

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ 200 kWh
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

ΦΙΛΙΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 21 ΙΟΥΝΙΟΥ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Είναι αποτέλεσμα εκτεταμένης βιβλιογραφικής έρευνας σε θέματα όπως η ηλιακή ενέργεια, η φωτοβολταϊκή μετατροπή, η διασύνδεση στο δίκτυο κ.α.. Ελπίζω να είναι έστω και μια ελάχιστη συμβολή στην ενίσχυση και εξάπλωση των ΑΠΕ, ζήτημα πλέον καθοριστικής σημασίας για τη σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Καμπουριδη Γεωργιο, καθηγητή Α.Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ για την πολύτιμη βοήθεια, τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός διασυνδεδεμένου με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ισχύ αιχμής 200kWp. Ο συγκεκριμένος φ/β σταθμός μελετήθηκε για το γεωγραφικό πλάτος της Καλαμάτας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που την χαρακτηρίζουν και τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογή. Ακόμα παρουσιάζονται κάποια στοιχεία σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και τα χαρακτηριστικά της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι αρχές λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και τα είδη κυψελών που υπάρχουν διαθέσιμα αυτή τη στιγμή στην αγορά με έμφαση στα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά όπως το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και το άμορφο πυρίτιο. Επίσης αναλύονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και οι αρχές λειτουργίας των inverters που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους συστήματα.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των αυτόνομων και των διασυνδεδεμένων συστημάτων καθώς και μια αναφορά στα υβριδικά συστήματα και αναλύονται οι αρχές λειτουργίας τους και οι διαφορές τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το θεσμικό πλαίσιο εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων που ισχύει στην Ελλάδα και γίνεται παρουσίαση του νομοθετικού πλαισίου που περιβάλλει τις εγκαταστάσεις τέτοιων συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις εντός σχεδίου και εκτός σχεδίου περιοχών καθώς και τις τιμές πώλησης που υφίστανται αυτή τη στιγμή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αναλυτική μελέτη εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 200 kWh. Ξεκινώντας με την εκτίμηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται ο μέσος ετήσιος τζίρος του συστήματος. Προχωρώντας στην μελέτη γίνεται ανάλυση και επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του συστήματος και τελειώνοντας παρουσιάζεται μια οικονομική ανάλυση για τη χρηματοδότηση αυτού του εγχειρήματος.

Στο κεφάλαιο έξι παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την εργασία.

Λέξεις κλειδιά: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή ακτινοβολία, φωτοβολταϊκά πλαίσια, αντιστροφείς, διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγικές Έννοιες και Προσεγγίσεις	11
1.1 Ενέργεια και Σύγχρονη Προβληματική.....	12
1.1.1. Παγκόσμια Υπερθέρμανση (Global Over warming)	12
1.1.2. Η Εξάντληση των Φυσικών Πόρων	14
1.2 Εισαγωγή στις ΑΠΕ: Παγκόσμια και Ευρωπαϊκή Πραγματικότητα	14
1.3. Το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τον Τουρισμό-ΕΠΧΣΑΑ ΑΠΕ.....	19
1.4. Ηλιακή Ενέργεια και Χαρακτηριστικά	22
1.4.1. Ηλιακή Ακτινοβολία Εκτός Γήινης Ατμόσφαιρας	23
1.4.2. Γωνία Πρόσπτωσης Ηλιακών Ακτινών	25
1.4.3. Ηλιακή Ακτινοβολία στην Επιφάνεια του Εδάφους.....	27
1.4.4. Ηλιακή Ακτινοβολία σε Κεκλιμένο Επίπεδο	28
1.4.5 Ταξινόμηση Συστημάτων Ηλιακής Ενέργειας.....	28
1.5 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	29
1.6 Αγωγιμότητα Υλικών	31
Κεφάλαιο 2: Αρχές Λειτουργίας Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	33
2.1. Είδη Κυψελών	33
2.1.1. Μονοκρυσταλλικού πυριτίου	35
2.1.2. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου πλαίσια	36
2.1.3. Άμορφου Πυριτίου Πλαίσια (thin-film)	36
2.1.4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια άλλων υλικών	37
2.2 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φ/Β Στοιχείων	39
2.3 Στήριξη και Σύνδεση Φ/Β Πλαισίων	41
2.4 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές	42

2.5 Αρχή Λειτουργίας Inverters	45
2.5.1. Μονοφασικός Αντιστροφέας.....	45
2.5.2. Τριφασικός Αντιστροφέας.....	49
Κεφάλαιο 3: Αυτόνομο και Διασυνδεδεμένο Φ/Β Σύστημα.....	52
3.1 Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα	52
3.2 Υβριδικά Φ/Β Συστήματα	54
3.3 Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα	54
Κεφάλαιο 4: Θεσμικό Πλαίσιο Εγκατάστασης Φ/Β Συστημάτων	56
4.1 Οικιακά Φ/Β Συστήματα.....	56
4.1.1. Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων	56
4.1.2. Φορολογική Αντιμετώπιση Εσόδων από τις Πωλήσεις στη ΔΕΗ	59
4.1.3. Ειδικοί Όροι για την Εγκατάσταση σε Κτίρια Εντός Σχεδίου Περιοχών	59
4.1.4. Ειδικοί Όροι για την Εγκατάσταση σε Κτίρια Εκτός Σχεδίου Περιοχών	61
4.1.5. Νέες Τιμές Πώλησης.....	61
4.2 Φ/Β Επί Αγροτεμαχίων	62
4.2.1. Ειδικοί Όροι για την Εγκατάσταση σε Γήπεδα Εκτός Σχεδίου Περιοχών	62
4.2.2. Τιμές Πώλησης.....	67
Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός Εγκατάστασης Φ/Β Σταθμού	68
5.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	70
5.1.1. Μέσος Ετήσιος και Συνολικός Τζίρος	73
5.2 Επιλογή Υλικών-Γενική Ηλεκτρολογική Μελέτη.....	74
5.2.1 Γενική Περιγραφή	74
5.2.2 Επιλογή Φ/Β Panel-Αντιστροφέων	74
5.2.3. Υπολογισμός Διατομής DC Καλωδίων	76

5.2.4. Υπολογισμός Διατομής AC Καλωδίων και Αντιστροφών.....	77
5.2.5. Διατομές AC Λοιπών Καταναλώσεων.....	79
5.2.6. Γείωση Σταθμού.....	80
5.3 Προκοστολόγηση.....	80
5.4 Χρηματοδοτικό Σχήμα και Οικονομική Ανάλυση.....	82
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	88

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (Π.Α.Π.).....	21
Πίνακας 2: Διακοπτικές Καταστάσεις για Αντιστροφέα Πλήρους Γέφυρας	47
Πίνακας 3: Διακοπτικές Καταστάσεις για Τριφασικό Αντιστροφέα.....	49
Πίνακας 4: Νέες Εξαμηνιαίες Τιμές Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας προς τη ΔΕΗ.....	62
Πίνακας 5: Εξαμηνιαίες Τιμές Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Φ/Β Σταθμούς.....	67
Πίνακας 6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Tracker ΝΕΔΑ.....	69
Πίνακας 7: Πίνακας Υπολογισμού Συγκριτικών Τζιρών με Σταθερές Βάσεις και με Σύστημα Tracking.....	73
Πίνακας 8: Κοστολόγηση Έργου.....	81
Πίνακας 9: Χρηματοδοτικό Σχήμα Επένδυσης.....	82
Πίνακας 10: Αποσβέσεις Δαπανών.....	86

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Η εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας κατά τα τελευταία τριάντα χρόνια και μια πρόβλεψη της εξέλιξής της μέχρι το 2010.....	11
Σχήμα 2: Χαρακτηριστική Τάσης-Έντασης Φ/Β Στοιχείου	40
Σχήμα 3: Σύνδεση Φ/Β Πλαισίων	41
Σχήμα 4: Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων και Λειτουργίες.....	52
Σχήμα 5: Σχηματοποίηση Διάταξης Αυτόνομου Συστήματος	53
Σχήμα 6: Υβριδικό Φ/Β Σύστημα	54
Σχήμα 7: Διασυνδεδεμένο Φ/Β Σύστημα	55
Σχήμα 8: Τυπικό Μονογραμμικό Σχέδιο Ηλεκτρικής Εγκατάστασης σε κάθε Tracker.....	80
Σχήμα 9: Προβλεπόμενες Ετήσιες Παραγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας για 20 έτη	84
Σχήμα 10: Κύκλος Εργασιών	85
Σχήμα 11: Ετήσια Έξοδα Συντήρησης και Ασφάλισης για τη Διάρκεια Ζωής του Έργου	85
Σχήμα 12: Ετήσιες Αποσβέσεις.....	86
Σχήμα 13: Καθαρά Ετήσια Αποτελέσματα Χρήσης	87

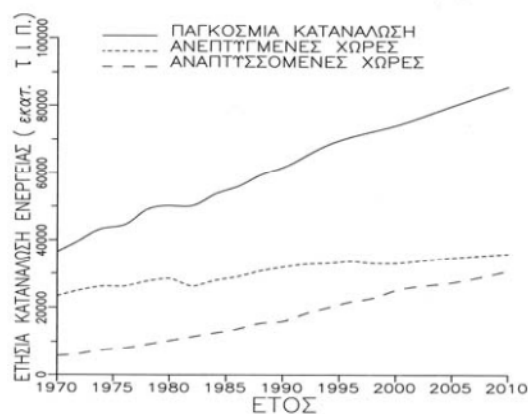
Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Επιπτώσεις από Παραγωγή Ενέργειας στο Περιβάλλον	13
Εικόνα 2: Χάρτης Ποσοστών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε. (και κάποιες υποψήφιας) κατά το έτος 2007.....	17
Εικόνα 3: Χάρτης Περιοχών Αιολικής Προτεραιότητας	20
Εικόνα 4: Σύσταση του Ήλιου	23
Εικόνα 5: Φασματική Κατανομή της Εκτός Γήινης Ατμόσφαιρας, Ηλιακή Ακτινοβολία	24
Εικόνα 6: Ετήσια Εκτίμηση Διακύμανσης της Εκτός Γήινης Ατμόσφαιρας Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	25
Εικόνα 7: Θέση του Ηλίου ως προς το κεκλιμένο Επίπεδο.....	26
Εικόνα 8: Μάζα του Αέρα	27
Εικόνα 9: Θερμική Ηλιακή Ενέργεια.....	29
Εικόνα 10: Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	30
Εικόνα 11: Ηλεκτρική Αγωγιμότητα σε Θερμοκρασία Δωματίου Διαφόρων Υλικών	31
Εικόνα 12: Κύτταρο Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου	35
Εικόνα 13: Κύτταρο Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου	36
Εικόνα 14: Πλαίσιο Άμορφου Πυριτίου	37
Εικόνα 15: Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου	39
Εικόνα 16: Τοπολογία Μονοφασικού Αντιστροφέα Πλήρους Γέφυρας	45
Εικόνα 17: Διαμόρφωση με Διπολική Τάση Εξόδου.....	47
Εικόνα 18: Διαμόρφωση με Μονοφασική Τάση Εξόδου	48
Εικόνα 19: Τοπολογία Τριφασικού Αντιστροφέα Ελεγχόμενου από Πηγή Τάσης	49
Εικόνα 20: Τριφασικός αντιστροφέας VSI, διαμόρφωση SPWM α) Σήμα φορέα και σήμα αναφοράς, b), c) Καταστάσεις διακοπών S1,S3, d) Εναλλασσόμενη τάση εξόδου, e) Κατανομή συχνοτήτων τάσης εξόδου, f) Ρεύμα εξόδου g) Συνεχές ρεύμα, h) Κατανομή συχνοτήτων συνεχούς ρεύματος, i) Ρεύμα διακόπτη S ₁ , j) Ρεύμα διόδου D ₁	50

Εικόνα 21: Αρχικό Μενυ Λογισμικού PVGIS.....	70
Εικόνα 22: Παραμετροποίηση Προγράμματος.....	71
Εικόνα 23: Εξαγόμενα Αποτελέσματα Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας στη περιοχή της Καλαμάτας	72
Εικόνα 24: Παραμετροποίηση Συνδεσμολογίας Inverters	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Η προσπάθεια του ανθρώπου για τη συνεχή άνοδο του βιοτικού του επιπέδου, σε συνδυασμό με τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης και την αλόγιστη σπατάλη και κακή χρήση των ενεργειακών αποθεμάτων του πλανήτη μας, απειλεί να οδηγήσει σύντομα την ανθρωπότητα, σύμφωνα με έγκυρες απόψεις ειδικών, σε ένα μακρύ ενεργειακό χειμώνα. Μέχρι τον 16ο αιώνα, το ξύλο αποτελούσε για τον άνθρωπο την κύρια πηγή θερμικής ενέργειας. Ο άνθρωπος, όμως δεν έπαψε να αναζητά πηγές ενέργειας με μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη. Ο άνθρακας λοιπόν, έρχεται μετά από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση να αντικαταστήσει το ξύλο. Στις αρχές του 20ου αιώνα, ο άνθρακας υποκαθίσταται από το πετρέλαιο, μία αποταμιευμένη ενεργειακή κληρονομιά εκατομμυρίων ετών. Ως κύριο αίτιο της κατασπατάλησης ενέργειας, η οποία ξεπερνάει τα όρια της άγνοιας -σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα η κατανάλωση ενέργειας από το μέσο κάτοικο των Η.Π.Α. υπερβαίνει τις 250.000 Kcal την ημέρα θεωρείται η συνεχής αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας, η οποία συνδυάζεται με μία ανομοιομορφία σε παγκόσμια κλίμακα. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στις Η.Π.Α. και στον Καναδά είναι περίπου εικοσαπλάσια από αυτή των υπό ανάπτυξη χωρών, όπως το Μεξικό, η Βραζιλία, η Συρία. Το 1985 εισήλθαν στην ατμόσφαιρα 5,66 δις τόνοι άνθρακα από την καύση ορυκτών καυσίμων και διαπιστώνεται ότι τη μερίδα του λέοντος την είχαν οι Δυτικές ευρωπαϊκές χώρες με 2 - 5 τόνους κατά κεφαλήν ετησίως, ενώ στις Ανατολικές η κατανάλωση πέφτει περίπου στο μισό.



Σχήμα 1: Η εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας κατά τα τελευταία τριάντα χρόνια και μια πρόβλεψη της εξέλιξής της μέχρι το 2010
(Πηγή: Καλδέλλης, 1999)

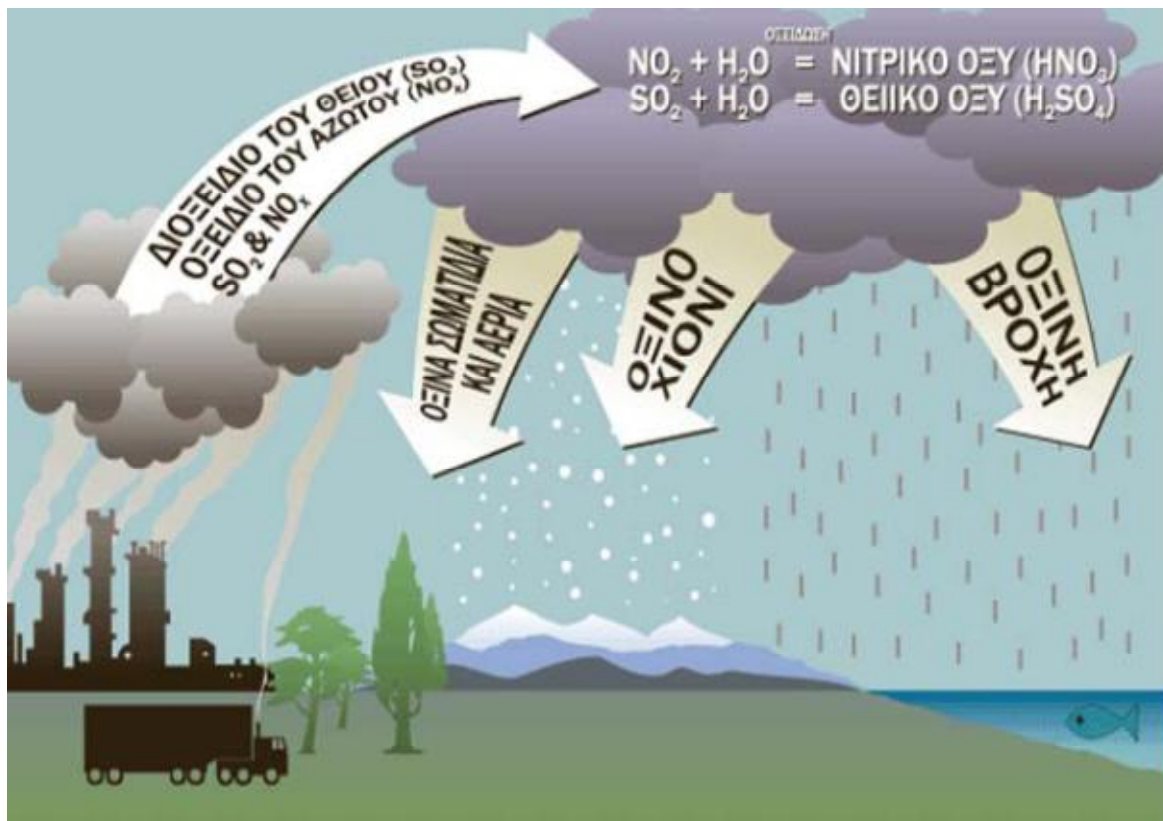
Οι χώρες του Τρίτου κόσμου έχουν ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση καυσίμου που κυμαίνεται από 0,1 τόνους για την Αφρική και την Ινδία μέχρι 0,4 - 0,5 τόνους για τη Βραζιλία και την Κίνα. Η αύξηση του πληθυσμού της γης, η μη ορθολογική ιεράρχηση των αναγκών για ενέργεια, η αδιαφορία για τη σπατάλη και οι απώλειες κατά την μετατροπή ενέργειας και τη μεταφορά αποτελούν τις αίτιες που αναστάτωσαν το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη (Καλδέλλης 1999, Παπαϊωάννου 1996). Το συμπέρασμα από την εξέταση των ανωτέρω είναι ότι οι προσπάθειες για συγκράτηση του ρυθμού αύξησης, αν και αρκετές εξανεμίζονται από τις χαμηλές τιμές του πετρελαίου. Σημειώνουμε μάλιστα ότι τα τελευταία χρόνια η μέση ετήσια παγκόσμια αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ του 4% και 5%.

