίες Ισπανικής και Γαλλικής προέλευσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια δραστηριοποιούνται και κάποιες Ελληνικές εταιρίες στο χώρο, παράγοντας ποιοτικά φωτοβολταϊκά πλαίσια σε ανταγωνιστικές τιμές. Δεν θα μπορούσαν να λείπουν από την αγορά τα Ασιατικά προϊόντα, τα οποία ως συνήθως παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην ποιότητα.

Μεγάλες και εγνωσμένες εταιρίες παράγουν ποιοτικό και εγγυημένο εξοπλισμό, ενώ υπάρχουν και οι χαμηλού κόστους παραγωγοί που στηρίζονται στις ιδιαίτερες ανταγωνιστικές τιμές τους, πράγμα το οποίο πολλές φορές αντικατοπτρίζεται στην ποιότητα των υλικών τους σε βάθος χρόνου.

Γενικότερα, το φάσμα τιμών των πλαισίων είναι μεγάλο: ενδεικτικά, μπορούμε να βρούμε στην αγορά πάνελ που ξεκινούν από 1,4€Watt και φτάνουν ακόμα και στα 2,5€Watt. Καθοριστικό ρόλο στην τιμή παίζει ο βαθμός απόδοσης του πλαισίου που ουσιαστικά συμβολίζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα τυπικό μέγεθος είναι της τάξεως του 12 – 13,5%, παρόλα αυτά υπάρχουν και πάνελ που μπορεί να ξεπεράσουν ακόμα και το 17%, το οποίο φυσικά έχει και άμεσο αντίκτυπο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου, αφού για τους περισσότερους ο χώρος είναι πολυτέλεια.

Για ένα οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα η επιφάνεια ταράτσας που απαιτείται κυμαίνεται στα 140–150m² λαμβάνοντας υπ' όψη και την ύπαρξη ηλιακού θερμοσίφωνα. Η επιφάνεια αυτή δεν είναι διαθέσιμη συνήθως και

υπάρχει η ανάγκη για μείωση του όγκου και της επιφάνειας της εγκατάστασης. Συνήθως, μια τυπική εγκατάσταση καλύπτει περίπου 130 έως 140 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ταράτσας.

Παρ' όλα αυτά υπάρχουν φωτοβολταϊκά πλαίσια που μπορούν να επιτύχουν πολύ καλύτερη σχέση επιφάνειας-ισχύος που μπορεί να κυμανθεί ακόμα και στα 170 με 185 Watt/m², μειώνοντας έτσι δραστικά την απαιτούμενη επιφάνεια.

Ιδιαίτερη βαρύτητα θα πρέπει να δίνεται στην παροχή ολοκληρωμένης εγγύησης και δωρεάν αντικατάστασης σε περίπτωση βλάβης για τουλάχιστον πέντε έτη από την ημερομηνία παράδοσης αλλά και στις επιμέρους εγγυήσεις που παρέχονται από τους κατασκευαστές.

Τυπικά, οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται ότι η απόδοση των πλαισίων δεν θα φθίνει κάτω από το 90% της αρχικής μέχρι την πρώτη 10ετία, και ομοίως για το 80% στην 25ετία.

Υπάρχουν πλαίσια σε διάφορα μεγέθη που κυμαίνονται από 5 W_p έως 280+ W_p. Η επιλογή πλαισίων μικρού μεγέθους αντιμετωπίζει καλύτερα μεν τις πιθανές σκιάσεις - νεφώσεις που θα υπάρξουν αλλά αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης καθώς και οι απώλειες μέσω των καλωδιώσεων για τη διασύνδεσή τους.

Εάν η τοποθεσία δεν έχει κάποιες ιδιομορφίες, τότε προτείνεται μια επιλογή μεσαίου μεγέθους.

Διαλέξαμε από 9 κατασκευαστές ,πλαίσια ιδίου μεγέθους ώστε να έχουμε μια προσεγγιστική σύγκριση ανάμεσά τους. Όμως έχουμε μικρές διαφορές στα μεγέθη και σωστά συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε μόνο από το λόγο τιμής προς απόδοση επί μέγεθος .

$$\text{Βέλτιστη επιλογή} = \frac{\text{Τιμή πλαισίου}}{\text{Απόδοση} \cdot \text{Μέγεθος}}$$

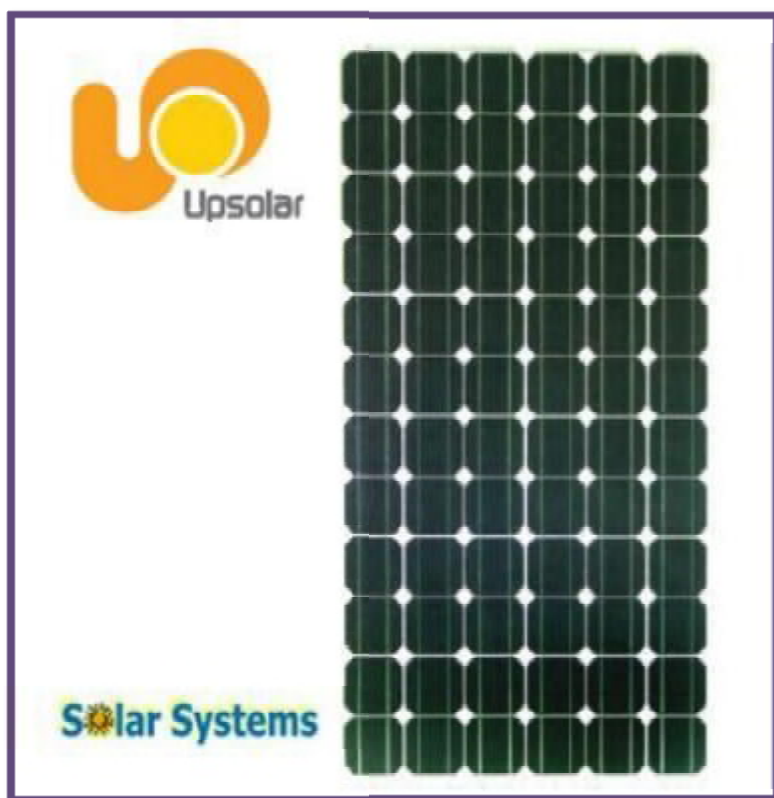
(5.1)

Πίνακας 5.6. - Κατασκευαστές και τεχνικά χαρακτηριστικά

| Κατασκευαστής Μοντέλο | Μέγεθος (Wp) | Τιμή (Euro) | Απόδοση | Τιμή / (Μέγεθος *Απόδοση) |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|--|
| SharpNTR5E3E | 175 | 385 | 0,135 | 16,30 |
| BS LBSL-SE16-175M | 175 | 379 | 0,12 | 18,05 |
| BP solar BP Solar 4160 | 165 | 363 | 0,132 | 16,67 |
| Kyocera KC135GHT | 135 | 379 | 0,16 | 17,55 |
| Conergy C185-M | 185 | 399 | 0,14 | 15,41 |
| Mitsubishi MF180 PVT4 | 180 | 396 | 0,124 | 17,74 |
| SCHOTT EFG 175 wp | 175 | 385 | 0,134 | 16,42 |
| Solar World SW 185 | 185 | 389 | 0,13 | 16,17 |
| UPSOLAR UP- M180P | 180 | 322 | 0,122 | 14,66 |

Η καλύτερη επιλογή είναι αυτή με το μικρότερο λόγο τιμής προς μέγεθος επί απόδοση .Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι η πιο συμφέρουσα τιμή από τα παραπάνω μοντέλα είναι της εταιρίας UPSOLAR με το μοντέλο UP-M180P.

