



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ Κ' ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΞΕΝΑΚΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Επιβλέπων : Δέρβος Κωνσταντίνος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	5
1.1. Βασική Ορολογία	5
1.2 Παγκόσμια και Ευρωπαϊκή Πραγματικότητα	8
1.3. Το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τον Τουρισμό-ΕΠΧΣΑΑ ΑΠΕ	11
Κεφάλαιο 2: Ηλιακή Γεωμετρία Συλλέκτες και Τεχνικά Χαρακτηριστικά	14
2.1 Ηλιακά Χαρακτηριστικά	14
2.2 Υπολογισμός θέσης και Γεωγραφικό πλάτος (ϕ) και Γεωγραφικό μήκος (λ).....	16
2.3 Απόκλιση του ήλιου δ	18
2.4 Ύψος και αζιμούθιο ήλιου.....	19
2.5 Ζενιθιακή και Ωριαία Γωνία του Ήλιου.....	20
2.6 Προσανατολισμός του Συλλέκτη	20
2.7 Ημιαγωγοί	23
2.8 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.....	24
2.9 Διεπιφάνειες και Ένωση Επαφής p-n.....	26
2.10 Πόλωση p-n	27
2.10.1. Μηδενική Πόλωση-Ένωση σε Ισορροπία	27
2.10.2 Ορθή πόλωση ένωσης p-n	28
2.10.3 Ανάστροφη πόλωση ένωσης p-n	30
Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκή Μετατροπή	31
3.1 Εισαγωγή.....	31
3.2 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	32
3.3 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών	33
3.4 Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών.....	34

3.5 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών	36
Κεφάλαιο 4: Είδη φωτοβολταϊκών Στοιχείων.....	38
4.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια - PV modules	38
4.1.1. Μονοκρυσταλλικού πυριτίου	39
4.1.2. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου πλαίσια	40
4.1.3. Άμορφου Πυριτίου Πλαίσια (thin-film)	41
4.1.4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια άλλων υλικών.....	41
4.2 Στήριξη – Διάταξη ΦΒ Συστοιχίας.	42
4.2.1. Στήριξη.....	43
4.2.2. Διάταξη ΦΒ πλαισίων.....	44
4.2.3. Προσανατολισμός Συλλέκτη και Απόδοση	45
4.3 Γειώσεις και Αντικεραυνικές προστασίες	51
4.3.1. Γείωση Λειτουργίας και Προστασίας Μεταλλικών Μερών	52
4.4 Στήριξη και Σύνδεση Φ/Β Πλαισίων.....	54
4.5 Αναστροφείς Τάσης.....	56
4.5.1. Για Διασυνδεδεμένα Συστήματα	56
4.5.2. Γείωση Αναστροφέα	57
4.6 Ειδικό Πρόγραμμα Οικιακών Φ/Β έως 10kWp	59
Κεφάλαιο 5 ^ο : Μελέτη Περίπτωσης: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στο Μοσχάτο	60
Βιβλιογραφία	75

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μερίδιο ΑΠΕ στην Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση	8
Εικόνα 2: Χάρτης Ποσοστών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε.(και κάποιες υποψήφιες) κατά το έτος 2007	9
Εικόνα 3: Χάρτης Περιοχών Αιολικής Προτεραιότητας	12
Εικόνα 4: Θέση του Ηλίου σε Διάφορες Εποχές	18
Εικόνα 5: Το ύψος (α) και το αζιμούθιο του ήλιου (γ).....	20
Εικόνα 6: Θέση Ηλιακού Συλλέκτη.....	21
Εικόνα 7 Γεωμετρία του Χώρου σε Σχέση με Ηλιακό Συλλέκτη.....	22
Εικόνα 8: Οι Ημιαγωγοί στον Περιοδικό Πίνακα.	23
Εικόνα 9: Χαρακτηρισμός Υλικών Σύμφωνα με την Αγωγιμότητά τους.	25
Εικόνα 10: Ένωση p-n σε Ισορροπία	28
Εικόνα 11: Δίοδος σε Ανάστροφη Πόλωση	30
Εικόνα 12: Ηλιακή Κυψέλη.....	31
Εικόνα 13: Ο Μηχανισμός του Φωτοβολταϊκού Φαινομένου σε ένα Ηλιακό Κύτταρο	32
Εικόνα 14: Πυκνότητα Ισχύος Ηλιακής Ακτινοβολίας Ανά τον Κόσμο (Ιούνιος).....	35
Εικόνα 15: Απλοποιημένο Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα ενός Φωτοβολταϊκού Στοιχείου	36
Εικόνα 16: Κύτταρο Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου.....	40
Εικόνα 17: Κύτταρο Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου	40
Εικόνα 18: Πλαίσιο Άμορφου Πυριτίου	41
Εικόνα 19: Συγκριτική Αξιολόγηση Διαφορετικών Φωτοβολταϊκών Τεχνολογιών	42
Εικόνα 20: Διασυνδεδεμένο Φ/Β Σύστημα με τη ΔΕΗ.....	54

1.1. Βασική Ορολογία

Πηγή ενέργειας ονομάζεται κάθε ύλη, σύστημα ή διάταξη από όπου μπορεί να αποληφθεί ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας, φωτός ή ισχύος. Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που διαθέτει η ανθρωπότητα, διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

1. Συμβατικές ή αναλώσιμες:

Είναι οι πηγές ενέργειας που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της γης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο κ.λπ.) και η πυρηνική ενέργεια.

2. Ανανεώσιμες:

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία η κυκλοφορία νερού και άλλες. Είναι πηγές που ανανεώνονται συνεχώς. Ο όρος ανανεώσιμες αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Πρώτον, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, δηλαδή εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευσή της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, «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. Συνεπώς οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μια αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Μια έννοια συνδεδεμένη με την ανανεώσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου είναι η αιιφορία (sustainability). Επειδή συχνά επικρατεί σύγχυση, είναι ανάγκη να διευκρινιστούν αυτές οι δύο έννοιες. Η ανανεώσιμότητα αποτελεί ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αιιφορία περιγράφει τον τρόπο με το οποίο χρησιμοποιείται οποιοσδήποτε φυσικός πόρος. Η αιιφορία σχετίζεται με την ορθολογική διαχείριση των πόρων, τη διάθεσή τους με προσιτό κόστος στον άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από κάποια μορφή ισορροπίας. Ο όρος «αιιφορία» είναι δανεισμένος από την επιστήμη της δασολογίας και περιλαμβάνει σειρά

πρακτικών , πολιτικών και τεχνολογιών με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες με το λιγότερο περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο από με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διεργασιών και, κυρίως, με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ανανεώσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου σημαίνει ότι η οποιαδήποτε ποσότητα ενέργειας που λαμβάνεται από το συγκεκριμένο πόρο, η ίδια ποσότητα αναπληρώνεται κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.

Η συνειδητοποίηση της ανάγκης για χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και της περαιτέρω προώθησης τους από μεγάλο τμήμα της κοινωνίας προέρχεται από τους παρακάτω λόγους :

- α) οι ΑΠΕ διαθέτουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και σχάσιμα πυρηνικά καύσιμα).
- β) οι ΑΠΕ είναι διαθέσιμες λιγότερο ή περισσότερο σε όλες σχεδόν τις περιοχές της Γης, είναι δηλαδή περισσότερα δίκαια κατανομημένες από ότι τα συμβατικά καύσιμα, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και των κινδύνων από τη μεταφορά των καυσίμων.
- γ) οι πόροι αυτοί, παρόλη τη μικρή συγκέντρωση που τους χαρακτηρίζει, είναι τεράστιοι και ανεξάντλητοι.

Οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε μέσω της μετατροπής τους σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι τα τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακά δυναμικά από τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, το υψηλό κόστος των νέων ενεργειακών εφαρμογών και τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής εμπόδισαν ως τώρα την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Το ενδιαφέρον για τις ΑΠΕ εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των διαδοχικών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από την χρήση κλασσικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπ' όψιν στο σχεδιασμό της πολιτικής των ανεπτυγμένων χωρών για την ενέργεια και επιπλέον, αν και αποτελούν μικρό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής παραγωγής, γίνονται βήματα για περαιτέρω αξιοποίησή τους. Το κόστος των εφαρμογών ΑΠΕ μειώνεται συνεχώς τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η

αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον αν ανταγωνίζονται παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες ΑΠΕ είναι ήδη ή πλησιάζουν να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες, ιδιαίτερα όταν ληφθεί υπ' όψιν και το εξωτερικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας (περιβαλλοντικό –κοινωνικό). Τέτοιες τεχνολογίες είναι τα συστήματα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, τα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής, της υδροδυναμικής και της γεωθερμικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά και τα θερμικά ηλιακά συστήματα και στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας, τα παθητικά ηλιακά συστήματα. Εκτός από αυτές υπάρχουν και άλλες όχι τόσο εξελιγμένες τεχνολογίες ΑΠΕ(π.χ. τεχνολογίες για την εκμετάλλευση της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων ή της θερμικής ενεργείας των ωκεανών ή των παλιρροιών κλπ). Η ηλιακή ενέργεια, που φτάνει στη γη, συμβάλει στη δημιουργία και διατήρηση της ζωής, ενώ συγχρόνως παρέχει ενέργεια που αξιοποιείται με διάφορες μορφές. Θερμαίνοντας και εξατμίζοντας μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού δημιουργεί τις λίμνες και τα ποτάμια (υδραυλική ενέργεια). Απορροφούμενη από κατάλληλα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο), ή θερμαίνει το νερό οικιακής χρήσης (Ηλιακή θερμική μετατροπή). Θερμαίνοντας το έδαφος και αυτό με την σειρά του τον αέρα, δημιουργεί τα ρεύματα αέρα (Αιολική ενέργεια) και τα κύματα (Ενέργεια κυμάτων). Τέλος, συμβάλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας και η καύση των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (Βιομάζα). Ανάλογα με διαθεσιμότητα τους για τελική χρήση, οι πηγές ενέργειας διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Πρωτογενείς

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

2. Δευτερογενείς

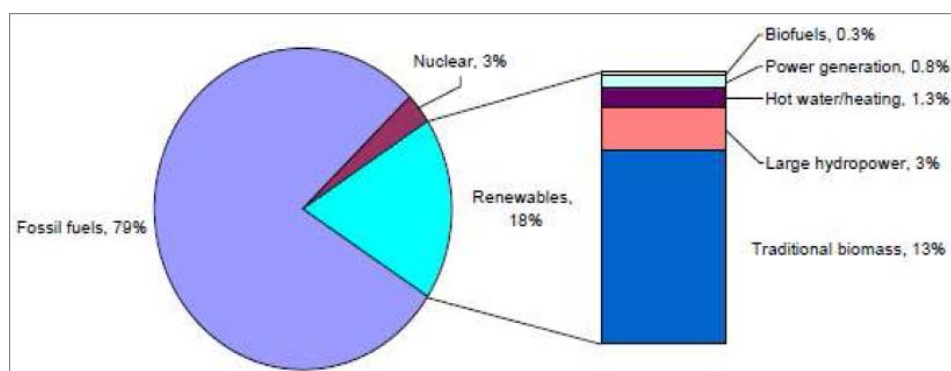
Είναι οι πηγές ενέργειας, που προέρχονται από το μετασχηματισμό των πρωτογενών πηγών με μηχανικά, χημικά και θερμικά μέσα ή πυρηνική αντίδραση (π.χ. βενζίνη πετρέλαιο, υγραέριο, υγροποιημένο φυσικό αέριο).

3. Χρήσιμες

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

1.2 Παγκόσμια και Ευρωπαϊκή Πραγματικότητα

Σε ολόκληρο τον κόσμο συντελείται, την περίοδο αυτή, μια αληθινή κοσμογονία όσον αφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ΑΠΕ αναδεικνύονται πλέον, μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας, όχι μόνο ως ο βασικός πυλώνας της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και ως ένα ιδιαίτερα δυναμικό επενδυτικό μέσο για την τόνωση της ανάπτυξης (κυρίως της απασχόλησης) και για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντικαθιστούν τα συμβατικά καύσιμα σε τέσσερις ευδιάκριτους τομείς: στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, στο ζεστό νερό και στη θέρμανση χώρου, στα καύσιμα μεταφοράς, και στην αγροτική ενέργεια. Το 2006, περίπου το 18% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας προήλθε από ΑΠΕ, με το 13% να προέρχεται από στερεά βιομάζα. Ακολουθεί η ενέργεια από υδροηλεκτρικούς σταθμούς ήταν η επόμενη κατηγορίας με ποσοστό 3%. Οι μοντέρνες τεχνολογίες όπως η γεωθερμία, η ηλιακή και αιολική ενέργειας και η ενέργεια από ωκεανούς παρείχαν το 0,8% της κατανάλωσης (REN21, 2007). Η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έφθασε σε κατ' εκτίμηση τα 240 GW παγκοσμίως το 2007, μια αύξηση 50 % από το 2004 (REN21, 2007). Παρά τις αρνητικές συνέπειες της οικονομικής κρίσης στην εν γένει επενδυτική δραστηριότητα του ενεργειακού τομέα, το 2008 υπήρξε άλλη μια καλή χρονιά για τις ΑΠΕ, παγκοσμίως: Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους έφθασε τα 280.000 MW (χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά), σημειώνοντας αύξηση 16% σε σχέση με το 2007.

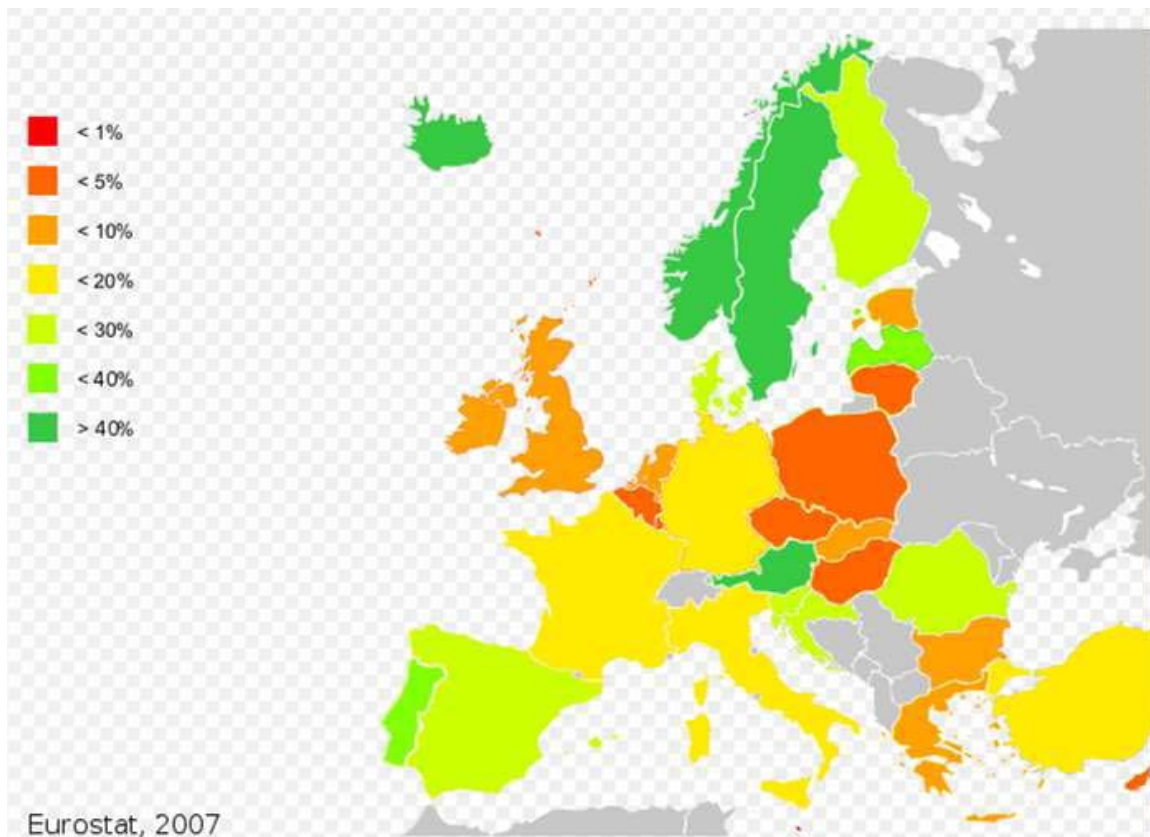


Εικόνα 1: Μερίδιο ΑΠΕ στην Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση

(Πηγή: REN21, 2007)

Σύμφωνα με την οδηγία 2001/77/ΕΚ, ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσον αφορά το έτος 2010, είναι να γίνουν εκείνα τα βήματα που θα επιτρέψουν να καλυφθεί από

ανανεώσιμες πηγές το 22,1% των ενεργειακών αναγκών των χωρών-μελών της, με προβλεπόμενη ενισχυμένη συμμετοχή της βιομάζας στην προσπάθεια αυτή. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, ακολουθώντας τις κατευθύνσεις της Συνθήκης του Κιότο, έχει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 8% σε σύγκριση με το 1990, κατά το διάστημα 2008-2012. Επιπλέον, στόχος για την Ε.Ε. είναι ο διπλασιασμός του ποσοστού ΑΠΕ από 6% σε 12% της εγχώριας παραγωγής ενέργειας έως το 2012. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέχρι το 2010, κατά 18% σε σύγκριση με το 1995, αποτελεί έναν ακόμη στόχο για τους Ευρωπαίους εταίρους, καθώς και η ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης.



Εικόνα 2: Χάρτης Ποσοστών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε.(και κάποιες υποψήφιες) κατά το έτος 2007

(Πηγή: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>)

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, η Ε.Ε. χρησιμοποιεί κάποια «εργαλεία», τα οποία είναι (Μπουτέτσιου, 2010):

- **Λευκή Βίβλος για την ενέργεια** (COM(1996)421). Εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 1996, αφορά την προστασία του περιβάλλοντος, την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού και την βιομηχανική ανταγωνιστικότητα.

- **Λευκή Βίβλος για τις ΑΠΕ και σχέδιο δράσης (COM(1997)599).** Η Λευκή Βίβλος για τις ΑΠΕ εκδόθηκε στις 26 Νοεμβρίου του 1997 και αφορά στον διπλασιασμό του ποσοστού της συνολικής εγχώριας ενεργειακής παραγωγής από 6% σε 12% μέχρι το 2010, τον καθορισμό των δευτερευόντων στόχων, την ευελιξία της Ένωσης ως προς τη διεύρυνσή της και επιβάλλει την καθιέρωση τριετούς ανασκόπησης των πεπραγμένων σχετικά με τις ΑΠΕ. Το Σχέδιο δράσης αφορά τα μέτρα που λαμβάνονται στις εσωτερικές αγορές των χωρών και την επιβολή της ευρωπαϊκής πολιτικής, την προώθηση της μεθόδου take-off (10.000 MWth για εργοστάσια με χρήση βιομάζας και 5 εκατομμύρια τόνοι υγρά βιοκαύσιμα) και την βελτίωση της συνεργασίας μεταξύ των χωρών.
- **Πράσινη Βίβλος για την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού (COM(2000)769).** Αφορά γεωπολιτικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τα κύρια σημεία της Πράσινης Βίβλου είναι η ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων της Ένωσης, ο έλεγχος της ενεργειακής εξάρτησης και η ανάπτυξη των ΑΠΕ (στόχος το 12% της συνολικής εγχώριας ενεργειακής παραγωγής έως το 2010, διαφοροποιημένες πολιτικές ανά είδος ΑΠΕ, οικονομικές ή φορολογικές ελαφρύνσεις για την προώθηση των ΑΠΕ)

Οδηγίες. Οι οποίες περιλαμβάνουν

- την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας (Οδηγία 2004/8/ΕΚ).
- τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου (Οδηγία 2003/87/ΕΚ),
- την αναδιάρθρωση του κοινοτικού πλαισίου φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας (Οδηγία 2003/96/ΕΚ),
- κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (Οδηγία 2003/54/ΕΚ),
- την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές (Οδηγία 2003/30/ΕΚ),
- τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων (Οδηγία 2001/80/ΕΚ),

- και την πρόκριση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (Οδηγία 2001/77/ΕΚ).
- **Προγράμματα στήριξης.** Σχετίζονται με την ενεργειακή πολιτική της Ε.Ε. Είναι κατά βάση το 5ο πλαίσιο στήριξης με σκοπό την τεχνολογική ανάπτυξη, το Altener II σε μια προσπάθεια υπερπήδησης των μη τεχνικών προβλημάτων καθώς και προγράμματα στήριξης που αφορούν εθνικές πολιτικές και φορείς για την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Πιο πρόσφατα προγράμματα στήριξης είναι το 6ο πλαίσιο στήριξης (για τα έτη 2002-2006), η Έξυπνη ενέργεια για την Ευρώπη (για τα έτη 2003- 2006) και το πρόγραμμα SYNERGY.

1.3. Το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τον Τουρισμό-ΕΠΧΣΑΑ ΑΠΕ

Τον Οκτώβριο του 2008 εγκρίθηκε από την Συντονιστική Επιτροπή της Κυβέρνησης στον Τομέα του Χωροταξικού Σχεδιασμού και της Αειφόρου Ανάπτυξης, το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΕΠΧΣΑΑ/ΑΠΕ). Στην συνέχεια παρατίθενται κάποια αποσπασματικά στοιχεία σχετικά με τα αιολικά πάρκα και τον Νομό Ευρυτανίας.

Όπως αναφέρεται στην σχετική ΚΥΑ σκοπός του παρόντος Ειδικού Πλαισίου είναι (Άρθρο 1/Κεφάλαιο Α’):

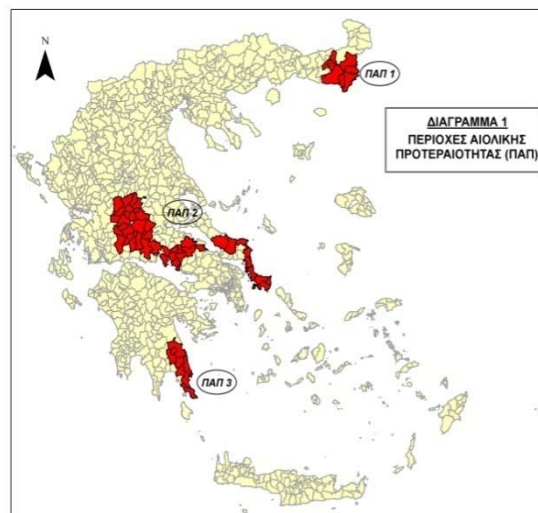
- η διαμόρφωση πολιτικών χωροθέτησης έργων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., ανά κατηγορία δραστηριότητας και κατηγορία χώρου.
- η καθιέρωση κανόνων και κριτηρίων χωροθέτησης που θα επιτρέπουν αφενός την δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. και αφετέρου την αρμονική ένταξή τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.
- η δημιουργία ενός αποτελεσματικού μηχανισμού χωροθέτησης των εγκαταστάσεων Α.Π.Ε., ώστε να επιτευχθεί ανταπόκριση στους στόχους των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών.

Στο Κεφάλαιο Β’ (Κανόνες Χωροθέτησης Αιολικών Εγκαταστάσεων), βάση του Άρθρου 5 ο εθνικός χώρος, με βάση το εν δυνάμει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό του και τα ιδιαίτερα χωροταξικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του, διακρίνεται στις ακόλουθες μείζονες κατηγορίες:

- Στην ηπειρωτική χώρα, συμπεριλαμβανομένης της Εύβοιας.
- Στην Αττική, που αποτελεί ειδικότερη κατηγορία της ηπειρωτικής χώρας λόγω του μητροπολιτικού χαρακτήρα της.
- Στα κατοικημένα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου Πελάγους, συμπεριλαμβανομένης της Κρήτης.
- Στον υπεράκτιο θαλάσσιο χώρο και τις ακατοίκητες νησίδες.