1.1 Ενέργεια και Σύγχρονη Προβληματική

Το ενεργειακό πρόβλημα έχει γίνει εδώ και αρκετά χρόνια αντιληπτό από την ανθρωπότητα. Ιστορικά η απαρχή της ολοκληρωτικής παρέμβασης του ανθρώπου στο περιβάλλον για την παραγωγή ενέργειας, έγινε πριν από δύο περίπου αιώνες κατά την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Από εκείνο το σημείο και έπειτα ο άνθρωπος καταναλώνει ακατάπαυτα φυσικούς πόρους (ορυκτούς κυρίως) για την παραγωγή ενέργειας και μάλιστα με τρόπο ανεξέλεγκτο. Το αποτέλεσμα αυτής της «εξέλιξης» συσσωρευτικά δημιούργησε μια σειρά σημαντικών προβλημάτων με ποικίλες επιπτώσεις στον τομέα του περιβάλλοντος αλλά και της παγκόσμιας οικονομίας. Οι πλέον σημαντικές επιπτώσεις της υπερβολικής κατανάλωσης ενεργειακών πόρων εμφανίζονται στον τομέα του περιβάλλοντος. Τα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί σήμερα είναι μεγάλης κλίμακας και σε κάποιο ποσοστό μη αναστρέψιμα.

1.1.1. Παγκόσμια Υπερθέρμανση (Global Over warming)

Ο όρος παγκόσμια υπερθέρμανση αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και των ωκεανών. Σύμφωνα με την αρμόδια επιτροπή του ΟΗΕ η μέση θερμοκρασία του πλανήτη τον τελευταίο αιώνα έχει αυξηθεί κατά 0,6 βαθμούς Κελσίου. Οι προβλέψεις της ίδιας επιτροπής για το τέλος του αιώνα που διανύουμε είναι ακόμη πιο δυσμενείς, καθώς πιθανολογείται επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας έως και 5,8 βαθμούς Κελσίου (www.rae.gr).



Εικόνα 1: Επιπτώσεις από Παραγωγή Ενέργειας στο Περιβάλλον

(Πηγή: Κουλάκος, 2010)

Το φαινόμενο της παγκόσμιας υπερθέρμανσης έχει άμεσα συνδεθεί με την παραγωγή των αερίων θερμοκηπίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα αποτελέσματα αυτής της αύξησης έχουν γίνει πλέον αισθητά. Στους πόλους της γης ήδη παρατηρείται λιώσιμο τεράστιων παγόβουνων με γρήγορο ρυθμό. Το επίπεδο της θάλασσας συνεπακόλουθα αναμένεται να ανεβεί και να επιφέρει ανάλογες επιπτώσεις. Με την χρήση δορυφόρων (από το 1992) έχει διαπιστωθεί ότι η μέση αύξηση του επιπέδου της θάλασσας είναι 2,8 χιλιοστά/έτος αλλά διατηρούνται επιφυλάξεις για την αξιοπιστία (διακριτική ικανότητα) των μετρήσεων. Άλλα αρνητικά φαινόμενα που οφείλονται στην παγκόσμια υπερθέρμανση είναι οι αλλαγές στους ρυθμούς βροχοπτώσεων και η αυξημένη ένταση και συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων. Μελλοντικά αναμένονται σε κάποιες περιοχές, παρατεταμένη ξηρασία, και θέματα υγιεινής λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Όπως προαναφέρθηκε τα αέρια του θερμοκηπίου είναι κυρίως υπεύθυνα για την παγκόσμια υπερθέρμανση. Τα αέρια αυτά απορροφούν (εγκλωβίζουν) ουσιαστικά ακτινοβολία την οποία κατά ένα ποσοστό εκπέμπουν προς τη γη, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της. Τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H₂O), το

διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το οξείδιο του νατρίου (NO₂) και το όζον (O₃). Η ανθρωπίνη δραστηριότητα ευθύνεται για την αύξηση των CO₂, CH₄ και NO₂ τα οποία αποβάλλονται με ραγδαίο ρυθμό στην ατμόσφαιρα λόγω της εξάρτησης της παγκόσμιας οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα.

1.1.2. Η Εξάντληση των Φυσικών Πόρων

Στην κατηγορία των φυσικών ορυκτών πόρων ανήκουν πηγές όπως το πετρέλαιο, ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, οι οποίες χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών για την παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας. Ειδικότερα η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζεται σχεδόν στην ολότητα της στην καύση των ορυκτών πόρων. Η ζήτηση επομένως και η κατανάλωση τους είναι ήδη τεράστια, αλλά και αυξάνεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου και την παράλληλη αύξηση των αναγκών. Το αυτονόητο αποτέλεσμα της πορείας αυτής είναι σε πρώτο επίπεδο η σταδιακή μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων που υπάρχουν ανά την υφήλιο και πιο μακροπρόθεσμα η παντελής έλλειψη κάποιων πόρων από τον πλανήτη.

Πρόσφατες έρευνες επάνω στην αυξανόμενη αυτή πορεία χρήσης, δείχνουν γενικότερα ότι οι υπάρχοντες πόροι δεν επαρκούν για να καλύψουν στο μέλλον τις αυξανόμενες ανάγκες, γεγονός που εξηγεί παράλληλα και την άνοδο των τιμών τους. Ο Διεθνής οργανισμός ενέργειας εκτιμά αναλυτικότερα ότι η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση θα αυξηθεί κατά 60% έως το 2030 και ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση, της οποίας το 80% της παραγωγής ενέργειας καλύπτεται από ορυκτούς πόρους, θα δει τις εισαγωγές της ενέργειας να αυξάνονται από 50% που είναι σήμερα, σε 70%. Παράλληλα ο ανταγωνισμός για την διασφάλιση πόρων ενέργειας οδηγεί συχνά μέχρι και σε πολιτικές εντάσεις, απειλώντας ακόμη και την ειρήνη σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη (www.dei.gr).

1.2 Εισαγωγή στις ΑΠΕ: Παγκόσμια και Ευρωπαϊκή Πραγματικότητα

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 ενέργειας 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).

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 (Μπουτέτσιου, 2010).

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 επιβάλει την καθιέρωση τριετούς ανασκόπησης των πεπραγμένων σχετικά με τις ΑΠΕ. Το Σχέδιο _ράσης 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 χρησιμηθερμότητα 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.

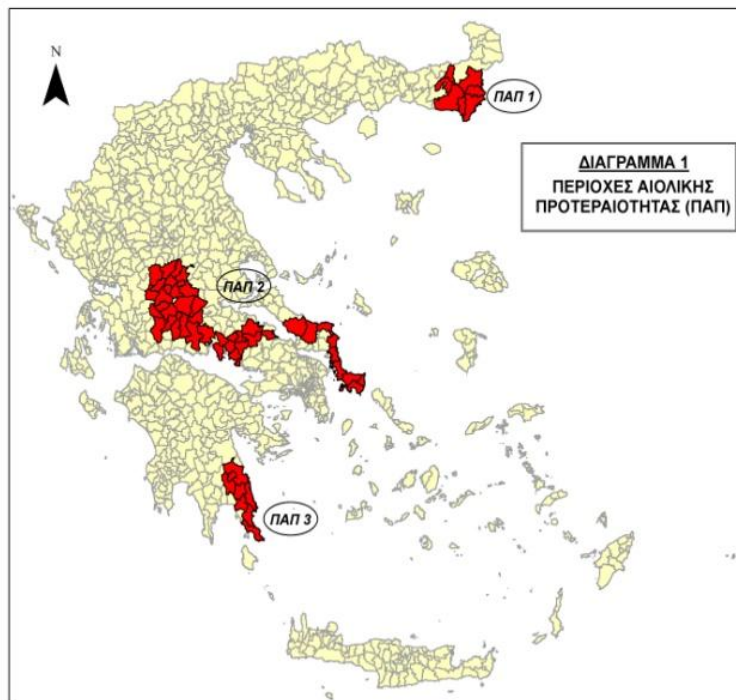
Στο Κεφάλαιο Β’ (Κανόνες Χωροθέτησης Αιολικών Εγκαταστάσεων), βάση του Άρθρου 5 ο εθνικός χώρος, με βάση το εν δυνάμει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό του και τα ιδιαίτερα χωροταξικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του, διακρίνεται στις ακόλουθες μείζονες κατηγορίες:

- 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. Βοϊών	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.

1.4. Ηλιακή Ενέργεια και Χαρακτηριστικά

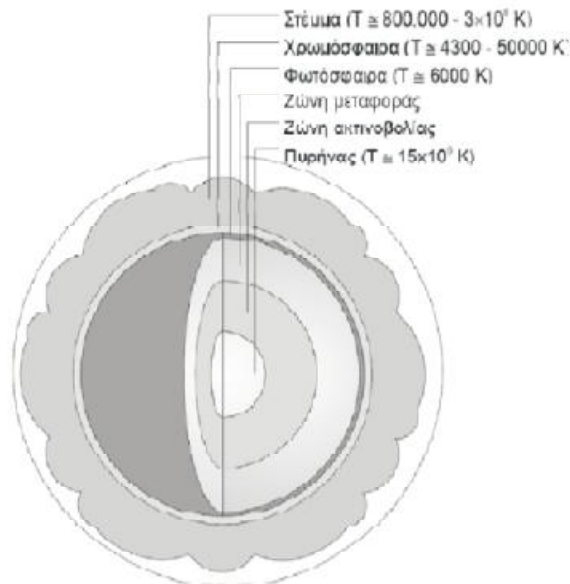
Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για κάλυψη των καθημερινών αναγκών του ανθρώπου δεν είναι κάτι το καινοφανές. Από αρχαιότατων χρόνων η ηλιακή ενέργεια αξιοποιήθηκε από τον άνθρωπο στη γεωργία, την κατοικία και την βιομηχανία. Όμως χρειάστηκε να ξεσπάσει η ενεργειακή κρίση το 1973, ώστε να στραφεί ξανά το ενδιαφέρον του κόσμου σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή. Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 είχε επιδειχθεί ενδιαφέρον για έρευνα και εφαρμογή στην ηλιακή ενέργεια.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών όπως παραγωγή ηλεκτρισμού από μεγάλες μονάδες και απευθείας σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτροπαραγωγής σε οικιακό και εμπορικό επίπεδο για κάλυψη βασικών αναγκών (π.χ. φωτισμός, ψυγείο, τηλεόραση κ.λπ.), τηλεπικοινωνίες, άντληση νερού, σηματοδότηση κ.λπ. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές εφαρμογές, που απαντώνται κυρίως σε απομακρυσμένες όπου υπάρχει πρόβλημα ηλεκτροδότησης από το δίκτυο της ΔΕΗ, καθώς και σε επενδύσεις πουλώντας το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στη ΔΕΗ.

Επίσης αξιόλογες είναι οι εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση και το δροσισμό (ψύξη) κτιρίων, με τη χρήση ενεργητικών και παθητικών (βιοκλιματικών) συστημάτων.

Ο Ήλιος αποτελείται από 80% υδρογόνο (H₂), 19% ήλιο (He) και το υπόλοιπο 1% είναι μείγμα περισσότερων από 100 χημικών στοιχείων. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των 10⁷ βαθμών Kelvin. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια από την επιφάνειά του προέρχεται από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που είναι εξώθερμες και γίνονται στο εσωτερικό του.

Στις αντιδράσεις αυτές γίνεται μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο και παραγωγή ενέργειας με ρυθμό 4 εκατομμύρια τόνους το δευτερόλεπτο. Η σύσταση του φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4: Σύσταση του Ήλιου

(Πηγή: Mohan, 2003)

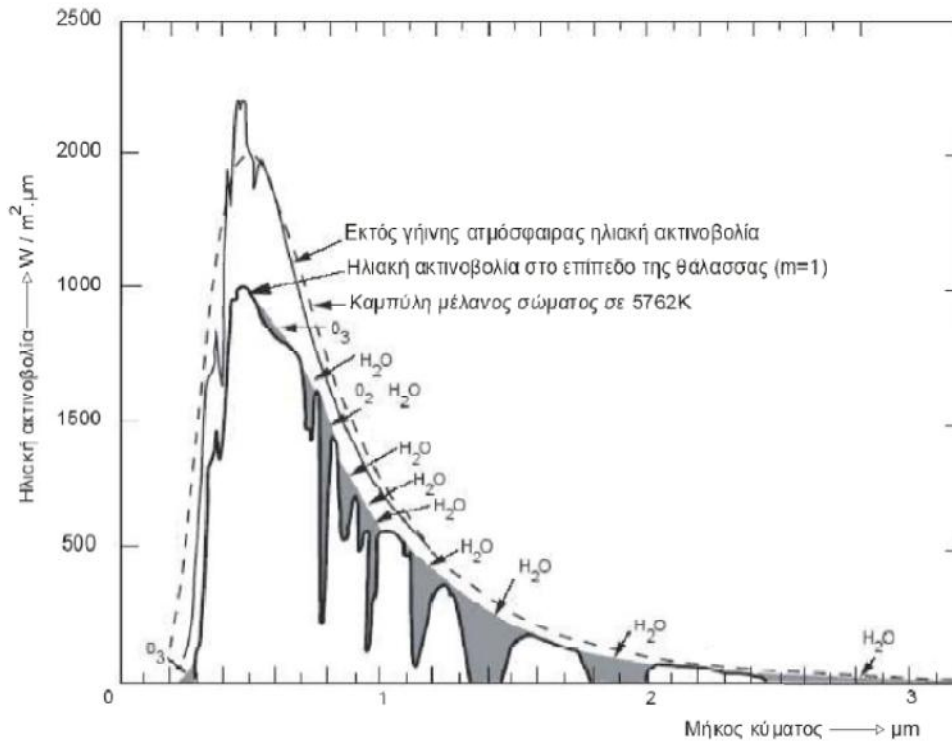
Δεδομένης της διαμέτρου d και της φαινόμενης θερμοκρασίας του T , η ισχύς P που ακτινοβολείται από την επιφάνειά του μπορεί να εκτιμηθεί ότι είναι (Mohan, 2003):

$$P = \pi d^2 \sigma T^4 = 3,8 \times 10^{23} \text{ kW}$$

Όπου σ είναι η σταθερά Boltzman. Από την ισχύ αυτή η γη μπορεί να θεωρηθεί ότι δέχεται, σε ένα μέγιστο κύκλο της, περίπου $1,7 \times 10^{14}$ kW. Για να αντιληφθούμε το τεράστιο μέγεθος αυτής της ισχύος αρκεί να αναλογισθούμε ότι η ενέργεια που θα δεχθεί για μια ώρα η γη, θα μπορούσε θεωρητικά να καλύψει όλες τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις των κατοίκων του πλανήτη.

1.4.1. Ηλιακή Ακτινοβολία Εκτός Γήινης Ατμόσφαιρας

Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός γήινης ατμόσφαιρας μοιάζει αρκετά με εκείνη του μέλανος σώματος στην θερμοκρασία των 5762K, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ενώ η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο επίπεδο της θάλασσας είναι αρκετά μειωμένη (Mohan, 2003).



Εικόνα 5: Φασματική Κατανομή της Εκτός Γήινης Ατμόσφαιρας, Ηλιακή Ακτινοβολία

(Πηγή: Mohan, 2003)

Η μονάδα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι W/m^2 . Δηλαδή είναι ισχύς ανά μονάδα επιφανείας και η τιμή της είναι το μέτρο της έντασής της. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται παρακάτω για την ηλιακή ακτινοβολία είναι G για μία στιγμιαία τιμή, I για ωριαία τιμή και H για τιμές ημερήσιες, εβδομαδιαίες, μηνιαίες, ετήσιες κ.λπ.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφανείας και εκτός γήινης ατμόσφαιρας σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στις ηλιακές ακτίνες και βρίσκεται στη μέση απόσταση ήλιου – γης λέγεται ηλιακή σταθερά G_{sc} . Από πειραματικές μετρήσεις έχουν προταθεί διάφορες τιμές της ηλιακής σταθεράς. Μια τιμή που έχει προταθεί με αβεβαιότητα 1% είναι:

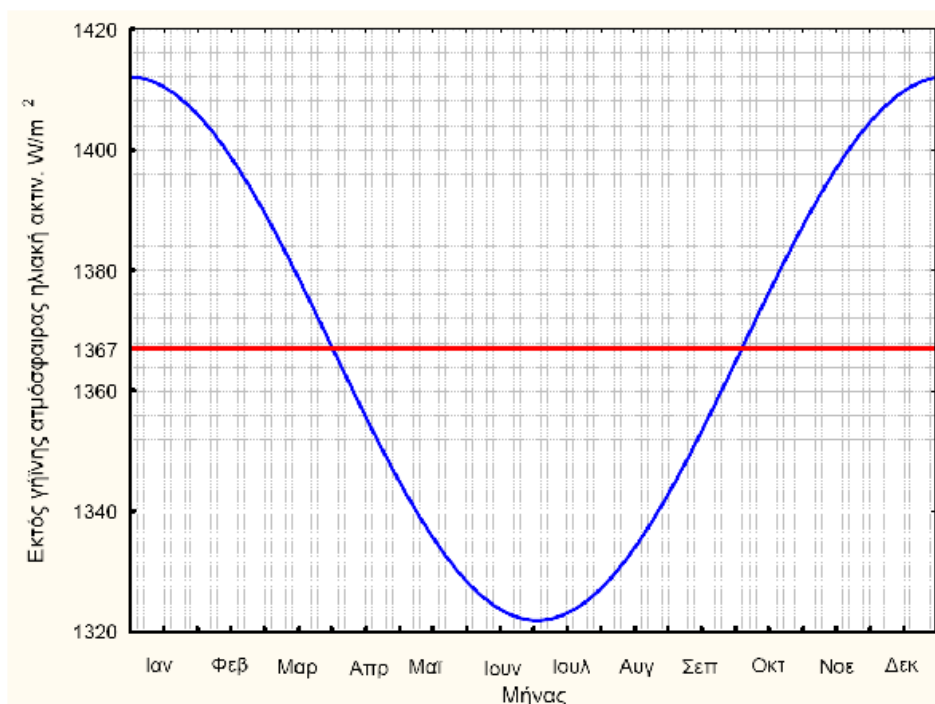
$$G_{sc}=1367W/m^2$$

Επειδή η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική, η εκτός γήινης ατμόσφαιρας ακτινοβολία σε επίπεδο κάθετο στις ηλιακές ακτίνες G_{0n} , μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους.

Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας αυτής, για κάθε μέρα του έτους, χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση (Κτενίδης, 2008):

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,33 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right)$$

όπου n είναι ο αριθμός της ημέρας του έτους, με αρχή την 1η Ιανουαρίου. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση της εκτός γήινης ατμόσφαιρας ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 6: Ετήσια Εκτίμηση Διακύμανσης της Εκτός Γήινης Ατμόσφαιρας Ηλιακής Ακτινοβολίας

(Πηγή: Mohan, 2003)

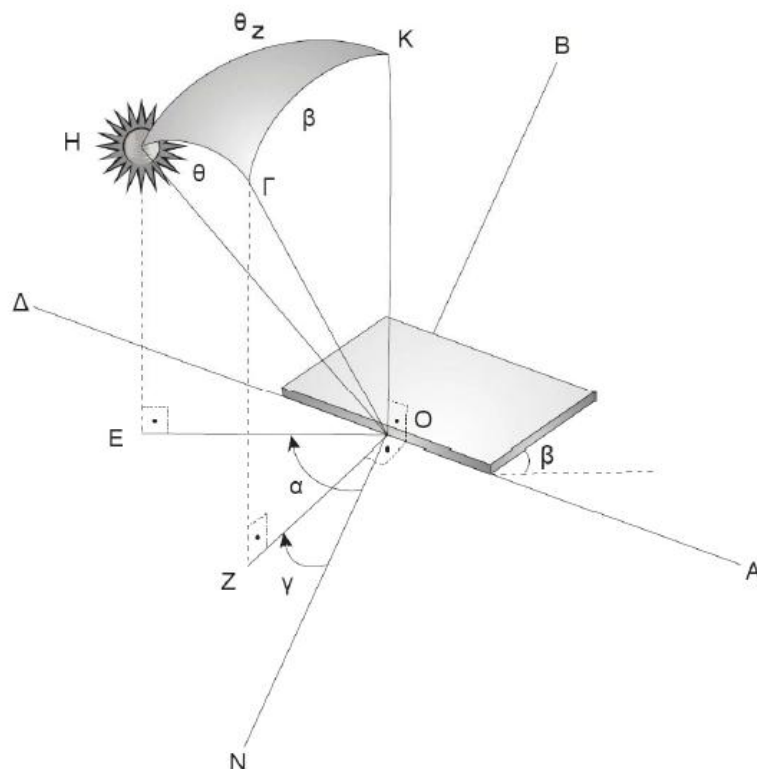
1.4.2. Γωνία Πρόσπτωσης Ηλιακών Ακτινών

Στις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας απαιτείται συνήθως ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο οποιασδήποτε κλίσης ως προς τον ορίζοντα και αυθαίρετου προσανατολισμού ως προς τον ήλιο. Για τον υπολογισμό αυτόν θα πρέπει αρχικά να ορισθούν όλες οι γωνίες που υπεισέρχονται σε αυτό το σύστημα. Έστω ένα επίπεδο, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, που έχει μια κλίση β ως προς τον ορίζοντα και είναι προσανατολισμένο προς το νότο. Ο ήλιος σε κάποια στιγμή του ημερήσιου τόξου του βρίσκεται στο σημείο H . Αν KO είναι κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο και $ΓO$ κάθετη στο κεκλιμένο επίπεδο, τότε σχηματίζεται το σφαιρικό τρίγωνο $HKΓ$. Η ZO είναι η προβολή της $ΓO$ στο οριζόντιο επίπεδο και EO είναι η προβολή της διεύθυνσης των ηλιακών ακτίνων στο οριζόντιο επίπεδο.

Γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων (θ) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης των ηλιακών ακτίνων (HO) και της καθέτου στο κεκλιμένο επίπεδο. **Αζιμούθιο της επιφάνειας** (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης βορρά – νότου και της προβολής της ΓΟ στο οριζόντιο επίπεδο. Έχει θετικές τιμές δυτικά του νότου και αρνητικές τιμές ανατολικά του νότου. Όταν μια επιφάνεια έχει εντελώς νότιο προσανατολισμό τότε $\gamma=0$. Η εφαρμογή του νόμου του συνημιτόνου στο σφαιρικό τρίγωνο ΗΚΓ δίνει:

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \theta_z + \sin \beta \sin \theta_z \cos(\alpha - \gamma)$$

Η γνώση της γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων (θ) είναι σημαντική στις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, διότι από την τιμή της γωνίας αυτής θα εξαρτηθεί το μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δεχθεί η αντίστοιχη επιφάνεια. Έτσι όσο μικρότερη είναι η γωνία αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτινοβολία που θα δεχθεί η επιφάνεια.



Εικόνα 7: Θέση του Ηλίου ως προς το κεκλιμένο Επίπεδο

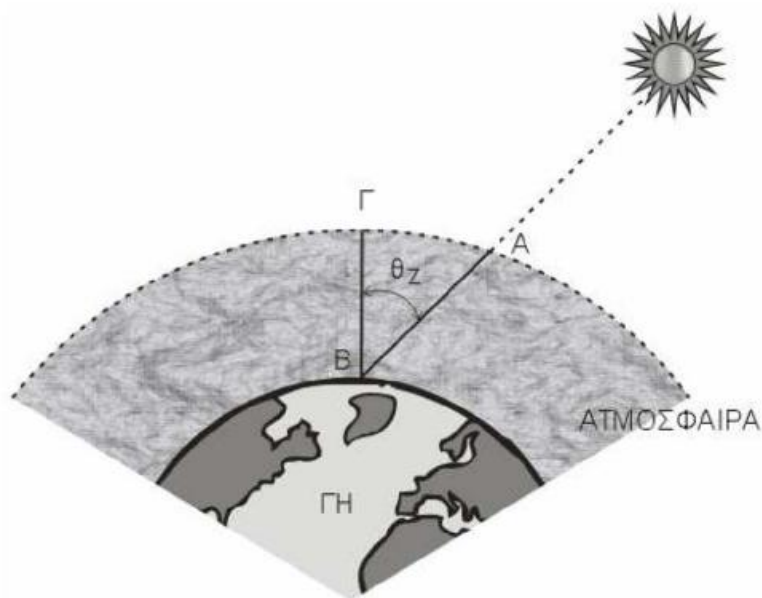
(Πηγή: Mohan, 2003)

1.4.3. Ηλιακή Ακτινοβολία στην Επιφάνεια του Εδάφους

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος επηρεάζεται από το μήκος της ατμόσφαιρας που διαπερνά. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων στην ατμόσφαιρα τόσο μειωμένη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεγαλύτερη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας για να φθάσει στην επιφάνεια της γης είναι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα. Για την μείωση αυτή της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος της σχετικής μάζας του αέρα ή απλά όπως συνηθίζεται μάζα του αέρα. Μάζα του αέρα (m) ορίζεται ο λόγος της μάζας της αερίου στήλης της διαδρομής των ηλιακών ακτίνων, για ανέφελο ουρανό, προς την αντίστοιχη μάζα για κατακόρυφο ήλιο.

Όταν η ζενίθια γωνία του ήλιου δε έχει μεγάλες τιμές και αν δεν ληφθεί υπ' όψιν η καμπυλότητα της γης και η διάθλαση, που επηρεάζει ελαφρά το μήκος της πλάγιας διαδρομής AB, τότε το τόξο AB μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο τμήμα και κατά συνέπεια το τρίγωνο ABΓ ορθογώνιο. Οπότε ο λόγος των αντίστοιχων μαζών θα είναι και ο λόγος των διαδρομών AB προς ΒΓ και κατά συνέπεια η μάζα του αέρα (m) θα εξαρτάται από τη ζενίθια γωνία του ήλιου θ_z , οπότε:

$$m = 1/\cos\theta_z$$



Εικόνα 8: Μάζα του Αέρα

(Πηγή: Mohan, 2003)

1.4.4. Ηλιακή Ακτινοβολία σε Κεκλιμένο Επίπεδο

Η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο είναι απαραίτητη στις περισσότερες εφαρμογές και μελέτες των ηλιακών συστημάτων, όπως βέβαια και στα φωτοβολταϊκά. Επειδή όμως στους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι διαθέσιμη συνήθως η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, θα πρέπει να δοθεί μέθοδος υπολογισμού της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Για τη σωστή επιλογή της κλίσης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας απαιτείται η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο σε μηνιαία και ετήσια βάση. Παρακάτω δίνεται η μεθοδολογία (Κτενίδης, 2008).

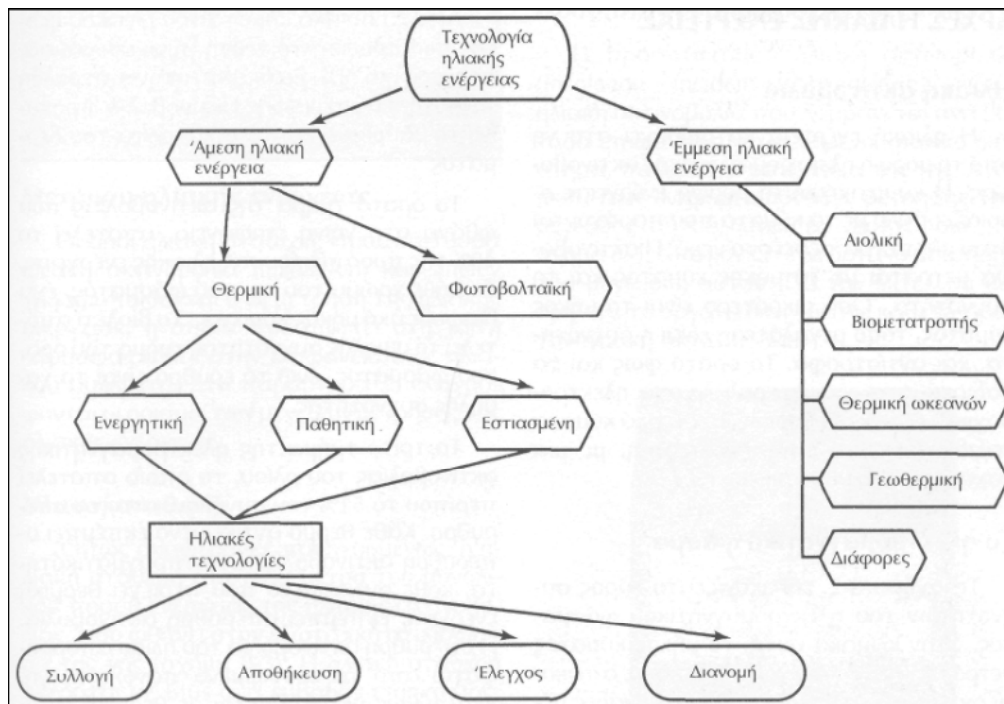
Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους αποτελείται από τρεις συνιστώσες :

- την άμεση που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο
- τη διάχυτη που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο
- την ανακλώμενη που προέρχεται από το έδαφος της γύρω περιοχής

1.4.5 Ταξινόμηση Συστημάτων Ηλιακής Ενέργειας

Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε θερμικά και σε φωτοβολταϊκά. Τα θερμικά συστήματα, μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε θερμική ενέργεια, για χρήση στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε διάφορες εφαρμογές, όπου θα αναφερθούμε εκτενέστερα.

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα, μπορούν να υποδιαιρεθούν σε ενεργητικά, παθητικά και συστήματα εστίασης. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι αυτά που χρησιμοποιούν αντλίες, ανεμιστήρες και εξωτερικές ενεργειακές πηγές για τη μεταφορά της συλλεγόμενης θερμότητας. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δεν χρησιμοποιούν αντλίες, ανεμιστήρες, κτλ, αλλά φυσικά ρεύματα μεταφοράς της θερμότητας. Τα συστήματα εστίασης, συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 9: Θερμική Ηλιακή Ενέργεια

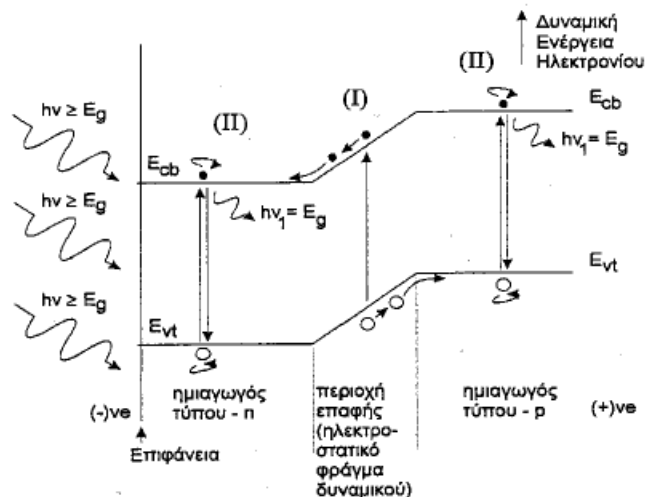
(Πηγή: Στυλιανοπούλου και Χατζηρόδου, 2009)

1.5 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Ένα Φ/Β στοιχείο αποτελείται από συνδυασμό δύο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς, γνωστούς ως p-type ημιαγωγός και n-type ημιαγωγός. Οι ημιαγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από πυρίτιο. Οι n-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων (συνήθως φωσφόρου) έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο. Οι p-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται και αυτοί από κρυσταλλικό πυρίτιο στο οποίο όμως εισάγονται διαφορετικού τύπου προσμίξεις (συνήθως βόριο) οπότε το υλικό παρουσιάζει έλλειμμα ελευθέρων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που λείπουν ονομάζονται «οπές». Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η θεμελιώδης φυσική διαδικασία με την οποία ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα Φ/Β στοιχείο, μπορεί να ανακλαστεί, απορροφηθεί ή να διέλθει δια μέσου αυτού. Μόνο όμως το μέρος της ακτινοβολίας που απορροφάται παράγει ηλεκτρισμό. Η ενέργεια του απορροφημένου φωτός μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου. Χρησιμοποιώντας αυτή την ενέργεια τα ηλεκτρόνια διαφεύγουν από τις κανονικές τους θέσεις στα άτομα του ημιαγωγού του Φ/Β στοιχείου και σχηματίζουν μια ροή ηλεκτρονίων ή ρεύμα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Μια χαρακτηριστική ιδιότητα του

Φ/Β στοιχείου, αυτή που χαρακτηρίζεται σαν ενδογενές ηλεκτρικό πεδίο παρέχει τη δύναμη ή διαφορά δυναμικού που απαιτείται για να οδηγήσει το ρεύμα σε ένα εξωτερικό φορτίο όπως π.χ. ένας λαμπτήρας. Για την δημιουργία του ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του Φ/Β στοιχείου, δύο στρώματα διαφορετικών ημιαγωγικών υλικών έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Το ένα στρώμα είναι ο ημιαγωγός τύπου-n με πλεόνασμα ηλεκτρονίων τα οποία έχουν αρνητικό φορτίο. Το άλλο στρώμα είναι ένας ημιαγωγός τύπου-p με πλεόνασμα «οπών» οι οποίες έχουν θετικό φορτίο.

Παρόλο που τα δύο στρώματα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα, ο ημιαγωγός τύπου-n με πλεόνασμα ηλεκτρονίων και ο τύπου-p με πλεόνασμα «οπών», φέρνοντας τα σε επαφή δημιουργείτε μια επαφή p/n δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο. Όταν τύπου-n και -p πυρίτιο έρθει σε επαφή, ηλεκτρόνια από το ημιαγωγό τύπου-n μετακινούνται στην πλευρά του ημιαγωγού τύπου-p. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία θετικού φορτίου στη πλευρά του ημιαγωγού τύπου-n και αρνητικού φορτίου στην πλευρά του τύπου-p. Εξαιτίας της ροής ηλεκτρονίων και οπών, οι δύο ημιαγωγοί συμπεριφέρονται σαν μια μπαταρία, δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια επαφής η οποία καλείται επαφή p/n. Το ηλεκτρικό πεδίο αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να κινούνται από τον ημιαγωγό προς την αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια, όπου και γίνονται διαθέσιμα στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Ταυτόχρονα οι οπές κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση, προς τη θετική επιφάνεια όπου και «αναμένουν» εισερχόμενα ηλεκτρόνια.

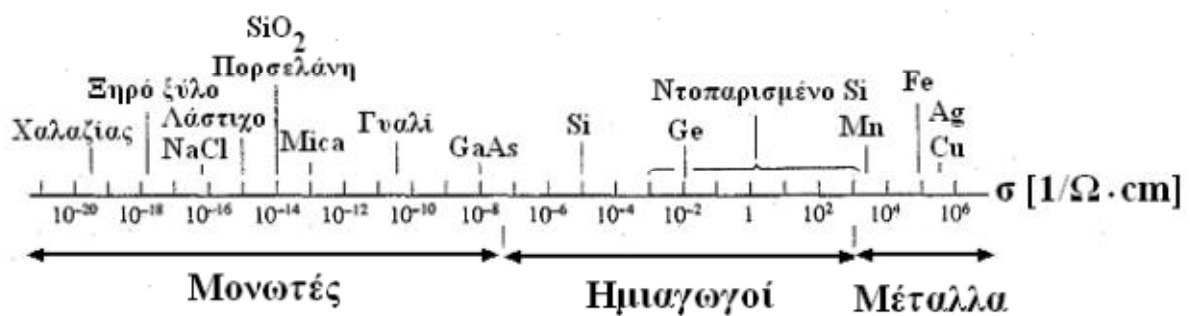


Εικόνα 10: Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

1.6 Αγωγιμότητα Υλικών

Τα υλικά ανάλογα με το εάν άγουν ή όχι το ηλεκτρικό ρεύμα διαχωρίζονται σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές (ή διηλεκτρικούς αγωγούς). Όπως φαίνεται από το επόμενο Σχήμα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (συμβολισμός: σ) διαφόρων υλικών σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταβάλλεται σε ένα εύρος μεγαλύτερο από 25 τάξεις μεγέθους. Επιπλέον, αν ληφθούν υπόψη και οι τιμές αγωγιμότητας των υπεραγωγών, οι οποίες μετρώνται σε χαμηλές θερμοκρασίες και η αγωγιμότητά τους εκτιμάται στην περιοχή των 10^{20} S/cm, τότε το εύρος της κλίμακας επεκτείνεται στις 40 τάξεις μεγέθους.