Η UPSOLAR κατέχει πιστοποιήσεις μεγάλων φορέων και παρέχει εγγυήσεις για 90% και 80% απόδοση σε 10 και 25 χρόνια αντίστοιχα.



Εικόνα 5.4. – Upsolar M180P

Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που επιλέξαμε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.7. - Χαρακτηριστικά Μοντέλου Upsolar M180P

| | |
|---------------------------------------|--------------------|
| Τύπος κυψελών | Πολυκρυσταλλικό |
| Ονομαστική ισχύς (P_{max}) | 180 W _p |
| Μέγιστη τάση ισχύος (V_{mpp}) | 24,5V |
| Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) | 32,5V |
| Μέγιστο ρεύμα ισχύος (I_{mp}) | 7,35 A |
| Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) | 7,80 A |
| Απόδοση κυψέλης | 12,2% |

Επειδή η τάση των πλαισίων συμπίπτει με την επιθυμητή τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (24V) δε θα χρειαστεί να συνδέσουμε καθόλου

πλαίσια σε σειρά. Πρέπει, όμως, να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαισίων που θα συνδέσουμε παράλληλα.

Περίπτωση Α: (Χειμώνας)

Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων (παράλληλης σύνδεσης) που θα χρειαστούμε δίνεται από: (5.2)

$$\frac{8kwh(\text{ημερήσια κατανάλωση})}{6h(\text{απόδοση ήλιου})} * 4(\text{ήμερες αυτονομίας}) = 5,33kw$$

$$\frac{5,3}{180} = 29,4 \cong 30$$

Άρα θα χρειαστούμε 30 panels.

Τελικά, η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα δίνει τάση 24V και θα παράγει ισχύ $30 \times 180W = 5400W = 5,4kW$ (5.3)

Περίπτωση Β: (Καλοκαίρι)

Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα χρειαστούμε δίνεται από: (5,4)

$$\frac{17kwh(\text{ημερήσια κατανάλωση})}{6h(\text{απόδοση ήλιου})} * 2(\text{ήμερες αυτονομίας}) = 5,66kw$$

$$\frac{5,66}{180} = 31,4 \cong 32$$

Άρα θα χρειαστούμε 32 panels.

Επομένως, η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα δίνει τάση 24V και θα παράγει ισχύ $32 \times 180W = 5760W = 5,76kW$ (5.5)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν υπάρχει κανένας λόγος να εγκαταστήσουμε πλαίσια με κλίση 45° , παρόλο που αρχικά αυτή η κλίση φαινόταν να αποτελεί την βέλτιστη λύση για την οικία που μελετάμε.

Όπως προέκυψε από τους παραπάνω υπολογισμούς, το οικονομικό όφελος στην περίπτωση που θα τοποθετούσαμε ηλιακούς συλλέκτες κλίσης 45° ανέρχεται σε μόλις 2 φωτοβολταϊκά πλαίσια, το οποίο, όμως, αμέσως αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η οικογένεια δεν θα δύναται να τοποθετήσει κλιματιστικά χώρου.

Συνεπώς, θα συνεχίσουμε τη μελέτη μας θεωρώντας πως θα τοποθετήσουμε 32 φωτοβολταϊκά πλαίσια (παράλληλα συνδεδεμένα) με κλίση 30° και πως το χειμερινό από το θερινό φορτίο διαφέρουν.

Επειδή ο αριθμός των πλαισίων που θα εγκαταστήσουμε είναι μεγάλος, κρίνεται αναγκαίο να οργανώσουμε τα πλαίσια σε ομάδες. Αυτό θα διευκολύνει,

στην συνέχεια, την μελέτη μας σε ότι αφορά την επιλογή των αντιστροφών καθώς και των ρυθμιστών τάσεως. Έτσι, θα φτιάξουμε 3 ομάδες που θα αποτελούνται από 6 πλαίσια η κάθε μία και άλλες 2 ομάδες αποτελούμενες από 7 πλαίσια έκαστη.

5.5. Οι συσσωρευτές

Με γνώμονα τα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευαστές, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε συσσωρευτές Rolls διότι υπερέχουν έναντι πολλών άλλων συσσωρευτών. Πιο συγκεκριμένα, έχουν μεγάλο βάθος εκφόρτισης, έως και 80%, και επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής, πάνω από 10 έτη.

Πίνακας 5.8. - Χαρακτηριστικά συσσωρευτή Rolls

| Τύπος | Σειρά | Μήκος | Πλάτος | Ύψος | Volt | Χωρητικότητα (Ah)- C20 | Βάρος με ηλεκτρολύτη |
|--------|-------|-------|--------|------|------|------------------------|----------------------|
| T12250 | 4000 | 391 | 178 | 365 | 12 | 200 | 57,50 kg |



Εικόνα 5.5. - Συσσωρευτές Rolls

Δεδομένου ότι επιλέξαμε ως τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών τα 24V θα πρέπει να συνδέσουμε 2 συσσωρευτές σε σειρά, για κάθε κλάδο συσσωρευτών, αφού η ονομαστική τάση των συσσωρευτών Rolls είναι 12V. Συνεπώς, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών είναι $\beta=80\%$, ο συντελεστής απόδοσής τους είναι $\alpha=85\%$ και η τάση τους 24V.

Επιπλέον, επειδή πρόκειται για σύστημα που θα λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τις πιθανές διαδοχικές ημέρες συννεφιάς καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Μια αρκετά καλή προσέγγιση είναι να σχεδιάσουμε το σύστημά μας ώστε να παρέχει ενέργεια στην αγροικία έως και 4 διαδοχικές ημέρες συννεφιάς, κατά τους χειμερινούς μήνες. Τότε, η

ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών E(kWh) πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

$$E = 4days * \frac{8kWh}{day} = 32 kWh \quad (5.6)$$

Σε περίπτωση, που τα θερινά από τα χειμερινά φορτία διαφέρουν, όπως μελετάμε στην περίπτωση B, τότε πρέπει να προβλέψουμε και μια αυτονομία του συστήματος για τους καλοκαιρινούς μήνες.

Είναι σίγουρα υπερβολικό να θεωρήσουμε ότι υπάρχει ενδεχόμενο να έχουμε 4 ημέρες συνεφιάς κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Οπότε, θέλουμε το σύστημά μας να παρέχει μια αυτονομία 2 ημερών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τότε, η ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών πρέπει να ισούται με:

$$E = 2day * \frac{17 kWh}{day} = 34 kWh \geq 32 kWh \quad (5.7)$$

Τελικά, το σύστημά μας θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να δύναται να παρέχει ενέργεια ίση με 34 kWh, σε περίπτωση διαδοχικών ημερών συνεφιάς, γεγονός που καλύπτει τόσο τους χειμερινούς όσο και τους θερινούς μήνες. Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει να είναι:

$$C_N = \frac{E}{a*\beta*V} = \frac{34 kWh}{0,85*0,8*24V} = 2004 Ah \quad (5.8)$$

Άρα, είναι προφανές ότι θα χρειαστούμε $\frac{2004Ah}{200 Ah} = 10$ δηλαδή 10 παράλληλους κλάδους συσσωρευτών, καθένας από τους οποίους θα αποτελείται από 2 εν σειρά συνδεδεμένους συσσωρευτές. Δηλαδή, συνολικά, η συστοιχία των συσσωρευτών θα αποτελείται από 20 μπαταρίες, ονομαστικής χωρητικότητας:

$$10 \times 200Ah = 2000Ah$$

που είναι ελαφρώς μικρότερη από τη ζητούμενη. Αυτό όμως δεν μας ενοχλεί διότι αφενός η απώλεια σε αμπερώρια είναι πολύ μικρή και αφετέρου δεν θέλουμε να αυξήσουμε το κόστος της εγκατάστασης τοποθετώντας επιπλέον συσσωρευτές.