Η ηπειρωτική χώρα διακρίνεται περαιτέρω σε Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (Π.Α.Π.) και σε Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας (Π.Α.Κ.) ως εξής:

- Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (Π.Α.Π.): Είναι οι περιοχές της ηπειρωτικής χώρας, που προσδιορίζονται στον παρακάτω Πίνακα και απεικονίζονται στο παρακάτω Χάρτη της παρούσας απόφασης, οι οποίες διαθέτουν συγκριτικά πλεονεκτήματα για την εγκατάσταση αιολικών σταθμών, ενώ ταυτόχρονα προσφέρονται από απόψεως επίτευξης των χωροταξικών στόχων. Στις περιοχές αυτές, εκτιμάται η μέγιστη δυνατότητα χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων (φέρουσα ικανότητα).
- Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας (Π.Α.Κ.). Χαρακτηρίζονται όλοι οι πρωτοβάθμιοι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.) της ηπειρωτικής χώρας που δεν περιλαμβάνονται στις Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας των οποίων περιοχές ή και μεμονωμένες θέσεις που κρίνονται από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.



Εικόνα 3: Χάρτης Περιοχών Αιολικής Προτεραιότητας

Πίνακας 1: Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (Π.Α.Π.)

ΠΕΡΙΟΧΗ 1	
ΝΟΜΟΣ ΕΒΡΟΥ	ΝΟΜΟΣ ΡΟΔΟΠΗΣ
Δ. Φερών	Δ. Αρριανών
Δ. Τραϊανούπολης	Κ. Κέχρου
Δ. Αλεξανδρούπολης	
Δ. Σουφλίου	
Δ. Τυχερού	
Αιολικό δυναμικό της Περιοχής 1: 538 τυπικές Α/Γ (ενδεικτικά 1.076 MWe).	
ΠΕΡΙΟΧΗ 2	
ΝΟΜΟΣ ΕΥΒΟΙΑΣ	ΝΟΜΟΣ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ
Δ. Αυλώνος	Δ. Αποδοτίας
Δ. Δυστίων	Δ. Πλατάνου
Δ. Καρύστου	Δ. Θέρμου
Δ. Μαρμαρίου	ΝΟΜΟΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ
Δ. Μεσσαπίων	Δ. Αγ. Γεωργίου Τυμφρηστού
Δ. Στυραίων	Δ. Σπερχειάδος
Κ. Καφηρέως	Δ. Υπάτης
Δ. Διρφύων	Δ. Αταλάντης
Δ. Κύμης	Δ. Μακρακώμης
	Δ. Οπουντίων
ΝΟΜΟΣ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	ΝΟΜΟΣ ΦΩΚΙΔΑΣ
Δ. Αγράφων	Δ. Βαρδουσίων
Δ. Βίνιανης	Δ. Λιδωρικίου
Δ. Δομνίστας	Δ. Δεσφίνης
Δ. Καρπενησίου	Δ. Αμφίσσης
Δ. Κτημενίων	Δ. Καλλιέων
Δ. Ποταμιάς	ΝΟΜΟΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ
Δ. Προυσσού	Δ. Καλλιφώνου
Δ. Φουρνά	Δ. Μενελαΐδας
Δ. Φραγκίστας	Δ. Ρεντίνης
ΝΟΜΟΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ	Δ. Ιτάμου
Δ. Δαύλειας	
Δ. Διστόμου	
Δ. Λεβαδέων	
Δ. Ορχομενού	
Δ. Χαϊρώνειας	
Δ. Αραχώβης	
Κ. Κυριακίου	
Αιολικό δυναμικό της Περιοχής 2: 2.174 τυπικές Α/Γ (ενδεικτικά 4.348 MWe)	
ΠΕΡΙΟΧΗ 3	
ΝΟΜΟΣ ΛΑΚΩΝΙΑΣ	ΝΟΜΟΣ ΑΡΚΑΔΙΑΣ
Δ. Βοιών	Δ. Λεωνιδίου
Δ. Γερονθρών	Κ. Κοσμά
Δ. Ζάρακα	
Δ. Μολάων	
Δ. Μονεμβασίας	
Δ. Νιάτων	

Ειδικότερα, σύμφωνα με το Άρθρο 7 του Ειδικού Πλαισίου (Ειδικά κριτήρια χωροθέτησης αιολικών μονάδων στην ηπειρωτική χώρα), ορίζεται μεταξύ των άλλων ότι στον Δήμο Καρπενησίου που χαρακτηρίζεται από υψηλό δείκτη τουριστικής ανάπτυξης το ποσοστό κάλυψης των εδαφών από αιολικές εγκαταστάσεις, δεν μπορεί να υπερβαίνει το 4%. Αυτό σημαίνει ότι επιτρέπεται 1 τυπική ανεμογεννήτρια/2000 στρέμματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

2.1 Ηλιακά Χαρακτηριστικά

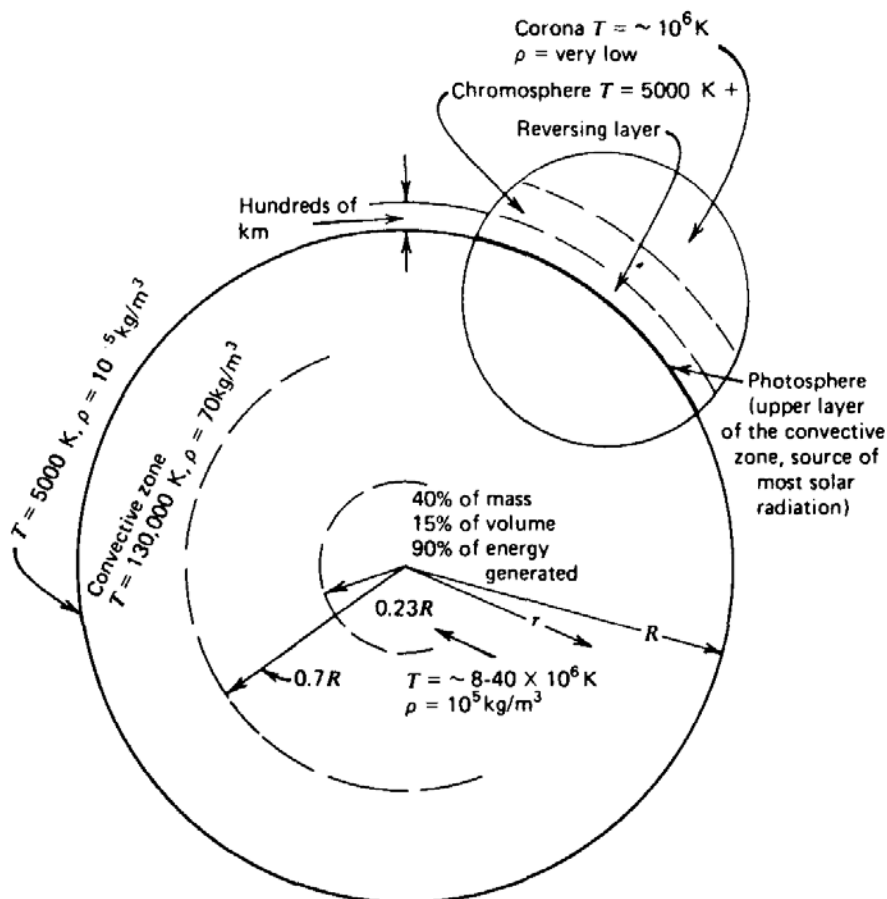
Ο ήλιος είναι ένας αστέρας με μάζα 2×10^{30} kg, διάμετρο 1.39×10^9 m, ηλικία 5 δισεκατομμύρια χρόνια και προσδόκιμο χρόνο ζωής άλλα τόσα χρόνια περίπου. Η επιφανειακή θερμοκρασία του εκτιμάται σε 5.800 °K, η θερμοκρασία του πυρήνα του σε $14.000.000$ °K και η μέση απόσταση από τη Γη είναι $150.000.000$ km. Ο ήλιος κάνει μια περιστροφή γύρω από τον άξονα του κάθε τέσσερις εβδομάδες, αλλά δεν περιστρέφεται σαν ένα στερεό σώμα αφού ο ισημερινός του χρειάζεται 27 ημέρες ενώ οι περιοχές στους πόλους χρειάζονται 30 ημέρες για μια πλήρη περιστροφή. Ενώ ακολουθεί μια τροχιά στον γαλαξία σε μια απόσταση 25.000 με 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του, ολοκληρώνοντας μια περιστροφή σε περίπου 226 εκατομμύρια έτη.

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

Ο ήλιος αποτελείται κατά 74% υδρογόνο κατά 25% ήλιο και 1% άλλα στοιχεία. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Αυτές μετατρέπουν κάθε δευτερόλεπτο 564×10^6 τόνους υδρογόνου. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια. Υπολογίζεται ότι από την μετατροπή 1 gr υδρογόνου σε ήλιο παράγεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5$ kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά και με σωματιδιακή μορφή. Η σωματιδιακή μορφή αποτελείται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια, και ονομάζεται ηλιακός άνεμος. Σε κάποιες περιπτώσεις ηλιακών εκρήξεων η ένταση του ηλιακού ανέμου αυξάνει σημαντικά και μπορεί να φτάσει τα 10^8 πρωτόνια ανά cm^2 και sec, στην απόσταση που βρίσκεται η Γη. Η μορφή αυτής της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευράς

ενεργειακής εκμετάλλευσης. Αναφορικά η ηλιακή ενέργεια που εκπέμπεται σε 20 min είναι ίση με αυτήν που καταναλώνει ο πληθυσμός της γής σε ένα ολόκληρο χρόνο!

Μια σχηματική αναπαράσταση του ήλιου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Υπολογίζεται ότι το 90 % της ενέργειας του ήλιου παράγεται στην περιοχή από 0 ως 0.23R (όπου R η ακτίνα του ήλιου) η οποία περιέχει το 40 % της μάζας του ήλιου. Στην απόσταση 0.7R από το κέντρο, η θερμοκρασία έχει πέσει σε 130.000 °K και η πυκνότητα έχει μειωθεί σε 70 Kg/m³. Στην περιοχή από 0.7R με 1R η θερμοκρασία έχει πέσει σε 5000 °K και η πυκνότητα περίπου στο 10⁻⁵ Kg/m³. Πάνω ακριβώς από τον ηλιακό πυρήνα υπάρχει η φωτόσφαιρα η οποία και φτάνει μέχρι και την επιφάνεια, η στοιβάδα αυτή της Ηλιακής σφαίρας από την οποία και προέρχεται όλη η ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς ο παρατηρούμενος κάθε φορά δίσκος του Ήλιου αντιστοιχεί στη φωτόσφαιρα. Ενώ πιο έξω βρίσκεται η χρωμόσφαιρα (10.000 km) και ακόμα πιο έξω η κορόνα .



Σχήμα 1: Σχηματική Αναπαράσταση Ηλίου

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανου σώματος θερμοκρασίας 5.800 °K. στην επιφάνεια της γής το ηλιακό φώς αποκτά τελικά μια πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, η οποία οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει. Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην μέση απόσταση πλανήτη – ήλιου σε ένα ηλιακό σύστημα, ονομάζεται ηλιακή σταθερά του πλανήτη. Στο ηλιακό μας σύστημα η ηλιακή σταθερά της γής είναι $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$. Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου – γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείτε η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$G_{on} = G_{sc} [1 + 0.00333 * \cos (360 * n / 365)]$$

Όπου n οι ημέρες του έτους $n = 1, 2, 3, \dots, 365$

G_{on} η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

Αξιοσημείωτη είναι η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία αφού η ένταση της εξαρτάται από το υψόμετρο της τοποθεσίας της γής που δέχεται την ακτινοβολία. Στην επιφάνεια της θάλασσας φτάνει περίπου $900 - 1000 \text{ W/m}^2$ η τιμή αυτή αυξάνει περίπου 7 W/m^2 για κάθε 100m ύψους της τοποθεσίας, επειδή όμως μειώνεται αντίστοιχα το πάχος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

2.2 Υπολογισμός θέσης και Γεωγραφικό πλάτος (ϕ) και Γεωγραφικό μήκος (λ)

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο με περίοδο 365.25 ημέρες σε ελαφρώς ελλειπτική τροχιά. Το επίπεδο της τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο τέμνει την ουράνια σφαίρα, που είναι μια σφαίρα με κέντρο τον εκάστοτε παρατηρητή και αυθαίρετα μεγάλη ακτίνα, κατά ένα μέγιστο κύκλο, που ονομάζεται εκλειπτική. Η διάμετρος της ουράνιας σφαίρας που είναι κάθετη προς την εκλειπτική ονομάζεται άξονας της εκλειπτικής και σχηματίζει γωνία $23,45^\circ$ με τον άξονα περιστροφής της γής. Η γωνία αυτή ονομάζεται λόξωση της εκλειπτικής ή απόκλιση. Εκτός από την περιφορά της γής γύρω από τον ήλιο, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της με σχεδόν σταθερή γωνιακή ταχύτητα, εκτελώντας μια πλήρη περιστροφή σε 24 ώρες περίπου. Είναι, λοιπόν προφανές ότι η περιστροφή της

γής γύρω από τον ήλιο εξασφαλίζει τη διαδοχή των εποχών και η περιστροφή γύρω από τον άξονα της εξασφαλίζει την διαδοχή ημέρας και νύχτας.

Για τον προσδιορισμό την θέση μας πάνω στην επιφάνεια της γης χρησιμοποιούνται οι γεωγραφικές συντεταγμένες. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες ενός τόπου είναι το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος. Γεωγραφικό μήκος ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται από το μεσημβρινό το τόπου και το μεσημβρινό του Γκρήνουιτς. Γεωγραφικό πλάτος φ ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της κατακόρυφου του τόπου και το γήινο ισημερινό.

Το γεωγραφικό μήκος του τόπου εκφράζει τη γωνία που σχηματίζετε από το μεσημβρινό του τόπου και το μεσημβρινό του Γκρήνουιτς και είναι:

$$- 180^{\circ} \leq \lambda \leq 180^{\circ}$$

Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εκφράζει τη γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό και είναι:

$$- 90^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$$

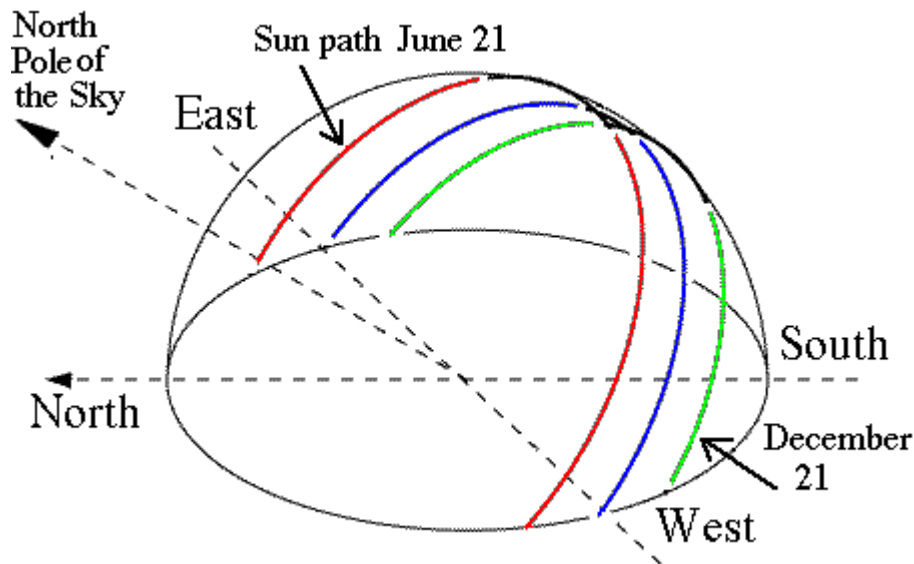
Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια γεωγραφικά πλάτη κάποιων ελληνικών περιοχών.

Πίνακας 2: Γεωγραφικά Πλάτη Διάφορων Ελληνικών Περιοχών

Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεσιτιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41° 30'
Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40° 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά Κασσάνδρα, Λήμνος, Λιτόχωρο,	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39° 30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσος, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακιών, Ιεράπετρα, Αγ. Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

2.3 Απόκλιση του ήλιου δ

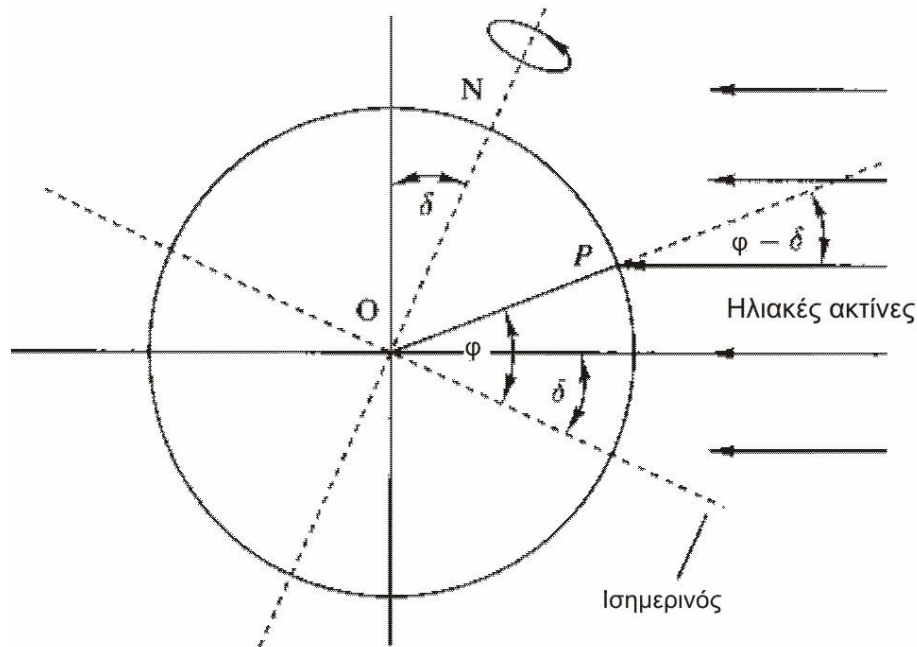
Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης (δ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού (Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο.



Εικόνα 4: Θέση του Ηλίου σε Διάφορες Εποχές

Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, καθώς και των

ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.



Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)$$

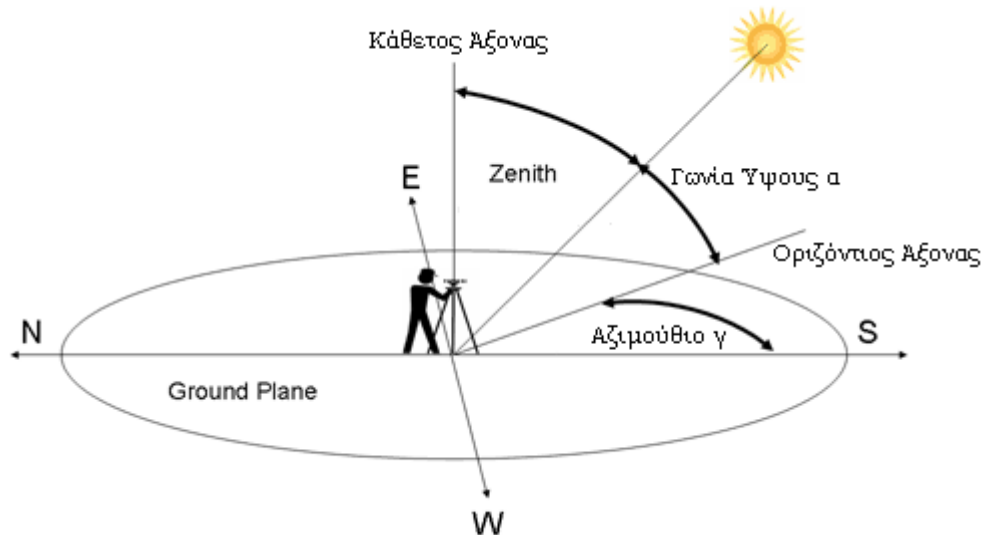
2.4 Ύψος και αζιμούθιο ήλιου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες:

- Το ύψος του ήλιου (α)
- το αζιμούθιο του ήλιου (γ)

Το ύψος του ήλιου (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. Αζιμούθιο γ είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό. Το αζιμούθιο είναι:

- Για νότιο προσανατολισμό $\gamma=0$
- Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.
- Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.



Εικόνα 5: Το ύψος (α) και το αζιμούθιο του ήλιου (γ)

2.5 Ζενιθιακή και Ωριαία Γωνία του Ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου (θ_Z). Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου. Ωριαία γωνία ορίζεται ως ωριαία γωνία (ω) του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

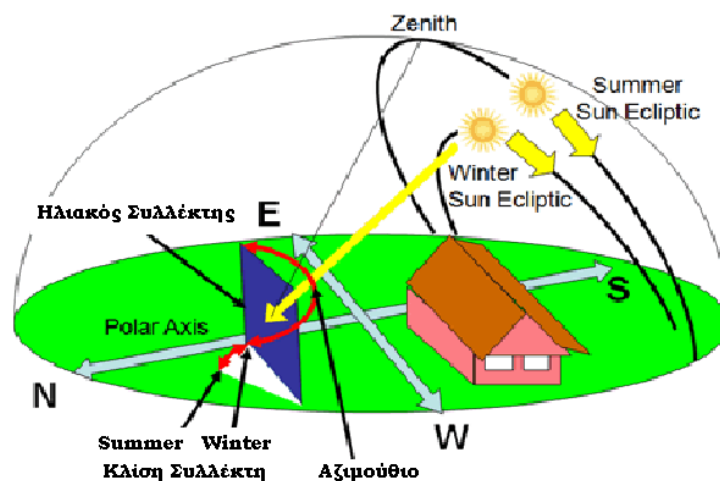
$$\omega = \pm (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$$

2.6 Προσανατολισμός του Συλλέκτη

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη (β) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα

στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο 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 του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση. Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (θ) 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 η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.



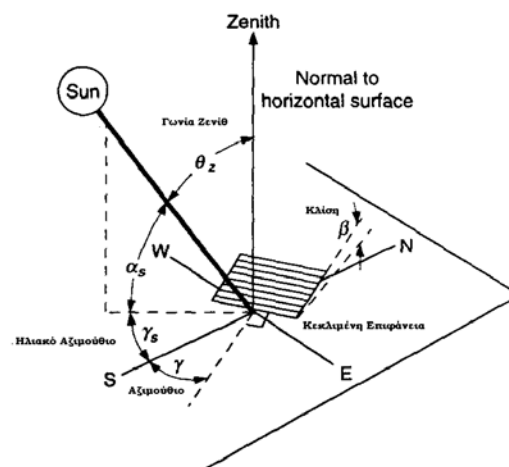
Εικόνα 6: Θέση Ηλιακού Συλλέκτη

Η κλίση του συλλέκτη (β), το αζιμούθιο του συλλέκτη (γ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στο συλλέκτη (θ). 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. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση:

$$\cos \theta = \sin \delta * \sin \varphi * \cos \beta - \sin \delta * \cos \varphi * \sin \beta * \cos \gamma + \cos \delta * \cos \varphi * \cos \beta * \cos \omega + \cos \delta * \sin \varphi * \sin \beta * \cos \gamma * \cos \omega + \cos \delta * \sin \beta * \sin \omega * \sin \gamma$$

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και τον συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία 30° ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι 45° ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ. ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου 25°. Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους.