Εικόνα 11: Ηλεκτρική Αγωγιμότητα σε Θερμοκρασία Δωματίου Διαφόρων Υλικών

(Πηγή: Hummel, 2001)

Η πρώτη προσέγγιση για την ηλεκτρική αγωγή αφορούσε την ύπαρξη ενός «ηλεκτρονιακού νέφους» μέσα σε ένα κρυσταλλικό υλικό, αποτελούμενου από τα ηλεκτρόνια σθένους των επιμέρους ατόμων του κρυστάλλου. Για ένα μονοσθενές μέταλλο, κάθε άτομο συνεισφέρει ένα ηλεκτρόνιο και η πυκνότητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ένα τέτοιο κρύσταλλο ταυτίζεται με τον αριθμό των ατόμων ανά μονάδα όγκου (N_v), ο οποίος είναι (Hummel, 2001):

$$N_v = \frac{N\delta}{M}$$

όπου N ο αριθμός Avogadro, δ η πυκνότητα και M η ατομική μάζα του μετάλλου. Σε ένα μονοσθενές μέταλλο υπάρχουν $10^{22} - 10^{23}$ άτομα ανά cm^3 και ο ίδιος αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται με τυχαίο τρόπο (σε όλες τις δυνατές διευθύνσεις), κατά τέτοιο τρόπο, ώστε (απουσία ηλεκτρικού πεδίου) οι επιμέρους ταχύτητές τους να αλληλοαναιρούνται. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου οι συνθήκες

αλλάζουν. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται με δύναμη ($e \cdot \mathcal{E}$) προς την άνοδο και προκύπτει μια καθαρή μετακίνηση των ηλεκτρονίων. Αν απομακρυνθεί το ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια θα συνεχίσουν να μετακινούνται κατά μήκος του κρυστάλλου με σταθερή ταχύτητα, γεγονός που έχει παρατηρηθεί μόνο στους υπεραγωγούς. Συνεπώς, το μοντέλο των ελεύθερων ηλεκτρονίων χρειάζεται να προσαρμοστεί προκειμένου να λάβει υπόψη την ηλεκτρική αντίσταση. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να παρασταθεί ως η επίδραση μιας δύναμης «τριβής» της μορφής: γv (όπου γ : σταθερά), η οποία αντιτίθεται στην ηλεκτροστατική δύναμη $e \cdot \mathcal{E}$. Η αντίσταση αυτή στα μέταλλα αποδίδεται στις αλληλεπιδράσεις των διερχόμενων ηλεκτρονίων με άτομα του πλέγματος και πιο συγκεκριμένα με τις ατέλειες του πλέγματος (όπως άτομα προσμίξεων, κενά, όρια κόκκων κλπ.). Συνεπώς, με βάση την κλασική μηχανική, η διαφορική εξίσωση της κίνησης του ηλεκτρονίου έχει την μορφή (Hummel, 2001) :

$$m \frac{dv}{dt} + \gamma v = e \mathcal{E}$$

Από την παραπάνω εξίσωση, όταν τα ηλεκτρόνια κινούνται σε έναν αγωγό η ταχύτητά τους αυξάνει συναρτήσει του χρόνου μέχρι να λάβει μια οριακή τιμή ($v = v_f$), στην οποία η ηλεκτροστατική δύναμη και η τριβή έχουν το ίδιο μέτρο.

Τα ηλεκτρόνια κατά την κίνηση τους συγκρούονται περιοδικά με τα ιόντα του κρυσταλλικού πλέγματος και χάνουν την κινητική τους ενέργεια (ανταλλάσσουν ενέργεια με ελαστικές και ανελαστικές συγκρούσεις), ενώ μετά την σύγκρουσή τους τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται πάλι με την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου. Τα θετικά ιόντα των ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα δονούνται γύρω από μια μέση θέση ισορροπίας και έτσι κατέχουν κινητική ενέργεια που αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού. Λόγω δονήσεων των ιόντων εκπέμπονται θερμικά ελαστικά κύματα που ονομάζονται φωνόνια (phonons). Τα φωνόνια αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας, μειώνοντας την μέση ελεύθερη διαδρομή και το χρόνο χαλάρωσής τους (Hummel, 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλές φωτοβολταϊκές κυψέλες που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η φ/β κυψέλη είναι η στοιχειώδης μονάδα ενός φ/β συστήματος γιατί εκεί μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Υπάρχουν πολλά είδη φ/β κυψελών διαθέσιμα στην αγορά και πολλά άλλα υπό ανάπτυξη. Χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά και διατάξεις με στόχο τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας από τη συσκευή με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Έχουν κατασκευασθεί κυψέλες σε εργαστηριακό περιβάλλον με απόδοση που ξεπερνά το 30%. Ωστόσο η απόδοση αυτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι περίπου η μισή.

2.1. Είδη Κυψελών

Μια φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελείται από συνδυασμό δυο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς, γνωστούς ως p-type ημιαγωγός και n-type ημιαγωγός. Οι κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τετρασθενή στοιχεία, όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο ή χημικές ενώσεις όπως το αρσενιούχο γάλλιο και το θειούχο κάδμιο. Για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών χρησιμοποιείται το πυρίτιο (αν και είναι δυνατή και η κατασκευή και από άλλα υλικά). Ο κρύσταλλος του πυριτίου έχει κυβική δομή (εδώ για απλοποίηση θα θεωρήσουμε τα άτομα σε ένα επίπεδο). Το πυρίτιο ανήκει στην Ομάδα IV του περιοδικού πίνακα, δηλαδή κάθε άτομο έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους. Κάθε άτομο συγκρατείται στο κρυσταλλικό πλέγμα με αμοιβαία συνεισφορά δύο ηλεκτρονίων και με άλλα τέσσερα άτομα πυριτίου σε ίσες αποστάσεις. Επομένως όλα τα ηλεκτρόνια σθένους είναι απασχολημένα στους δεσμούς, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και το σώμα να μην διαθέτει ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ζερβός, 2005).

Γενικά τα ηλεκτρόνια που μπορούν να λάβουν μέρος στο σχηματισμό ενώσεων βρίσκονται στη ζώνη σθένους. Είναι δυνατόν υπό κατάλληλες συνθήκες (με τη δράση κάποιας ενέργειας), κάποια ηλεκτρόνια να αποκτήσουν ικανή ενέργεια για να μεταπηδήσουν στη ζώνη αγωγιμότητας οπότε το υλικό μετατρέπεται σε αγωγό του ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση των ατόμων πυριτίου, που μας ενδιαφέρει, η απαιτούμενη ενέργεια ώστε ένα ηλεκτρόνιο να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας επιτυγχάνεται με τη δράση θερμότητας ή φωτονίων (Φραγκιαδάκης, 2006).

Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας, κινείται ελευθέρως άγοντας το ηλεκτρικό του φορτίο έχοντας όμως αφήσει πίσω του μια οπή, δηλαδή μια περιοχή όπου υπάρχει θετικό φορτίο. Για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί τύπου n-type και p-type. Οι n-type ημιαγωγοί έχουν αρνητικό φορτίο και για αυτό οι ημιαγωγοί αυτοί ονομάζονται n(negative)-type. Ενώ κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων (συνήθως φωσφόρου) έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων (Καραγκάκης, 1992).

Οι p-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται και αυτοί από κρυσταλλικό πυρίτιο στο οποίο όμως εισάγονται διαφορετικού τύπου προσμίξεις (συνήθως βόριο) οπότε το υλικό παρουσιάζει έλλειμμα ελευθέρων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που "λείπουν" ονομάζονται οπές. Η έλλειψη των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την ύπαρξη θετικού φορτίου και για αυτό οι ημιαγωγοί του τύπου αυτού ονομάζονται p(positive)-type (Ζερβός, 2005).

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων είναι:

- Τεχνολογία παραγωγής ημιαγωγικών υλικών με κρυσταλλική δομή, την πλειοψηφία των οποίων αποτελεί το πυρίτιο.
- Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), η οποία ονομάζεται έτσι επειδή το πάχος των στοιχείων είναι πολύ μικρό (μερικά μόνο μm).
- Άλλες τεχνολογίες που σκοπό έχουν να γίνει λιγότερο ενεργοβόρα η παραγωγή του καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge film fed growth και μέθοδος String Process).

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητές του, δηλαδή έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι η ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής Φ/Β στοιχείων. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες (Ζερβός, 2005).

Επομένως, οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα

κρυσταλλικής δομής, με την χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία. Επιπλέον τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απόλυτα ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες καιρικές συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες εφαρμογές (Ζερβός, 2005).

Εκτός του οξυγόνου, το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στην επιφάνεια του εδάφους. Σχεδόν πάντα, όμως απαντάται με τη μορφή οξειδίου στο περιβάλλον, συγκεκριμένα ως διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Για την αξιοποίησή του, επομένως, απαιτείται επεξεργασία έτσι ώστε να αποκτήσει υψηλή καθαρότητα (Ζερβός, 2005).

2.1.1. 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 απόδοσή 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 μειώναν την απόδοση του πλαισίου (Ζερβός, 2005).

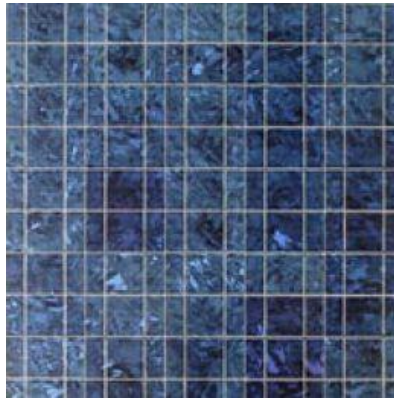


Εικόνα 12: *Κύτταρο Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου*

2.1.2. 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 13: 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 (Φραγκιαδάκης, 2006).

2.1.3. 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 14: Πλαίσιο 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.

2.1.4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια άλλων υλικών

Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

Το αρσενικούχο γάλλιο είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, τιμή η οποία είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας με θεωρητική απόδοση περίπου 25-30%. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φ/β στοιχείων. Το μειονέκτημά του είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, περίπου πενταπλάσιο από αυτό του κρυσταλλικού πυριτίου. Έχει εφαρμογή κυρίως σε ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, όπου το υψηλό κόστος του αντισταθμίζεται από την υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Επίσης το GaAs συναντάται συχνά σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειάς του και του

υψηλού βαθμού απόδοσης. Συγκεκριμένα η απόδοση των στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους σε συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 οC. Η αντίστοιχη μείωση στα στοιχεία πυριτίου παρατηρείται ήδη στους 120 οC.

Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂)

Το ημιαγώγιμο υλικό του δισεληνίουχου ινδιούχου χαλκού είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό, το οποίο μπορεί να είναι τύπου-n ή τύπου-p και έχει μια άμεση οπτική απορρόφηση με τον υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του CIS εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο χαλκού/ινδίου, ενώ ο καλός έλεγχος της στοιχειομετρίας του θεωρείται ουσιώδης για αποδοτικές διατάξεις.

Είναι δυνατόν να κατασκευασθούν ομοεπαφές τύπου p-n των CIS αλλά αυτές δεν θα είναι ούτε σταθερές ούτε αποδοτικές και οι καλύτερες διατάξεις μέχρι σήμερα είναι ετεροενώσεις με θειούχο κάδμιο (CdS). Το CdS μπορεί να αναπτυχθεί μόνο ως υλικό τύπου-n για αυτό και το CIS πρέπει να είναι τύπου-p. Το CIS έχει ενεργειακό διάκενο 1eV και παράγεται ως κιονοειδής πολυκρυσταλλική μεμβράνη, ενώ το CdS έχει ενεργειακό διάκενο 2,4eV και έτσι αυτό θα απορροφά έντονα όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία από το πράσινο μέχρι το μπλε άκρο φάσματος. Οι βέλτιστες διατάξεις χρησιμοποιούν ένα πολύ λεπτό στρώμα (0,03μm) του CdS με στρώμα παραθύρου ενός υλικού με μεγάλο ενεργειακό διάκενο και υψηλή αγωγιμότητα. Το οξείδιο του ψευδαργύρου έχει βρεθεί ότι είναι ένα κατάλληλο υλικό για το στρώμα του παραθύρου.

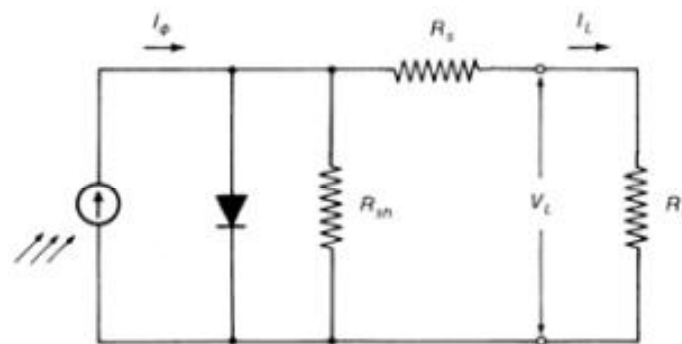
Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το τελλουριούχο κάδμιο είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό που αποτελείται από κάδμιο και τελλούριο, το οποίο έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και το ενεργειακό του διάκενο είναι πολύ κοντά στο ιδανικό. Αρκεί ένα όγκος πάχους ενός μικρόμετρου για να απορροφηθεί το 90 % του ηλιακού φάσματος. Υπάρχουν μερικές χαμηλού κόστους τεχνικές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόθεση του CdTe και όλες αυτές, μπορούν, αφού υποστούν μια επεξεργασία μετά την απόθεση, να παράγουν υλικό υψηλής ποιότητας και αποδοτικά ηλιακά στοιχεία. Η διαδικασία πλεγματικής εκτύπωσης των στοιχείων CdTe προσφέρει μια τεχνολογία με χαμηλό κόστος παραγωγής, αλλά από την άλλη και μια εντελώς χαμηλού ρυθμού παραγωγή. Το βήμα που

περιορίζει το ρυθμό παραγωγής είναι η θερμοκρασιακή επεξεργασία της μελάνης εκτύπωσης μετά την απόθεση, η οποία απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 500 °C) για περιόδους μιας ώρας ή και περισσότερο. Με αυτή την τεχνολογία έχουν παραχθεί βασικές μονάδες με απόδοση 6% και έχουν ελεγχθεί σε εξωτερικές συνθήκες. Η εμπορική τους όμως διαθεσιμότητα είναι περιορισμένη.

2.2 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φ/Β Στοιχείων

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



Εικόνα 15: Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

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

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

όπου

I_o το ανάστροφο ρεύμα κόρου,

V η τάση που δημιουργείται στα άκρα της διόδου,

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

k η σταθερά Boltzmann,

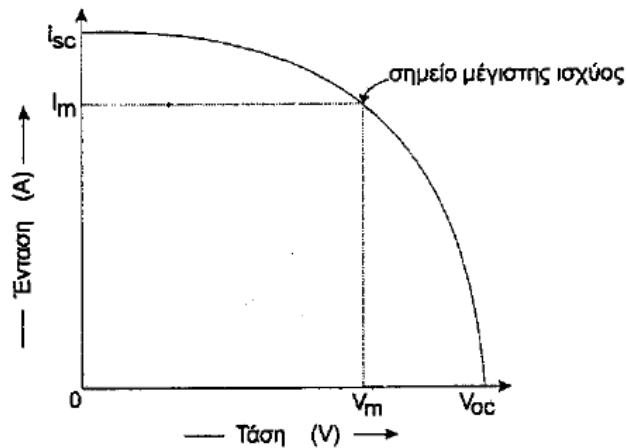
Τ η απόλυτη θερμοκρασία.

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

$$I_L = \frac{I_\phi - I_o \left[\exp\left(\frac{e(V_L - I_L R_s)}{\gamma k T}\right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{sh}}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}}$$

όπου V_L η τάση εξόδου του φ/β στοιχείου.

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



Σχήμα 2: Χαρακτηριστική Τάσης-Έντασης Φ/Β Στοιχείου

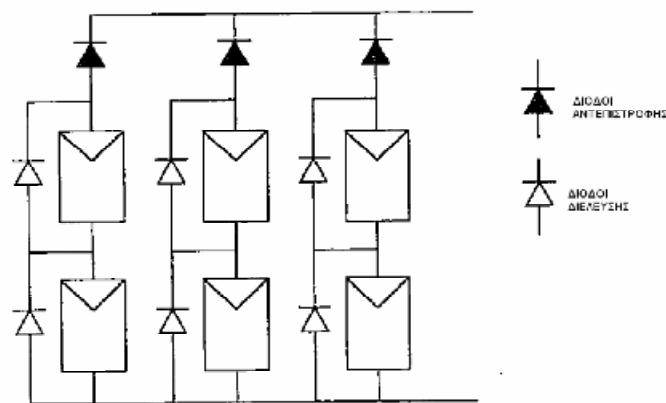
(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

Από την χαρακτηριστική φαίνεται ότι θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης του φορτίου για την οποία η ισχύς που παράγεται από το φ/β στοιχείο θα είναι μέγιστη και σε αυτό αντιστοιχούν οι μέγιστες τιμές τάσης V_m και έντασης I_m . Καταλαβαίνουμε επομένως ότι η ισχύς που παράγεται για κάθε ζεύγος τιμών τάσης-έντασης δεν είναι πάντα σταθερή αλλά μηδενίζεται όπως φαίνεται εύκολα στις ακραίες συνθήκες ανοιχτοκύκλωσης-βραχυκύκλωσης και παρουσιάζει ένα μέγιστο για συγκεκριμένη τιμή τάσης-έντασης. Επιθυμητό είναι λοιπόν σε κάθε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών οι συστοιχίες να λειτουργούν παράγοντας τις τιμές αυτές τάσης-έντασης που δίνουν κάθε στιγμή τη μέγιστη ισχύ. Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια τροφοδοτεί απευθείας ένα συγκεκριμένο φορτίο κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό καθώς η τιμή του φορτίου έχει συγκεκριμένη αντίσταση. Όταν όμως

μεταξύ γεννητριών και κατανάλωσης παρεμβάλλονται ηλεκτρονικά για τον έλεγχο της ισχύος, για την ρύθμιση φόρτισης συσσωρευτών, για την ανύψωση ή και την αλλαγή μορφής της παραγόμενης τάσης, τότε υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργούν αυτές σε ένα μέγιστο σημείο. Αυτό το αναλαμβάνουν ειδικοί ανιχνευτές της μέγιστης ισχύος ή *maximum power point trackers* (MPPT).

2.3 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 βλάβιση 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.

2.4 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές

Τα αυτόνομα (μη διασυνδεδεμένα) φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν την αποθήκευση της ενέργειας ώστε να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και σε περιόδους

με καθόλου ή λίγη ηλιακή ακτινοβολία, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τη διάρκεια συννεφιάς. Η πιο βολική λύση για αποθήκευση ενέργειας σε ένα φ/β σύστημα είναι ο κλασικός ηλεκτροχημικός συσσωρευτής (μπαταρία), ειδικά αφού παράγεται συνεχές ρεύμα και έτσι επιτρέπεται η απευθείας σύνδεση μεταξύ ηλιακών κυψελών και μπαταρίας χωρίς να χρειάζεται μετατροπή. Ωστόσο η εμπειρία έχει δείξει ότι σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα η μπαταρία είναι το πιο αδύνατο σημείο, καθώς η διάρκεια ζωής της είναι γενικά πολύ μικρότερη από όλες τις άλλες μονάδες του συστήματος. Έτσι το 30% περίπου ή και περισσότερο από τα έξοδα κατά τη διάρκεια ζωής ενός τέτοιου συστήματος δαπανείται στις μονάδες αποθήκευσης (Markvart, 2003). Τυπικά η μπαταρία σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα είναι διαστασιολογημένη ώστε να διασφαλίζει ότι εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί, τα φορτία που πρέπει, μπορούν να καλυφθούν για τουλάχιστον 3-4 ημέρες. Το αποτέλεσμα της διαστασιολόγησης αυτής είναι ότι το ποσοστό της ημερήσιας εκφόρτισης μιας μπαταρίας φ/β συστήματος είναι περίπου 25% με 30% της θεωρητικής χωρητικότητας της. Επιπλέον η διαστασιολόγηση των φ/β κυψελών συνήθως γίνεται για την κάλυψη όλων των φορτίων που έχουμε υπό συνθήκες μέσης ακτινοβολίας της περιοχής. Αυτές οι δυο βασικές υποθέσεις μας επιτρέπουν να συμπεράνουμε τις τυπικές συνθήκες λειτουργίας για μια μπαταρία σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα (Markvart, 2003).