5.6. Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και τη διακόπτει όταν διαπιστωθεί ότι η μπαταρία έχει φορτισθεί πλήρως.

Εάν η φόρτιση συνεχιστεί ελλοχεύει ο κίνδυνος καταστροφής των συσσωρευτών. Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να εκφορτίζονται σταδιακά, ακόμη και όταν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή (αυτοεκφόρτιση), ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να ξαναρχίσει αυτόματα η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστωθεί ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο πλήρους φόρτισης.

Στην παρούσα μελέτη, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα οργανωθούν σε 5 ομάδες, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι απαιτούνται 5 ρυθμιστές φόρτισης για τη σωστή λειτουργία της συστοιχίας των συσσωρευτών.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που επιλέξαμε παράγουν ισχύ $180 W_p$ και σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής το ρεύμα και η τάση τους είναι $7,35$ και $24,5V$, αντίστοιχα.

Ο τύπος των ρυθμιστών φόρτισης που θα τοποθετήσουμε στο σύστημά μας εξαρτάται κυρίως από την τάση και το ρεύμα που παράγει η κάθε ομάδα φωτοβολταϊκών πλαισίων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πλαίσια θα οργανωθούν σε 3 ομάδες των 6 πάνελ, που θα παράγουν ρεύμα εντάσεως:

$$7,35A \times 6 = 44,1 A$$

και τάση $24,5V$ η κάθε μία και σε 2 ομάδες των 7 πάνελ που θα παράγουν ρεύμα εντάσεως $7,35A \times 7 = 51,45 A$ και τάση $24,5V$ η κάθε μία.

Συνεπώς, μια καλή επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε ρυθμιστές φόρτισης τύπου Xantrex C60. Τα χαρακτηριστικά τους καταγράφονται αναλυτικά στο παράρτημα.



Εικόνα 5.5.1. - Ρυθμιστής φόρτισης Xantrex C60

5.7. Επιλογή Inverter

Ο inverter είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έτσι, από τους συσσωρευτές του συστήματος μπορούμε να τροφοδοτήσουμε όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 220V. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων αυτών των συσκευών που λειτουργούν συγχρόνως να μην ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ του μετατροπέα.

Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας κλείνει αν από λάθος συνδεθεί μια συσκευή μεγαλύτερης ισχύος από αυτήν που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, τις ηλεκτρικές συσκευές. Το ίδιο γίνεται και σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι οι μπαταρίες του συστήματος τείνουν να αδειάσουν.

Επειδή τα φορτία της αγροικίας είναι πολυάριθμα και τα συνολικά τους κιλοβάτ πολλά, είναι βολικό να τα μοιράσουμε σε δύο ομάδες και καθεμία να ελέγχεται από τον αντίστοιχο μετατροπέα. Αν δεν κάνουμε κάτι τέτοιο, τότε θα αναγκαστούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν μετατροπέα πολύ μεγάλης ισχύος, για τον οποίο θα πρέπει να ξοδέψουμε πολλά χρήματα κι επίσης να περιορίσουμε τις ανέσεις της οικογένειας.

Η απόφασή μας να εγκαταστήσουμε δύο inverter έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα..Σε περίπτωση βλάβης σε μια από τις δύο συσκευές, η παροχή ρεύματος στην κατοικία δεν θα χρειαστεί να σταματήσει εντελώς, αφού η δεύτερη συσκευή μπορεί να λειτουργεί κανονικά. Σίγουρα, οι ηλεκτρικές καταναλώσεις θα πρέπει να περιοριστούν. Ωστόσο, θα μπορούμε να καλύψουμε τις βασικές ανάγκες της οικογένειας μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη στο σύστημα.

Σε αυτό, λοιπόν, το σημείο κρίνεται αναγκαίο να γίνει ένας διαχωρισμός των φορτίων της κατοικίας και μια εκτίμηση των συσκευών που πιθανότατα θα χρειαστεί να λειτουργήσουν ταυτόχρονα σε καθεμία από τις δύο ομάδες συσκευών. Στον Πίνακα 5.10 φαίνεται ξεκάθαρα ο διαχωρισμός των φορτίων:

Πίνακας 5.10. - Ομάδες ηλεκτρικών καταναλώσεων

| ΟΜΑΔΑ Α | | ΟΜΑΔΑ Β | |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Συσκευή | Κατανάλωση | Συσκευή | Κατανάλωση |
| Ψυγειοκαταψύκτης | 80W | Καφετιέρα | 700W |
| Απορροφητήρας | 260W | Πλυντήριο ρούχων | 1200W |
| Τοστιέρα | 650W | Ατμοσίδερο | 2000W |
| Αναδευτήρας χειρός | 180W | Ηλεκτρική σκούπα | 1400W |
| Μπλέντερ moulinex | 200W | Στεγνωτήρας μαλλιών | 1800W |
| Βραστήρας νερού | 2000W | Τηλεόραση | 80W |
| Αναδευτήρας καφέ | 15W | Laptop | 50W |
| Ανεμιστήρας | 2×60W | Εκτυπωτής | 20W |
| Φώτα εσωτερικού χώρου | 2×15W | Ανεμιστήρας | 60W |
| | 8×18W | Φώτα εξωτερικού χώρου | 3×60W |
| Κλιματιστικό | 1500W | Κλιματιστικό | 1500W |

Λόγω ετεροχρονισμού των ηλεκτρικών καταναλώσεων, δεν υπάρχει περίπτωση να λειτουργήσουν όλες οι συσκευές ταυτόχρονα.

Χονδρικά, εκτιμάται ότι καμιά από τις δύο ομάδες φορτίων δεν θα ξεπεράσει τα 3500W (ταυτόχρονα).

Για παράδειγμα, όσον αφορά την ομάδα Α θα ενημερώσουμε την οικογένεια ότι ο ψυγειοκαταψύκτης, ο απορροφητήρας, ο αναδευτήρας χειρός, τα φώτα εξωτερικού χώρου και οι ανεμιστήρες μπορούν να λειτουργήσουν συγχρόνως με μια εκ των υπολοίπων συσκευών, δηλαδή το κλιματιστικό, την τοστιέρα, τον βραστήρα νερού κ.λπ.

Παρομοίως για την ομάδα Β, η καφετιέρα, η τηλεόραση, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο εκτυπωτής, τα φώτα και οι ανεμιστήρες θα λειτουργούν ταυτόχρονα με μία από τις συσκευές μεγάλης ισχύος της ομάδας.

Οι inverters διακρίνονται σε inverters τροποποιημένου ημίτονου (modifiedsine-wave) και σε inverters καθαρού ημίτονου (pure/truesine-wave).

Ένας μετατροπέας με τροποποιημένο ημίτονο, είναι φθηνότερος από έναν με καθαρό ημίτονο και είναι κατάλληλος για τις περισσότερες συσκευές.

Καταναλώνει όμως έως και 20% περισσότερη ενέργεια από τη μπαταρία σε σχέση με έναν μετατροπέα καθαρού ημίτονου.

Επίσης, σε τηλεοράσεις και ηχοσυστήματα μέτριας ποιότητας θα ακούγεται ένα ελαφρύ βουητό. Από την άλλη μεριά, το μοναδικό μειονέκτημα που έχουν οι inverters καθαρού ημίτονου είναι η τιμή τους, αφού είναι τρεις έως τέσσερις φορές ακριβότεροι από έναν αντίστοιχο με τροποποιημένο ημίτονο.