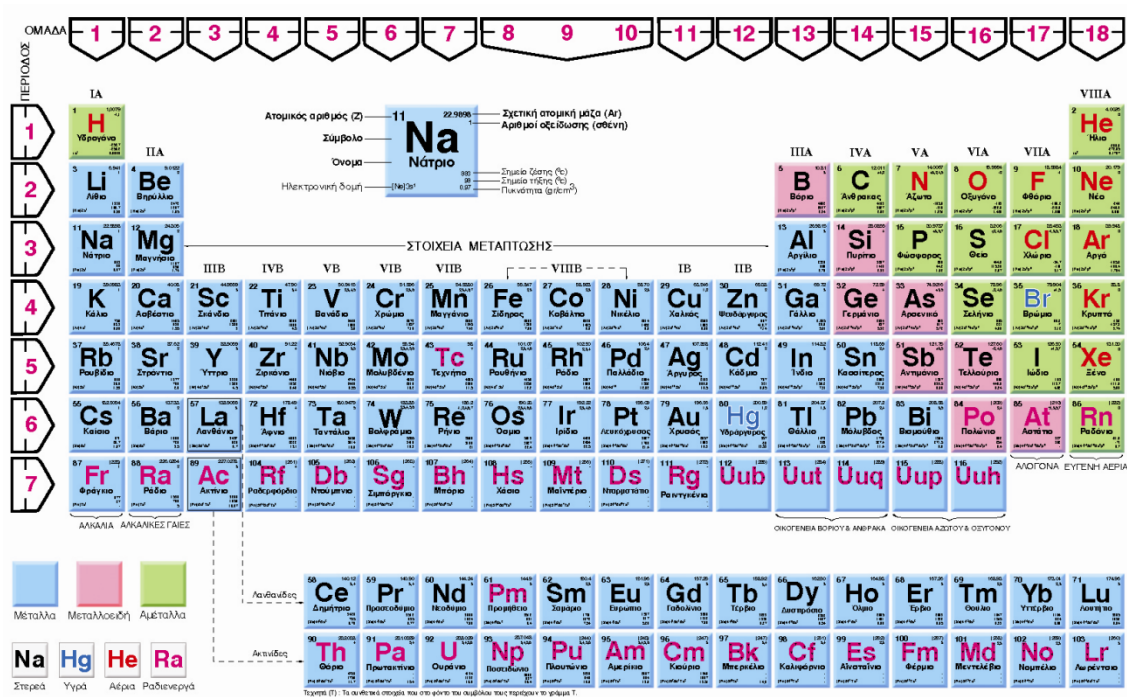


Εικόνα 7 Γεωμετρία του Χώρου σε Σχέση με Ηλιακό Συλλέκτη

2.7 Ημιαγωγοί

Κάθε άτομο ενός στοιχείου περιλαμβάνει έναν πυρήνα και έναν αριθμό ηλεκτρονίων που περιστρέφονται γύρω από αυτόν. Τα ηλεκτρόνια φέρουν αρνητικό φορτίο ενώ ο πυρήνας φέρει θετικό φορτίο. Ο πυρήνας είναι ένα σύνολο από νετρόνια και πρωτόνια ενώ τα ηλεκτρόνια διατάσσονται γύρω από τον πυρήνα σε στοιβάδες. Τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα λέγονται ηλεκτρόνια σθένους.

Τα υλικά εμπειρικά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, στηριζόμενοι σε ενδεικτικές τιμές για την ειδική τους αντίσταση, τους αγωγούς, τους ημιαγωγούς και τους μονωτές. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγούς, που είναι σώματα με ενδιάμεση ηλεκτρική αγωγιμότητα.



Εικόνα 8: Οι Ημιαγωγοί στον Περιοδικό Πίνακα.

Βάση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς τους τα ηλεκτρόνια των ημιαγωγών κατατάσσονται σε:

- Ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων
- Ελεύθερα ηλεκτρόνια
- Ηλεκτρόνια σθένους

Δεν υπάρχει ένα σαφώς καθορισμένο όριο μεταξύ των αγωγών και των ημιαγωγών, για αυτό μονωτής θεωρείται ένα υλικό με μεγάλη ειδική αντίσταση (ή μικρή αγωγιμότητα). Ημιαγωγός λοιπόν είναι το στερεό που εμφανίζει ομοιοπολικούς ή ιοντικούς χημικούς δεσμούς και το οποίο παρουσιάζει αγωγιμότητα ελεύθερων φορέων μικρότερη από αυτήν που αντιστοιχεί στα μέταλλα, αλλά μεγαλύτερη από αυτήν που χαρακτηρίζει έναν καλό μονωτή. Αυτή η ιδιότητάς τους, επιτρέπει τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου υπό ορισμένες περιπτώσεις, όπως η αύξηση θερμοκρασίας ή η πρόσπτωση φωτός. Κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τα τετρασθενή στοιχεία (πυρίτιο, γερμάνιο), χημικές ενώσεις με τετραεδρική κρυσταλλική δομή (αρσενικούχο γάλλιο, θειούχο κάδμιο).

2.8 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Οι ημιαγωγοί λοιπόν είναι στερεά υλικά που εμφανίζουν ηλεκτρικές ιδιότητες, οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε τεχνικές εφαρμογές. Μια έκφραση του ηλεκτρικού χαρακτήρα των ημιαγωγών είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (σ), που οφείλεται στη μετακίνηση φορτισμένων φορέων (ηλεκτρονίων και οπών λόγω μικρής ενεργού μάζας και αφθονίας) προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, υπό την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας των ατόμων μπορούν να κινηθούν προς τις οπές γειτονικών δεσμών, που δημιουργήθηκαν επειδή τα εκεί ηλεκτρόνια εγκατέλειψαν την θέση τους, ή αντάλλαξαν θέσεις με άλλα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών δεσμών. Τα ηλεκτρόνια που λαμβάνουν μέρος στη μετακίνηση αυτή είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, δηλαδή αυτά που έχουν χωρικά αποδεσμευτεί από τα άτομα στα οποία ανήκουν. Τα αντίστοιχα ισχύουν και για τις οπές.

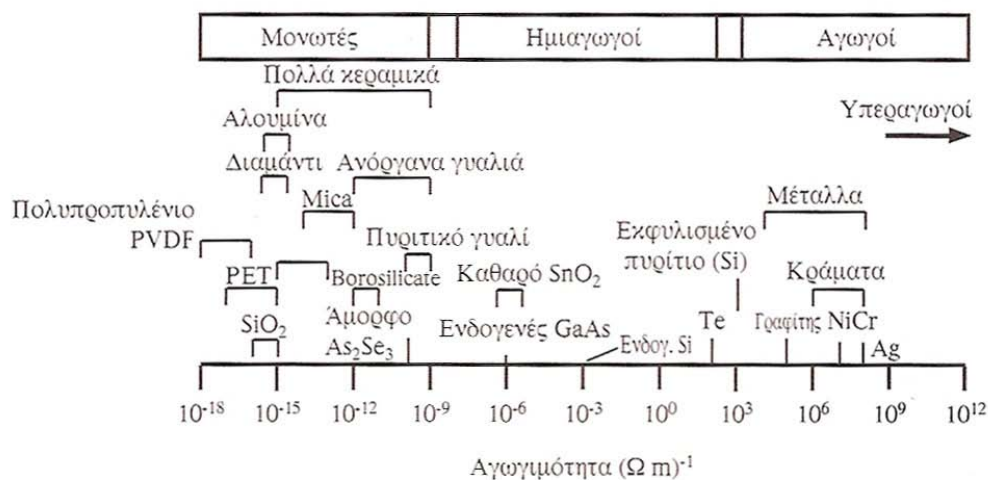
Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ορίζεται ως το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης ρ και μετριέται στο SI σε $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Βασικό κριτήριο κατάταξης των σωμάτων είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα και η κατηγοριοποίηση (χωρίς αυστηρά προκαθορισμένα όρια), έχει ως εξής:

- Μονωτές ή κακοί αγωγοί: υλικά όπως τα πολυμερή και τα κεραμικά και από τιμή ειδικής αγωγιμότητας της τάξης του 10^{-10} με $10^{-20} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.

¹ Ιδιότητα του σώματος να εμποδίζει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα.

- Ημιαγωγοί: υλικά όπως το πυρίτιο (Si) και το γερμάνιο (Ge) με ενδιάμεση τιμή ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των τιμών 10^{-7} και $10^5 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.
- Αγωγοί: τα μέταλλα και τα κράματα με ειδικής αγωγιμότητας 10^5 και $10^8 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ και με κυριότερους εκπροσώπους το χαλκό και τον άργυρο.
- Υπεραγωγοί: η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υλικών αυτών εκδηλώνεται με πρακτικά μηδενική αντίσταση κάτω από μια κρίσιμη θερμοκρασία, τιμή μαγνητικού πεδίου και πυκνότητα ρεύματος και έχει εξαιρετικά υψηλές τιμές που είναι μεγαλύτερες των $10^{28} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$. Τα υλικά αυτά άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα με μηδενικές απώλειες ισχύος.



Εικόνα 9: Χαρακτηρισμός Υλικών Σύμφωνα με την Αγωγιμότητά τους.

Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα ηλεκτρόνια των σωμάτων μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Η μία είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία διαθέτουν αρκετή ενέργεια ώστε να αποσπαστούν από τους δεσμούς του σώματος. Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή των ηλεκτρονίων σθένους που μπορούν να κινηθούν προς τις οπές των γειτονικών τους δεσμών ή σχηματίζουν τους δεσμούς. Η τρίτη κατηγορία είναι τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων που δεν έχουν αρκετή ενέργεια ώστε να μετακινηθούν.

Στους ημιαγωγούς υπάρχουν οι εξής ενεργειακές ζώνες:

- Ζώνη αγωγιμότητας E_c
- (Απαγορευμένη ζώνη E_g)
- Ζώνη σθένους (ηλεκτρόνια σθένους) E_v

- Εσωτερική ενεργειακή ζώνη (ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων)

Η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στη ζώνη αγωγιμότητας και στη ζώνη σθένους ονομάζεται ενεργειακό διάκενο E_g ή ενεργειακό χάσμα. Το ενεργειακό χάσμα εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους και τη μετατροπή του σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Στους ημιαγωγούς τα ηλεκτρόνια σθένους μπορούν να απορροφήσουν σημαντική ποσότητα φωτός. Η απορρόφηση καθορίζεται από το μέγεθος της ενέργειας των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό χάσμα. Όταν η ενέργεια του φωτονίου είναι μεγαλύτερη ή ίση με αυτήν του ενεργειακού χάσματος οπότε το φωτόνιο απορροφάται (αν είναι μικρότερη τότε δεν απορροφάται), από ένα ηλεκτρόνιο σθένους του ημιαγωγού. Το ηλεκτρόνιο τότε δέχεται ενέργεια και ανεβαίνει ενεργειακά στη ζώνη αγωγιμότητας αφήνοντας στη ζώνη σθένους μια οπή. Πρακτικά, όταν ένας ημιαγωγός φωτιστεί, τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στη ζώνη σθένους, που ονομάζονται και φορείς ρεύματος, αυξάνονται, οπότε τότε αυξάνεται και η αγωγιμότητα του. Όταν αυτή η αύξηση της αγωγιμότητας γίνεται με την επίδραση του φωτός ονομάζεται φωτοαγωγιμότητα.

2.9 Διεπιφάνειες και Ένωση Επαφής p-n

Οι διεπιφάνειες που σχηματίζονται με την επαφή ημιαγωγών έχουν τεράστια εφαρμογή τόσο σε ηλεκτρονικές διατάξεις αλλά και σε οπτικές. Οι κυριότερες από αυτές τις διατάξεις είναι η δίοδος (ή ένωση) επαφής p-n και οι ενώσεις μετάλλου - ημιαγωγού γνωστές ως δίοδοι Schottky.

Όταν ένας ημιαγωγός φωτιστεί, τότε τα φωτόνια μεταφέρουν την ενέργεια τους στα ηλεκτρόνια σθένους του ημιαγωγού, τα οποία κατορθώνουν τελικά να αποδεσμευτούν από την έλξη του πυρήνα τους. Συνεπώς δημιουργείτε μια κενή θέση στον δεσμό η οποία καλείται οπή. Αν με κάποιο τρόπο απομακρύνουμε το ηλεκτρόνιο από τον ημιαγωγό τότε κάποιο άλλο ηλεκτρόνιο θα καλύψει την οπή και τότε θα δημιουργηθεί μια άλλη. Η κίνηση αυτή είναι παραγωγή ρεύματος και εξασφαλίζεται με ημιαγωγούς πρόσμειξης, οι οποίοι περιέχουν στο κρυσταλλικό τους πλέγμα διεσπαρμένα κατάλληλα επιλεγμένο διαφορετικό υλικό.

Στους ημιαγωγούς τύπου n αντικαθιστούμε μερικά από τα άτομα του καθαρού ημιαγωγού με άτομα υλικού μεγαλύτερου σθένους, δότες. Στους αγωγούς τύπου p

αντικαθιστούμε μερικά από τα άτομα του καθαρού ημιαγωγού με άτομα υλικού μικρότερου σθένους, αποδέκτες. Συνεπώς στον ημιαγωγό τύπου n ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης είναι ελεύθερο αφού δεν συμμετέχει σε δεσμό, ενώ στον ημιαγωγό τύπου p υπάρχει έλλειψη ενός ηλεκτρονίου. Συνεπώς όταν έρθει σε επαφή ένας ημιαγωγός τύπου n σε επαφή με έναν ημιαγωγό τύπου p , τότε υπάρχει μια μετακίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων από τον n στον p , ώστε να συμπληρωθούν οι οπές και αντίστοιχα οπές του p εισέρχονται στον n και ενώνονται με αντίστοιχο αριθμό ηλεκτρονίων. Έχουμε επομένως θετικά ιόντα στην πλευρά του ημιαγωγού n και αρνητικά στην πλευρά του ημιαγωγού p .

Ένας p -ενισχυμένος ημιαγωγός είναι σχετικά αγωγίμος. Το ίδιο ισχύει και για ένα n -ενισχυμένο ημιαγωγό, αλλά η διεπαφή μεταξύ τους είναι κακός αγωγός. Αυτό το μονωτικό στρώμα, που ονομάζεται περιοχή απογύμνωσης ή περιοχή φορτίου χώρου ή ζώνη φραγής, προκύπτει επειδή τα ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια που υπάρχουν στο n -τύπου και στο p -τύπου (ηλεκτρόνια και οπές, αντίστοιχα) έλκονται και αλληλοεξουδετερώνονται. Αυτή η διάταξη των ημιαγωγών n και p ονομάζεται δίοδος επαφής ή κρυσταλοδίοδος ή ημιαγωγίμη επαφή p - n . Λόγω αυτού του μη αγωγίμου στρώματος, οι διεπαφές p - n χρησιμοποιούνται ευρέως ως δίοδοι: στοιχεία του κυκλώματος που επιτρέπουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος προς μία κατεύθυνση, αλλά απαγορεύουν τη ροή προς την άλλη (αντίθετη) κατεύθυνση. Η ιδιότητα αυτή μας επιτρέπει να χωρίσουμε την διερεύνηση της διόδου σε τρεις καταστάσεις:

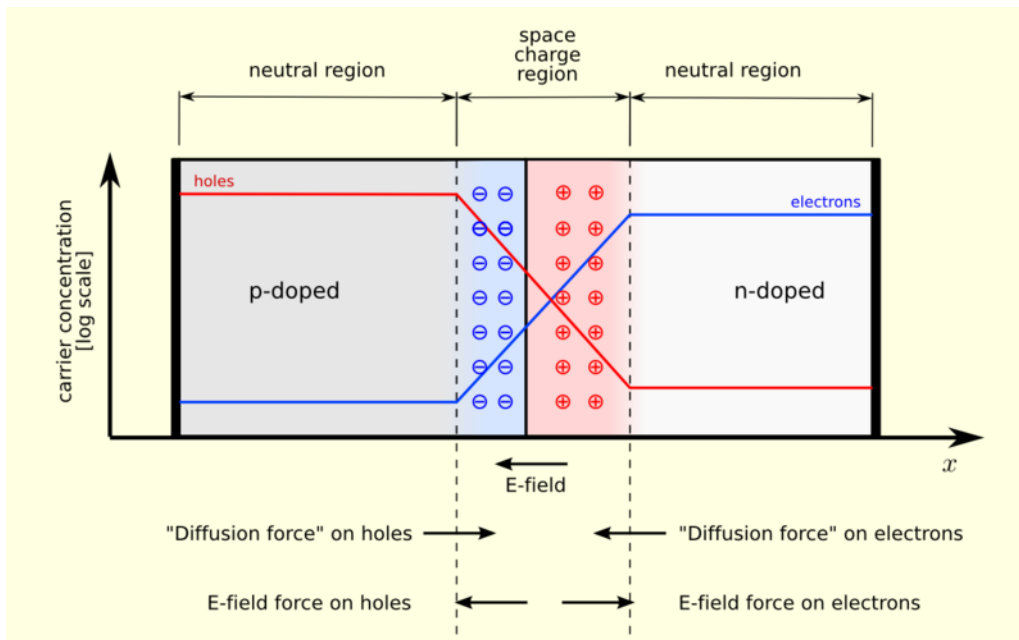
- Ένωση p - n σε ισορροπία
- Ορθή πόλωση ένωσης p - n
- Ανάστροφη πόλωση ένωσης p - n

2.10 Πόλωση p - n

2.10.1. Μηδενική Πόλωση-Ένωση σε Ισορροπία

Σε μία ένωση p - n , χωρίς την εφαρμογή εξωτερικής τάσης, επιτυγχάνεται κατάσταση ισορροπίας κατά την οποία, διαφορά δυναμικού διαμορφώνεται στα άκρα της ένωσης. Μετά την ένωση p και n -τύπου ημιαγωγών, τα ηλεκτρόνια κοντά στην ένωση τείνουν να διαχυθούν στην p περιοχή. Καθώς τα ηλεκτρόνια διαχέονται, αφήνουν θετικά φορτισμένα ιόντα (δότες) στην n περιοχή. Ομοίως, οι οπές κοντά στην ένωση αρχίζουν να διαχέονται στην n -περιοχή αφήνοντας αρνητικά φορτισμένα ιόντα (αποδέκτες) στην περιοχή p . Οι

περιοχές γύρω από την p-n ένωση χάνουν την ουδετερότητά τους και φορτίζονται, δημιουργώντας την περιοχή απογύμνωσης.



Εικόνα 10: Ένωση p-n σε Ισορροπία

Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στην περιοχή ένωσης αντιτίθεται στη διαδικασία της διάχυσης και για τα ηλεκτρόνια και για τις οπές. Υπάρχουν δύο ταυτόχρονα φαινόμενα: η διαδικασία διάχυσης που τείνει να δημιουργήσει μεγαλύτερη περιοχή απογύμνωσης, και το ηλεκτρικό πεδίο που παράγεται από αυτή που τείνει να εξουδετερώσει τη διάχυση. Η συγκέντρωση ρεύματος στη κατάσταση ισορροπίας φαίνεται στην εικόνα με μπλε και κόκκινες γραμμές. Επίσης, παρουσιάζονται τα δύο αντίθετα φαινόμενα που οδηγούν στην ισορροπία.

2.10.2 Ορθή πόλωση ένωσης p-n

Ορθή πόλωση έχουμε όταν το p-τύπου ημιαγωγικό υλικό είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο μιας πηγής και το n-τύπου ημιαγωγικό υλικό είναι συνδεδεμένο με το αρνητικό. Αυτό κάνει συνήθως τη p-n ένωση να άγει. Με την πηγή συνδεδεμένη με αυτόν τον τρόπο, οι οπές στη p-τύπου περιοχή και τα ηλεκτρόνια στην n-τύπου περιοχή ωθούνται προς την ένωση. Αυτό μειώνει το πλάτος της ζώνης απογύμνωσης. Το θετικό φορτίο που εφαρμόζεται στο p-τύπου υλικό απωθεί τις τρύπες, ενώ το αρνητικό φορτίο που εφαρμόζεται στο n-τύπου υλικό απωθεί τα ηλεκτρόνια. Καθώς ηλεκτρόνια και οπές ωθούνται προς την ένωση, η απόσταση μεταξύ τους μειώνεται. Το γεγονός αυτό μειώνει το

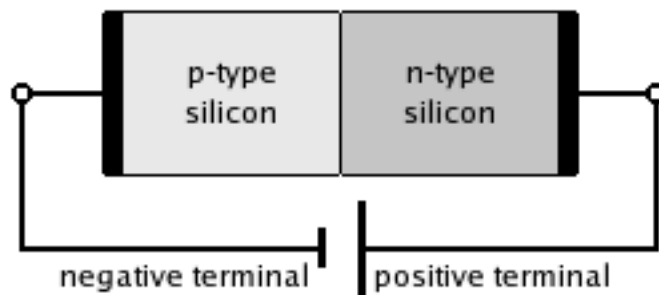
φράγμα δυναμικού. Αυξάνοντας την τάση, η ζώνη απογύμνωσης γίνεται τελικά αρκετά λεπτή ώστε το ηλεκτρικό πεδίο της ζώνης δεν μπορεί να αντισταθμίσει τη ροή φορτίου, με συνέπεια τη μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης. Τα ηλεκτρόνια που διασχίζουν την ένωση p-n και καταλήγουν στο p-τύπου υλικό (ή οι τρύπες οι οποίες μεταφέρονται στο n-τύπου υλικό) εξουδετερώνουν την περιοχή απογύμνωσης. Ως εκ τούτου, το ποσό της διάχυσης των φορέων μειονότητας καθορίζει το ποσό του ρεύματος που ενδέχεται να περάσει από την δίοδο.

Μόνο οι φορείς πλειονότητας (ηλεκτρόνια σε n-τύπου υλικό ή τρύπες στο p-τύπου) μπορούν να ρέουν μέσω του ημιαγωγού για μακροσκοπικό μήκος. Με αυτό κατά νου, θα εξετάσουμε τη ροή των ηλεκτρονίων σε όλη τη ένωση. Η ορθή πόλωση δημιουργεί μια δύναμη η οποία ωθεί τα ηλεκτρόνια από την πλευρά n προς την πλευρά p. Με την ορθή πόλωση, η περιοχή απογύμνωσης είναι αρκετά στενή ώστε τα ηλεκτρόνια μπορούν να διασχίσουν την ένωση και να ενσωματωθούν στο p-τύπου υλικό. Ωστόσο, δεν συνεχίζουν να ρέουν επ' αόριστον, επειδή είναι ενεργειακά προτιμώμενο απ' αυτά να επανασυνδέονται με οπές. Η μέση απόσταση που ταξιδεύει ένα ηλεκτρόνιο μέσα στο p-τύπου υλικό πριν ανασυνδυαστεί ονομάζεται μήκος διάχυσης, και είναι συνήθως της τάξης των μικρομέτρων. Παρά το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια διεισδύουν σε μικρή απόσταση το p-τύπου υλικό, το ηλεκτρικό ρεύμα συνεχίζει χωρίς διακοπή, διότι οι οπές (οι φορείς πλειονότητας) αρχίζουν να ρέουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το συνολικό ρεύμα (το άθροισμα των ρευμάτων που οφείλονται στη ροή ηλεκτρονίων και των οπών) είναι σταθερή, διότι οποιαδήποτε μεταβολή θα προκαλούσε συσσώρευση φορτίου στην πάροδο του χρόνου (κανόνας του Kirchhoff). Η ροή των οπών από την p-τύπου στη n-τύπου περιοχή είναι ακριβώς ανάλογη με τη ροή των ηλεκτρονίων από την n στην p (τα ηλεκτρόνια και οπές αλλάζουν ρόλους και όλα τα ρεύματα και οι τάσεις αντιστρέφονται).

Έτσι, η μακροσκοπική εικόνα της ροής του ρεύματος μέσω της διόδου περιλαμβάνει ηλεκτρόνια που διέρχονται από τη n-τύπου περιοχή προς την ένωση, οπές που διέρχονται από την p-τύπου περιοχή προς τη διασταύρωση, και τα δύο είδη των ρευμάτων που συνεχώς ανασυνδιάζονται πλησίον του κόμβου. Τα ηλεκτρόνια και οπές ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις, αλλά έχουν επίσης και αντίθετα φορτία, έτσι ώστε το συνολικό ρεύμα να είναι προς την ίδια κατεύθυνση και στις δύο πλευρές της διόδου, όπως απαιτείται.