1. Λειτουργία με περίσσεια ενέργειας : Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κάθε φ/β σύστημα λειτουργεί υπό συνθήκες περίσσειας ενέργειας, καθώς είναι σχεδιασμένο για συνθήκες χαμηλότερης μέσης ηλιακής ακτινοβολίας. Ως αποτέλεσμα η μπαταρία φτάνει τη μέγιστη τάση φόρτισης της σχεδόν κάθε μέρα το μεσημέρι και μέχρι το απόγευμα είναι πλήρως φορτισμένη. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η μπαταρία εκφορτίζεται και το πρωί με την ανατολή του ηλίου έχει φτάσει στην ελάχιστη κατάσταση εκφόρτισης, περίπου στο 70% της θεωρητικής χωρητικότητας της. Κατά τη διάρκεια της επόμενης ημέρας πραγματοποιείται πάλι ο ίδιος κύκλος φόρτισης και έχουμε και πάλι πλήρη φόρτιση μέχρι το απόγευμα. Αυτές είναι οι ευνοϊκότερες συνθήκες λειτουργίας για την μπαταρία του φ/β συστήματος.

2. Λειτουργία με έλλειψη ενέργειας : Κατά τη διάρκεια του χειμώνα αν δεν έχει γίνει σημαντική υπερδιαστασιολόγηση, το ίδιο φ/β σύστημα λιγότερο ή περισσότερο συχνά αντιμετωπίζει συνθήκες λειτουργίας έλλειψης ενέργειας. Κάθε φορά που ο ουρανός θα είναι συννεφιασμένος (έλλειψη άμεσης ακτινοβολίας) και η συννεφιά θα παραμένει για

μερικές ημέρες, η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας σταδιακά θα μειώνεται και αργά η γρήγορα η τάση της θα πέσει κάτω από την ελάχιστη τάση εκφόρτισης. Αν ο χρήστης δεν μειώσει εκουσίως την κατανάλωση το αποτέλεσμα θα είναι η προστασία βαθιάς εκφόρτισης της μπαταρίας να διακόψει την παροχή ρεύματος. Η διακοπή θα συνεχιστεί μέχρι η μπαταρία να φορτιστεί και πάλι κατά την διάρκεια της επόμενης ηλιόλουστης ημέρας και να φτάσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο τάσης.

3. Λειτουργία με κύκλους διακύμανσης ενέργειας : Κατά τη διάρκεια των ημερών που η μπαταρία δεν φορτίζεται στο 100% και ούτε πέφτει στην ελάχιστη τάση εκφόρτισης, λειτουργεί σε μια κατάσταση διακύμανσης που είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Ωστόσο σε σχέση με τις δυο προηγούμενες καταστάσεις λειτουργίας αυτή η ενδιάμεση κατάσταση έχει πολύ μικρή σημασία για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας γιατί δεν εμφανίζεται τόσο συχνά όσο οι άλλες δυο.

Οι συνθήκες λειτουργίας και η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας φ/β συστήματος καθορίζονται βασικά από τον αριθμό των ημερών που η μπαταρία φορτίζεται στο 100% (που είναι το ιδανικό) και των αριθμό των ημερών που φτάνει την ελάχιστη τάση εκφόρτισης. Αν οι κυψέλες έχουν διαστασιολογηθεί να είναι μικρές για τα φορτία που θα τροφοδοτούν, η μπαταρία θα φτάνει πιο συχνά την ελάχιστη αυτή τάση και η διάρκεια ζωής της θα είναι μικρότερη. Αν αντιθέτως οι συλλέκτες είναι υπερδιαστασιολογημένοι η μπαταρία θα φτάνει στο 100% σχεδόν κάθε μέρα του χρόνου και η διάρκεια ζωής της θα είναι μεγαλύτερη (Luque and Hegedus, 2002). Από τη στιγμή που η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι ένας από τους παράγοντες «κλειδιά» για το κόστος κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος, κάποιος πρέπει να ακολουθήσει μια σειρά από κανόνες όταν στοχεύει στη μεγιστοποίηση της. Πρέπει να επιλέξει την κατάλληλη τεχνολογία που ταιριάζει στην εφαρμογή του , να επιλέξει κατάλληλα το ανώτατο όριο φόρτισης και το κατώτατο όριο εκφόρτισης, να αποφύγει τις πλήρεις εκφορτίσεις (κάτω του κατώτατου ορίου εκφόρτισης), να αποφύγει τη δημιουργία στρωμάτων οξέως στον ηλεκτρολύτη, να αποφύγει τις υψηλές θερμοκρασίες μπαταρίας, να εξασφαλίσει συχνές πλήρεις φορτίσεις (Luque and Hegedus, 2002).

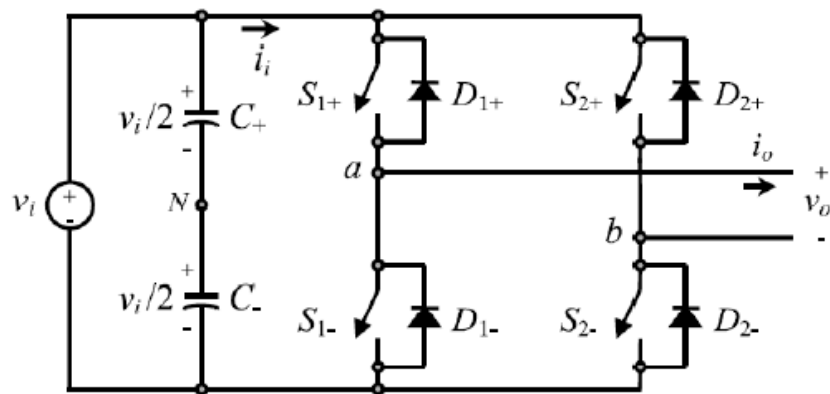
2.5 Αρχή Λειτουργίας Inverters

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η τάση που παράγεται από τη φ/β γεννήτρια είναι ακατάλληλη για την άμεση σύνδεση του φ/β σταθμού στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρόλος του αντιστροφέα είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα φ/β στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας για διασύνδεση στο δίκτυο.

Οι αντιστροφείς DC/AC μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί. Όταν η είσοδος είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς πηγής τάσης (VSI) ενώ όταν ως είσοδος λαμβάνεται μια πηγή έντασης ονομάζονται αντιστροφείς πηγής έντασης (CSI). Ο χαρακτηρισμός του αντιστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αντιστροφείς πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αντιστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

2.5.1. Μονοφασικός Αντιστροφέας

Οι μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους σε αντιστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές ΑΠΕ χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας. Διάφορες τεχνικές ελέγχου, υλοποιούν διαφορετικές κυματομορφές εξόδου της εναλλασσόμενης τάσης, στην εργασία όμως αυτή θα εστιάσουμε το ενδιαφέρον στους μονοφασικούς αντιστροφείς με έλεγχο SPWM.



Εικόνα 16: Τοπολογία Μονοφασικού Αντιστροφέα Πλήρους Γέφυρας

(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται η παραγωγή μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής έξοδος, η οποία μπορεί να ελεγχθεί τόσο κατά πλάτος όσο και κατά συχνότητα, καθώς και να μειωθεί η επίδραση των αρμονικών στην έξοδο. Είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο στα συστήματα σύνδεσης πηγών ΑΠΕ και δικτύου χαμηλής τάσης.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την τεχνική SPWM, δημιουργούνται δύο κυματομορφές. Μια τριγωνική κυματομορφή πλάτους v_{Δ} , η οποία έχει το ρόλο του φορέα και μια κυματομορφή αναφοράς πλάτους v_c , η οποία έχει ημιτονοειδή μορφή. Οι κυματομορφές αυτές, οι οποίες δημιουργούνται στο κύκλωμα ελέγχου, είναι συγχρονισμένες και παράγονται από γεννήτριες κυματομορφών. Τα δύο αυτά σήματα συγκρίνονται και καθορίζουν ποιοι διακόπτες θα άγουν και για ποιο χρονικό διάστημα. Η συχνότητα f_{Δ} της τριγωνικής κυματομορφής ονομάζεται φέρουσα συχνότητα (ή συχνότητα μετάβασης), και είναι αυτή που καθορίζει την συχνότητα με την οποία αλλάζουν κατάσταση οι διακόπτες του αντιστροφέα. Το σήμα αναφοράς v_c χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της σχετικής διάρκειας αγωγής των διακοπτών και έχει συχνότητα f_c . Αυτή ονομάζεται συχνότητα διαμόρφωσης και είναι η επιθυμητή θεμελιώδης συχνότητα της τάσης εξόδου του αντιστροφέα. Η παραγόμενη αυτή τάση, δεν είναι τέλεια ημιτονοειδής, αλλά περιέχει και αρμονικές συνιστώσες της συχνότητας διαμόρφωσης f_c .

Ορίζεται ο συντελεστής διαμόρφωσης συχνότητας f_m ως ο λόγος της φέρουσας συχνότητας προς τη συχνότητα διαμόρφωσης:

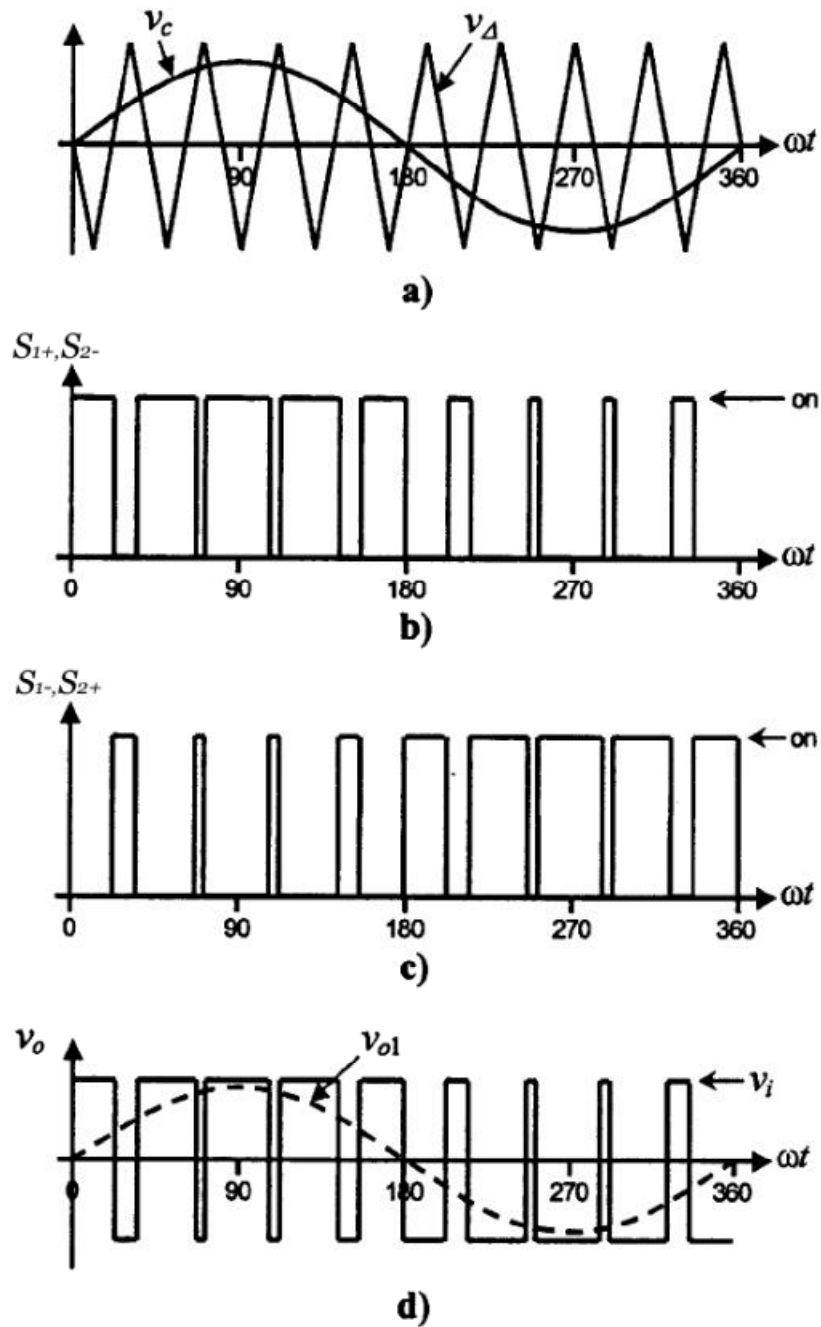
$$m_f = \frac{f_{\Delta}}{f_c}$$

Ομοίως ορίζεται και ο συντελεστής διαμόρφωσης πλάτους ως ο λόγος του πλάτους του σήματος ελέγχου προς το πλάτος της τριγωνικής κυματομορφής:

$$m_a = \frac{v_c}{v_{\Delta}}$$

Πίνακας 2: Διακοπτικές Καταστάσεις για Αντιστροφή Πλήρους Γέφυρας

α/α	Κατάσταση	v_a	v_b	v_o
1	S_{1+}, S_{2-} ON S_{1-}, S_{2+} OFF	$v/2$	$-v/2$	v
2	S_{1-}, S_{2+} ON S_{1+}, S_{2-} OFF	$-v/2$	$v/2$	$-v$
3	S_{1+}, S_{2+} ON S_{1-}, S_{2-} OFF	$v/2$	$v/2$	0
4	S_{1-}, S_{2-} ON S_{1+}, S_{2+} OFF	$-v/2$	$-v/2$	0

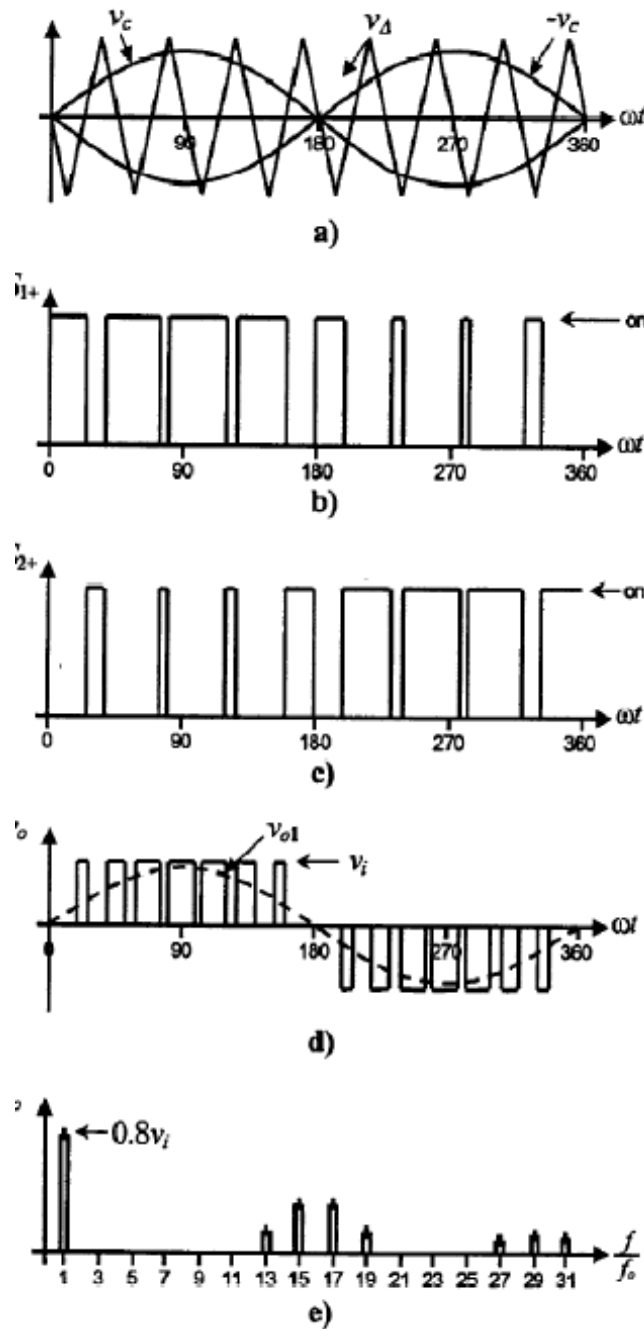


Εικόνα 17: Διαμόρφωση με Διπολική Τάση Εξόδου

(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

Στον αντιστροφέα πλήρους γέφυρας της Εικόνας 16 δεν πρέπει να είναι ταυτόχρονα κλειστοί οι διακόπτες του ίδιου κλάδου, γιατί τότε προκύπτει βραχυκύκλωμα στη πλευρά DC. Δηλαδή πρέπει να αποφευχθεί η κατάσταση στην οποία οι S_{1+} και S_{1-} είναι κλειστοί ταυτόχρονα και αντίστοιχα η κατάσταση στην οποία οι S_{2+} και S_{2-} είναι κλειστοί. Υπάρχουν τέσσερις δυνατοί συνδυασμοί για τους διακόπτες, οι οποίοι περιγράφονται στον πίνακα 2.

Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει είτε με διπολική τάση εξόδου είτε με μονοπολική.

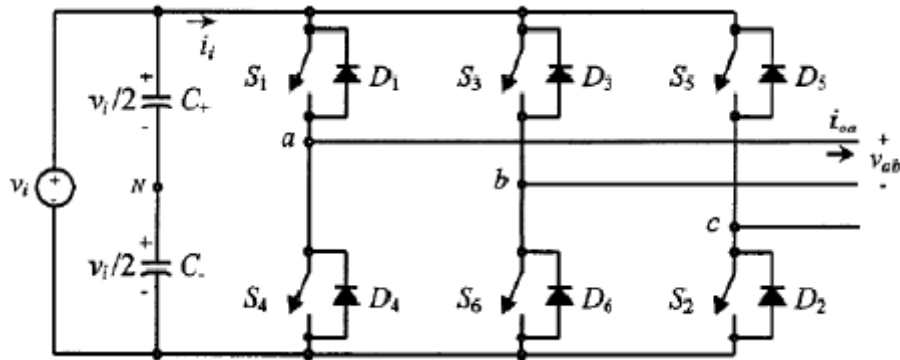


Εικόνα 18: Διαμόρφωση με Μονοφασική Τάση Εξόδου

(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

2.5.2. Τριφασικός Αντιστροφέας

Οι τριφασικοί αντιστροφέες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Η τοπολογία ενός τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης φαίνεται στην Εικόνα 19, ενώ οι επιτρεπόμενοι συνδυασμοί των καταστάσεων των διακοπών δίνονται στον πίνακα 3.