Αν έχουμε ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές, καλό είναι να χρησιμοποιούμε για αυτές inverter με καθαρό ημίτονο.

Πίνακας5.11. –Μοντέλα Inverters

| Μοντέλο | Ισχύςεξόδου(25 °C) | Απόδοση | Τιμή (€) |
|--------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|
| Xtender5000-24 | 4500 VA | 94% | 2895 |
| Studer HPC 4400-24 | 4000 VA | 94% | 2659 |
| STUDER XTH 5000-24 | 4000 VA | 94% | 3099 |
| Phoenix Inverter 5000-24 | 4500 VA | 94% | 2480 |

Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι ο Phoenix είναι η καλύτερη επιλογή.

Έτσι 2 τεμάχια του μετατροπέα Phoenix24/5000 θα χρησιμοποιηθούν με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 5.12.

Πίνακας 5.12. – Χαρακτηριστικά Μετατροπέα PhoenixInverter 24/5000

| | |
|-------------------------|----------------|
| Στοιχεία εισόδου | |
| Τάση εισόδου | 24V (19 – 33V) |
| Στοιχεία εξόδου | |
| Τάση εξόδου | 230V(AC) |
| Ισχύς εξόδου 25°C(VA) | 5000VA |
| Ισχύς εξόδου 25°C(W) | 4500W |
| Ισχύς εξόδου 40°C (w) | 4000W |
| Μεγίστη ισχύς (W) | 10000W |
| Απόδοση | 94% |



Εικόνα 5.6. – Μετατροπέας Phoenix Inverter 24/5000

5.8. Έλεγχος συμβατότητας φωτοβολταϊκής συστοιχίας και μετατροπέα

Προκειμένου να είμαστε σίγουροι για την συμβατότητα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του μετατροπέα ελέγχουμε αν:

- Η μέγιστη τάση που μπορεί να εμφανιστεί στα άκρα της συστοιχίας βρίσκεται εντός των ορίων τάσης στα οποία ο inverter μπορεί να ψάξει το σημείο μέγιστης ισχύος MPP:

$$\text{Πράγματι: } 19\text{V} < 24,5\text{V} < 33\text{V} \quad (5.9)$$

- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος της συστοιχίας, που ισούται με την τάση ανοιχτού κυκλώματος του κάθε παράλληλου κλάδου, είναι μικρότερη από την τάση εισόδου του μετατροπέα:

$$\text{Όντως: } V_{oc} = 32,5\text{V} < 33\text{V} \quad (5.10)$$

- Ο αριθμός των εν σειρά συνδεδεμένων πλαισίων είναι μικρότερος ή ίσος από το λόγο:

$$\frac{V_{\text{max inveter}}}{V_{oc \text{ πλαισίου}}} = \frac{33}{32,5} = 1,01 \quad (5.11)$$

Πράγματι, κάθε κλάδος της συστοιχίας αποτελείται από μόνο 1 πλαίσιο επομένως δεν υπάρχει πρόβλημα.

- Αν ο συνολικός αριθμός των παράλληλων αλυσίδων ισούται με τον λόγο:

$$\frac{\text{Συνολικός αριθμός πλαισίων}}{\text{Μεγιστος αριθμός πλαισίων αλυσίδας}} = \frac{32}{1} = 32 \quad (5.12)$$

που όντως ισούται.

5.9. Υπολογισμός της έκτασης των φωτοβολταϊκών πανέλων

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των φωτοβολταϊκών πανέλων μόνων τους ή σε συστοιχίες, γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους, σε γήπεδα πλαγιές λόφων ή σε άλλους ελεύθερους χώρους με τρόπο που να μην σκιάζονται από τα γύρω δέντρα, κτίρια, βουνά κλπ.

Κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο πρέπει να έχει ανοιχτό ορίζοντα. Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος π° , η προϋπόθεση του ανοιχτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β_ϵ) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων, ικανοποιεί μέσα σε μ αζιμούθια γωνία από -60° μέχρι και $+60^\circ$ προς τον Νότο, την σχέση:

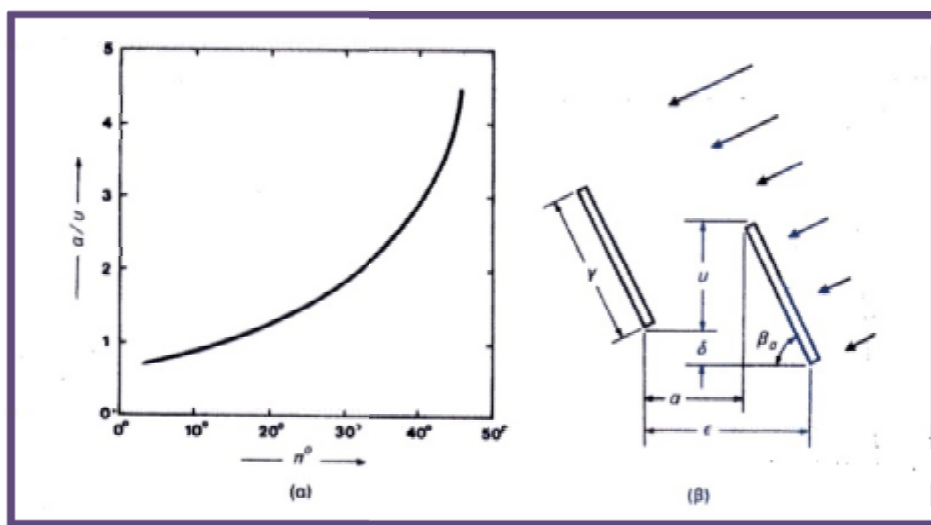
$$\beta_\epsilon \leq 48^\circ - \pi^\circ \quad (5.13)$$

Στην περίπτωση που μελετάμε, το γεωγραφικό πλάτος ισούται με 38° και συνεπώς:

$$\beta_\epsilon \leq 48^\circ - 38^\circ \rightarrow \beta_\epsilon \leq 10^\circ \quad (5.14)$$

δηλαδή η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις 10° .

Το διάγραμμα του σχήματος που ακολουθεί, μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, ώστε η μια σειρά να μην σκιάζει αισθητά την επόμενη.



Σχήμα 5.12.- α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης a ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας, προς την επικάλυψη του ύψους του u , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου π° ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. β) η έννοια των μηκών a , γ , δ και ϵ , και της γωνίας της κλίσης β_σ για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες

Ειδικότερα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές (α) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη (u).

5.10. Επιλογή βοηθητικής ηλεκτρικής παραγωγής

Συνήθως, το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής, για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη του συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συνεφιάς κ.λπ.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται γεννήτριες ντίζελ. Ο λόγος που προτιμούμε αυτές τις γεννήτριες είναι ότι λειτουργούν με πετρέλαιο, στο οποίο όλοι έχουμε πρόσβαση ανά πάσα στιγμή.

Το μέγεθος της γεννήτριας εξαρτάται από τις ανάγκες που θέλουμε να ικανοποιήσουμε σε περίπτωση που η παροχή ρεύματος από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια διακοπεί. Είναι αυτονόητο, βέβαια, πως σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο η οικογένεια θα περιορίσει τα ηλεκτρικά φορτία αφού η γεννήτρια μπορεί να

παρέχει πολύ μικρότερη ισχύ από αυτήν που η οικογένεια καταναλώνει σε καθημερινή βάση.