2.10.3 Ανάστροφη πόλωση ένωσης p-n

Εάν μια δίοδος είναι αναστρόφως πολωμένη, η τάση στην κάθοδο είναι υψηλότερη από ότι στην άνοδο. Ως εκ τούτου, δεν θα υπάρξει ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέχρι η δίοδος να καταρρεύσει. Συνδέοντας την p-τύπου περιοχή στον αρνητικό πόλο της πηγής και την n-τύπου περιοχή στον θετικό, επιτυγχάνουμε ανάστροφη πόλωση. Οι συνδέσεις απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Εικόνα 11: Δίοδος σε Ανάστροφη Πόλωση

Επειδή το p-τύπου υλικό είναι συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο της πηγής, οι οπές του p-τύπου ωθούνται μακριά από τη ένωση, με αποτέλεσμα το πλάτος της ζώνης απογύμνωσης να αυξάνεται. Ομοίως, επειδή η n-τύπου περιοχή είναι συνδεδεμένη με τον θετικό πόλο, τα ηλεκτρόνια ωθούνται μακριά από την ένωση. Συνεπώς, η περιοχή απογύμνωσης διευρύνεται, και μάλιστα όλο και περισσότερο με την αύξηση της τάσης ανάστροφης πόλωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται η τάση κατωφλιού προκαλώντας υψηλή αντίσταση στη ροή του φορτίου επιτρέποντας έτσι ελάχιστο ηλεκτρικό ρεύμα για να διασχίζει τη ένωση p-n.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου της ζώνης απογύμνωσης αυξάνει με την αύξηση της τάσης της ανάστροφης πόλωσης. Μετά την αύξηση της έντασης ηλεκτρικού πεδίου πέρα από ένα κρίσιμο επίπεδο, η ζώνη απογύμνωσης καταρρέει και αρχίζει να ρέει ηλεκτρικό ρεύμα είτε λόγω του φαινομένου Zener ή λόγω της διάσπασης χιονοστιβάδας. Και οι δύο αυτές διεργασίες διάσπασης είναι μη καταστρεπτικές και είναι αναστρέψιμες, εφόσον το ποσό του ρεύματος που διαρρέει δεν φτάσει τα επίπεδα που προκαλούν υπερθέρμανση και θερμική βλάβη στο ημιαγώγιμο υλικό.

Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκή Μετατροπή

3.1 Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά είναι το “εργαλείο” που καθιστά δυνατή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Η μετατροπή της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται χρησιμοποιώντας ηλιακές κυψέλες (φωτογραφία 2.1.1). Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αναφέρεται σε φωτόνια (σωματίδια που εμπεριέχονται στις δέσμες φωτός) τα οποία προσκρούουν σε ηλεκτρόνια και τους προσδίδουν ενέργεια με αποτέλεσμα να δημιουργείται ηλεκτρισμός. Ο όρος φωτοβολταϊκό υποδηλώνει την λειτουργία μιας φωτοδιόδου χωρίς πόλωση στην οποία το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται αποκλειστικά στην πρόσπτωση ηλιακής ενέργειας. Σχεδόν όλα τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κάποιο είδος φωτοδιόδου.

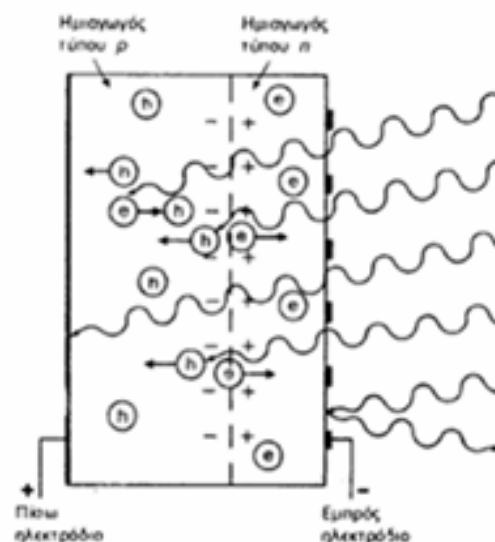


Εικόνα 12: Ηλιακή Κυψέλη

Η πρώτη πρακτική εφαρμογή των φωτοβολταϊκών ήταν να παρέχουν ενέργεια σε δορυφόρους και άλλα διαστημικά οχήματα που ήταν σε τροχιά γύρω από τη Γη. Σήμερα η πλειονότητα των φωτοβολταϊκών χρησιμοποιείται για παροχή ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που είναι συνδεδεμένα. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται ένας μετατροπέας από DC σε AC. Επίσης χρησιμοποιούνται και για παροχή ενέργειας σε εγκαταστάσεις που δεν είναι δυνατό ή δεν συμφέρει να συνδεθούν με το δίκτυο, πλοία, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης και πολλά άλλα που θα δούμε παρακάτω.

3.2 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Τα ηλιακά κύτταρα κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά, τα οποία μπορεί να είναι είτε μονοκρυσταλλικά, είτε πολυκρυσταλλικά, είτε άμορφα. Ανεξάρτητα όμως από την κρυσταλλική τους δομή, όλα τα ηλιακά κύτταρα, εμπεριέχουν μία δίοδο ημιαγωγού που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου (δισκοειδής μορφή). Συνήθως η δίοδος αυτή παρέχεται από την επαφή ενός στρώματος τύπου-n, με ένα στρώμα τύπου-p (δίοδος επαφής p-n) ή ακόμα και από την επαφή μεταξύ ενός ημιαγωγού και ενός κατάλληλα επιλεγμένου μετάλλου (δίοδος Schottky).



Εικόνα 13: Ο Μηχανισμός του Φωτοβολταϊκού Φαινομένου σε ένα Ηλιακό Κύτταρο

Από τα μήκη κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μόνο τα φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση του ενεργειακού διακένου, απορροφούνται και παράγουν ελεύθερους φορείς, από τους οποίους άλλοι διαχωρίζονται και άλλοι επανασυνδέονται. Επίσης από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ένα μέρος ανακλάται και ένα μέρος διαπερνά τον ημιαγωγό και θερμαίνει το μεταλλικό ηλεκτρόδιο της πίσω όψης. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων (ανεξάρτητα με το είδος διόδου που εμπεριέχουν), βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά που προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να

ελευθερώσει ένα ζεύγος ελευθέρων φορέων (ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας και μία οπή στη ζώνη σθένους). Όσο λοιπόν διαρκεί η ακτινοβολήση του στοιχείου, δημιουργείται μία περίσσεια από ζεύγη φορέων, που υπερβαίνει τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Αν οι ελεύθεροι αυτοί φορείς, δεν επανασυνδεθούν αλλά βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, θα δεχτούν το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο της διόδου και θα διαχωριστούν με σκοπό τη μείωση της δυναμικής τους ενέργειας. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου-n και οι οπές μεταφέρονται στο τμήμα τύπου-p, με αποτέλεσμα η συσσώρευση αυτή του φορτίου στα δύο τμήματα να δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες της διόδου. Η διάταξη δηλαδή λειτουργεί ως ορθά πολωμένη δίοδος και ως πηγή ηλεκτρικού ρεύματος για όσο διάστημα διαρκεί η οπτική διέγερση.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου ηλιακού στοιχείου σύμφωνα με τη διαδικασία που προαναφέρθηκε ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο

3.3 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών

Τα 89 petawatts του ηλιακού φωτός που φθάνει στην επιφάνεια της Γης είναι άφθονα - σχεδόν 6.000 φορές πάνω από τα 15 terawatts του μέσου όρου της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τον άνθρωπο. Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή έχει την υψηλότερη πυκνότητα ισχύος (συνολική μέση τιμή $170 \text{ W} / \text{m}^2$) μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι χωρίς ρύπανση κατά τη χρήση. Τα απόβλητα και οι εκπομπές που παράγονται κατά τη διαδικασία της παραγωγής των φωτοβολταϊκών είναι διαχειρίσιμα από ήδη υπάρχοντα προγράμματα ελέγχου της ρύπανσης. Επίσης τεχνολογίες ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών μετά το πέρας της χρήσης τους είναι ήδη υπό ανάπτυξη. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν για πολλά χρόνια με ελάχιστη συντήρηση μετά την πρώτη τους εγκατάσταση, έτσι μετά το αρχικό κεφάλαιο για το κόστος κατασκευής ενός εργοστασίου ηλιακής ενέργειας, το λειτουργικό κόστος είναι εξαιρετικά χαμηλό σε σύγκριση με τις υφιστάμενες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικής από ηλιακή ενέργεια είναι οικονομικά προτιμότερη όπου η σύνδεση με το δίκτυο ή τη μεταφορά καυσίμου είναι δυσχερής, δαπανηρή ή αδύνατη.

Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων περιλαμβάνουν δορυφόρους, νησιωτικές κοινότητες, απομακρυσμένες τοποθεσίες, σκάφη για υπερωκεάνια ταξίδια και πολλές άλλες εφαρμογές. Όταν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν το σύνολο ή μέρος της δαπανηρής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε περιόδους αιχμής της ζήτησης (σε περιοχές που το κλίμα το επιτρέπει). Αυτό μπορεί να μειώσει τη φόρτωση του δικτύου, και μπορεί να εξαλείφει το πρόβλημα φωτισμού τη νύχτα. Επίσης, όταν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπικό επίπεδο με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας κατά τη διανομής της (οι απώλειες μεταφοράς στις ΗΠΑ ήταν περίπου 7,2% το 1995).

Σε σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά και την πυρηνικής ενέργειας, πολύ λίγα χρήματα έχουν επενδυθεί σε έρευνα για την ανάπτυξη των ηλιακών κυττάρων, έτσι υπάρχει μεγάλο περιθώριο για βελτίωση. Παρ' όλα αυτά, πειραματικά ηλιακά κύτταρα υψηλής απόδοσης έχουν ήδη αποδόσεις άνω του 40% και η βελτίωση της αποτελεσματικότητας παρουσιάζει ραγδαία άνοδο, ενώ παράλληλα το κόστος μαζικής παραγωγής παρουσιάζει ταχεία πτώση.

3.4 Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών

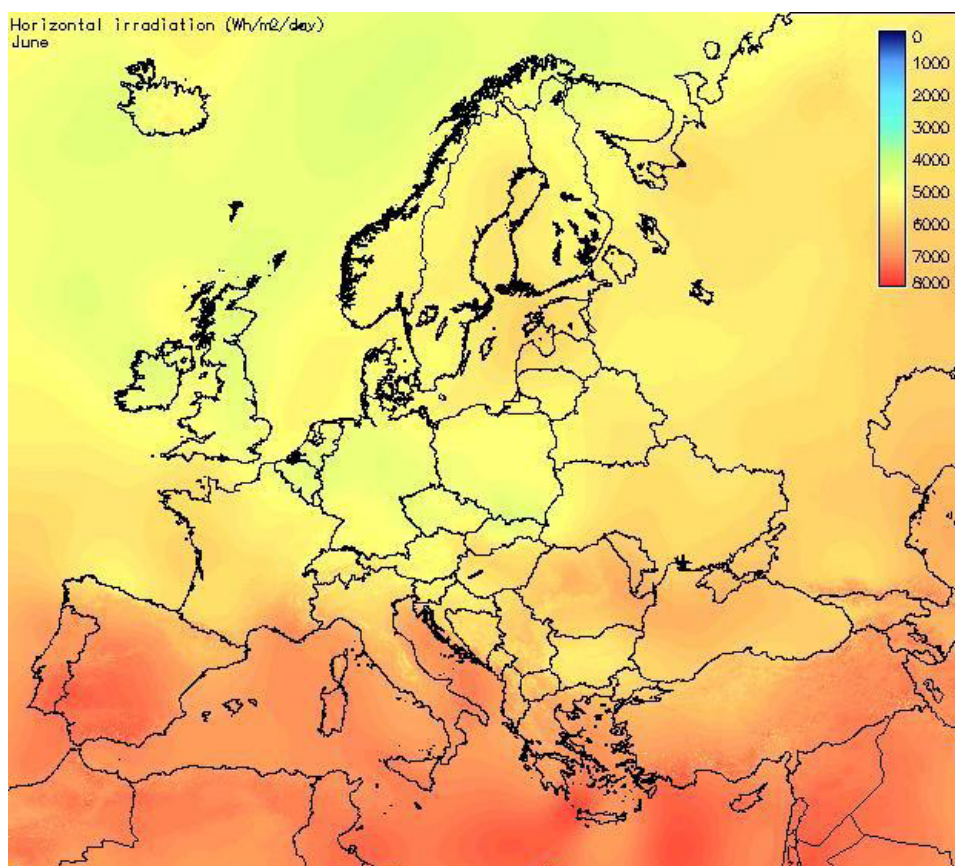
Τα φωτοβολταϊκά είναι δαπανηρά στην εγκατάσταση, τα τελευταία χρόνια όμως η τιμή του kW/€ τείνει να μειωθεί λόγω του ότι υπάρχουν πολλοί επενδυτές – χρήστες που εγκαθιστούν φωτοβολταϊκά. Ο εξοπλισμός συνήθως έχει εγγύηση για πάνω από 20 χρόνια, μεγάλο ποσοστό των επενδύσεων σε οικιακές εγκαταστάσεις) μπορεί να χαθεί αν ο ιδιοκτήτης αποφασίσει να μετακινηθεί και ο αγοραστής δίνει λιγότερη αξία για το σύστημα από τον πωλητή. Η πόλη του Berkeley έχει καταλήξει σε μια καινοτόμο μέθοδο χρηματοδότησης για την εξάλειψη αυτού του προβλήματος, με την προσθήκη ενός φόρου που μεταφέρεται με το σπίτι για την πληρωμή των ηλιακών συλλεκτών. Εννέα πολιτείες των ΗΠΑ έχουν υιοθετήσει τη λύση αυτή.

Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας θεωρείται ακριβή από του περισσότερους. Όμως μόλις ένα φ/β σύστημα εγκατασταθεί, παράγει ηλεκτρική ενέργεια χωρίς περαιτέρω κόστος μέχρι ο μετατροπέας να χρειαστεί αντικατάσταση. Επίσης οι τρέχουσες τιμές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας αυξάνονται κάθε χρόνο τα τελευταία 20 χρόνια και με την αυξανόμενη πίεση για μείωση του ποσοστού του άνθρακα θα αυξηθεί

ακόμα περισσότερο. Έτσι, η αύξηση αυτή (μακροπρόθεσμα) θα αντισταθμίζει εύκολα το αυξημένο κόστος στην εγκατάσταση αλλά το χρονοδιάγραμμα αποπληρωμής είναι πολύ μεγάλο για τους περισσότερους.

Ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη το βράδυ και είναι λιγότερο διαθέσιμη σε κακές καιρικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο ένα συμπληρωματικό σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η χρήση του γερμανίου σε ηλιακά κύτταρα παρέχει ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τη νύχτα, λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας που υπάρχει στην ατμόσφαιρα.

Εκτός από τούς δικούς τους κατασκευαστικούς περιορισμούς, τα Φ/Β συστήματα υπόκεινται και στους περιορισμούς που θέτει η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας της θέσης τους. Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (παραγωγή ενός συλλέκτη σε μορφή επίπεδης πλάκας σε οριζόντια κλίση) στις ΗΠΑ είναι 3-7 κιλοβατώρες / m^2 και κατά μέσο όρο χαμηλότερη στην Ευρώπη.



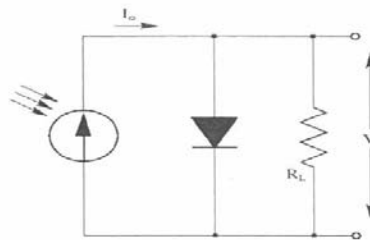
Εικόνα 14: Πυκνότητα Ισχύος Ηλιακής Ακτινοβολίας Ανά τον Κόσμο (Ιούνιος)

3.5 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία διόδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας. Στο ισοδύναμο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.

Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί ισορροπία όταν η τάση που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα, για το οποίο και θα ισχύει:

$$I_{\phi} = I_0 \left(e^{\frac{eV}{\gamma k T}} - 1 \right)$$



Εικόνα 15: Απλοποιημένο Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα ενός Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

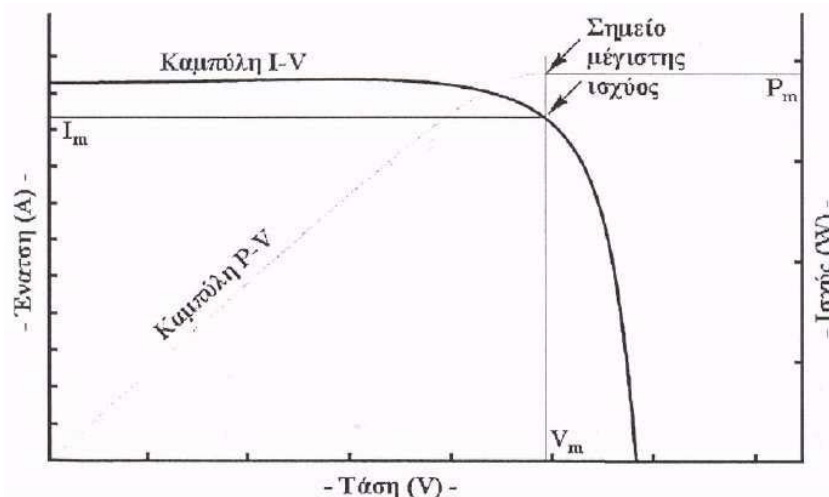
όπου I_0 , είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου, e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο, k η σταθερά Boltzmann, T η απόλυτη θερμοκρασία και γ ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Από την παραπάνω σχέση, η τάση ανοιχτοκυκλώματος θα είναι:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left(\frac{I_{\phi}}{I_0} - 1 \right), \quad I_0 < I_{\phi} \Rightarrow V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left(\frac{I_{\phi}}{I_0} \right)$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της V_{oc} σε συνάρτηση με το I_{ϕ} , δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και την εξάρτηση της από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού. Στην άλλη ακραία περίπτωση,

δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρρευμα, $I_{sc}=I_q$.

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Επίσης ένας παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος, I_{sc} και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης V_{oc}), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2: Καμπύλες I-V και P-V φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας

4.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια - PV modules

Τα Φ/Β έχουν ως βασικό μέρος την ηλιακή κυψέλη ή ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20Wr έως 300Wr. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.

Η γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη αφού αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις, λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις. Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα.

Το καθαρό πυρίτιο παράγεται από την άμμο της οποίας το κύριο συστατικό είναι το οξείδιο του πυριτίου SiO_2 και η διαδικασία παράγωγής του χωρίζεται σε τρεις φάσεις.

Φάση Α: καθαρισμός με ανάτηξη από την οποία προκύπτει πυρίτιο μεταλλουργικής ποιότητας $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$

Φάση Β: μετατροπή του μεταλλουργικού πυριτίου, με υδροχλωρικό οξύ σε τριχλωροσιλάνιο. $\text{Si} + 3\text{HCl} \rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$

Φάση Γ : καθαρισμός του τριχλωροσιλάνιο με κλασματική απόσταξη και η αναγωγή του σε υδρογόνο, για παραγωγή πυρίτιο ηλεκτρονικής ποιότητας. Σε αυτή τη φάση το πυρίτιο τήκεται και ανακρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαριότητα σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή διαμέτρου 10cm περίπου. Εν συνεχεία από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι πάχους 0.5mm οι οποίοι αφού λειανθούν διαμορφώνονται σε διόδους επαφής p-n με διάχυση ή εμφύτευση των κατάλληλων προσμείξεων.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους.

Στα πλεονεκτήματα των λεπτών πλαισίων τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η χαμηλότερη ως τώρα απόδοσή τους, η οποία περιορίζεται στο 5-10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin-film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων.

4.1.1. Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους όπου το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (~ 300 μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις από 12% - 18% ενώ σε εργαστηριακή μορφή η απόδοση τους κυμαίνεται από 21% - 24%. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής. Παράγονται σε μεγάλα κομμάτια και μπορούν να κοπούν σε συγκεκριμένο μέγεθος ή να χρησιμοποιηθούν σαν μια μεγάλη κυψέλη. Έχουν τις μικρότερες κυψέλες και τα μικρότερα πλαίσια για την ίδια ισχύ.

Μονοκρυσταλλικά πλαίσια ενδείκνυνται σε περιοχές με απ' ευθείας ακτινοβολία και χαμηλές θερμοκρασίες. Ο προσανατολισμός είναι σημαντική παράμετρος στην σχεδίαση / μελέτη του της εγκατάστασης καθώς μια μερική σκίαση θα μπορούσε να επιφέρει μια πτώση απόδοσης μεγαλύτερη της αναλογικής. Μια μερική σκίαση του 20% του πλαισίου θα

επιφέρει παραπάνω από 20% πτώση της απόδοσης. Επίσης και υψηλές θερμοκρασίες θα μείωναν την απόδοση του πλαισίου

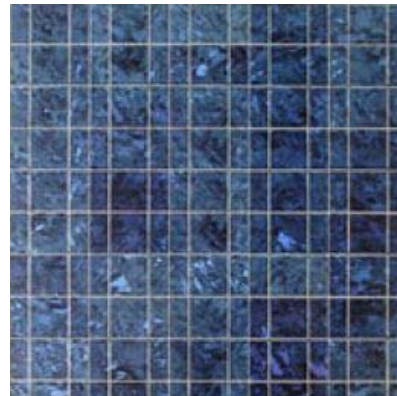


Εικόνα 16: *Κύτταρο Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου*

4.1.2. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου πλαίσια

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής.

Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση έναντι των μονοκρυσταλλικών 11% - 16%. Συνεπώς τα πλαίσια των πολυκρυσταλλικών είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από αυτά των μονοκρυσταλλικών σε επιφάνεια για την ίδια ισχύ.



Εικόνα 17: *Κύτταρο Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου*

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια αποδίδουν καλύτερα σε περιοχές με απ' ευθείας ακτινοβολία. Ομοίως με τα μονοκρυσταλλικά έχουν δυσανάλογη μείωση της απόδοσης από την σκίαση και σε υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 70°C) έχουν μειωμένη απόδοση.

4.1.3. Άμορφου Πυριτίου Πλαίσια (*thin-film*)

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Επιπρόσθετα με το πυρίτιο, δισελληνοινδιούχου χαλκού (CIS) και κάδμιο τελλούριο (CdTe) χρησιμοποιούνται. Δεν έχουν κρυσταλλική δομή. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Είναι 2^{ης} γενιάς φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 5% - 7%. Το φθινό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.



Εικόνα 18: Πλαίσια Άμορφου Πυριτίου

Τα πλεονεκτήματα των thin-film έγκειται στο χαμηλό κόστος παραγωγής και την ευελιξία. Είναι λιγότερο χρονοβόρα και ακριβά στην κατασκευή τους. Αφού μπορούν να εφαρμοστούν σε λεπτά στρώματα διάφορων υλικών, είναι δυνατόν να πάρουν καμπυλωτό σχήμα ή ασυνήθιστου μεγέθους πλαίσια. Η τεχνολογία άμορφου πυριτίου ή thin-film έχει καλές αποδόσεις στην απ' ευθείας ακτινοβολία καθώς και στην διάχυτη. Επομένως είναι κατάλληλα για τοποθέτηση σε μέρη με μη απ' ευθείας ακτινοβολία όπως κάθετες πλευρές και τοίχοι κτιρίων. Οι υψηλές θερμοκρασίες, επίσης, δεν επηρεάζουν δραματικά την απόδοση τους.

4.1.4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια άλλων υλικών

Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

Τα πλαίσια αρσενικούχου γαλλίου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη απόδοση (25%) αλλά και το υψηλότερο κόστος κατασκευής. Συνήθως χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές.

Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂)


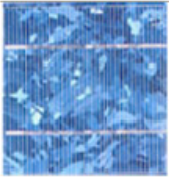
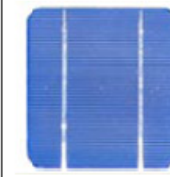
Αυτή η τεχνολογία έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και μικρή απόδοση σε μορφή Φ/Β πλαισίου και μπορεί να φτάσει σε 8% -10% με προσθήκη γαλλίου.

Θειούχου χαλκού – θειούχου καδμίου

Χαμηλό κόστος κατασκευής αλλά όχι σταθερή απόδοση η οποία μπορεί να φτάσει το 10%.

4.2 Στήριξη – Διάταξη ΦΒ Συστοιχίας.

Τα ΦΒ πάνελ είναι μικρές πηγές ρεύματος έτσι πρέπει να ενωθούν μεταξύ τους για να μπορέσουμε να τα εκμεταλλευτούμε με τον βέλτιστο τρόπο. Ο συνδυασμός πολλών ΦΒ πανέλων (pn panel) συνδεδεμένων μεταξύ τους μπορεί να γίνει είτε παράλληλα είτε σε σειρά, και αυτή ονομάζεται ΦΒ συστοιχία (pn array), ενώ ένα σύνολο ΦΒ συστοιχιών (pn arrays) συγκροτούν ένα ΦΒ πάρκο (pn park) και αυτό με την σειρά του μαζί με τον υπόλοιπο απαραίτητο εξοπλισμό δημιουργεί ένα ΦΒ σταθμό (pn station).