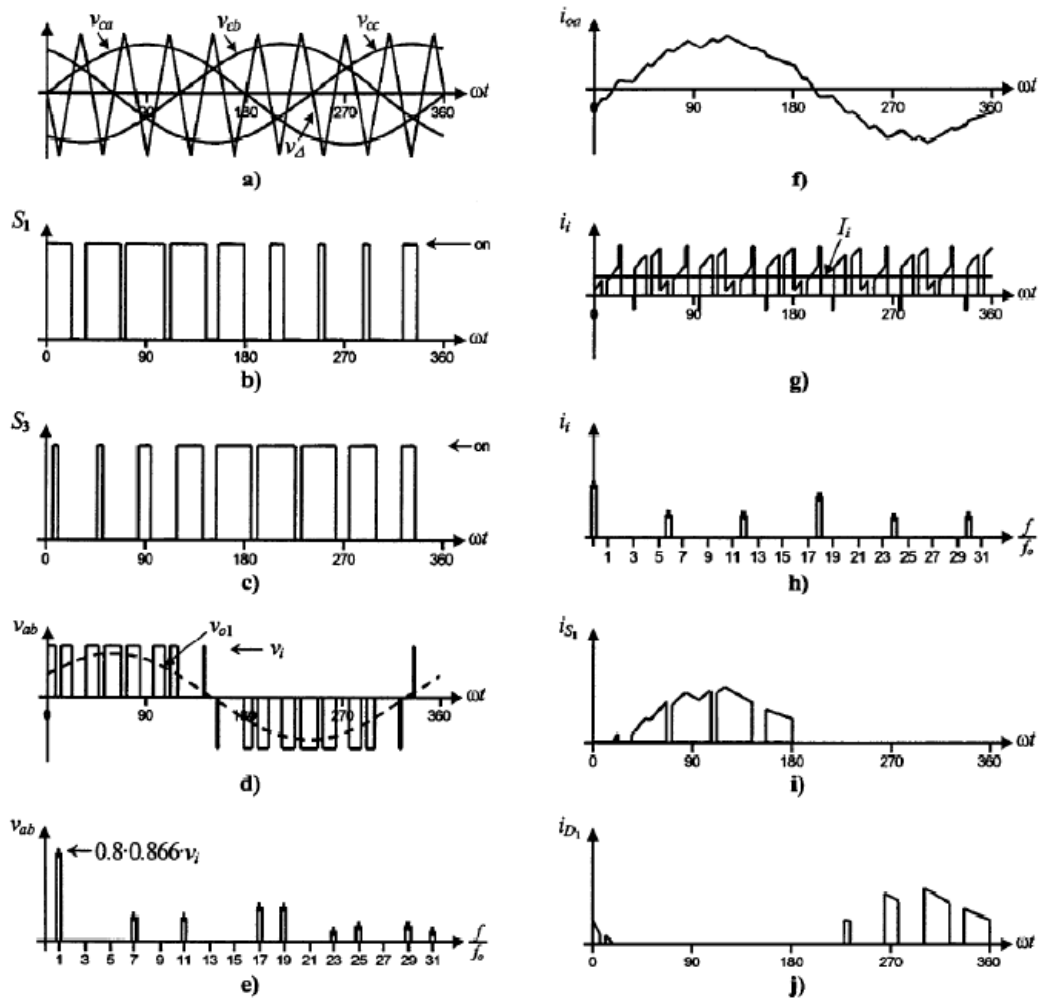
Εικόνα 19: Τοπολογία Τριφασικού Αντιστροφέα Ελεγχόμενου από Πηγή Τάσης

(Πηγή: Κτενίδης, 2008)

Παρατηρούμαι ότι υπάρχουν οκτώ επιτρεπόμενες διακοπτικές καταστάσεις. Όπως και στον μονοφασικό αντιστροφέα, έτσι και εδώ, δεν γίνεται οι διακόπτες του ίδιου κλάδου να είναι ταυτόχρονα κλειστοί, καθώς τότε δημιουργείται βραχυκύκλωμα στη πλευρά DC. Ακόμα σε περίπτωση που οι διακόπτες αυτοί είναι ταυτόχρονα ανοιχτοί τότε καταλήγουμε σε απροσδιόριστες καταστάσεις, για αυτό και οι καταστάσεις αυτές είναι μη επιτρεπόμενες. Τέλος υπάρχουν δύο καταστάσεις, που η τάση στη πλευρά AC μηδενίζεται.

Πίνακας 3: Διακοπτικές Καταστάσεις για Τριφασικό Αντιστροφέα

a/α	Κατάσταση	v_a	v_b	v_{ab}
1	S_1, S_2, S_6 ON S_4, S_5, S_3 OFF	$-v$	0	v
2	S_2, S_3, S_1 ON S_5, S_6, S_4 OFF	$-v$	v	0
3	S_3, S_4, S_2 ON S_6, S_1, S_5 OFF	0	v	$-v$
4	S_4, S_5, S_3 ON S_1, S_2, S_6 OFF	v	0	$-v$
5	S_5, S_6, S_4 ON S_2, S_3, S_1 OFF	v	$-v$	0
6	S_6, S_1, S_5 ON S_3, S_4, S_2 OFF	0	$-v$	v
7	S_1, S_3, S_5 ON S_4, S_6, S_2 OFF	0	0	0
8	S_4, S_6, S_2 ON S_1, S_3, S_5 OFF	0	0	0



Εικόνα 20: Τριφασικός αντιστροφέας VSI, διαμόρφωση SPWM α) Σήμα φορέα και σήμα αναφοράς, β), γ) Καταστάσεις διακοπών S_1, S_3 , δ) Εναλλασσόμενη τάση εξόδου, ε) Κατανομή συχνοτήτων τάσης εξόδου, ς) Ρεύμα εξόδου γ) Συνεχές ρεύμα, η) Κατανομή συχνοτήτων συνεχούς ρεύματος, ι) Ρεύμα διακόπτη S_1 , ιι) Ρεύμα διόδου D_1 .

Πιο πάνω περιγράφηκαν οι βασικές θεωρητικές τοπολογίες με τις οποίες γίνεται η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης εισόδου σε ημιτονική τάση εξόδου, ελεγχόμενη κατά πλάτος και συχνότητα. Διάφορες εφαρμογές απαιτούν είτε την ύπαρξη μόνο μιας γέφυρας DC/AC, για την μετατροπή της εισερχόμενης τάσης κατευθείαν σε εναλλασσόμενη, είτε την μετατροπή της (μη σταθερής) DC εισερχόμενης τάσης σε μια στάθμη σταθερής τιμής και στη συνέχεια την μετατροπή αυτής σε εναλλασσόμενη. Ένας αντιστροφέας ωστόσο δεν περιλαμβάνει μόνο τις διατάξεις που επιτυγχάνουν αυτή τη μετατροπή, αλλά και σειρά άλλων που αφορούν τον έλεγχο, την προστασία και την βελτίωση της ποιότητας της παραγόμενης τάσης. Ασφάλειες, αυτόματοι διακόπτες, και κυκλώματα εντοπισμού υπερτάσεων αποτελούν διατάξεις προστασίας του αντιστροφέα. Φίλτρα πηνίων και πυκνωτών χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση των ρευμάτων εισόδου και εξόδου.

Πολύ σημαντική είναι και η παρεμβολή ενός μετασχηματιστή, έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης ηλεκτρική απομόνωση της πλευράς εισόδου από την έξοδο. Ένας μετασχηματιστής απομόνωσης χαμηλής συχνότητας μπορεί να τοποθετείται κατευθείαν στο στάδιο εξόδου, οπότε η παραγόμενη ημιτονική κυματομορφή οδηγείται μέσω αυτού στο κύκλωμα της εναλλασσόμενης τάσης (π.χ. ηλεκτρικό δίκτυο πόλης). Μεγάλη συζήτηση διεξάγεται σχετικά με το αν είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός μετασχηματιστή απομόνωσης, σε αντιστροφείς που συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο. Κανονισμοί μερικών χωρών καθιστούν υποχρεωτική την ύπαρξη αυτού στους αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο τους. Είναι πολύ πιθανό όταν δεν υπάρχει μετασχηματιστής απομόνωσης, είτε σε κανονική λειτουργία, είτε πολύ περισσότερο σε περιπτώσεις σφάλματος, ο αντιστροφέας να εισάγει μια DC συνιστώσα ρεύματος στην ημιτονική κυματομορφή εξόδου του, κάτι εντελώς ανεπιθύμητο για το ηλεκτρικό δίκτυο και τις συσκευές που βρίσκονται κοντά, προκαλώντας υπερθέρμανση στα τυλίγματα κινητήρων και μετασχηματιστών ή παρεμβολές σε άλλες συσκευές. Η παρεμβολή αυτού του μετασχηματιστή λειτουργεί ως ένα αδιαπέραστο φίλτρο τυχόν DC ρευμάτων. Η ύπαρξη μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας, επιτρέπει απόδοση του αντιστροφέα μέχρι 92%.

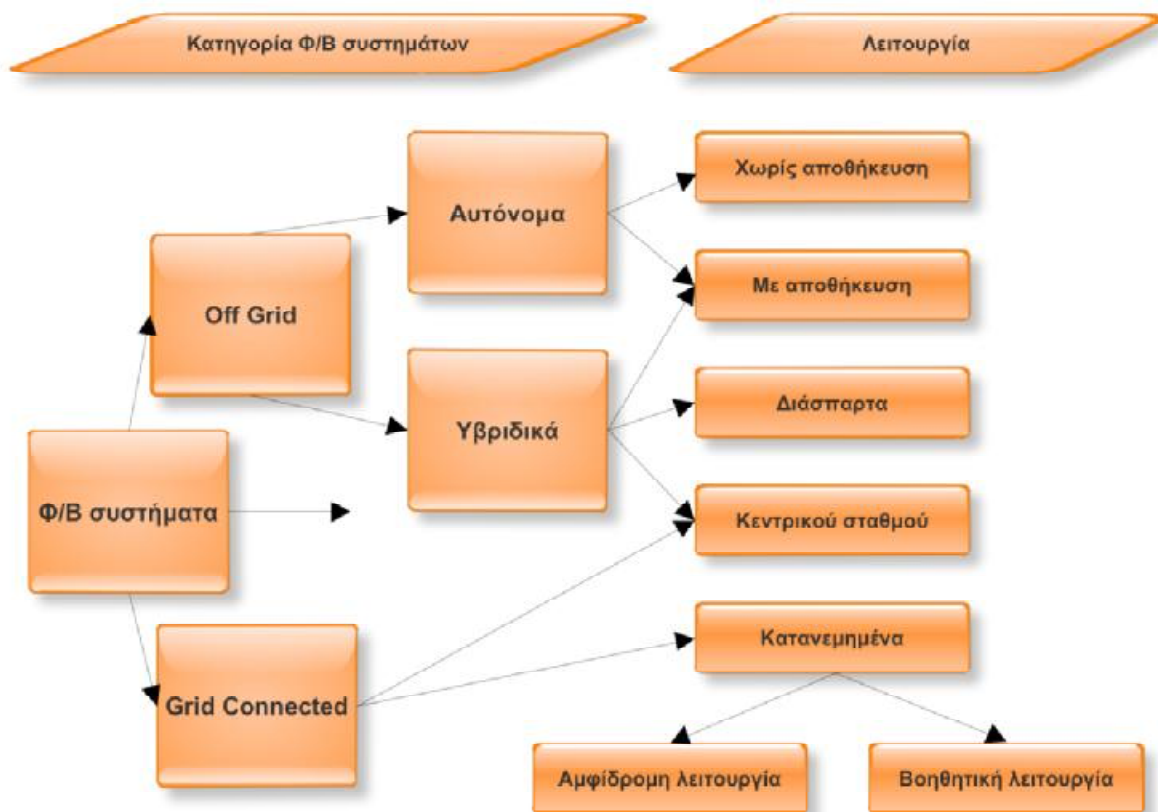
Μια διαφορετική τοπολογία που επιτρέπει την γαλβανική απομόνωση της DC από την AC πλευρά, είναι η τοποθέτηση μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας πριν τη γέφυρα παραγωγής της ημιτονοειδούς τάσης. Κατά τη διάταξη αυτή, η εισερχόμενη DC τάση εισέρχεται σε μια διάταξη DC/DC μετατροπέα η οποία και λειτουργεί με υψηλή διακοπτική συχνότητα. Η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται με γέφυρα διακοπών σε τάση υψηλής συχνότητας και έπειτα ανορθώνεται ώστε να μετατραπεί σε DC τάση ελεγχόμενου πλάτους. Στο ενδιάμεσο στάδιο του μετατροπέα αυτού, είναι δυνατόν να παρεμβληθεί ο υψίσυχνος μετασχηματιστής. Έτσι πάλι επιτυγχάνεται απομόνωση της εισόδου από την έξοδο του αντιστροφέα, η οποία ωστόσο πάλι είναι πιθανό να μην αποκλείει την ενδεχόμενη έγχυση DC ρεύματος, από το μετέπειτα στάδιο της PWM γέφυρας DC/AC, στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο με την τοπολογία αυτή επιτυγχάνονται αποδόσεις λίγο μεγαλύτερες (της τάξης του 94%), καθώς ο μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας, λόγω της ισχυρής μαγνητικής του σύζευξης, έχει μικρότερες απώλειες απ' ό,τι ένας που λειτουργεί στα 50Hz. Παράλληλα μειώνονται ο όγκος, το βάρος και το κόστος του μετασχηματιστή εν συγκρίσει με αυτά ενός χαμηλής συχνότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ

Ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος σε κάθε περίπτωση κατηγοριοποιούνται και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ένας πρώτος διαχωρισμός των Φ/Β συστημάτων μπορεί να γίνει ανάλογα με τις εγκαταστάσεις που τροφοδοτούν (κάποιο απομακρυσμένο νησί, κάποιο φωτοβολταϊκό πάρκο κ.λπ.). Με βάση λοιπόν αυτό το κριτήριο οι δύο βασικές κατηγορίες είναι:

- Απομονωμένα ή εκτός δικτύου Φ/Β συστήματα (stand alone – off grid)
- Συστήματα συνδεδεμένα σε δίκτυο (On grid)

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται όλες οι κατηγορίες και υποκατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων με τις λειτουργίες τους.



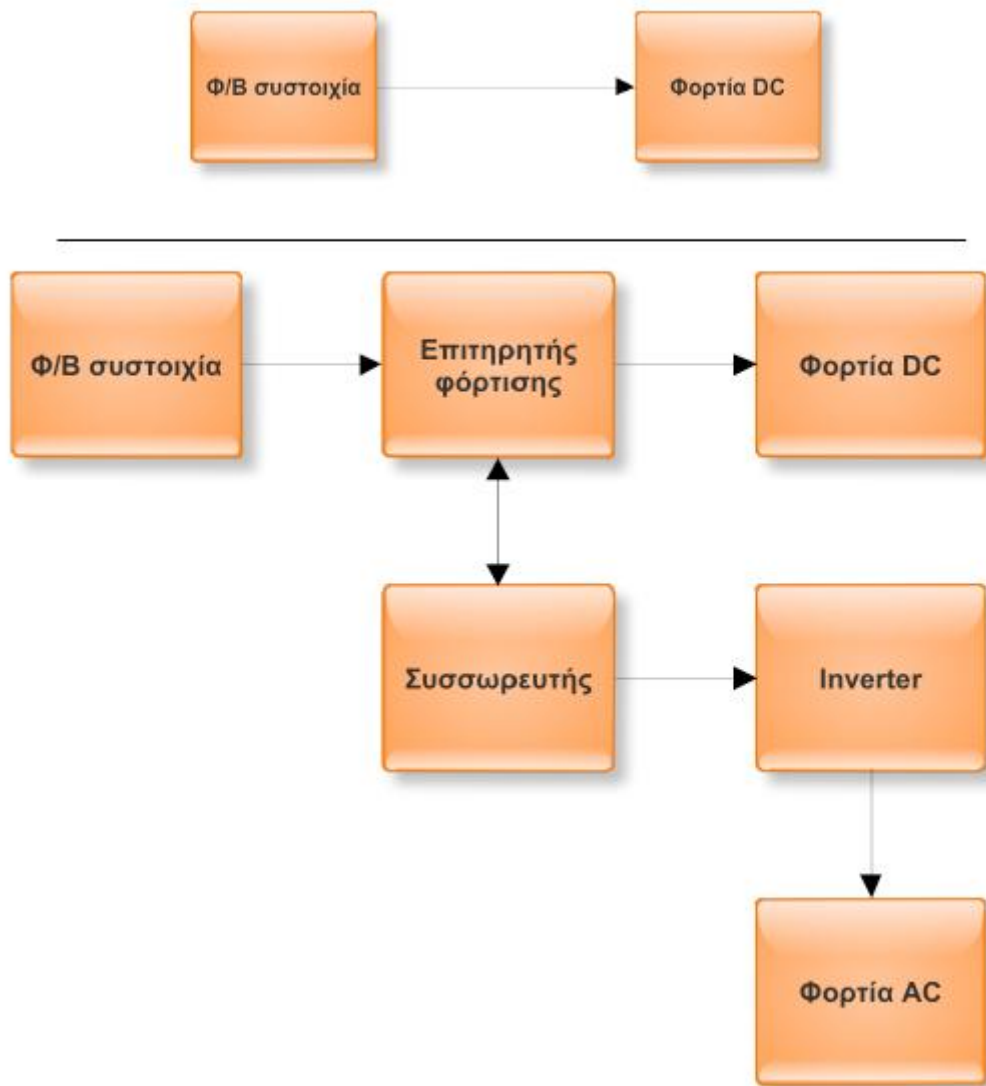
Σχήμα 4: Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων και Λειτουργίες

(Πηγή: Δούκας, 2009)

3.1 Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά από Φ/Β συστοιχίες και η παροχή της γίνεται είτε με άμεσο τρόπο (Συστήματα άμεσης τροφοδοσίας

του φορτίου *direct coupled*) είτε με τη βοήθεια συσσωρευτών (με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας). Τέλος η αποδιδόμενη ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς είτε εναλλασσόμενης τάσης. Τα χαρακτηριστικά διαγράμματα και των δύο περιπτώσεων ακολουθούν από κάτω.