Ως εκ τούτου, συμβουλεύουμε την οικογένεια να μην κάνει χρήση συσκευών μεγάλης ισχύος, όπως είναι το πλυντήριο ρούχων, η ηλεκτρική σκούπα και τα κλιματιστικά χώρων. Αλλά ακόμη και αν κάτι τέτοιο κριθεί απαραίτητο μπορεί να διακοπεί η λειτουργία των υπολοίπων συσκευών και να λειτουργήσει προσωρινά μια από τις συσκευές μεγάλης ισχύος.

Ενδεικτικά, μπορούμε να προτείνουμε μια γεννήτρια της τάξεως των 3.5kW, όπως είναι η Honda EC400. Μια τέτοια γεννήτρια αρκεί για να καλύψουμε κάποιες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα όπως είναι η λειτουργία του ψυγείου, ο εσωτερικός φωτισμός, η τηλεόραση και ο φορητός υπολογιστής.

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς καταλήξαμε ότι για την συγκεκριμένη εγκατάσταση θα χρειαστούμε 32 φωτοβολταϊκά πλαίσια οργανωμένα σε 5 ομάδες.

Τα πλαίσια της κάθε ομάδας θα είναι συνδεδεμένα παράλληλα και θα συνδέονται με έναν ελεγκτή φόρτισης ο οποίος θα καταλήγει στους συσσωρευτές.

Οι συσσωρευτές αποτελούνται από 10 παράλληλους κλάδους ,καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει 2 συσσωρευτές σε σειρά .

Η συστοιχία των συσσωρευτών συνδέεται με 2 inverters,στους οποίους έχει γίνει ισοκατανομή των ηλεκτρικών καταναλώσεων της κατοικίας. Σε περιπτώσεις μηδενικής ηλιοφάνειας μπορεί να συνδεθεί στους αντιστροφής η γεννήτρια ντίζελ.

5.11. Οικονομικά στοιχεία μελέτης

Έχουμε επιλέξει τα καλύτερα προϊόντα σε σχέση τιμής και απόδοσης ώστε να καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες της κατοικίας.Το σύστημα παρέχει αυτονομία 4 ημερών, συνέχεια παροχής ρεύματος ακόμα και σε περίπτωση βλάβης μετατροπέα ή οποιαδήποτε βλάβη με την κάλυψη που προσφέρει η γεννήτρια καθώς και πολυετές εγγυήσεις τόσο σε επίπεδο βλαβών όσο και υψηλών αποδόσεων.Ο παρακάτω πίνακας δημιουργήθηκε από τα επιλεγμένα προϊόντα μαζί με το κόστος τους.

Πίνακας 5.13.- Κόστος επιλεγμένων προϊόντων

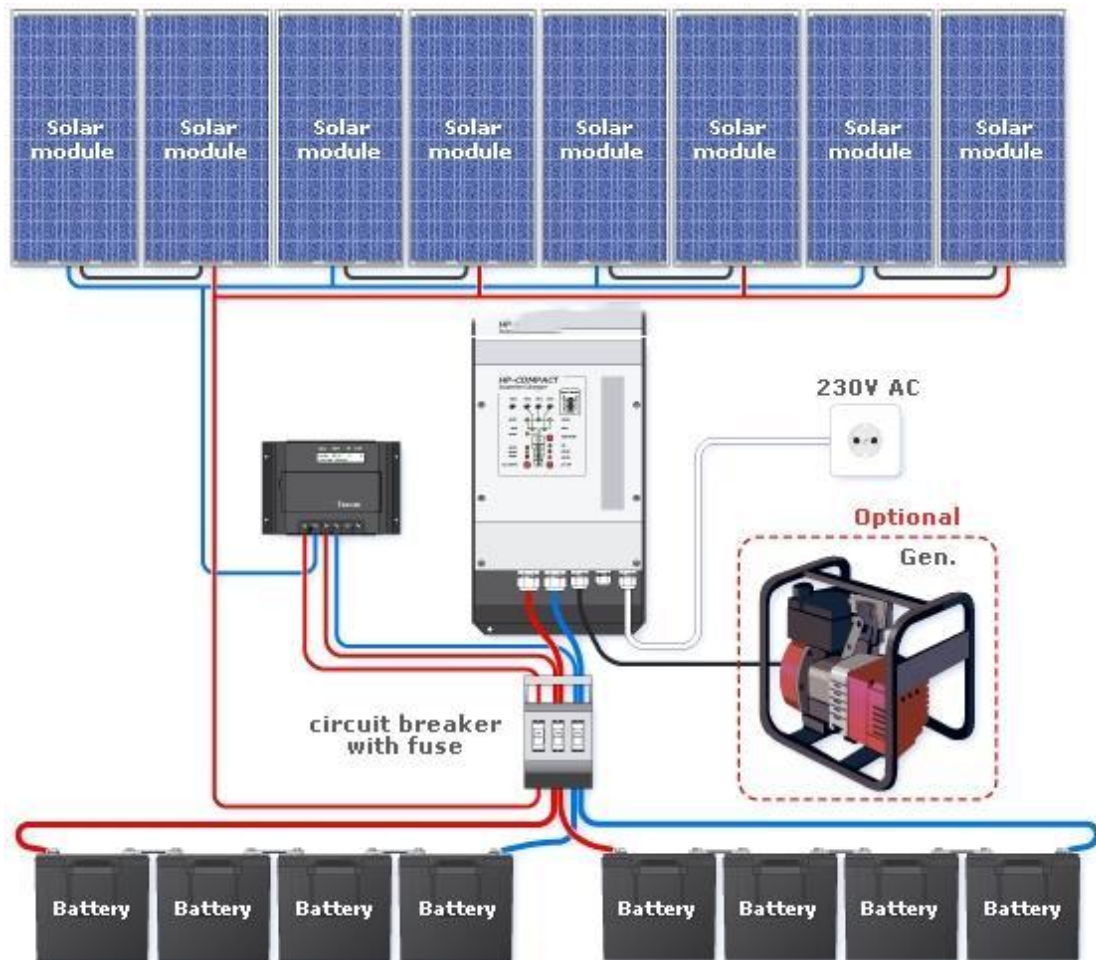
| | Ποσότητα(τεμ.) | Τιμή μονάδας(€) | Σύνολο |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------|
| Γεννήτρια EC4000 | 1 | 652 | 652 |
| Ρυθμιστής φόρτισης Xantrex C60 | 5 | 216 | 1080 |
| Μετατροπέας Phoenix24/5000 | 2 | 2235 | 4470 |

| | | | |
|-------------------------------|----|---------------|-------|
| Μπαταρίες Rolls T12 -250 | 20 | 317 | 6340 |
| Φωτοβολταϊκά πλαίσια UP-M180P | 32 | 322 | 10304 |
| | | Σύνολο | 22846 |

Από το σύνολο λείπουν ακόμα το κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος μεταφοράς τα οποία είναι μεταβλητά και διαπραγματεύσιμα.

Ωστόσο με έναν πρόχειρο υπολογισμό δεν θα έπρεπε να ξεπερνάνε το 5-10% το συνολικού κόστους.

Εικόνα 5.6. Ολοκληρωμένο αυτόνομο φ/β σύστημα.



Στη παραπάνω εικόνα απεικονίζεται ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας .

Το παραπάνω φ/β αποτελείται από τα επιμέρους στοιχεία: από πολυκρυσταλλικά πάνελ τα όποια είναι παράλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους . Στη συνέχεια είναι ο ρυθμιστής φόρτισης ο οποίος είναι συνδεδεμένος ανάμεσα στα πάνελ και στους συσσωρευτές .Στη συνέχεια οι συσσωρευτές καταλήγουν μέσω ενός αποζεύκτη στο inverter. Τέλος έχουμε την γεννήτρια η όποια τίθεται σε λειτουργία μέσω αυτοματισμού όταν η αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών πέσει κάτω από 20%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στο σημερινό ενεργειακό πρόβλημα αξιοποιώντας μια αέναη και προσιτή στον καθένα μας πηγή ενέργειας όπως τον ήλιο. Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν τεχνολογία γνωστή εδώ και αρκετά χρόνια, παρ' όλα αυτά η ενσωμάτωσή τους σε κτίρια ή σε κάποιο οικιστικό περιβάλλον μόλις τα τελευταία χρόνια αρχίζει και κερδίζει έδαφος.

Τα ενσωματωμένα σε κτίρια φωτοβολταϊκά (B.I.P.V., BuildingIntegratedPhoto-Voltaics) αποτελούν πλέον μια επιλογή εφαρμόσιμη και λειτουργική που έχει να αναδείξει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Πράσινη ενέργεια και προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, αρχιτεκτονική καλαισθησία, καινοτομία στον χώρο της τεχνολογίας αποτελούν κάποια από αυτά. Στον αντίποδα υπάρχουν και μειονεκτήματα με κυριότερο όλων ότι το κόστος ηλεκτροπαραγωγής από τα Φ/Β είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο άλλων πηγών.

Ενσωματώνονται πλέον με πληθώρα διαφορετικών τρόπων σε στέγες προσόψεις, αίθρια, σκίαστρα χώρους στάθμευσης παλαιών και νέων κτιρίων. Πέραν αυτών αποτελούν από μόνα τους ιδανικά οικοδομικά υλικά, ικανά να αντικαταστήσουν παραδοσιακά υλικά σε εφαρμογές όπως σκίαση και στεγανοποίηση.

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν το μέλλον για τις πόλεις μας γιατί η εγκατάστασή τους στο οικιστικό περιβάλλον μπορεί να συνδράμει στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ακριβώς όπου αυτή παρουσιάζεται μειώνοντας έτσι απώλειες μεταφοράς και διανομής. Επιπρόσθετα παρέχονται στα κτίρια επιπλέον λειτουργίες όπως σκίαση θερμική προστασία και μόνωση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Polycrystalline PV module 54 cells



Electrical Characteristics

| Model | UP-M180P | UP-M190P | UP-M200P | UP-M210P |
|-------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|
| Max Power Pm (W) | 180 | 190 | 200 | 210 |
| Max Power Voltage Vm (V) | 24.5 | 25.3 | 26.0 | 26.8 |
| Max Power Current Im (A) | 7.35 | 7.51 | 7.70 | 7.84 |
| Open-Circuit Voltage Voc (V) | 32.6 | 32.8 | 33.1 | 33.3 |
| Short-Circuit Current Isc (A) | 7.80 | 8.10 | 8.25 | 8.40 |
| Cell Efficiency | 14.0% | 14.8% | 15.5% | 16.3% |
| Module Efficiency | 12.2% | 12.9% | 13.6% | 14.0% |
| Maximum System Voltage (V) | 1000 (TUV) / 800 (UL) | | | |
| Power Tolerance | ± 3% | | | |
| Series Fuse Rating (A) | 20 | | | |

Components & Mechanical Data

| | |
|------------------------|---|
| Front Glass | High Transparency Tempered Glass, 3.2mm - Saint Gobain (Albatros) // Pilkington |
| Junction Box | Huber+Suhner (F 57) Racox PHS // Tyco , 1740971-1 |
| Bypass Diode | 3 diodes - ST STPS145 // Diotec GL1515 (15A) |
| Output Cables | Cable Tyco 1m, ZHSCG (4mm ² and 12AWG), IEC and UL approved |
| Connectors | MC4 // Tyco , IP67, EC and UL approved |
| Frame | Anodized aluminum alloy type 6063-T5 |
| Encapsulation Material | EVA (0.50 ± 0.03mm thickness) |
| Back Foil | White TPT (0.32 ± 0.03mm thickness) |
| Silicone Sealant | Dow Corning |
| Temperature Range | -40°C to +90°C |
| Max Load | 8400 Pa |
| Impact Resistance | Steel ball - 1040g dropped from 1m high |

Components subject to changes according to availability and market conditions.

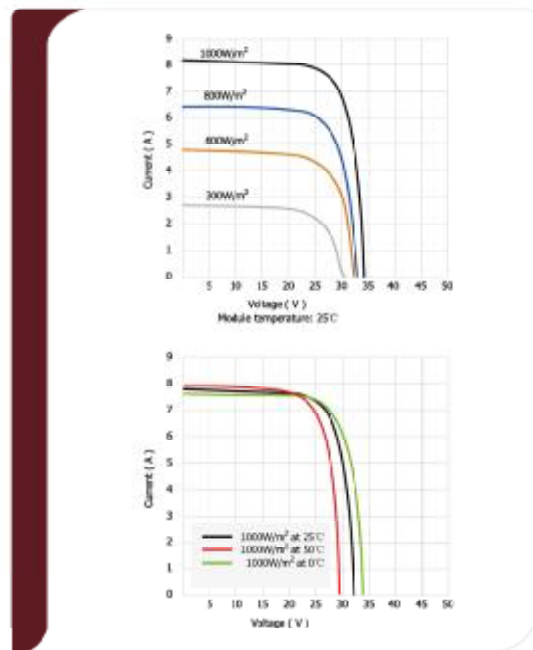
Specifications

| | |
|-----------------|---|
| Cells | Polycrystalline silicon solar cells 156x156mm |
| Number of cells | 54 (6x9) |
| Dimensions (mm) | 1482 x 992 x 40 |
| Weight (kg) | 17.5 |

Temperature Coefficients

| | |
|---------------------------------------|------------|
| NOCT (°C) | -45±2 |
| Temperature Coefficient of Isc (%/°C) | 0.06±0.01 |
| Temperature Coefficient of Voc (%/°C) | -0.32±0.02 |
| Temperature Coefficient of Im (%/°C) | -0.02±0.02 |
| Temperature Coefficient of Vm (%/°C) | -0.42±0.03 |
| Temperature Coefficient of Pm (%/°C) | -0.43±0.05 |

IV Curves



NOTE

- STC; Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5
- Nominal Operating Cell Temperature above data is only for reference
- Deviation of Vm(V), Im(A), Voc(V) an Isc(A) of ±10%

GUARANTEE

- 8-year product guaranteed
- 10-year performance guarantee at 90% power output
- 25-year performance guarantee at 80% power output

Supplier cannot be held liable for any page layout errors or typing mistakes in this document.



www.upscolar.com

Phoenix Inverters

1200VA – 5000VA (per module)

www.victronenergy.com



Phoenix Inverter
24/5000



Phoenix Inverter Compact
24/1600

SinusMax - Superior engineering

Developed for professional duty, the Phoenix range of inverters is suitable for the widest range of applications. The design criteria have been to produce a true sine wave inverter with optimised efficiency but without compromise in performance. Employing hybrid HF technology, the result is a top quality product with compact dimensions, light in weight and capable of supplying power, problem-free, to any load.

Extra start-up power

A unique feature of the SinusMax technology is very high start-up power. Conventional high frequency technology does not offer such extreme performance. Phoenix inverters, however, are well suited to power up difficult loads such as refrigeration compressors, electric motors and similar appliances.

Virtually unlimited power thanks to parallel and 3-phase operation capability

Up to 6 units inverters can operate in parallel to achieve higher power output. Six 24/5000 units, for example, will provide 24kW / 30kVA output power. Operation in 3-phase configuration is also possible.