Τύπος	Thin Film	Πολυκρυσταλικά	Μονοκρυσταλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	Άμορφα: 5~7% CIS: 7~10% CdTe: 8~9%	11~14%	13~16%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	10~20 m ²	8~10 m ²	7~8 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp)	1300~1400	1300	1300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²)	65~140	130~160	160~185
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1380~1485	1380	1380

Εικόνα 19: Συγκριτική Αξιολόγηση Διαφορετικών Φωτοβολταϊκών Τεχνολογιών

4.2.1. Στήριξη

Τα Φβ πλαίσια ή πάνελ τοποθετούνται σε στέγες κτηρίων, σε στύλους, σε ικριώματα, σε πλαγιές λόφων ή και σε ελεύθερους χώρους. Τα Φβ πλαίσια πρέπει να έχουν ανοιχτό ορίζοντα, να μην σκιάζονται από κτήρια, δέντρα ή άλλου είδους εμπόδια. Οι πιο συνήθεις τρόποι στήριξης είναι οι εξής:

- Σταθερή στήριξη όπου η γωνία κλίσης είναι σταθερή και τα στηρίγματα είναι μεταλλικά
- Στήριξη με ρυθμιζόμενη κλίση των Φβ πλαισίων η οποία γίνεται χειροκίνητα μια φορά ή δυο φορές τον χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η προσπίπτουσα ακτινοβολία 5-6%.
- Στήριξη με περιστρεφόμενη βάση ενός άξονα όπου τα Φβ πλαίσια έχουν σταθερή γωνία κλίσης β και μεταβλητό προσανατολισμό ίσο με την αζιμούθια γωνία του ήλιου α_s . με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε σχέση με τα πλαίσια σταθερής κλίσης από 23-25%.
- Στήριξη με περιστρεφόμενη βάση δύο αξόνων όπου τα Φβ πλαίσια έχουν μεταβλητή γωνία κλίσης β ίση με την γωνία ύψους του ήλιου γ_s και μεταβλητό προσανατολισμό ίσο με την αζιμούθια γωνία του ήλιου α_s . Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τα Φβ πλαίσια σταθερής στήριξης ένα ποσοστό της τάξης 28-30%.
- Στήριξη σε κέλυφος κτηρίου όπου τα Φβ πλαίσια καλύπτουν τμήματα της οροφής ή των εξωτερικών τοίχων, αντικαθιστώντας μεγάλες επιφάνειες δομικών στοιχείων. Τα ημιδιαφανή πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν στη θέση υαλοπινάκων και στεγάστρων συνδυάζοντας την ηλιοπροστασία με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη μελέτη στήριξης των φωτοβολταϊκών πανέλλων σε όποια περίπτωση από τις παραπάνω και αν ανάγεται πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποιοι παράγοντες όπως το είδος των υλικών αλλά και οι δυνάμεις που θα εφαρμόζονται πάνω στην κατασκευή στήριξης. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι στη βέλτιστη περίπτωση αδρανή μεταξύ τους ώστε να μην υπάρχουν περιπτώσεις φθοράς πχ διάβρωση ή ηλεκτρόλυση. Στην στήριξη που θα γίνει θα πρέπει να γίνει ανάλυση όλων των δυνάμεων

που θα ασκούνται σε αυτή μόνιμα είτε κάτω από δυσμενείς συνθήκες καιρού. Οι δυνάμεις που ασκούνται σε μια επιφάνεια όπως αυτή των φωτοβολταϊκών πλαισίων πέρα από τις σταθερές όπως το βάρος είναι και οι μεταβλητές όπως ο άνεμος και το χιόνι .

Ο υπολογισμός του βάρους ανά επιφάνεια συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή των πανέλλων.

Για τον υπολογισμό των μεταβλητών δυνάμεων του αέρα και του χιονιού απαιτείται στατική μελέτη για την κάθε εγκατάσταση κατά περίπτωση. μέσα από χάρτες οι οποίοι δίνουν τις μέσες τιμές αλλά και τις μέγιστες που επικρατούν ανά περιοχή μπορεί να γίνει ανάλυση ώστε να υπολογίσουμε τελικά την ιδανική κατά περίπτωση στήριξη της εγκατάστασης.

4.2.2. Διάταξη ΦΒ πλαισίων

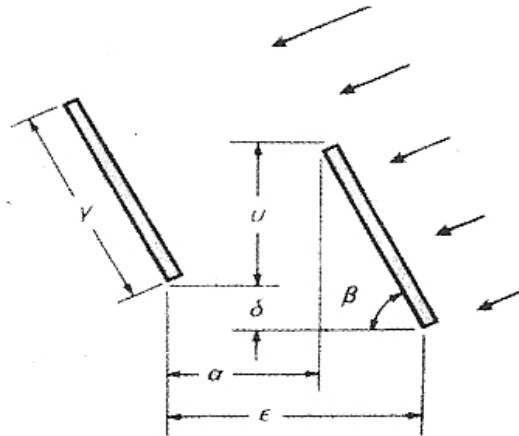
Τα ΦΒ πλαίσια είναι πολύ σημαντικό να μην σκιάζονται και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην μελέτη αλλά και την εγκατάσταση αυτού. Πέρα από την αποφυγή των σκιάσεων από δέντρα και κτήρια πρέπει να μην σκιάζονται και μεταξύ τους οι σειρές των πλαισίων. Είναι σημαντικό να γίνουν οι παρακάτω υπολογισμοί για να μην υπάρχει σκίαση μεταξύ των σειρών με τα ΦΒ πλαίσια.

Υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης.

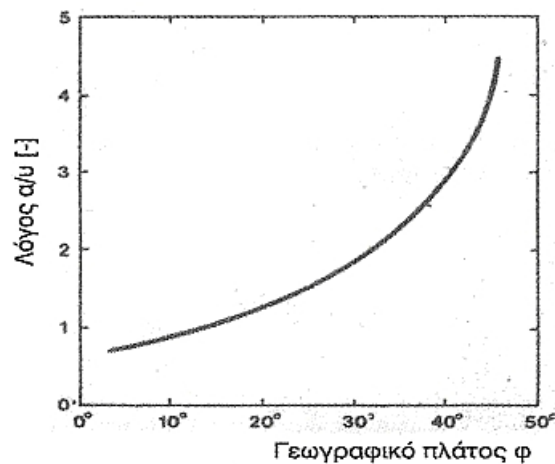
$$u = \gamma * \sin\theta - \delta \text{ (m: μέτρα)}$$

όπου:

- γ (m): μήκος ΦΒ πλαισίων
- β (°): γωνία κλίσης ΦΒ πλαισίων
- δ (m): υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών ΦΒ πλαισίων ($\delta=0$ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο).



Η ελεύθερη απόσταση α προκύπτει από τον λόγο α/u , τον οποίο υπολογίζουμε από το παρακάτω διάγραμμα:



Έτσι ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων προκύπτει:

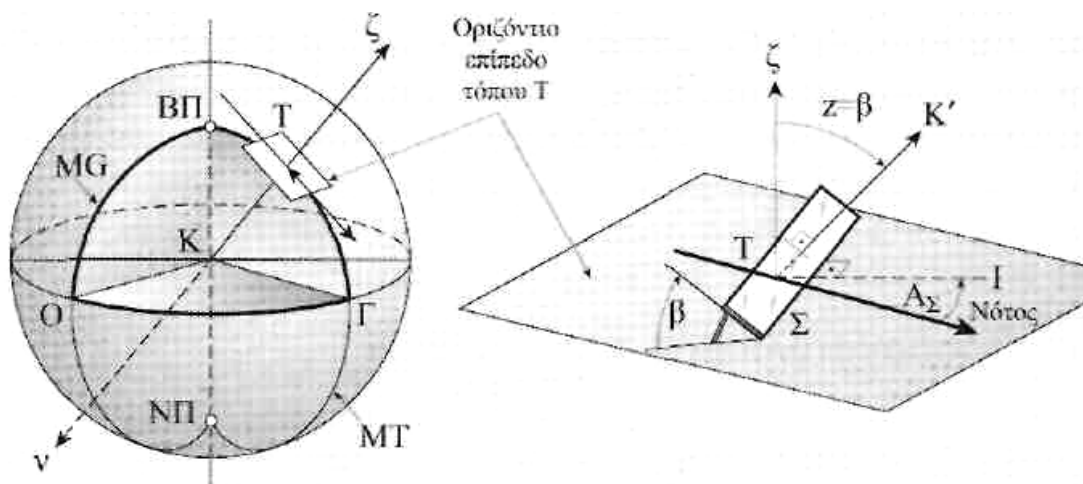
$$\epsilon = \alpha + \gamma \cos \beta \text{ (m)}$$

4.2.3. Προσανατολισμός Συλλέκτη και Απόδοση

Σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας από ένα συλλέκτη παίζει ο προσανατολισμός του ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου. Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε, κατ' αρχήν, σε μια απλή μέθοδο προσδιορισμού του αληθούς νότου, ως προς τον οποίο προσανατολίζουμε συνήθως το συλλέκτη και στη συνέχεια θα εξετάσουμε σε συντομία, τους διάφορους τρόπους τοποθέτησης των συλλεκτών με βασική απαίτηση τη μεγιστοποίηση της ημερησίως συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας, από το συλλέκτη, σε

συνδυασμό με μια αξιόπιστη και οικονομική κατασκευή. Κάθε τόπος όπως ο τόπος T , πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του:

Το γεωγραφικό μήκος, (L), που καθορίζεται από το τόξο $ΟΓ$, πάνω στον Ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich (MG), από $0-180^\circ$ Ανατολικά (ή με αναφορά μόνο της γωνίας αλλά με αρνητικό πρόσημο, π.χ. για την Αθήνα: γ.μ.=- 23.5°) και από $0-180^\circ$ Δυτικά (ή η γωνία με θετικό πρόσημο). Το γεωγραφικό πλάτος, (λ), που καθορίζεται από το τόξο $ΓΤ$, πάνω στον μεσημβρινό του τόπου MT , με αναφορά τον Ισημερινό, από $0-90^\circ$ Βόρεια και $0-90^\circ$ Νότια. Ας θεωρήσουμε ένα επίπεδο συλλέκτη, Σ , τοποθετημένο έτσι ώστε το επίπεδο του να σχηματίζει γωνία β ως προς τον ορίζοντα. Η γωνία κλίσης του συλλέκτη β ισούται με τη ζενίθ γωνία ζ της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη (TK'), η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 0° (Ζενίθ) έως 180° (Ναδίρ).



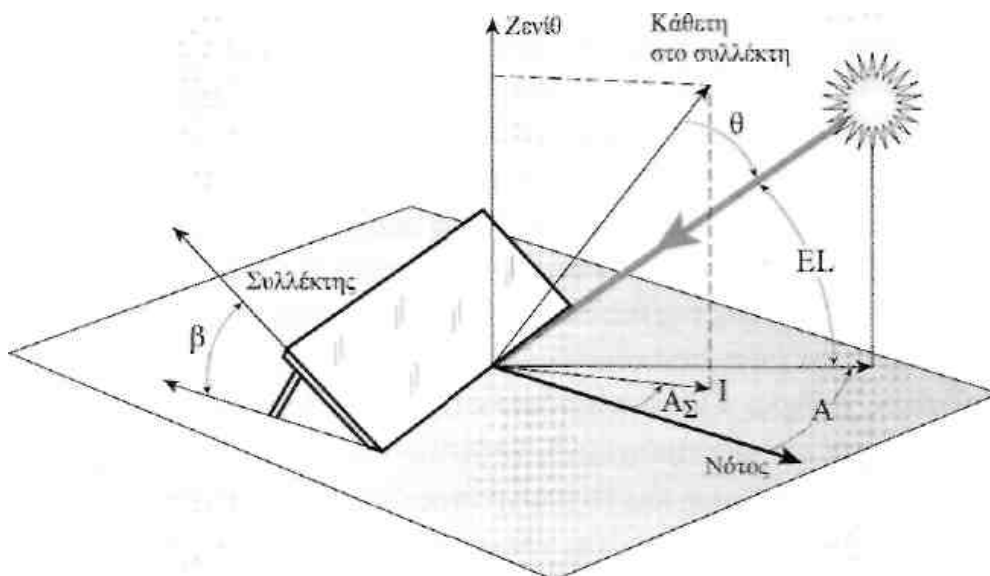
Εικόνα 20: Κίνηση της Γης Γύρω από τον Ήλιο

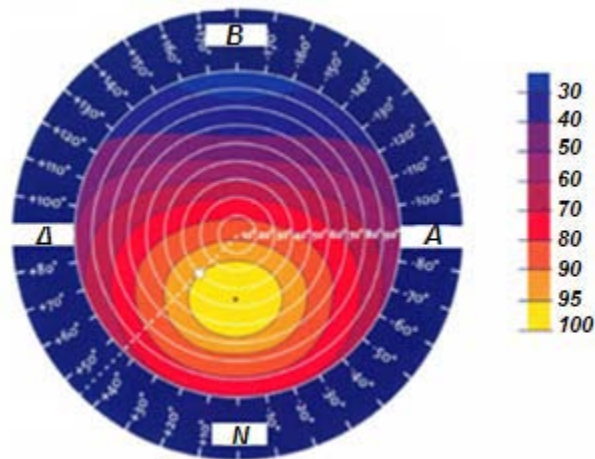
Η γωνία A_Σ , μεταξύ της κατακόρυφης προβολής TI , της καθέτου στο συλλέκτη, TK' πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, με τη διεύθυνση του νότου, ονομάζεται αζιμούθιο ή αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη και παίρνει τιμές από $+180^\circ$ μέχρι -180° . Χαρακτηριστικές θέσεις: $+180^\circ$ (βορράς), $+90^\circ$ (Ανατολή), 0° (Νότος), -90° (Δύση) και -180° (Βορράς). Όταν ο συλλέκτης

στραφεί ώστε οι ακτίνες του ήλιου (απευθείας ακτινοβολία), να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του, τότε το ύψος του ήλιου EL και η γωνία κλίσης β , του συλλέκτη δίδουν άθροισμα 90° ($EL + \beta = 90^\circ$). Η στροφή του συλλέκτη, ώστε αυτός να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τον ήλιο, γίνεται με μηχανισμούς οι οποίοι οδηγούνται από κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις με βάση τις εξισώσεις κίνησης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα. Η γωνία θ που σχηματίζουν μια δεδομένη χρονική στιγμή οι ηλιακές ακτίνες (απευθείας ακτινοβολία) με την κάθετη σ' ένα επίπεδο συλλέκτη γωνίας κλίσης β και αζιμουθιακής γωνίας A_Σ , δίδεται από τη σχέση :

$$\cos\theta = \cos EL \cdot \sin\beta \cdot \cos(A - A_\Sigma) + \sin EL \cdot \cos\beta$$

όπου A , η αζιμούθια γωνία και EL το ύψος του ήλιου την ίδια χρονική στιγμή.





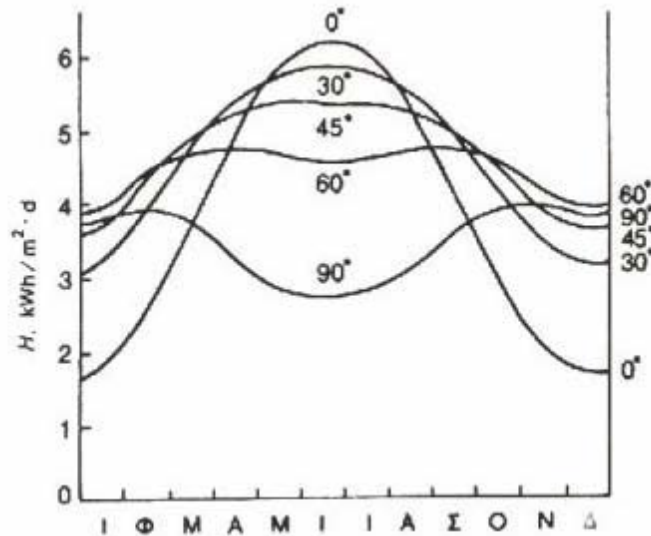
Εικόνα 21: Προσανατολισμός του Συλλέκτη

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

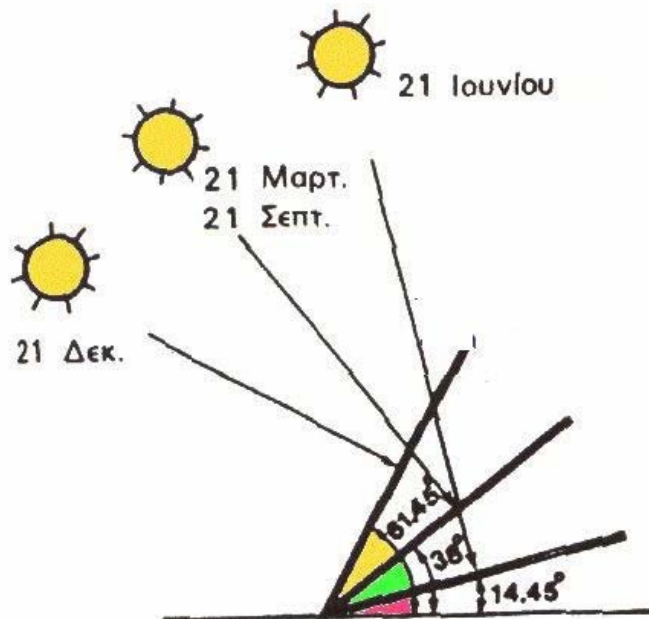
Συνοψίζοντας:

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (ϕ).
- Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (ϕ).
- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (ϕ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) είναι νότιος ($\gamma=0$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Εικόνα 22: Ηλιακή Ακτινοβολία που Προσπίπτει σε Συλλεκτικές Επιφάνειες καθ'όλη τη Διάρκεια του Έτους



Εικόνα 23: Βέλτιστες Κλίσεις του Συλλέκτη

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση.

**Ενδεικτική απόδοση
ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση**



Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 ° 	90%	90%	90%
15 ° 	98%	95%	88%
30 ° 	100%	95%	85%
90 ° 	60%	60%	50%

Εικόνα 24: Ενδεικτική Απόδοση Ανάλογα με τον Προσανατολισμό και την Κλίση

<u>Είδος επιφάνειας</u>	<u>Συντελεστής ανάκλασης</u>
Χιόνι	0,60
Επιφάνεια τσιμέντου	0,3-,25
Βραχώδη επιφάνεια	0,2
Πράσινος αγρός	0,15
Αγρός με σκούρο χρώμα χώμα	0,08
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0,05

4.2.4. Δείκτης καθαρότητας ατμόσφαιρας

Η συχνότητα με την οποία εμφανίζονται περίοδοι με διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας (αίθριες και συννεφιασμένες μέρες), αποτυπώνεται με το δείκτη καθαρότητας k_T . Ο δείκτης αυτός σε ωριαία βάση αναφοράς είναι ο λόγος της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας.

$$K_T = \frac{I}{I_0}$$

Τα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία I προέρχονται από μετρήσεις ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, ενώ η τιμή για την I_0 υπολογίζεται θεωρητικά. Όσο πιο αίθρια είναι η ατμόσφαιρα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ένταση της ακτινοβολίας. Ο δείκτης k_T αποτελεί χαρακτηριστικό του τύπου εγκατάστασης, ενώ έχει αποδειχθεί στατιστικά ότι ανεξάρτητα από το γεωγραφικό πλάτος, το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο η συνολική ημερήσια ακτινοβολία είναι μικρότερη ή ίση από ορισμένη τιμή εξαρτάται άμεσα από την τιμή του δείκτη αυτού.

4.3 Γειώσεις και Αντικεραυνικές προστασίες

Το δυναμικό της γης θεωρείται συμβατικά μηδέν. Έτσι, κάθε αγωγός που συνδέει κάποιο σημείο ενός κυκλώματος ή ένα μεταλλικό αντικείμενο με το έδαφος ονομάζεται γειωμένος και το σημείο ή το αντικείμενο αποκτούν το δυναμικό με την γη. Η αγώγιμη

σύνδεση του σημείου ή του αντικειμένου με το έδαφος ονομάζεται γείωση και ο αγωγός που τοποθετείται μέσα στο έδαφος και το επάνω μέρος του συνδέεται με τον γειωμένο αγωγό, λέγεται γειωτής.

Τα Φ/Β συστήματα πρέπει να γειώνονται για τους παρακάτω λόγους :

1. Αποφυγή ζημιών που μπορεί να υποστεί ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός λόγω κρουστικών υπερτάσεων, δηλαδή, λόγω απότομων αυξήσεων της απόλυτης τιμής του δυναμικού από μερικά volt μέχρι χιλιάδες volt των οποίων η διάρκεια κυμαίνεται από 10^{-6} s έως 10^3 s. Οι κρουστικές υπερτάσεις δημιουργούνται από κεραυνούς, αστραπές, χειρισμούς διακοπών, βραχυκυκλώματα κ.λπ.
2. Ασφάλεια του προσωπικού συντήρησης από ηλεκτροπληξία λόγω διαρροής ρευμάτων.

Οι γειώσεις διακρίνονται στα παρακάτω είδη:

4.3.1. Γείωση Λειτουργίας και Προστασίας Μεταλλικών Μερών

Ονομάζουμε γείωση λειτουργίας, τη γείωση εκείνη που αποτελεί μέρος του κυκλώματος λειτουργίας μιας εγκατάστασης.

- Η γείωση του ουδετέρου κόμβου του μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης
- Η κατά διαστήματα γείωση του ουδετέρου ενός δικτύου χαμηλής τάσης.
- Γενικά, όπου χρησιμοποιείται η γη με την βοήθεια ακραίων γειώσεων σαν αγωγός για τη λειτουργία ενός κυκλώματος. (είναι η γείωση του αγωγού PE του παροχικού καλωδίου της ΔΕΗ.)

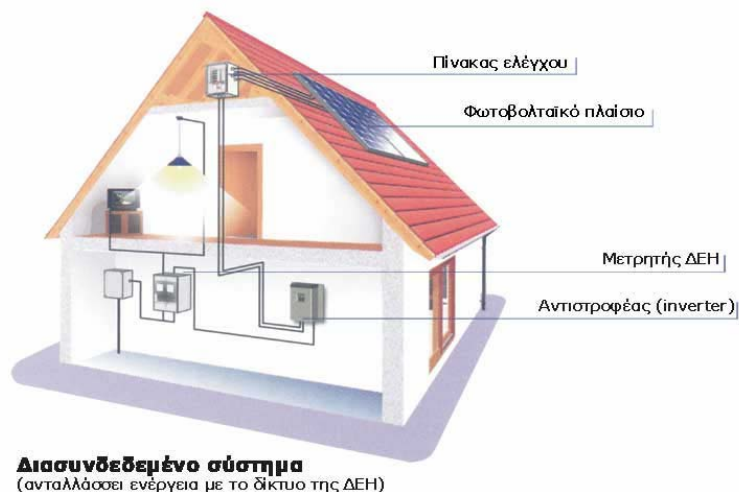
Ονομάζουμε γείωση προστασίας την αγώγιμη σύνδεση με την γη, όλων των μεταλλικών τμημάτων μιας εγκατάστασης πάνω στα οποία δε θέλουμε να εμφανιστεί επικίνδυνη τάση.(Μπορεί να συνδέεται με την γείωση λειτουργίας).

Γείωσης Ασφαλείας, ονομάζουμε κάθε γείωση που χρησιμεύει για την μεταφορά στατικών ηλεκτρικών φορτίων στη γη.

1. Γείωση αντικεραυνικής προστασίας κυκλώματος DC: Είναι η γείωση που συγκεντρώνει όλους τους πιθανούς διαύλους διαφυγής του κεραυνικού πλήγματος στη Φ/Β συστοιχία και πρέπει να συνδέεται με απευθείας με την θεμελιακή γείωση της εγκατάστασης.