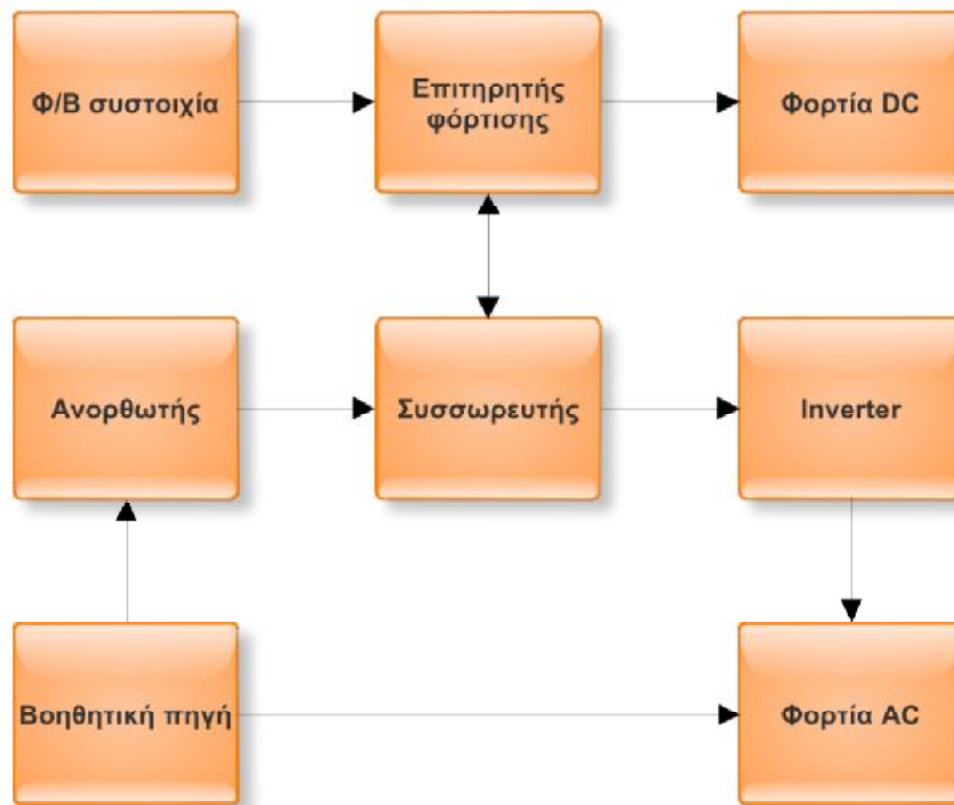


Σχήμα 5: Σχηματοποίηση Διάταξης Αυτόνομου Συστήματος

(Πηγή: Δούκας, 2009)

3.2 Υβριδικά Φ/Β Συστήματα

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται όταν οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν αποκλειστικά από τις Φ/Β συστοιχίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο συνδυασμός των Φ/Β με κάποια άλλη πηγή παραγωγής ενέργειας, ανανεώσιμης ή μη. Σε τέτοια συστήματα όπως φαίνεται και πιο κάτω συνηθίζεται η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.

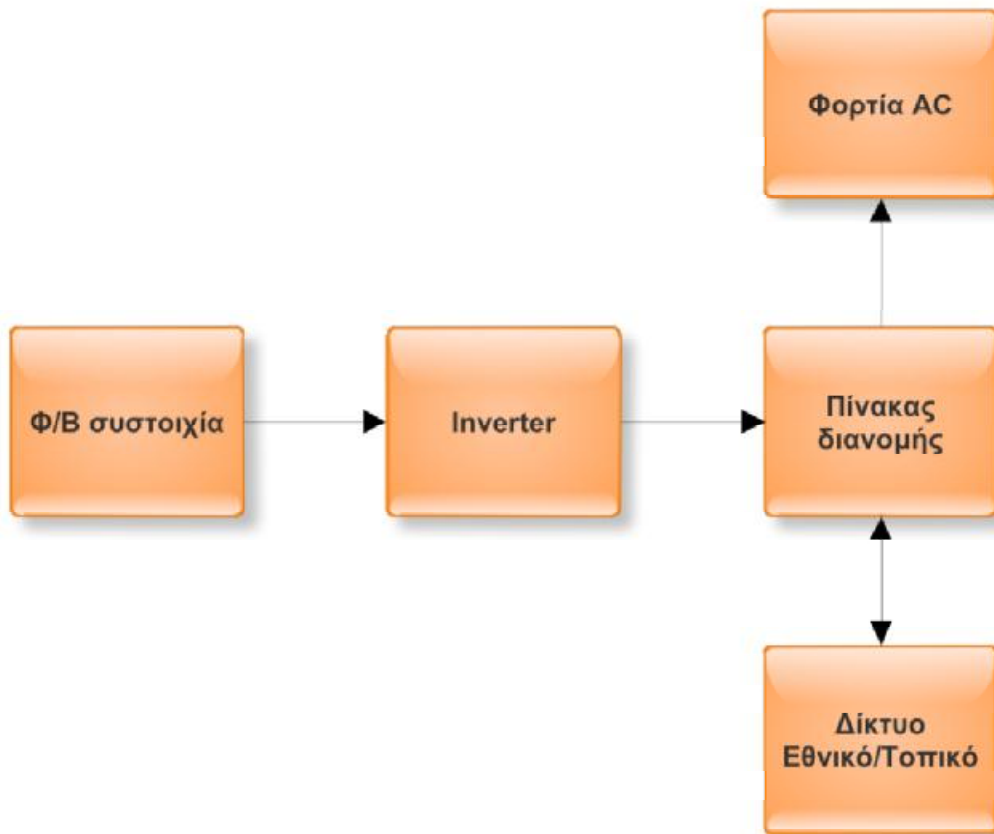


Σχήμα 6: Υβριδικό Φ/Β Σύστημα

(Πηγή: Δούκας, 2009)

3.3 Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα

Αυτά είναι τα συνηθέστερα και παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ισχύος των εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων. Χαρακτηριστική εφαρμογή αυτού του είδους των συστημάτων είναι και τα ενσωματωμένα σε κτίρια Φ/Β για τα οποία γίνεται εκτενής αναφορά στο υπόλοιπο της εργασίας. Είναι διασυνδεδεμένα σε κάποιο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής και αντλούν από αυτό ισχύ όταν αδυνατούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους. Σε περίπτωση φυσικά περίσσειας ενέργειας η ροή ισχύος είναι ανάποδη, από τις Φ/Β συστοιχίες προς το δίκτυο δηλαδή.



Σχήμα 7: Διασυνδεδεμένο Φ/Β Σύστημα

(Πηγή: Δούκας, 2009)

Μπορούν να αποτελούν κεντρικούς σταθμούς με μεγάλη ισχύ η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο (centralized systems) ή να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως κατακεμημένα συστήματα (distributed systems) . Τα τελευταία είναι και τα πιο συνηθισμένα και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης τους με το δίκτυο ως εξής:

- Φ/Β συστήματα που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται με βάση τις μέσες μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας της εφαρμογής.
- Φ/Β συστήματα τα οποία λειτουργούν με συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο. Εδώ ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τις αντίστοιχες ετήσιες απαιτήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο παρόν Κεφάλαιο παρατίθεται η ισχύουσα Ελληνική νομοθεσία για την εγκατάσταση των Φ/Β συστημάτων τόσο των οικιακών όσο και των έργων επί γης. Σκοπός δεν είναι να γίνει αναλυτική απόδοση των νομοθετικών ρυθμίσεων αλλά τα βασικά σημεία που τις διέπει.

4.1 Οικιακά Φ/Β Συστήματα

4.1.1. Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων

Άρθρο 1: Σκοπός και Πεδίο Εφαρμογής

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 12323/2009 Καταρτίζεται Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 10 kW_p, εφεξής Πρόγραμμα, σε κτιριακές εγκαταστάσεις, που χρησιμοποιούνται για κατοικία ή στέγαση πολύ μικρών επιχειρήσεων με διάρκεια έως 31.12.2019. Το Πρόγραμμα αφορά σε φωτοβολταϊκά συστήματα για παραγωγή ενέργειας που εγχέεται στο Δίκτυο, τα οποία εγκαθίστανται στο δώμα ή τη στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανόμενων των στεγάστρων βεραντών.

Δικαίωμα ένταξης στο Πρόγραμμα έχουν φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες και φυσικά ή νομικά πρόσωπα επιτηδευματίες που κατατάσσονται στις πολύ μικρές επιχειρήσεις, τα οποία έχουν στην κυριότητα τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Άρθρο 2: Προϋποθέσεις Ένταξης

Προϋπόθεση για την ένταξη φωτοβολταϊκού συστήματος στο Πρόγραμμα είναι η ύπαρξη ενεργής σύνδεσης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στο όνομα του κυρίου του φωτοβολταϊκού στο κτίριο όπου το σύστημα εγκαθίσταται.

Άρθρο 3: Σύμβαση Πώλησης

Η Σύμβαση Συμψηφισμού για φωτοβολταϊκό σύστημα (εφεξής Σύμβαση Συμψηφισμού) συνάπτεται μεταξύ κυρίου του φωτοβολταϊκού και ΔΕΗ ΑΕ ή άλλου προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις του στο κτίριο, όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα, για είκοσι πέντε (25) έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η εν λόγω Σύμβαση συνομολογείται με

σταθερή τιμή αναφοράς και αντιστοιχεί στο έτος που αυτή συνάπτεται σύμφωνα με την παράγραφο 3 του παρόντος, υπό την προϋπόθεση ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος εντός έξι (6) μηνών από τη σύναψη της Σύμβασης Συμψηφισμού. Σε αντίθετη περίπτωση, ως τιμή αναφοράς θα λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στο έτος που πραγματοποιείται η ενεργοποίηση της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η τιμή της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο ορίζεται σε 0,55 Ευρώ/kWh για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται τα έτη 2009, 2010, 2011. Η τιμή μειώνεται κατά 5% ετησίως για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται το διάστημα από 1.1.2012 μέχρι και 31.12.2019¹.

Άρθρο 4: Εγκατάσταση και Λειτουργία-Διαδικασία Σύνδεσης

Η διαδικασία της αίτησης για εγκατάσταση και λειτουργία διασυνδεδεμένου οικιακού συστήματος με το Δίκτυο της ΔΕΗ αναλύεται στο παρόν άρθρο και έχει συνοπτικά ως εξής:

1. Μετά την υποβολή της αίτησης και των στοιχείων της παραγράφου 2², η ΔΕΗ ΑΕ, ως Διαχειριστής του Δικτύου, εξετάζει το αίτημα κατά προτεραιότητα και προβαίνει εντός είκοσι (20) ημερών σε διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον ενδιαφερόμενο κύριο του φωτοβολταϊκού που περιλαμβάνει την περιγραφή και τη δαπάνη των έργων σύνδεσης³, η οποία ισχύει για τρεις (3) μήνες από την ημερομηνία έκδοσής της. Η ΔΕΗ ΑΕ γνωστοποιεί στον κύριο του φωτοβολταϊκού κάθε στοιχείο που θα ζητηθεί για την τεκμηρίωση της ανάγκης υλοποίησης των συγκεκριμένων έργων σύνδεσης και του κόστους αυτών.
2. Μετά την αποδοχή της Προσφοράς Σύνδεσης προσκομίζεται από τον κύριο του φωτοβολταϊκού η Έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας της αρμόδιας πολεοδομικής υπηρεσίας, υπογράφεται η Σύμβαση Σύνδεσης μεταξύ κυρίου του

¹ Η τρέχουσα τιμή πώλησης είναι 0,495 €/KW

² Για τη σύνδεση φωτοβολταϊκού συστήματος υποβάλλεται αίτηση προς την ΔΕΗ ΑΕ (Τοπική Υπηρεσία, Περιοχή), ως Διαχειριστή του Δικτύου, που περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον, τα εξής: i. στοιχεία του κυρίου του φωτοβολταϊκού, ii. στοιχεία της εγκατάστασης, με το έντυπο αίτησης που χορηγείται από τη ΔΕΗ ΑΕ. iii. στοιχεία των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του αντιστροφέα, καθώς και λοιπά τεχνικά στοιχεία για την εγκατάσταση και την λειτουργία, υπεύθυνες δηλώσεις.

³ Οι όροι αναφέρονται στη δαπάνη που πρέπει να αναλάβει ο ενδιαφερόμενος προκειμένου να αγοράσει από τη ΔΕΗ τον εξοπλισμό της για τη μέτρηση της παραγόμενης ενέργειά του. Αυτή η δαπάνη ανέρχεται σε 800 ευρώ χωρίς ΦΠΑ.

φωτοβολταϊκού και ΔΕΗ ΑΕ ως Διαχειριστή του Δικτύου και καταβάλλεται η σχετική δαπάνη. Η κατασκευή των έργων σύνδεσης ολοκληρώνεται από τη ΔΕΗ ΑΕ εντός είκοσι (20) ημερών από την υπογραφή της σύμβασης, εφόσον δεν απαιτούνται νέα έργα Δικτύου.

3. Μετά την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης υποβάλλεται αίτηση για τη σύναψη Σύμβασης Συμψηφισμού προς τη ΔΕΗ ΑΕ (Τοπική Υπηρεσία Εμπορίας) ή άλλο προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις της ιδιοκτησίας του κυρίου όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η ανωτέρω διαδικασία ολοκληρώνεται εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την παραλαβή του αιτήματος.
4. Για την ενεργοποίηση της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος υποβάλλεται αίτημα προς την ΔΕΗ ΑΕ (Τοπική Υπηρεσία, Περιοχή) ως Διαχειριστή του Δικτύου, με το οποίο συνοποβάλλονται:

- αντίγραφο της Σύμβασης Συμψηφισμού,
- υπεύθυνη δήλωση μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένα: τεχνική περιγραφή του τρόπου αποφυγής του φαινομένου της νησιδοποίησης και μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης, στην οποία θα αναφέρονται οι ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα, που σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να βρίσκονται εκτός των ορίων +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης και +0,5 Hz έως -0,5 Hz της ονομαστικής συχνότητας καθώς επίσης και ότι έχει γίνει πρόβλεψη σε περίπτωση υπέρβασης των εν λόγω ορίων ο αντιστροφέας να τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

α. θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα,

β. επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από τρία πρώτα λεπτά,

γ. αναφορά σε χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδοποίησης,

iii. υπεύθυνη δήλωση του κυρίου του φωτοβολταϊκού συστήματος όπου θα αναφέρεται ότι καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού δεν θα τροποποιηθούν οι ρυθμίσεις που δηλώθηκαν βάσει των απαιτήσεων της περίπτωσης ii της παρούσας παραγράφου.

4.1.2. Φορολογική Αντιμετώπιση Εσόδων από τις Πωλήσεις στη ΔΕΗ

Σύμφωνα με την εγκύκλιο 1078580/6637/491/B0014 (6-8-2009): «Φορολογική αντιμετώπιση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 10 kW_p σε κτιριακές εγκαταστάσεις κατοικιών ή πολύ μικρών επιχειρήσεων», η ενέργεια που παράγεται από τα μικρής ισχύος, φωτοβολταϊκά συστήματα αντιστοιχεί σε αυτή που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κυρίου του φωτοβολταϊκού συστήματος, ενώ η έγχυσή της στο δίκτυο εξυπηρετεί την καταγραφή της στο πλαίσιο επίτευξης των στόχων για τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που τίθενται από το κοινοτικό δίκαιο. Κατά συνέπεια, για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν υφίστανται φορολογικές υποχρεώσεις όσον αφορά στη διάθεση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο.

Όσον αφορά στο φόρο προστιθέμενης αξίας, από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η έγχυση της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο δε συνιστά φορολογητέα πράξη παράδοσης αγαθού, σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 2 και 5 του Κώδικα Φ.Π.Α. (ν.2859/2000), συνεπώς δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του Φ.Π.Α..

Εντούτοις, τα πρόσωπα αυτά οφείλουν να κοινοποιήσουν άμεσα αντίγραφο της Σύμβασης Συμψηφισμού για φωτοβολταϊκό σύστημα που συνάπτουν στη Δ.Ο.Υ. όπου υπάγονται, για τη διασφάλιση της ομοιόμορφης εφαρμογής των ανωτέρω και για την αποφυγή παρερμηνειών.

Σύμφωνα με το άρθρο 6 της κοινοποιούμενης απόφασης, ο κύριος του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν έχει φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο.

4.1.3. Ειδικό Όροι για την Εγκατάσταση σε Κτίρια Εντός Σχεδίου Περιοχών

Σύμφωνα με την ΥΑ 36720/2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010): «Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς» στο άρθρο 3 προβλέπεται ότι:

- Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων ανεξαρτήτως ισχύος και ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου πάνω σε κτίρια, επιτρέπεται εφόσον γίνεται, σύμφωνα με την παρ. 1α' του άρθρου 16 του ν. 1577/1985 στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφιστάμενου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, όπως αυτά ορίζονται στη διάταξη της

παραγράφου 6 του άρθρου 11 του ν.1577/85 (ΦΕΚ Α' 210), όπως ισχύει, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης, όπως ορίζονται στην παράγραφο 17γ του άρθρου 2 του ίδιου νόμου, υπό την προϋπόθεση της συμφωνίας του συνόλου των συνιδιοκτητών. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων επί των δωματίων των κτιρίων επιτρέπεται εφόσον δεν αντίκειται σε ειδικότερους όρους δόμησης που ισχύουν για την περιοχή

- Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων και ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου και του φρεατίου ανελκυστήρα,
- Η διάταξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου δεν θα πρέπει να δημιουργεί χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης ή ημιυπαίθριο χώρο ή να εμποδίζει την απρόσκοπτη προσπέλαση σε κοινόχρηστους χώρους. Σε περίπτωση ορόφου σε υποχώρηση, οι εγκαταστάσεις αυτές θα περιορίζονται στο περίγραμμα του ορόφου. Σε περίπτωση τοποθέτησης σε στέγη, αυτή θα πρέπει να γίνεται εντός του περιγράμματος της στέγης, ακολουθώντας την κλίση της, ώστε να εξασφαλίζεται η αισθητική εικόνα του κτιρίου.
- Αν τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα ηλιακά συστήματα ψύξης και θέρμανσης χώρου τοποθετούνται στο δώμα του κτιρίου, οι αποστάσεις από το στηθαίο του δώματος θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 0,50 μ. για λόγους ασφαλείας.