To transfer the load to another AC source: the automatic transfer switch

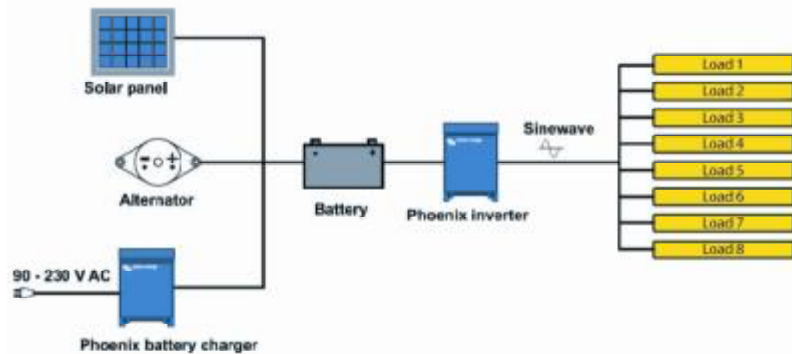
If an automatic transfer switch is required we recommend using the MultiPlus inverter/charger instead. The switch is included in these products and the charger function of the MultiPlus can be disabled. Computers and other electronic equipment will continue to operate without disruption because the MultiPlus features a very short switchover time (less than 20 milliseconds).

Computer interface

All models have a RS-485 port. All you need to connect to your PC is our MK2 interface (see under accessories). This interface takes care of galvanic isolation between the inverter and the computer, and converts from RS-485 to RS-232. A RS-232 to USB conversion cable is also available. Together with our VEConfigure software, which can be downloaded free of charge from our website, all parameters of the inverters can be customised. This includes output voltage and frequency, over and under voltage settings and programming the relay. This relay can for example be used to signal several alarm conditions, or to start a generator. The inverters can also be connected to VENet, the new power control network of Victron Energy, or to other computerised monitoring and control systems.

New applications of high power inverters

The possibilities of paralleled high power inverters are truly amazing. For ideas, examples and battery capacity calculations please refer to our book "Energy Unlimited" (available free of charge from Victron Energy and downloadable from www.victronenergy.com).



| Phoenix Inverter | C12/1200 C24/1200 | C12/1600 C24/1600 | C12/2000 C24/2000 | 12/3000 24/3000 48/3000 | 24/5000 48/5000 |
|---|--|----------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Parallel and 3-phase operation | Yes | | | | |
| INVERTER | | | | | |
| Input voltage range (V DC) | 9.5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V | | | | |
| Output | Output voltage: 230 VAC ±2% Frequency: 50 Hz ± 0.1% (1) | | | | |
| Cont. output power at 25 °C (VA) (2) | 1200 | 1600 | 2000 | 3000 | 5000 |
| Cont. output power at 25 °C (W) | 1090 | 1300 | 1600 | 2500 | 4500 |
| Cont. output power at 40 °C (W) | 900 | 1200 | 1450 | 2200 | 4000 |
| Peak power (W) | 2400 | 3000 | 4000 | 6000 | 10000 |
| Max. efficiency 12 / 24 / 48 V (%) | 92 / 94 | 92 / 94 | 92 / 92 | 93 / 94 / 95 | 94 / 95 |
| Zero-load power 12 / 24 / 48 V (W) | 8 / 10 | 8 / 10 | 9 / 11 | 15 / 15 / 16 | 25 / 25 |
| Zero-load power in AES mode (W) | 5 / 8 | 5 / 8 | 7 / 9 | 10 / 10 / 12 | 20 / 20 |
| Zero-load power in Search mode (W) | 2 / 3 | 2 / 3 | 3 / 4 | 4 / 5 / 5 | 5 / 6 |
| GENERAL | | | | | |
| Programmable relay (3) | Yes | | | | |
| Protection (4) | R - G | | | | |
| VE.Bus communication port | For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration | | | | |
| Remote on-off | Yes | | | | |
| Common Characteristics | Operating temperature range: -40 to +50 °C (fan assisted cooling) Humidity (non condensing): max 95% | | | | |
| ENCLOSURE | | | | | |
| Common Characteristics | Material & Colour: aluminum (blue RAL 5012) | | Protection category: IP 21 | | |
| Battery connection | battery cables of 1.5 meter included | | M8 bolts | 2+2 M3 bolts | |
| 230 V AC-connection | G-ST18 plug | | Spring-clamp | Screw terminals | |
| Weight (kg) | 10 | | 12 | 18 | 30 |
| Dimensions (height in mm) | 375x214x110 | | 520x255x125 | 362x258x218 | 444x328x240 |
| STANDARDS | | | | | |
| Safety | EN 60335-1 | | | | |
| Emission Immunity | EN 55014-1 / EN 55014-2 | | | | |
| 1) Can be adjusted to 60Hz and to 240V 2) Non linear load, crest factor 3:1 3) Programmable relay that can a.o. be set for general alarm, DC undervoltage or genset start/stop function. AC rating: 230V/4A DC rating: 4x up to 35VDC, 1A up to 60VDC | 4) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) 230 V AC on inverter output g) input voltage ripple too high | | | | |



Phoenix Inverter Control

This panel can also be used on a MultiPlus inverter/charger when an automatic transfer switch but no charger function is desired. The brightness of the LEDs is automatically reduced during night time.



Computer controlled operation and monitoring

- Several interfaces are available:
- **MK2-Q VE.Bus to RS232 converter**
Connects to the RS232 port of a computer (see 'A guide to VEConfigure')
 - **MK2-USB VE.Bus to USB converter**
Connects to a USB port (see 'A guide to VEConfigure')
 - **VE.Net to VE.Bus converter**
Interface to VE.Net (see VE.Net documentation)
 - **VE.Bus to NMEA 2000 converter**
 - **Victron Global Remote**
The Global Remote is a modem which sends alarms, warnings and system status reports to cellular phones via text messages (SMS). It can also log data from Victron Battery Monitors, Multi's, Quattro's and Inverters to a website through a GPRS connection. Access to this website is free of charge.
 - **Victron Ethernet Remote**
To connect to Ethernet.



BMV Battery Monitor

The BMV Battery Monitor features an advanced microprocessor control system combined with high resolution measuring systems for battery voltage and charge / discharge current. Besides this, the software includes complex calculation algorithms, like Peukert's formula, to exactly determine the state of charge of the battery. The BMV selectively displays battery voltage, current, consumed Ah or time to go. The monitor also stores a host of data regarding performance and use of the battery.

Several models available (see battery monitor documentation).



DEEP CYCLE
SERIES: 4000
MODEL: T12 250

BATTERY ENGINEERING
 WWW.ROLLSBATTERY.COM MADE IN CANADA

BATTERY TYPE: 12 VOLTS

DIMENSIONS:

| | | |
|---------------|--------|---------------|
| LENGTH | 391 MM | 15 3/8 INCHES |
| WIDTH | 178 MM | 7 INCHES |
| HEIGHT | 365 MM | 14 3/8 INCHES |

WEIGHTS:

| | | |
|-------------------|-------|----------|
| WEIGHT DRY | 44 KG | 97 LBS. |
| WEIGHT WET | 64 KG | 140 LBS. |

CONTAINER CONSTRUCTION:

| | |
|-------------------|---------------|
| CONTAINER: | POLYPROPYLENE |
| COVER: | POLYPROPYLENE |

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| TERMINALS: | AUTOMOTIVE (FLAG IF SPECIFIED) |
| HANDLES: | ROPE |

PLATES:

POSITIVE PLATE DIMENSION:

| | | |
|------------------|---------|---------------|
| HEIGHT | 254 MM | 10.000 INCHES |
| WIDTH | 143 MM | 5.625 INCHES |
| THICKNESS | 4.32 MM | 0.170 INCHES |

| | |
|---------------------|---|
| CELLS: | 3 |
| PLATES/CELL: | 9 |

NEGATIVE PLATE DIMENSION:

| | | |
|------------------|---------|---------------|
| HEIGHT | 254 MM | 10.000 INCHES |
| WIDTH | 143 MM | 5.625 INCHES |
| THICKNESS | 3.05 MM | 0.120 INCHES |

| | | |
|-----------------------------|------|--------------|
| SEPARATOR THICKNESS | 2 MM | 0.081 INCHES |
| INSULATION GLASS MAT | 1 MM | 0.020 INCHES |

CAPACITY:

| | | |
|---------------------|---------------|-----|
| CRANK AMPS: | | |
| COLD (CCA) | 0°F / -17.8°C | 648 |
| MARINE (MCA) | 32°F / 0°C | 810 |

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------|
| ELECTROLYTE RESERVE: | | |
| ABOVE PLATES | 51 MM | 2 INCHES |
| RESERVE CAPACITY: | | |
| RC @ 25A | | 390 MINUTES |

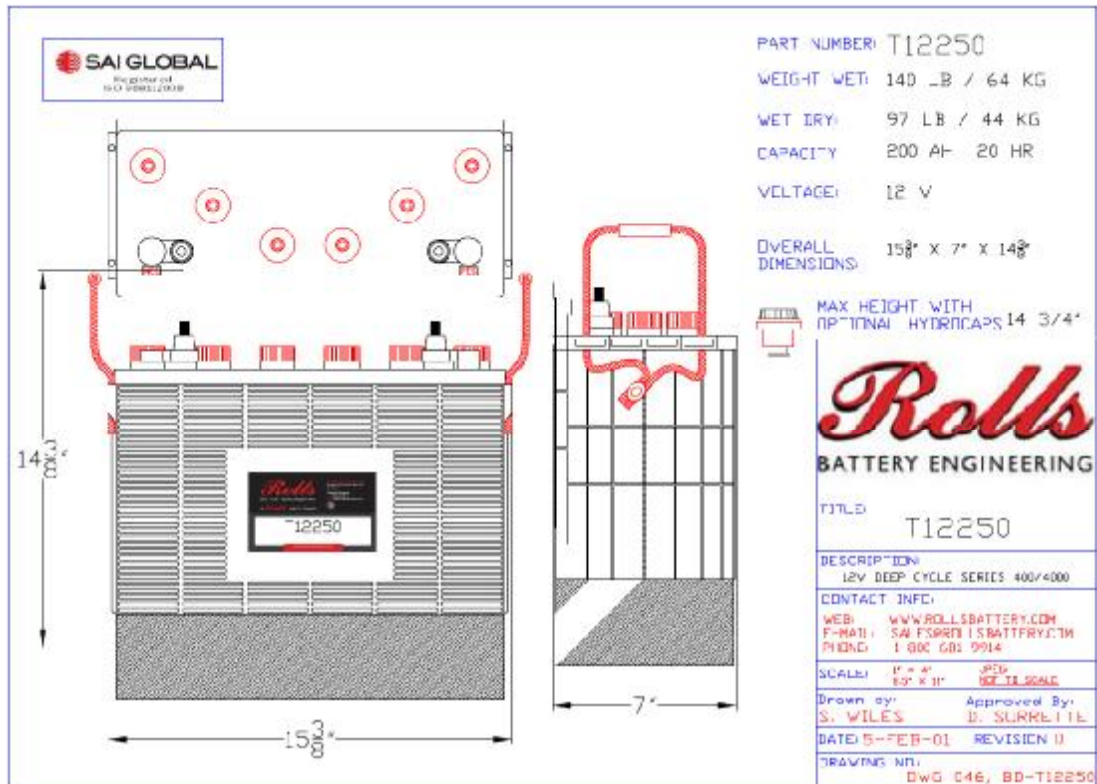
20 HR RATE: 200 50% DOD

| | HOUR RATE | SPECIFIC GRAVITY | CAP / AH | CURRENT / AMPS |
|-------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|
| CAPACITY @ | 100 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 266 | 2.66 |
| CAPACITY @ | 72 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 252 | 3.50 |
| CAPACITY @ | 50 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 238 | 4.76 |
| CAPACITY @ | 24 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 206 | 8.6 |
| CAPACITY @ | 20 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 200 | 10.0 |
| CAPACITY @ | 15 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 188 | 12.5 |
| CAPACITY @ | 12 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 178 | 14.8 |
| CAPACITY @ | 10 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 170 | 17.0 |
| CAPACITY @ | 8 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 160 | 20.0 |
| CAPACITY @ | 6 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 148 | 24.7 |
| CAPACITY @ | 5 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 140 | 28 |
| CAPACITY @ | 4 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 130 | 33 |
| CAPACITY @ | 3 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 118 | 39 |
| CAPACITY @ | 2 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 102 | 51 |
| CAPACITY @ | 1 HOUR RATE | 1.280 SP. GR. | 72 | 72 |



1 STATION RD SPRINGHILL, NOVA SCOTIA CANADA B0M 1X0 1.800.681.9914

REV2
 Jan-10
 T12 250



This is a used honda EC4000 In very good condition.
Fully serviced



The EC4000 is the mid-range model in our value for money EC generator line-up. The EC range is built as an economically spec machine and offers robust four-stroke reliability housed within the traditional generator frame. The EC range is used widely throughout the construction industry due to the rugged build quality and the continuous reliability customers have come to expect from Honda. The EC4000 offers the user dual voltage output, 115 / 230 volts, ideal for running 110 volt power tools and standard 240 volt appliance. Featuring a 6-litre fuel tank, running on unleaded petrol, this model will provide 3800 watts of power for 2.8 hours before requiring a fill.

Please use the contact page at the top to discuss or order this item

| | |
|--|---------------------|
| Model | EC4000 generator |
| Max HP | 9 |
| Sound level (DB) | 71 |
| Output (kw): Rated | 3.4 |
| Max | 3.6 |
| Output Voltage (V) | 230 / 115 |
| Continuous Operating Hours Without Refuelling at Rated Load | 2.8 |
| Dimensions (mm) | L:800, W:550, H:540 |
| Dry Weight (kg) | 70 |
| Fuel Type | Petrol |
| Price (including Vat) | £340 |

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, Χ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Α. ΛΙΟΛΙΟΣ, Κ. ΖΙΟΥΤΑΣ, Η. ΣΑΒΒΙΔΗΣ. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥ-ΜΑΤΩΝ, 1998.
- ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ Φ/Β ΚΑΙ Α/Γ», ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2004
- Α. ΝΕΟΚΛΕΟΥΣ, Σ. Π. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ «ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΩΝ, ΑΘΗΝΑ 1999
- Μ. ΚΡΑΠΠΑΔΑΚΗΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΠΕ, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ.
- Ι. Ε. ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- [HTTP://WWW.COMPASOLAR.GR/PHOTOVOLTAIC.HTM](http://www.compasolar.gr/photovoltaic.htm)
- [HTTP://WWW.SOLAR-SYSTEMS.GR/SOLAR-PANEL-PV-8.HTML](http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-8.html)
- [HTTP://WWW.SELASENERGY.GR/FV_SYSTEMS.PHP](http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)
- [HTTP ://WWW.WIKIPEDIA.COM](http://www.wikipedia.com)
- [WWW.CRES.GR](http://www.cres.gr)
- [HTTP://WWW.ESHOPS.GR](http://www.eshops.gr)
- [HTTP://WWW.HELIERGIA-PHOTOVOLTAIC.GG](http://www.heliergia-photovoltaic.gg)