2. Γείωση αντικεραυνικής προστασίας κυκλώματος AC: Είναι η γείωση που προστατεύει τον μετατροπέα τάσεως DC – AC από επιστροφή κεραυνικών κρουστικών υπερτάσεων, μέσω της γείωσης λειτουργίας ή τριών φάσεων της ΔΕΗ και πρέπει να συνδέεται απευθείας με την θεμελιακή γείωση της εγκατάστασης.
3. Γείωση αντικεραυνικής προστασίας κτιρίου ή γηπέδου: Είναι η γείωση της διατάξεως αντικεραυνικής προστασίας του κτιρίου ή του γηπέδου και πρέπει να συνδέεται απευθείας με την θεμελιακή γείωση της εγκατάστασης.
4. Γείωση ασθενών ρευμάτων: Είναι η γείωση που συνδέει τις διατάξεις αντικεραυνικής προστασίας των συστημάτων αυτοματισμού και τηλεπικοινωνιών και πρέπει να συνδέεται απευθείας με την θεμελιακή γείωση της εγκατάστασης.
5. Γείωση ουδετέρου κόμβου μετασχηματιστή Μέσης Τάσεως: Είναι η γείωση του τέταρτου πόλου του Μετασχηματιστή Τάσεως και γίνεται με ειδικό μονωμένο καλώδιο σε ανεξάρτητο τρίγωνο γείωσης. Εφόσον η αντίσταση της θεμελιακής γείωσης είναι μικρότερη από 1Ω , η γείωση του ουδετέρου κόμβου μπορεί να συνδεθεί με την γείωση προστασίας μεταλλικών μερών του μετασχηματιστή ή απευθείας με την θεμελιακή γείωση εγκατάστασης.

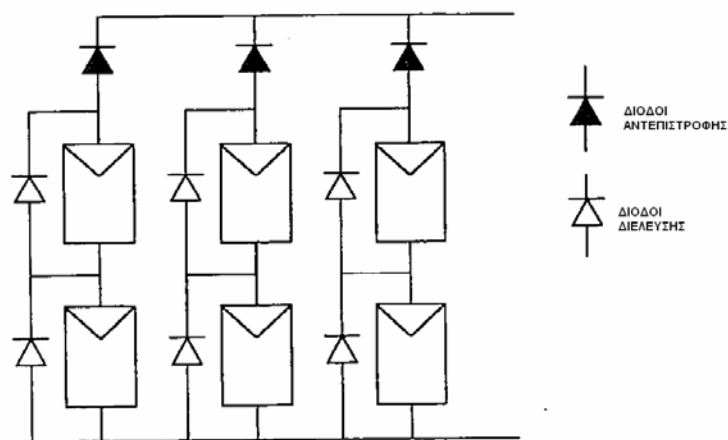
Όταν έχουμε μετατροπείς τάσεως DC – AC με μετασχηματιστή (συνήθως σε εγκαταστάσεις με ΦΒ πλαίσια άμορφου πυριτίου), ενώνουμε τον αρνητικό πόλο του κυκλώματος DC με την γείωση προστασίας των μεταλλικών μερών της εγκατάστασης και τη γείωση λειτουργίας των μεταλλικών μερών της εγκατάστασης και τη γείωση λειτουργίας του κτηρίου. Υποχρεωτικά τοποθετούμε διάταξη ανίχνευσης των ρευμάτων διαρροής (ρελέ διαφυγής) στην πλευρά του κυκλώματος AC.



Εικόνα 25: Διασυνδεδεμένο Φ/Β Σύστημα με τη ΔΕΗ

4.4 Στήριξη και Σύνδεση Φ/Β Πλαισίων

Μια σχηματική παράσταση συνδεδεμένων φ/β πλαισίων φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Εκτός από τα πλαίσια στη συνδεσμολογία περιλαμβάνονται δίοδοι αντεπιστροφής και δίοδοι διέλευσης. Αυτές οι δίοδοι προστατεύουν τα πλαίσια και τα αποτρέπουν από το να φέρονται σαν φορτία τη διάρκεια της νύχτας. Τα φ/β πλαίσια συνδέονται στη σειρά ώστε να σχηματίζουν συστοιχίες, όπου ο αριθμός των πλαισίων N_s καθορίζεται από την συνεχή τάση που θέλουμε και οι παράλληλες συστοιχίες N_p από την ένταση του ρεύματος που θέλουμε. Για παράδειγμα η τάση εξόδου για τους συλλέκτες του σχήματος θα είναι διπλάσια από την τάση του κάθε πλαισίου και η ένταση του ρεύματος θα είναι τριπλάσια από την ένταση κάθε πλαισίου ξεχωριστά ($N_s = 2$ και $N_p = 3$)



Σχήμα 3: Σύνδεση Φ/Β Πλαισίων

Οι κατασκευές στήριξης των φ/β πλαισίων πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αντίσταση στον αέρα.
- Χαμηλό κόστος.
- Αποφυγή σκιασμού.
- Εύκολη προσέγγιση ώστε να είναι δυνατός ο καθαρισμός των φ/β μονάδων.

Η κατασκευή πρέπει να διαθέτει ύψος ώστε να μην κινδυνεύουν οι μονάδες από την βλάβη ή από πέτρες, αλλά ταυτόχρονα να είναι δυνατός ο εύκολος καθαρισμός τους. Επειδή οι φ/β μονάδες είναι πολύ ακριβές θα πρέπει να είναι πολύ καλά στερεωμένες για να είναι δύσκολη η κλοπή τους. Επίσης είναι απαραίτητη η χρήση φράχτη για να εμποδίζεται η είσοδος σε όσους δεν έχουν σχέση με το έργο και να αποφεύγονται τυχόν βανδαλισμοί και καταστροφές από ζώα. Τέλος οι μονάδες θα πρέπει να είναι σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους και από τον φράχτη ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα σκιασμού.

Οι κατασκευές στήριξης των φ/β πλαισίων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Σταθερές κατασκευές.
- Κατασκευές με δυνατότητα περιστροφής σ' έναν άξονα.
- Κατασκευές με δυνατότητα περιστροφής σε δυο άξονες.

Οι σταθερές κατασκευές είναι οι πιο απλές. Τα πλαίσια τοποθετούνται σε συγκεκριμένο προσανατολισμό και κλίση και παραμένουν έτσι για όλη τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Έχουν το χαμηλότερο κόστος αλλά λόγω της σταθερής τους θέσης έχουμε και τη μικρότερη παραγωγή ενέργειας.

Οι κινήσεις του εδάφους και η σύνθεση της ατμόσφαιρας οδηγούν στη διαρκή αλλαγή της απόδοσης και της κατεύθυνσης των ανακλώντων ακτίνων του ηλίου. Έτσι οι κυψέλες των φωτοβολταϊκών στοιχείων σταθερής συναρμολόγησης μπορούν να μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια μόνο ένα κλάσμα της ενέργειας του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος. Τα προγραμματιζόμενα συστήματα ανίχνευσης στρέφουν τα φ/β στοιχεία πάντοτε προς τον ήλιο κι έτσι η γωνία πρόσπτωσης παραμένει σταθερή και η ένταση του φωτός διατηρείται και μαζί της η ενέργεια. Έτσι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά όχι μόνο οι ώρες της ηλιοφάνειας, αλλά και το διάχυτο φως - όλο το έτος -, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα τη

μεγαλύτερη παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Η αύξηση είναι της τάξης του 20 - 25% με μονοαξονικά, 35 - 45% με διαξονικά συστήματα κι έτσι έχουμε μεγαλύτερη οικονομική αποδοτικότητα, γρηγορότερη απόσβεση του κόστους κτήσης και κατά συνέπεια μεγαλύτερο κέρδος.

4.5 Αναστροφείς Τάσης

Οι αναστροφείς τάσης είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο φ/β συστήματα αλλά και σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

4.5.1. Για Διασυνδεδεμένα Συστήματα

Ο σχεδιασμός ενός συνδεδεμένου με το δίκτυο φ/β συστήματος αρχίζει με την επιλογή ενός κατάλληλου αναστροφέα τάσης. Αυτό καθορίζει την τάση του συνεχούς ρεύματος που θα έχει το σύστημα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αναστροφέα επιλέγονται και οι κατάλληλοι συλλέκτες. Ο αναστροφέας είναι η δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του συστήματος μετά τους συλλέκτες. Δουλειά του είναι να μετατρέπει την συνεχή τάση που παράγεται στους συλλέκτες σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz η οποία προωθείται στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τους αναστροφείς των αυτόνομων συστημάτων, αυτοί των συνδεδεμένων πρέπει να αντιδρούν το ίδιο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών του δικτύου ηλεκτροδότησης και στις μεταβολές της απόδοσης των συλλεκτών. Αφού όλο το παραγόμενο ρεύμα περνά από αυτόν τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Εκτός από την απόδοση στη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, τα ηλεκτρονικά του αναστροφέα περιλαμβάνουν συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος. Φροντίζουν η λειτουργία να ξεκινά την κατάλληλη στιγμή το πρωί, όταν οι συλλέκτες παράγουν αρκετή ενέργεια. Ανεπιτυχής έναρξη της λειτουργίας απαιτεί ενέργεια από το δίκτυο και πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας στην καμπύλη I-V μεταβάλλεται ανάλογα με τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των συλλεκτών. Ο «έξυπνος» έλεγχος του μετατροπέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ενέργειας και συνεχή ρύθμιση στο βέλτιστο κάθε φορά σημείο λειτουργίας. Επίσης υπάρχουν

συστήματα που αυτόματα αποσυνδέουν το σύστημα αν εμφανισθούν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στους συλλέκτες.

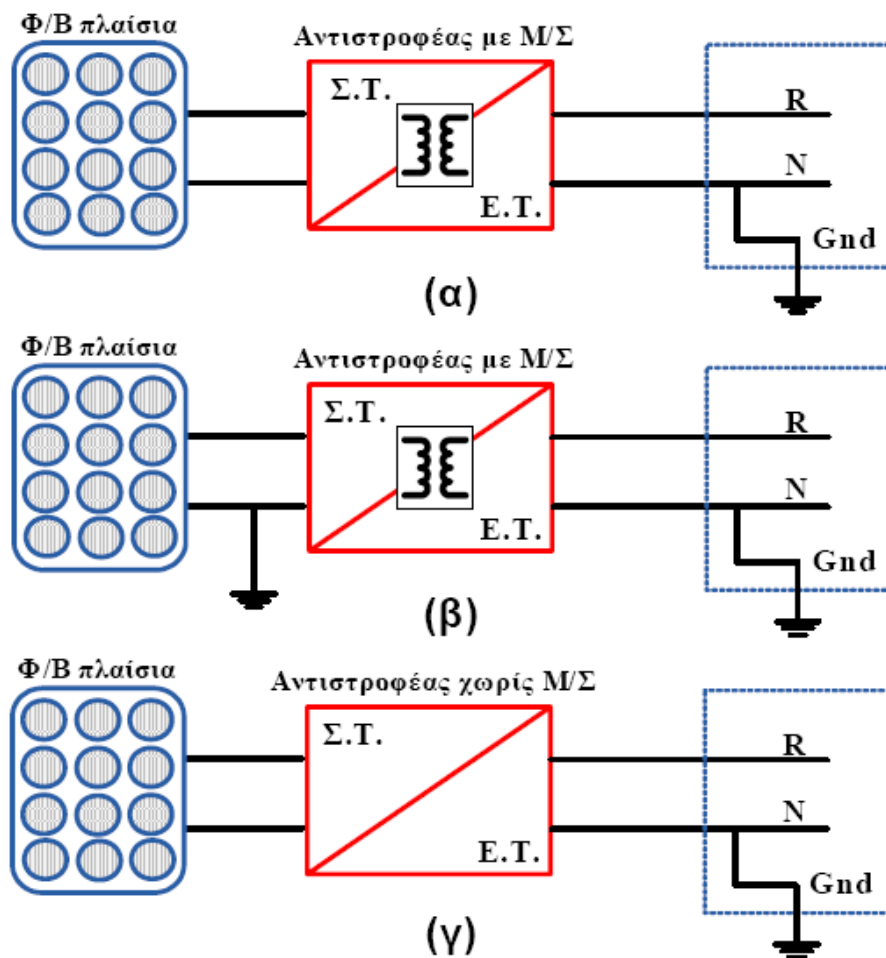
Σήμερα τα περισσότερα μοντέλα αναστροφών τάσης είναι εξοπλισμένα με συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με τη χρήση Η/Υ.

4.5.2. Γείωση Αναστροφέα

Η γείωση (άμεση ή ουδετέρωση, ανάλογα με την περιοχή) αποσκοπεί κυρίως στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής και την ασφάλεια των προσώπων και θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς (HD384). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι δυνατοί τρόποι γείωσης των διασυνδεδεμένων κτηριακών Φ/Β συστημάτων. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η γείωση ενός εκ των ακροδεκτών του αναστροφέα στην πλευρά συνεχούς ρεύματος δεν είναι υποχρεωτική στις Ευρωπαϊκές χώρες, σε αντιδιαστολή με τις Η.Π.Α.

Τονίζεται ότι η γείωση ή μη της πλευράς Σ.Ρ. εξαρτάται από την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων και την τοπολογία του αναστροφέα. Οι Φ/Β συστοιχίες που διαμορφώνονται από συγκεκριμένα είδη πλαισίων (λεπτών επιστρώσεων, back – contact) γειώνονται με υπόδειξη του κατασκευαστή, προκειμένου να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία τους αλλά και η βελτιστοποίηση της απόδοσής τους. Ειδικότερα, τα Φ/Β πλαίσια λεπτών επιστρώσεων (thin film) με υλικά όπως το άμορφο πυρίτιο (a –Si) και το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), λόγω της τεχνολογίας κατασκευής τους (superstrate technology), παρουσιάζουν συνήθως υψηλό κίνδυνο διάβρωσης του στρώματος TCO, γεγονός που επιφέρει καταστρεπτικά για τα πλαίσια αποτελέσματα. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, γειώνεται ο αρνητικός ακροδέκτης της Φ/Β πηγής. Το φαινόμενο αυτό δεν εμφανίζεται, βάσει των υφιστάμενων μελετών, σε Φ/Β πλαίσια thin film με άλλα υλικά (π.χ. CIS). Σε συστήματα με Φ/Β πλαίσια τεχνολογίας back – contact, επιβάλλεται (από τον κατασκευαστή) η γείωση του θετικού ακροδέκτη στην πλευρά Σ.Ρ. για βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η γείωση σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να γίνει μέσω μεγάλης αντίστασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση αναστροφέα με Μ/Σ απομόνωσης, εκτός αν πιστοποιείται από τον κατασκευαστή ότι ο επιλεγμένος τύπος αναστροφέα (χωρίς Μ/Σ) είναι κατάλληλος για χρήση με τα

πλαίσια που έχουμε επιλέξει. Όσον αφορά στα συνήθη κρυσταλλικά πλαίσια, δεν έχουν τεθεί ιδιαίτερες απαιτήσεις από τους κατασκευαστές ως προς τη γείωση ή μη των ακροδεκτών της πλευράς Σ.Ρ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εφόσον δεν γειώνονται ενεργά μέρη στην πλευρά ΣΡ, είναι δυνατή η χρήση αναστροφέα χωρίς Μ/Σ απομόνωσης. Σε κάθε περίπτωση, ο μελετητής του συστήματος ακολουθεί τις οδηγίες του κατασκευαστή για τις ειδικές απαιτήσεις που προκύπτουν ανάλογα με την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων. Συνήθως οι κατασκευαστές αναστροφών, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προτείνουν τον κατάλληλο εξοπλισμό ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου. Τονίζεται ότι, αν ο αναστροφέας δεν περιλαμβάνει μετασχηματιστή απομόνωσης, η πλευρά Σ.Ρ. δεν γειώνεται. Αντίθετα όλα τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη του Φ/Β εξοπλισμού (π.χ. βάσεις στήριξης και μεταλλικά μέρη των Φ/Β πλαισίων) γειώνονται υποχρεωτικά. Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται ορισμένα θέματα τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής ανάλογα με τον τρόπο γείωσης του αναστροφέα.



Σχήμα 4: Γείωση Αντιστροφών

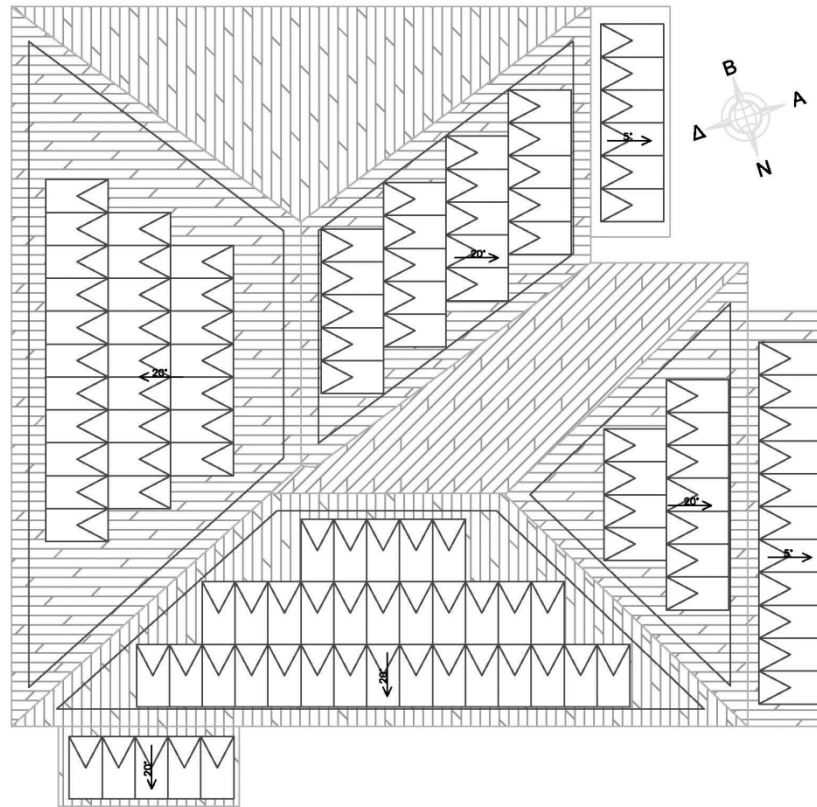
4.6 Ειδικό Πρόγραμμα Οικιακών Φ/Β έως 10kWp

Η διαδικασία που απαιτείται για την εφαρμογή του Προγράμματος, είναι η ακόλουθη (www.helapco.gr):

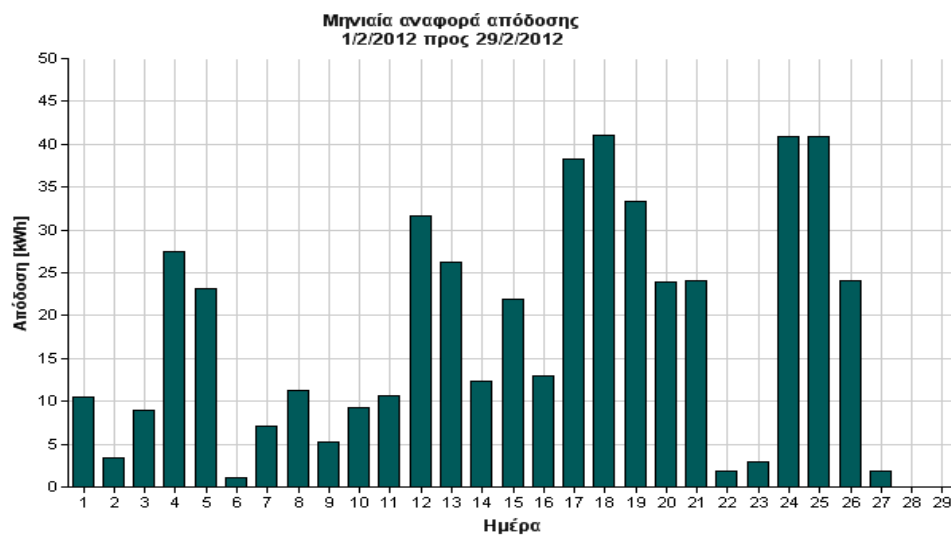
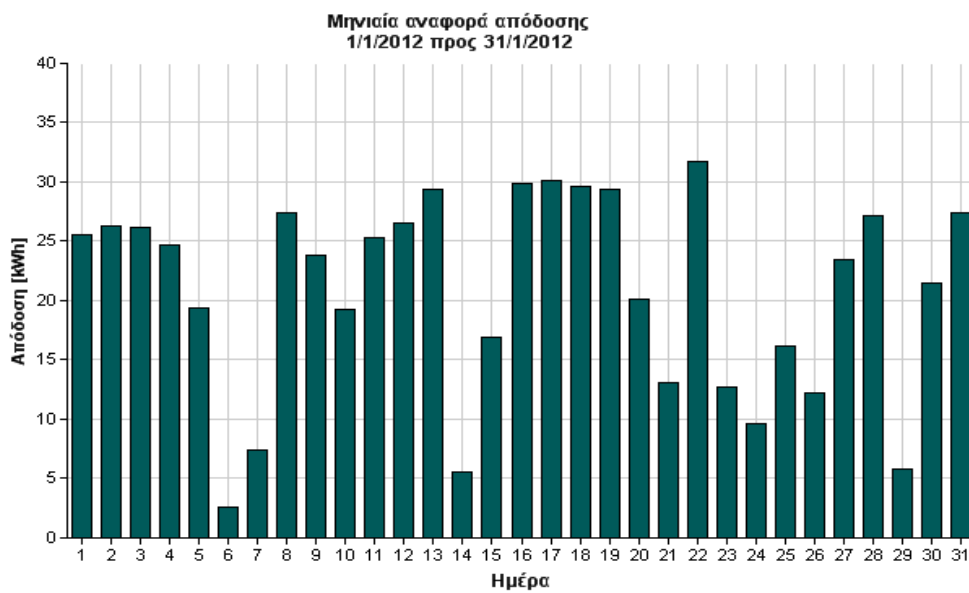
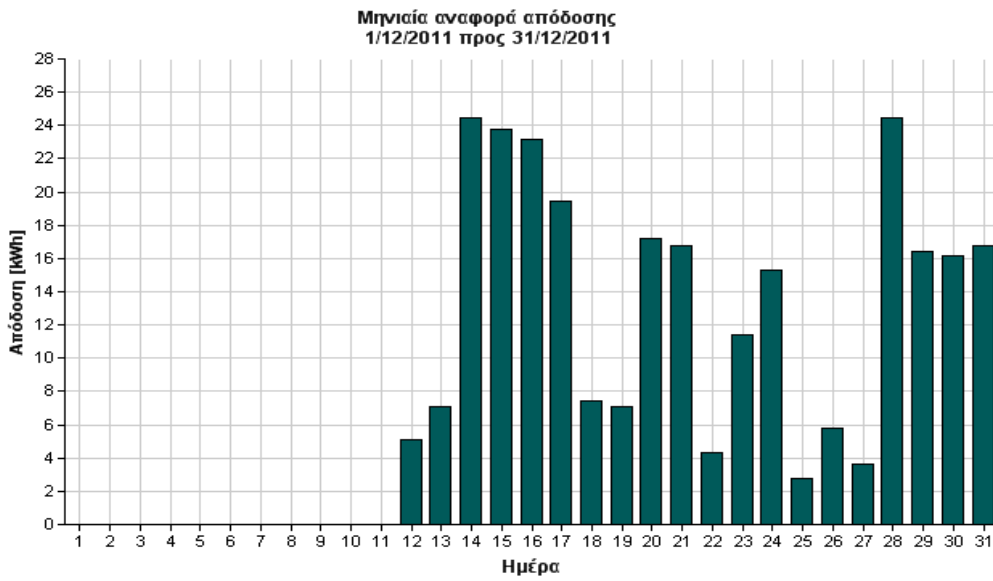
α/α	αρμόδιος	εργασία	προβλεπόμενος χρόνος
1	Κύριος του Φ/Β Συστήματος	Επιβεβαίωση δυνατότητας χρήσης του Προγράμματος, Επιλογή Φ/Β Συστήματος και σημείου/ων εγκατάστασης	-
2	Κύριος του Φ/Β Συστήματος	Υποβολή σχετικής αίτησης Σύνδεσης προς την Τοπική Υπηρεσία της ΔΕΗ ΑΕ.	-
3	Διαχειριστής του Δικτύου, ΔΕΗ Α.Ε.	Εξέταση του αιτήματος κατά προτεραιότητα, και διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης στον Κύριο του Φ/Β Συστήματος	Εντός 20 ημερών από την παραλαβή του αιτήματος * Διάρκεια ισχύος προσφοράς 3 μήνες από ημερομηνία έκδοσης
4	Κύριος του Φ/Β Συστήματος	Αποδοχή Προσφοράς Σύνδεσης	-
5	Κύριος του Φ/Β Συστήματος - Διαχειριστής δικτύου, ΔΕΗ Α.Ε.	Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης, καταβολή δαπάνης έργων σύνδεσης από Κύριο Συστήματος	-
6	Διαχειριστής δικτύου, ΔΕΗ Α.Ε.	Κατασκευή έργων σύνδεσης	Εντός 20 ημερών * Η διάρκεια μπορεί να αυξηθεί αν απαιτείται κατασκευή νέων έργων δικτύου
7	Κύριος του Φ/Β Συστήματος	Υποβολή αίτησης για τη σύναψη Σύμβασης Συμφηφισμού προς τη ΔΕΗ ΑΕ (Τοπική Υπηρεσία Εμπορίας) ή άλλο Προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις της ιδιοκτησίας του κυρίου όπου εγκαθίσταται το Φ/Β Σύστημα.	-
8	Προμηθευτής	Ολοκλήρωση διαδικασίας Συμφηφισμού	Εντός 15 ημερών από την παραλαβή του αιτήματος
9	Κύριος του Φ/Β Συστήματος	Υποβολή αιτήματος ενεργοποίησης της Σύνδεσης του Φ/Β συστήματος.	-
10	Διαχειριστής του Δικτύου (ΔΕΗ ΑΕ)	Ενεργοποίηση της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος.	-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΥΠΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

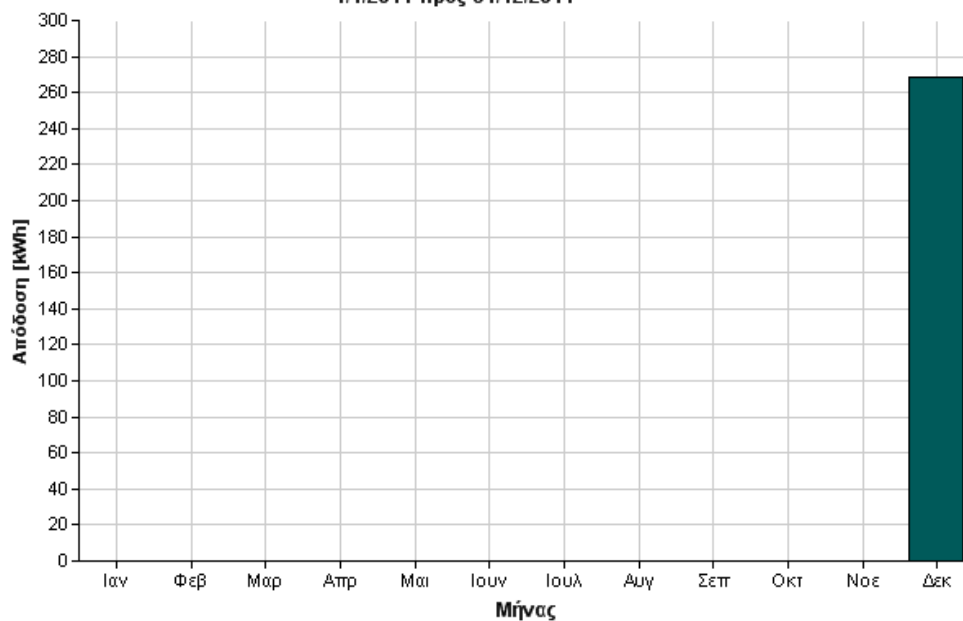
Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία της εγκατάστασης:



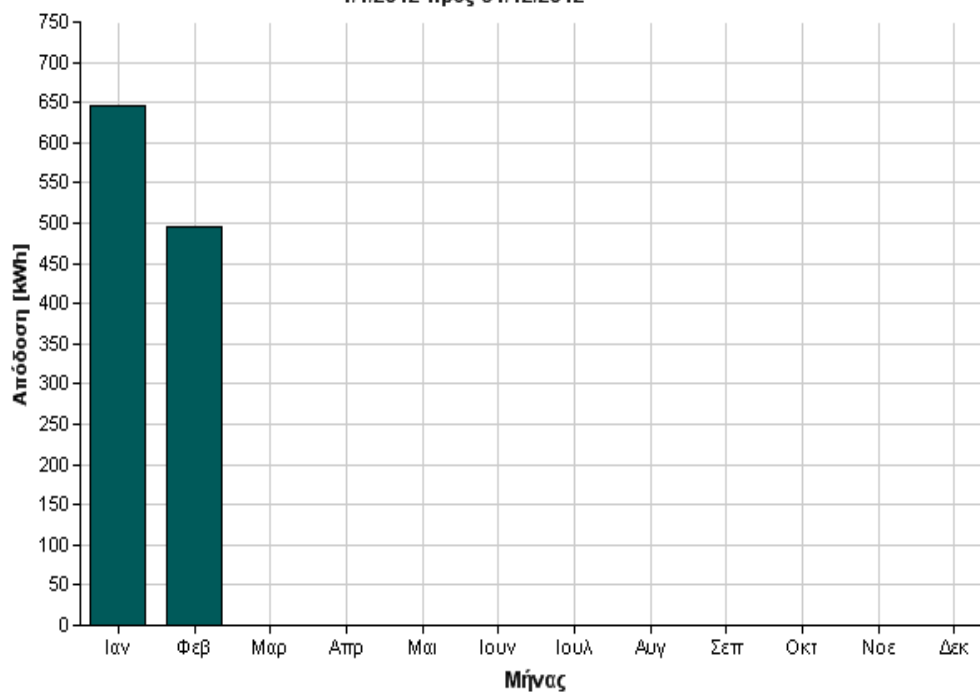
Πόλη Ακράτα Νομός Αχαΐας	
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς:	9.435 kWp
Τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων :	CIS 85 Wp
Πλήθος πλαισίων :	111 πλαίσια
Μετατροπείς :	1* KOSTAL PICO 10.1
Αζιμούθιο	18°
Κλίση	20°
Προσανατολισμός Α (απόκλιση 18°)	37*85 = 3145 Wp
Εκτιμώμενη απόδοση	4650 kWh/year
Προσανατολισμός Β (απόκλιση 108°)	48*85 = 4080 Wp
Εκτιμώμενη απόδοση	4970 kWh/year
Προσανατολισμός C (απόκλιση -72°)	27*85 = 2295 Wp
Εκτιμώμενη απόδοση	3120 kWh/year
Εκτιμώμενη Συνολική Απόδοση	12740 kWh/year



Ετήσια αναφορά απόδοσης
1/1/2011 προς 31/12/2011



Ετήσια αναφορά απόδοσης
1/1/2012 προς 31/12/2012



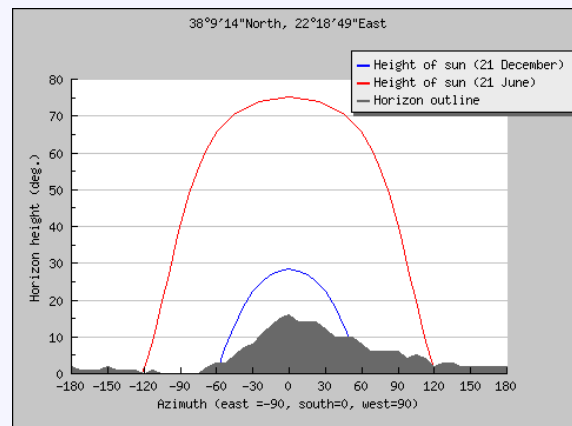
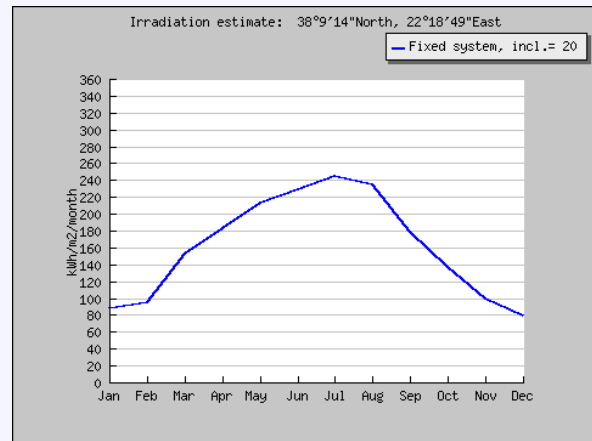
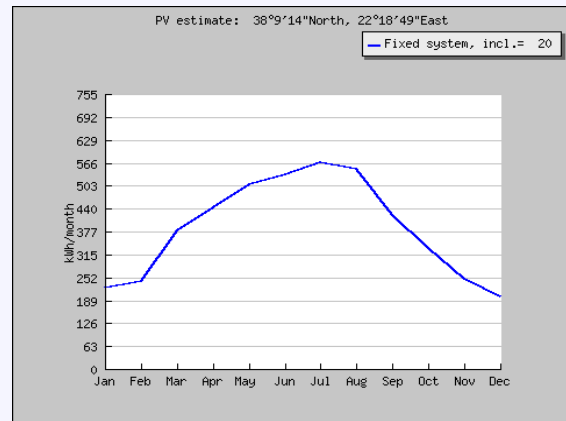
PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°9'14" North, 22°18'49" East, Elevation: 128 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF
 Nominal power of the PV system: 3.1 kW (CIS)
 Estimated losses due to temperature: 8.6% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.5%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 23.4%

Fixed system: inclination=20°, orientation=18°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	7.24	224	2.85	88.4
Feb	8.60	241	3.42	95.7
Mar	12.30	380	4.94	153
Apr	14.80	445	6.08	182
May	16.40	508	6.89	213
Jun	17.80	535	7.63	229
Jul	18.30	568	7.88	244
Aug	17.70	548	7.59	235
Sep	14.10	423	5.93	178
Oct	10.80	333	4.43	137
Nov	8.26	248	3.32	99.7
Dec	6.39	198	2.54	78.6
Yearly average	12.7	388	5.30	161
Total for year	4650		1940	

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)



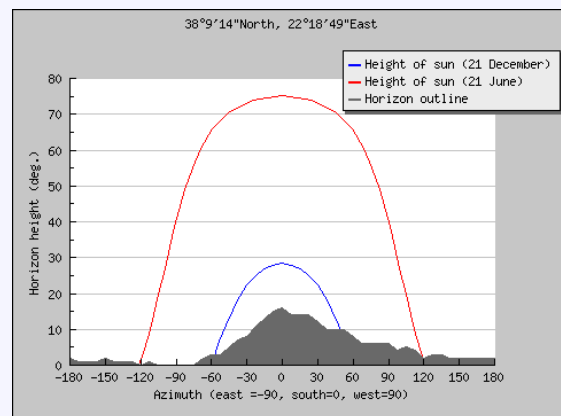
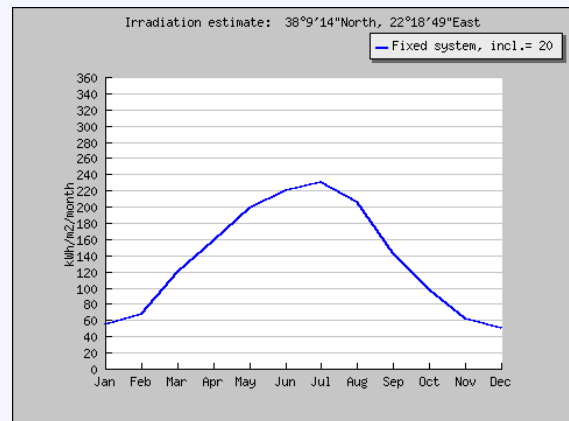
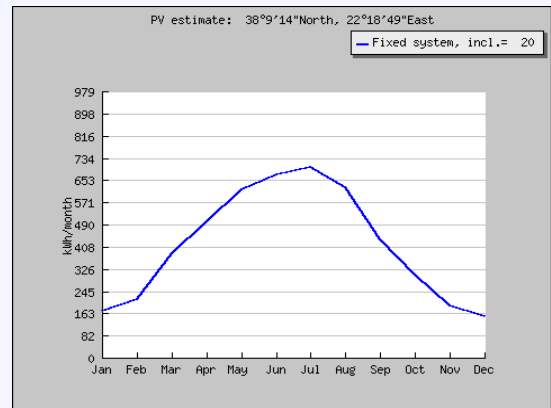
PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°9'14" North, 22°18'49" East, Elevation: 128 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF
 Nominal power of the PV system: 4.1 kW (CIS)
 Estimated losses due to temperature: 8.6% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.5%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 24.1%

Fixed system: inclination=20°, orientation=108°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	5.57	173	1.78	55.2
Feb	7.69	215	2.41	67.5
Mar	12.30	383	3.85	119
Apr	16.70	501	5.27	158
May	19.90	618	6.43	199
Jun	22.40	673	7.36	221
Jul	22.60	699	7.45	231
Aug	20.20	626	6.66	207
Sep	14.50	435	4.73	142
Oct	9.79	304	3.18	98.6
Nov	6.39	192	2.08	62.5
Dec	4.94	153	1.61	49.9
Yearly average	13.6	414	4.41	134
Total for year		4970		1610

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)



PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°9'14" North, 22°18'49" East, Elevation: 128 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 2.3 kW (CIS)

Estimated losses due to temperature: 8.4% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 23.5%

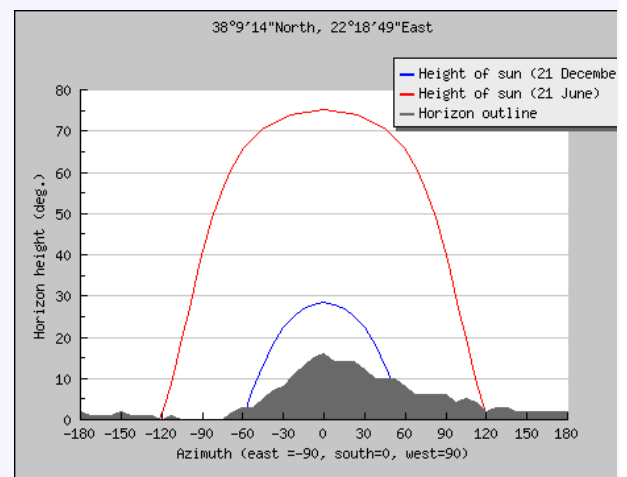
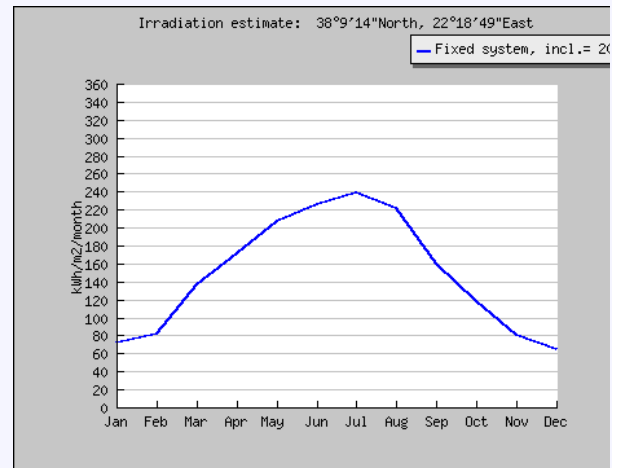
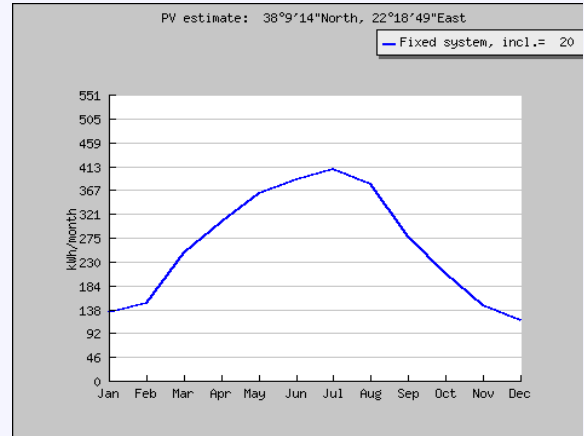
Fixed system: inclination=20°, orientation=-72°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	4.26	132	2.34	72.4
Feb	5.32	149	2.91	81.6
Mar	7.98	247	4.40	136
Apr	10.20	305	5.69	171
May	11.70	362	6.69	207
Jun	12.90	387	7.53	226
Jul	13.10	407	7.70	239
Aug	12.20	379	7.16	222
Sep	9.28	278	5.35	160
Oct	6.70	208	3.80	118
Nov	4.83	145	2.70	81.1
Dec	3.78	117	2.10	65.0
Yearly average	8.54	60	4.88	148
Total for year	3120		1780	

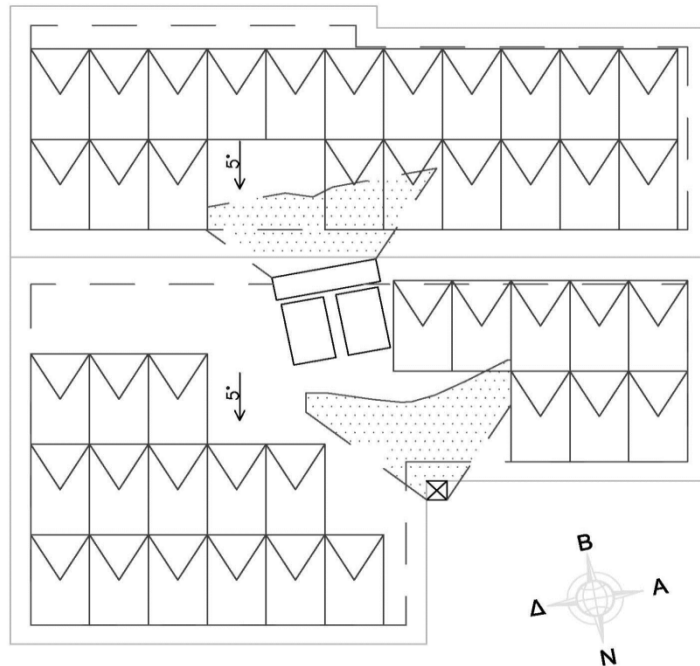
E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

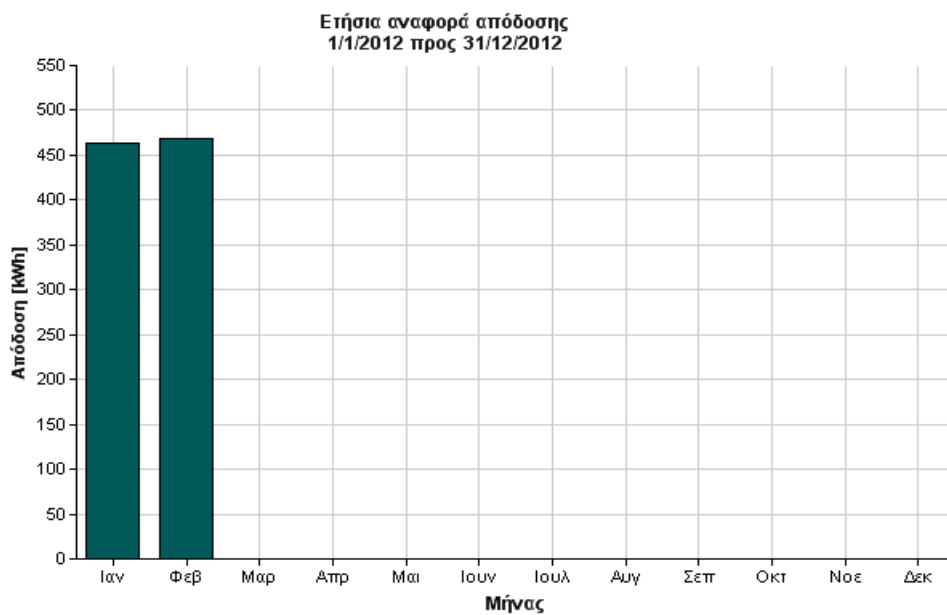
H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m^2)

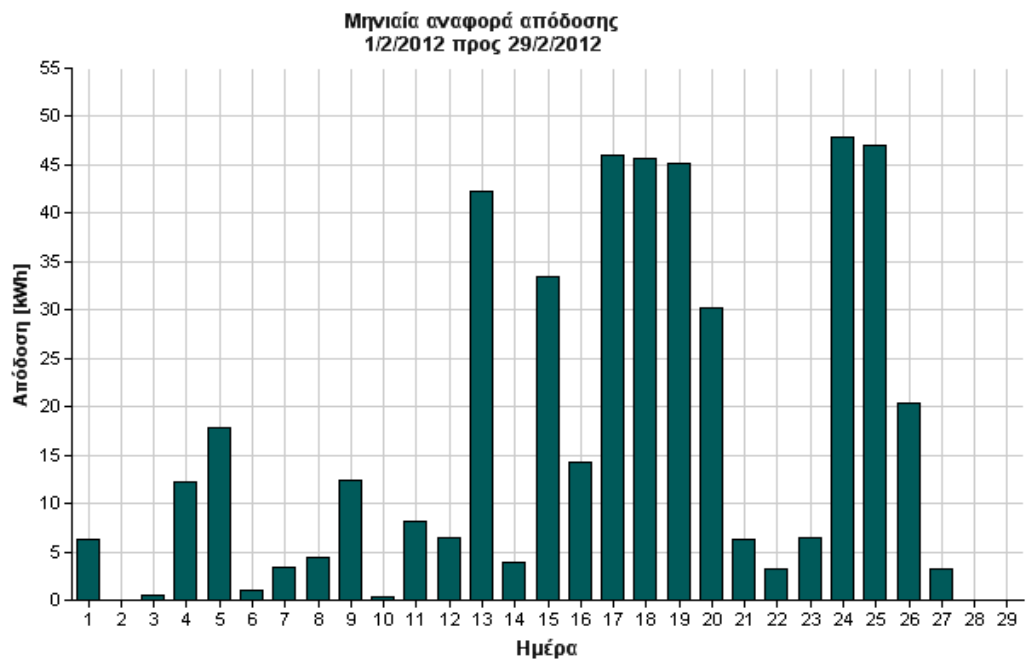
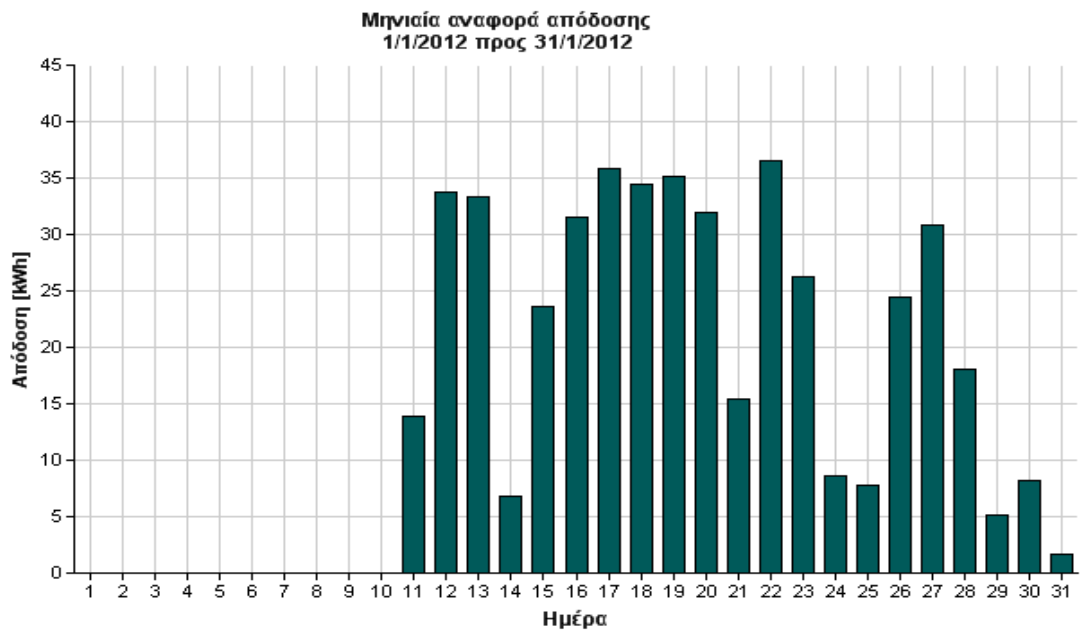
H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m^2)





Πόλη	Λαμία Νομός Φθιώτιδας
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς:	9.87 kWp
Τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων :	πολυκρυσταλλικά 235 Wp
Πλήθος πλαισίων :	42 πλαίσια
Μετατροπείς :	1* KOSTAL PICO 10.1
Αζιμούθιο	10°
Κλίση	5°
Εκτιμώμενη απόδοση	13500 kWh/year





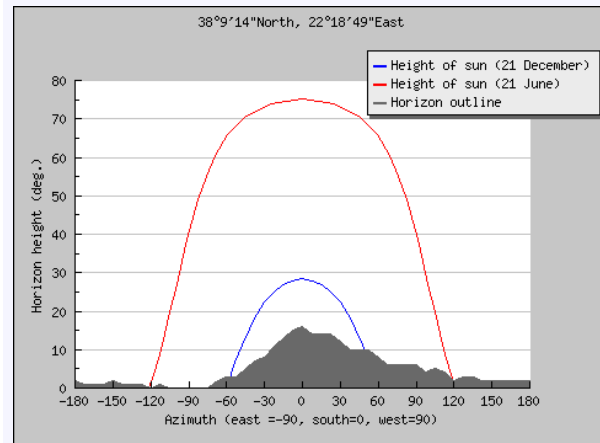
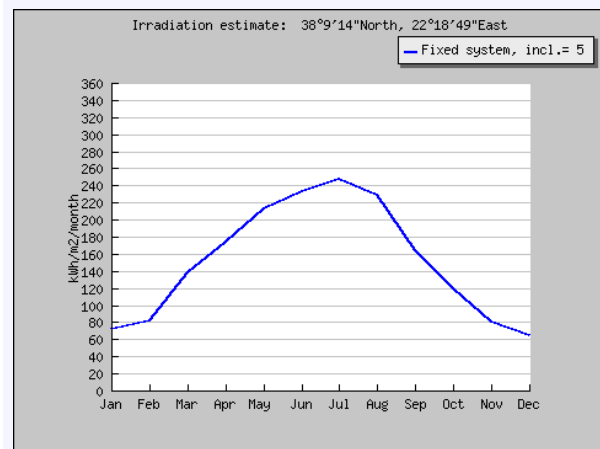
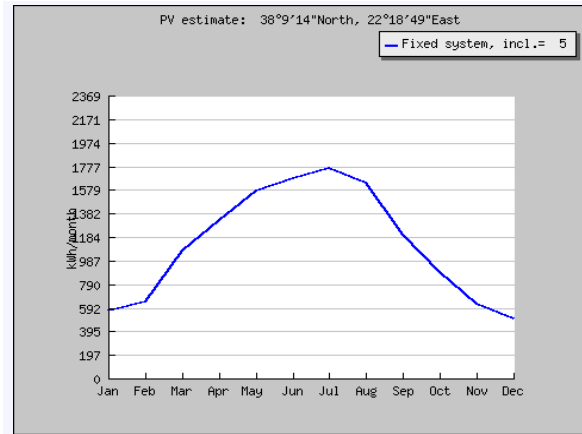
PVGIS estimates of solar electricity generation

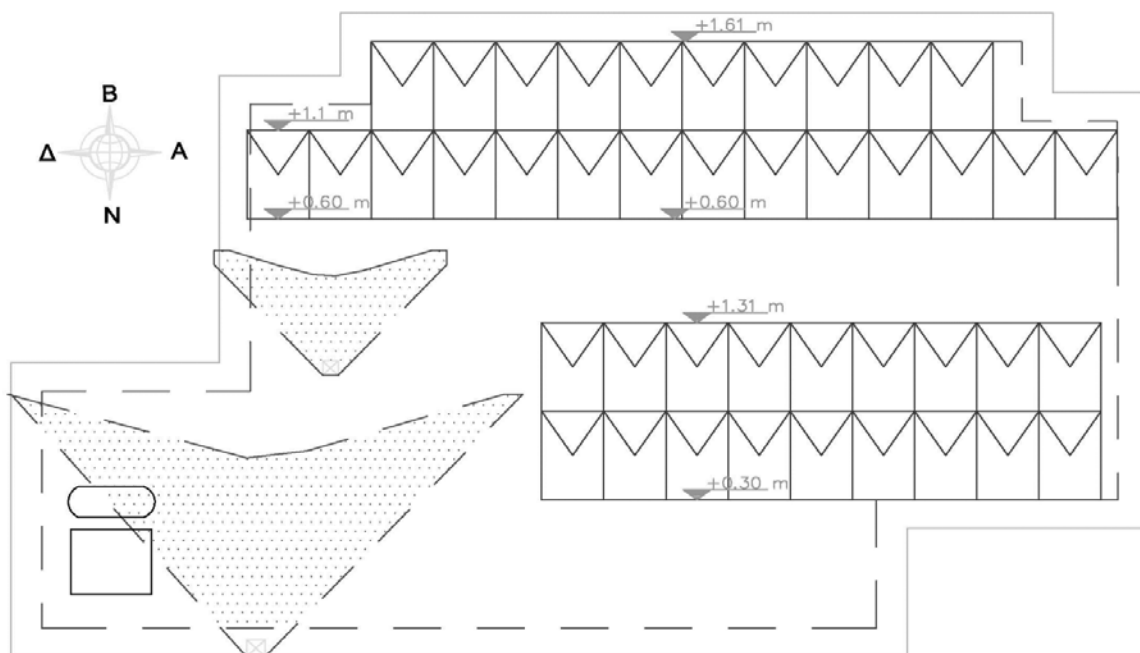
Location: 38°9'14" North, 22°18'49" East, Elevation: 128 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF
 Nominal power of the PV system: 9.9 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature: 9.9% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 24.7%

Fixed system: inclination=5°, orientation=10°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	18.30	567	2.33	72.2
Feb	23.00	644	2.94	82.2
Mar	34.60	1070	4.47	139
Apr	44.20	1330	5.83	175
May	50.60	1570	6.89	214
Jun	56.00	1680	7.79	234
Jul	56.90	1760	7.97	247
Aug	52.80	1640	7.37	228
Sep	40.00	1200	5.46	164
Oct	28.90	895	3.85	119
Nov	20.80	623	2.71	81.3
Dec	16.10	500	2.08	64.6
Yearly average	36.9	1120	4.99	152
Total for year	13500		1820	

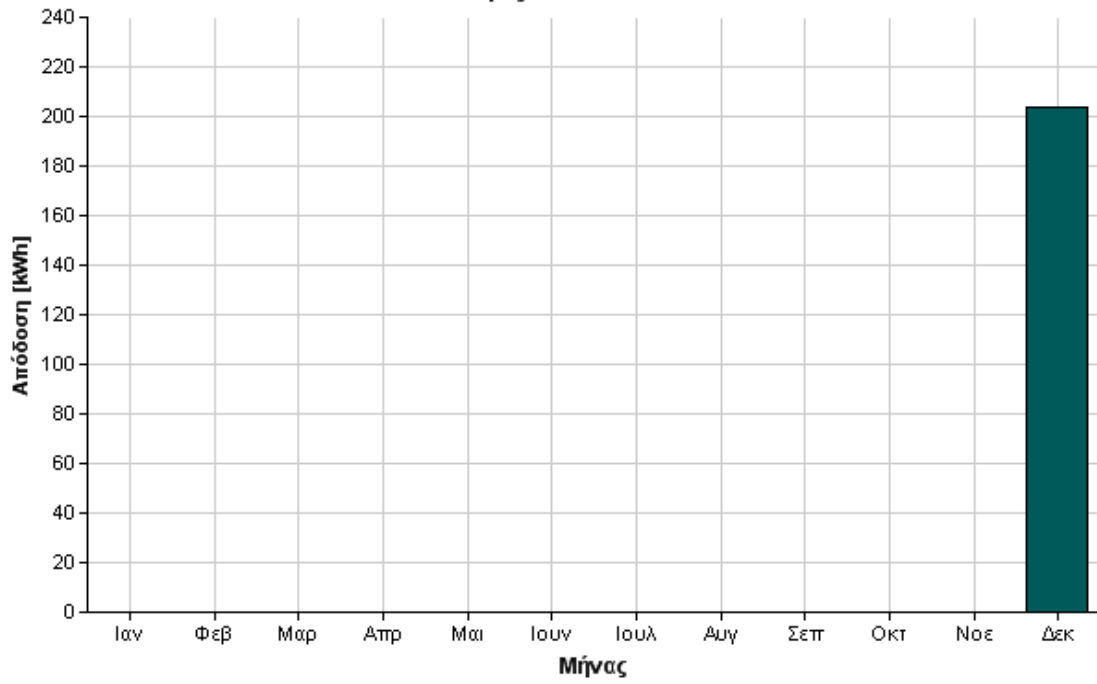
E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)



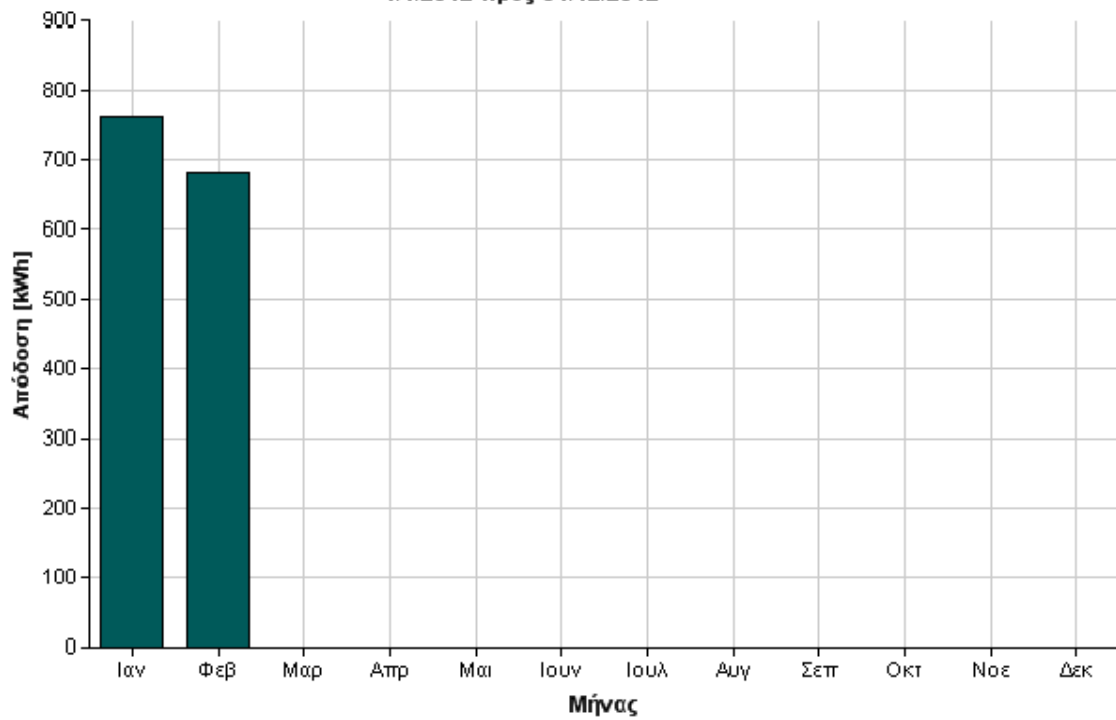


Πόλη Κόρινθος Νομός Κορινθίας	
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς:	9.87 kWp
Τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων :	πολυκρυσταλλικά 235 Wp
Πλήθος πλαισίων :	42 πλαίσια
Μετατροπείς :	1* KOSTAL PICO 10.1
Αζιμούθιο	0°
Κλίση	20°
Εκτιμώμενη απόδοση	14900 kWh/year

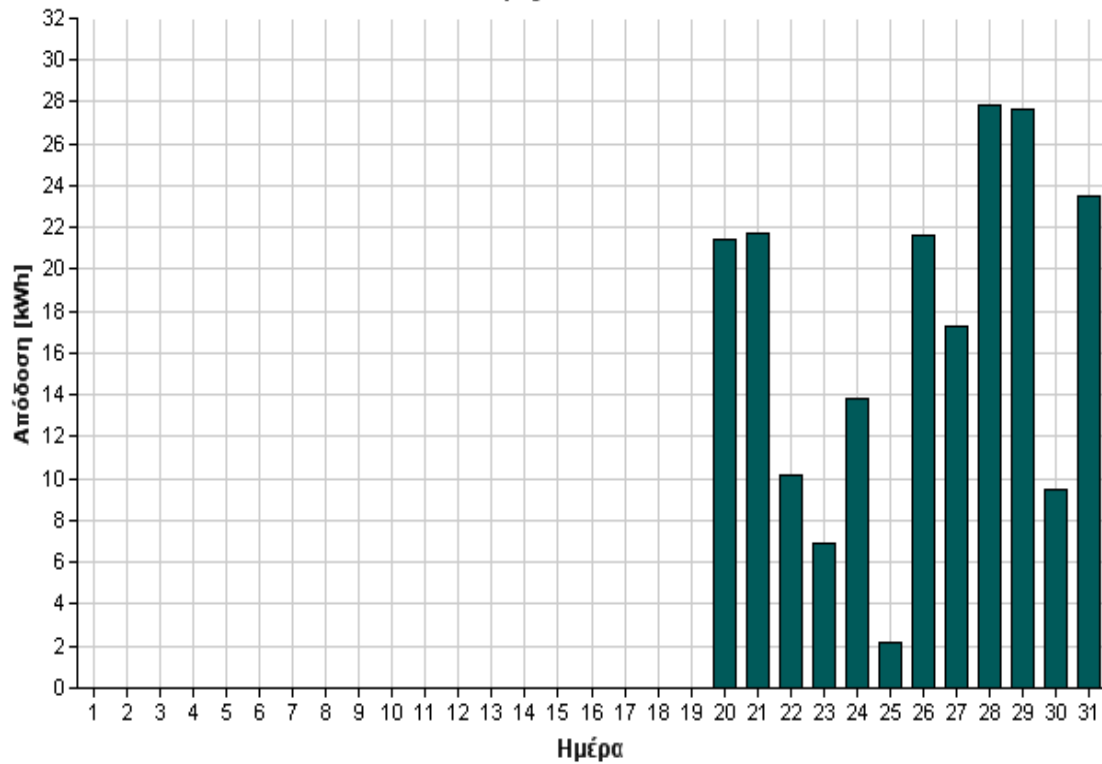
Ετήσια αναφορά απόδοσης
1/1/2011 προς 31/12/2011



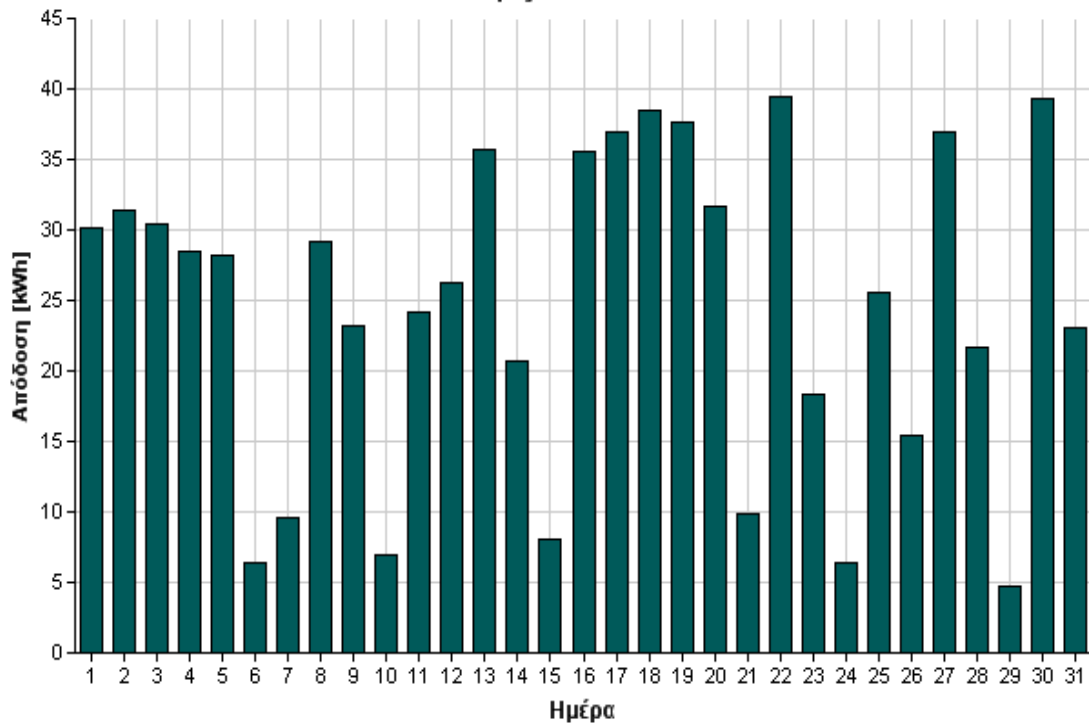
Ετήσια αναφορά απόδοσης
1/1/2012 προς 31/12/2012



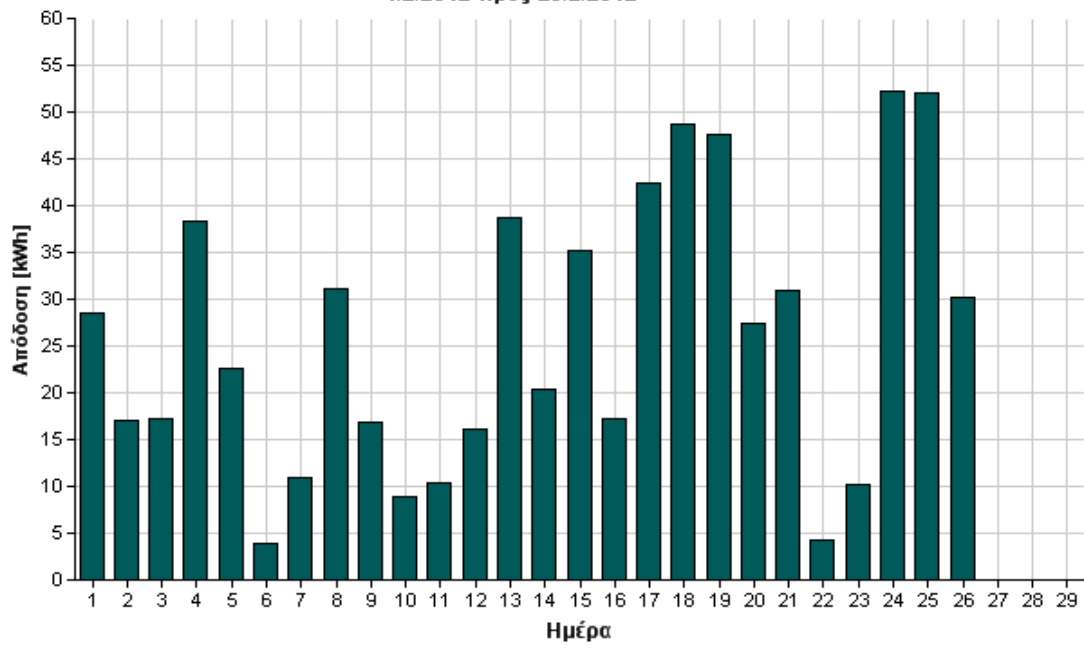
Μηνιαία αναφορά απόδοσης
1/12/2011 προς 31/12/2011



Μηνιαία αναφορά απόδοσης
1/1/2012 προς 31/1/2012



Μηνιαία αναφορά απόδοσης
1/2/2012 προς 29/2/2012



PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°55'38" North, 22°50'53" East, Elevation: 18 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 9.9 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 10.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.5%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 24.8%

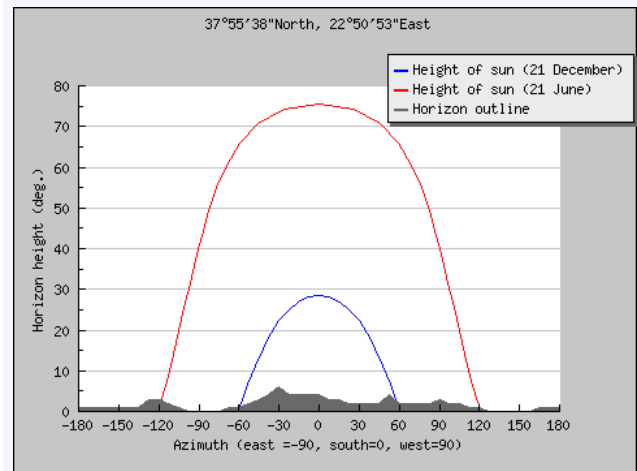
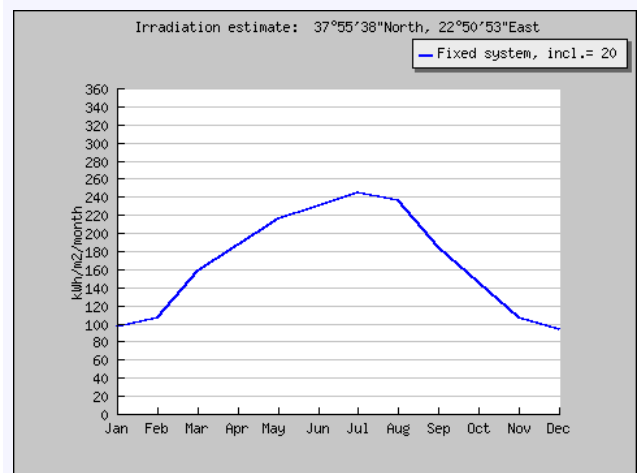
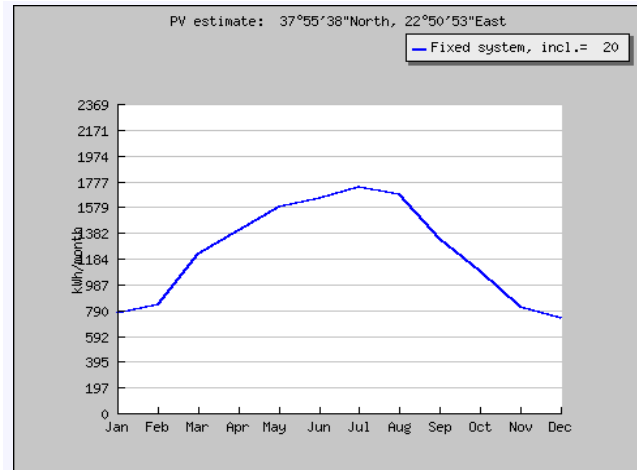
Fixed system: inclination=20°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	24.70	766	3.12	96.6
Feb	29.80	836	3.81	107
Mar	39.40	1220	5.11	159
Apr	46.80	1400	6.23	187
May	51.10	1590	6.99	217
Jun	55.00	1650	7.70	231
Jul	56.10	1740	7.91	245
Aug	54.20	1680	7.61	236
Sep	44.60	1340	6.13	184
Oct	35.10	1090	4.68	145
Nov	27.30	818	3.53	106
Dec	23.60	732	3.01	93.2
Yearly average	40.7	1240	5.50	167
Total for year		14900		2010

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Antonio Luque, Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley 2002
2. C. Edwin Witt, Richard L. Mitchell, Holly P. Thomas, Martha Symko-Davies, Terrestrial photovoltaic technologies update, Renewable energy vol. 23, 2001
3. C. Kittel and H. Kroemer, Thermal Physics, W.H. Freeman and Company, New York, Second Edition, 1980
4. International Solar Energy Society, Solar Energy-Special Issue Large Scale Solar Heating, 2000
5. J. Twidell and T. Weir, Renewable Energy Resources, W&FN Spon, 2000.
6. Jan-Olof Dalenback, Solar Heating with Seasonal Storage, Goteborg 1993
7. M.S. Imamura, P. Helm and Pazl, Photovoltaic System Technology, A European Handbook Commission of the European Communities 1992
8. Markvart Tomas, Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier, 2003
9. Markvart Tomas, Solar electricity, second edition, Wiley 1994
10. Photovoltaics: Technology overview, Green. Energy Policy, 28:989–998, (2000)
11. REN21. Renewables 2007, Global Status Report. (<http://www.ren21.net>), 2007
12. Αντωνόπουλος Α. Κίμων, Θερμικά – Ηλιακά συστήματα, Μέρος πρώτο, Αθήνα 2004
13. Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ΑΠΕ-ΕΠΧΣΑΑ/ΑΠΕ(2008),
14. Μπουτέτσιου Ε., Ενεργειακή Αξιοποίηση Δασικής Βιομάζας: Η Περίπτωση του Μετσόβου, Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΔΠΜΣ ΕΜΠ: «Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών», Αθήνα, 2010.