Σύμφωνα με την ΥΑ 16/2/2011 (ΦΕΚ 583B/14-4-2011): «*Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια*» στο άρθρο 6 παρ. 4 προβλέπεται ότι:

Ειδικά για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων πάνω σε κτίρια και για ισχύ μέχρι των 100kW δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, ούτε έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει:

- έγγραφη γνωστοποίηση εργασιών και εκπόνησης της μελέτης εγκατάστασης και ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στον Διαχειριστή του δικτύου ή σε άλλο προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί το κτίριο όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα, η οποία υπογράφεται από τον ενδιαφερόμενο και τον επιβλέποντα για την εγκατάσταση μηχανικό και επέχει θέση υπεύθυνης

δήλωσης που τους καθιστά υπεύθυνους κατά νόμο για την τήρηση των όρων της παρούσας απόφασης, καθώς και – υπεύθυνη δήλωση ότι δεν απαιτείται γνωμοδότηση της Επιτροπής Πολεοδομικού Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.). Στις περιπτώσεις όπου απαιτείται η γνωμοδότηση της Ε.Π.Α.Ε., αυτή κατατίθεται μαζί με το έγγραφο γνωστοποίησης εργασιών.

- για τη σύνδεση με τον Διαχειριστή του δικτύου δεν απαιτείται αυτοψία ή άλλη ενέργεια της αρμόδιας Πολεοδομικής Υπηρεσίας. Ο αρμόδιος Διαχειριστής οφείλει να κοινοποιεί τη Σύμβαση Σύνδεσης στην αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας, πέραν των λοιπών αποδεκτών

4.1.4. Ειδικό Όροι για την Εγκατάσταση σε Κτίρια Εκτός Σχεδίου Περιοχών

Σε κτίρια που βρίσκονται σε περιοχές εκτός σχεδίου, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων ανεξαρτήτως ισχύος που δεν εντάσσονται στο Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και ηλιακών συστημάτων ψύξης ή θέρμανσης χώρου, επιτρέπεται υπό τους όρους που προβλέπονται στις παραγράφους 1 έως 7 του άρθρου 3 της υπ' αριθμ. 36720/25.8.2010 Υ.Α. «Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς» (ΦΕΚ ΑΑΠ 376/2010). Ειδικότερα για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια ισχύος μεγαλύτερης από 10kW εκτός σχεδίου πόλεως απαιτείται η συνυποβολή τοπογραφικού διαγράμματος και αντίγραφο της οικοδομικής άδειας.

4.1.5. Νέες Τιμές Πώλησης

Σύμφωνα με το πρόσφατο ΦΕΚ 97B/31-01-2012: «Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς» οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα οικιακά Φ/Β συστήματα καθορίζονται ότι πρέπει να αναπροσαρμόζονται κάθε 6 μήνες, αντί ετησίως που ίσχυε στην αρχική απόφαση. Οι νέες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέονται στο δίκτυο της ΔΕΗ είναι οι ακόλουθες του Πίνακα, σύμφωνα με το άρθρ. 1 παράγραφος 3.

Πίνακας 4: *Νέες Εξαμηνιαίες Τιμές Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας προς τη ΔΕΗ*

Μήνας / Έτος	Τιμή (ευρώ/MWh)
Φεβρουάριος 2012	495,00
Αύγουστος 2012	470,25
Φεβρουάριος 2013	446,74
Αύγουστος 2013	424,40
Φεβρουάριος 2014	403,18
Αύγουστος 2014	383,02
Φεβρουάριος 2015	363,87
Αύγουστος 2015	345,68
Φεβρουάριος 2016	328,39
Αύγουστος 2016	311,97
Φεβρουάριος 2017	296,37
Αύγουστος 2017	281,56
Φεβρουάριος 2018	267,48
Αύγουστος 2018	254,10
Φεβρουάριος 2019	241,40
Αύγουστος 2019	229,33

4.2 Φ/Β Επί Αγροτεμαχίων

4.2.1. Ειδικό Όροι για την Εγκατάσταση σε Γήπεδα Εκτός Σχεδίου Περιοχών

Σύμφωνα με την ΥΑ 36720/2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010): «Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς» προβλέπεται ότι:

Σε γήπεδα που βρίσκονται σε εκτός σχεδίου περιοχές επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών, ανεξαρτήτως ισχύος, σύμφωνα και με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 17 της υπ' αριθμ. 49828/2008 Υπουργικής απόφασης για την έγκριση του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις Α.Π.Ε. (ΦΕΚ Β' 2464), όπως ισχύει. Δεν απαιτείται τα γήπεδα να είναι άρτια και οικοδομήσιμα, εκτός εάν ζητούνται δομικές κατασκευές πέραν των απολύτως αναγκαίων για την εγκατάσταση αυτή. Ως απολύτως αναγκαίες κατασκευές νοούνται:

- α) στυλίσκος μετρητής της Δ.Ε.Η.,
- β) οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού των Φ/Β συστημάτων που δύναται να είναι προκατασκευασμένος, με τις απολύτως αναγκαίες διαστάσεις και μέχρι εμβαδού 15τ.μ.,
- γ) περίφραξη για την προστασία της εγκατάστασης με συρματοπλέγμα μέχρι ύψους 2,5μ. με συμπαγές τοίχιο μέχρι 30 εκατοστά και
- δ) εγκατεστημένος εξοπλισμός Φ/Β συστημάτων των οποίων κανένα στοιχείο δεν υπερβαίνει τα 2,5μ. από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν σε κάλυψη το 60% της επιφάνειας του γηπέδου. Ως κάλυψη, νοείται η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού, ενώ δεν συνυπολογίζονται στην κάλυψη τα κενά μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών (άρθρο 1, παρ 2).

Σε περίπτωση ανέγερσης και άλλων χρήσεων δομικών κατασκευών εντός του γηπέδου (όπως κατοικία, γεωργικές αποθήκες κ.λπ.), αυτές συνυπολογίζονται στο παραπάνω καθοριζόμενο ποσοστό κάλυψης, ενώ ως προς τους λοιπούς όρους και περιορισμούς δόμησης για τις χρήσεις αυτές θα ισχύουν οι γενικοί της εκτός σχεδίου δόμησης ή οι τυχόν ειδικοί όροι και περιορισμοί που ισχύουν από άλλες ρυθμίσεις (Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου, Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης κ.λπ) (άρθρο 1, παρ 3).

Οι ελάχιστες αποστάσεις των εγκαταστάσεων και τυχόν οικίσκου της περίπτωσης β) της παραγράφου 1 που πρέπει να τηρούνται από τα όρια των γηπέδων, ορίζονται στο διπλάσιο του ύψους της εγκατάστασης. Η ελάχιστη απόσταση δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 2,5μ. (άρθρο 1, παρ 4).

Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ανεξαρτήτως ισχύος, δεν απαιτείται η έκδοση οικοδομικής άδειας, αλλά έκδοση έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας που εκδίδεται από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας, σύμφωνα με τις διατάξεις της υπ' αριθμ. 5219/3-2-2004 (ΦΕΚ Δ' 114) Υπουργικής απόφασης, όπως ισχύει. Η έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.) απαιτείται ειδικά μόνο στις ακόλουθες περιπτώσεις: α) στην περίπτωση του δεύτερου εδαφίου της

παραγράφου 1 του άρθρου 17 του ν.1577/1985, β) σε περίπτωση που η εγκατάσταση προβλέπεται να γίνει σε περιοχές που έχουν χαρακτηρισθεί ως ιδιαιτέρου φυσικού κάλλους και προστατεύονται ως προς την πολεοδομική ανάπτυξη από ειδικά διατάγματα, και γ) σε κάθε περίπτωση που η εγκατάσταση προβλέπεται σε διατηρητέα κτίρια (άρθρο 2, παρ. 1).

Στην περίπτωση τοποθέτησης Φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 100kW, σε γήπεδα που δεν βρίσκονται σε δάσος ή σε δασική έκταση, σε ρέμα, στον αιγιαλό ή την παραλία, σε καθορισμένο αρχαιολογικό χώρο ή σε περιοχή απολύτου προστασίας της φύσης, τα απαραίτητα δικαιολογητικά για την έκδοση έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας, είναι (άρθρο 2, παρ.2):

- α) σύντομη περιγραφή των εκτελούμενων εργασιών, που αφορούν στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού,
- β) τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5000 συντεταγμένο κατά τις ισχύουσες προδιαγραφές σε ψηφιακή μορφή και εξαρτημένο από το Εθνικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87 και διάγραμμα κάλυψης όπου φαίνεται η θέση εγκατάστασης του σχετικού εξοπλισμού,
- γ) υπεύθυνη δήλωση του ενδιαφερόμενου στην οποία θα δηλώνεται ότι, το ακίνητο στο οποίο προτίθεται να εγκαταστήσει το φωτοβολταϊκό σταθμό δεν βρίσκεται σε δάσος ή σε δασική έκταση, ρέμα, στον αιγιαλό ή την παραλία, σε καθορισμένο αρχαιολογικό χώρο ή σε περιοχή απολύτου προστασίας της φύσης,
- δ) αποδεικτικό κοινοποίησης του αντιγράφου της παραπάνω υπεύθυνης δήλωσης και του τοπογραφικού σχεδίου, στο οικείο δασαρχείο ή κατά περίπτωση άλλη αρμόδια υπηρεσία, καθώς και στην υπηρεσία Α.Π.Ε του άρθρου 11 του ν.3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85), ε) έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.), στις περιπτώσεις που αυτή απαιτείται.

Σύμφωνα με την ΥΑ 16-2-2011:, «*Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια*», ΦΕΚ 583B/14-4-2011 έχουν γίνει οι εξής προσθήκες-τροποποιήσεις:

- Σε γήπεδα που βρίσκονται σε εκτός σχεδίου περιοχές, ανεξαρτήτως οικοδομησιμότητας και αρτιότητας, επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών ανεξαρτήτως ισχύος
- Ειδικότερα για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε γήπεδα μη άρτια και μη οικοδομήσιμα, οι δομικές κατασκευές για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν μπορεί να υπερβαίνουν τις απολύτως αναγκαίες. Ως απολύτως αναγκαίες κατασκευές νοούνται: α) στυλίσκος ΔΕΗ, β) οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού ανά 500 kW εγκατεστημένης ισχύος προκατασκευασμένος και με απολύτως αναγκαίες διαστάσεις μέχρι 15 τ.μ. και συνολικού ύψους μέχρι και 2,5 μ. με τη δυνατότητα προσαύξησης του ύψους αυτού μέχρι 20% στην περίπτωση εγκατάστασης εργοστασιακών πεδίων διανομής των αντιστροφών μετασχηματιστών, γ) περίφραξη με συρματοπλέγμα στα όρια της ιδιοκτησίας μέχρι 2,5 μ. με συμπαγές τοίχιο ύψους έως 30 εκ. για την προστασία της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τυχόν οικίσκος που χρησιμοποιείται για τη στέγαση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού των συστημάτων αυτών πρέπει να απέχει από τα όρια των γηπέδων:

- Απόσταση ίση με 2,5 m., όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων είναι μέχρι και 2,5m.
- Απόσταση ίση με 5 m., όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα 2,5m. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης βασίζεται στην προβολή επί του οριζοντίου επιπέδου του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού για όλες τις πιθανές θέσεις που αυτός λαμβάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Οι αναγκαίες κατασκευές που συνοδεύουν – απαιτούνται για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι: α) στυλίσκος ΔΕΗ, β) οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού ανά 500 kW εγκατεστημένης ισχύος προκατασκευασμένος και με απολύτως αναγκαίες διαστάσεις μέχρι 15 τ.μ. και συνολικού ύψους μέχρι και 2,5 μ. με τη δυνατότητα προσαύξησης του ύψους αυτού μέχρι 20% στην περίπτωση εγκατάστασης εργοστασιακών πεδίων διανομής των αντιστροφών – μετασχηματιστών, γ) περίφραξη με

συρματόπλεγμα στα όρια της ιδιοκτησίας μέχρι 2,5 μ. με συμπαγές τοιχείο ύψους έως 30 εκ. για την προστασία της εγκατάστασης. Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας εργασίες από σκυρόδεμα που συνοδεύουν τις παραπάνω κατασκευές, όπως θεμελιώσεις των βάσεων στήριξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Για εργασίες όπως η θεμελίωση των βάσεων στήριξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων με πασαλόμπηξη, με γεώβιδες, με χρήση βαρυτικών βάσεων, ακόμα και όταν μέρος τους (μέχρι 50%) τοποθετείται κάτω από τη φυσική στάθμη του εδάφους, καθώς και πάσης φύσεως οικίσκοι που εδράζονται βαρυτικά στο έδαφος και που ως αποκλειστικό σκοπό έχουν την προφύλαξη του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του σταθμού, δεν απαιτείται έκδοση οικοδομικής άδειας.

Στην περίπτωση που οι εγκαταστάσεις του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού υπερβαίνουν τα 2,5 μ. από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων, οι βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να είναι πιστοποιημένες ως προς την αντοχή τους σε ακραίες ανεμοπιέσεις από ανεξάρτητο διαπιστευμένο φορέα, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα ή το πρότυπο DIN ή άλλο αντίστοιχο Εθνικό Πρότυπο ή, εναλλακτικά, να υπάρχει για αυτές δήλωση στατικής επάρκειας από διπλωματούχο μηχανικό, και τα στοιχεία συνυποβάλλονται με τα δικαιολογητικά για την έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Επιπλέον, συνυποβάλλεται υπεύθυνη δήλωση του ενδιαφερόμενου ότι ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο συγκεκριμένος πιστοποιημένος εξοπλισμός. Στην περίπτωση τοποθέτησης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 100 kW σε γήπεδα που δεν βρίσκονται σε δάσος ή σε δασική έκταση, σε ρέμα, στον αιγιαλό ή την παραλία, σε καθορισμένο αρχαιολογικό χώρο ή σε περιοχή απολύτου προστασίας της φύσης, τα απαραίτητα δικαιολογητικά **για την έκδοση έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας είναι:**

- α) σύντομη περιγραφή των εκτελούμενων εργασιών, που αφορούν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού,
- β) τοπογραφικό διάγραμμα και διάγραμμα κάλυψης, όπου φαίνεται η θέση εγκατάστασης του σχετικού εξοπλισμού και τυχόν άλλες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ίδιο οικόπεδο,
- γ) υπεύθυνη δήλωση του ενδιαφερόμενου στην οποία θα δηλώνεται ότι, το ακίνητο στο οποίο προτίθεται να εγκαταστήσει τον φωτοβολταϊκό σταθμό δεν

- βρίσκεται σε δάσος ή σε δασική έκταση, σε ρέμα, στον αιγιαλό ή την παραλία, σε καθορισμένο αρχαιολογικό χώρο ή σε περιοχή απολύτου προστασίας της φύσης,
- δ) έγκριση της αρμόδιας αρχαιολογικής υπηρεσίας, εφόσον απαιτείται,
 - ε) βεβαίωση χαρακτηρισμού της γης από την οικεία Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης και, ειδικά για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας (Γ.Γ.Υ.Π.), άδεια από την οικεία Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης για το επιτρεπτό της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σταθμών σε Γ.Γ.Υ.Π.,
 - στ) αποδεικτικό κοινοποίησης του αντιγράφου της παραπάνω υπεύθυνης δήλωσης και του τοπογραφικού σχεδίου στις κατά περίπτωση αρμόδιες υπηρεσίες (δασαρχείο, Κτηματική Υπηρεσία ή/και κατά περίπτωση άλλη αρμόδια υπηρεσία), καθώς και στην υπηρεσία Α.Π.Ε του άρθρου 20 του ν. 3468/2006 (ΦΕΚ Α' 129) όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 11 του ν.3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85), και ισχύει και
 - ζ) έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.), στις περιπτώσεις που αυτή απαιτείται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 2 του ν.2941/2001 (ΦΕΚ Α' 201).

4.2.2. Τιμές Πώλησης

Σύμφωνα με το πρόσφατο ΦΕΚ 97B/31-01-2012: «Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς» οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα επί γης είναι:

Πίνακας 5: Εξαμηνιαίες Τιμές Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Φ/Β Σταθμούς

	Διασυνδεδεμένο		Μη Διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ (ανεξαρτήτως ισχύος)
	>100 kW	<=100 kW	
2012 Φεβρουάριος	292,08	328,60	328,60
2012 Αύγουστος	271,64	305,60	305,60
2013 Φεβρουάριος	252,62	284,20	284,20
2013 Αύγουστος	234,94	264,31	264,31
2014 Φεβρουάριος	218,49	245,81	245,81
2014 Αύγουστος	203,20	228,60	228,60
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,3μΟΤΣν-1	1,4μΟΤΣν-1	1,4μΟΤΣν-1

μΟΤΣν-1: Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται όλες οι αναλύσεις για το σχεδιασμό και εγκατάσταση του αυτόνομου Φ/Β σταθμού 200 kWp με τεχνολογία Tracker καθώς και η στοιχειοθέτηση των επιλογών των επί μέρους υλικών του Έργου.


Δεδομένου ότι η υπό μελέτη εγκατάσταση γίνεται σε θεωρητικό αγροτεμάχιο θα υποθέσουμε ότι έχουμε απεριόριστο χώρο για την εγκατάσταση του Φ/Β σταθμού. Δεδομένου ότι πρόκειται για εγκατάσταση με τεχνολογία Tracker θα πρέπει σε αυτό το πρώιμο στάδιο να επιλεχθεί η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί. Από την έρευνα αγοράς που διενεργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας, καταλήγουμε στην επιλογή των διαξονικών Ηλιοστατών της εταιρείας «ΝΕΔΑ Α.Ε.»⁴ (<http://neda2.sigmasoft.gr/>) οι οποίοι συγκεντρώνουν μια σειρά από συγκριτικά πλεονεκτήματα:

- Καταλαμβάνουν το λιγότερο δυνατό χώρο. Ενδεικτικά ο Tracker τεχνολογίας ΝΕΔΑ Α.Ε. ο οποίος αποδίδει 100 kWp έχει διάμετρο 52m γεγονός που του επιτρέπει να εγκατασταθεί στο λιγότερο δυνατό χώρο προκειμένου να αποδοθεί η επιθυμητή ισχύς της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα περίπου 2 στρ/100 kWp.
- Χαμηλό ύψος κατασκευής το οποίο φτάνει τα 2,5 m από την επιφάνεια του εδάφους.
- Δέχεται μεγάλες ανεμοπιέσεις οι οποίες φτάνουν τα 11 μποφόρ (110Km/h) σε ταχύτητα ανέμου. Μετά από αυτή την τιμή ανεμοπίεσης ο Tracker οριζοντιώνει τα panel σε θέση ασφαλείας, προκειμένου να μην αστοχήσει η εγκατάσταση.
- Πρόκειται για κατασκευή χαμηλού κόστους συντήρησης δεδομένου ότι πρόκειται για υδραυλική εγκατάσταση και όλες οι κινήσεις γίνονται μέσω ενός μοτέρ 1,5 kWp ισχύος.
- Ίσως είναι από τις μοναδικές κατασκευές στον χώρο των Φ/Β η οποία δεν απαιτεί την επέμβαση εξειδικευμένων τεχνικών σε περίπτωση αστοχίας ή συντήρησης, με αποτέλεσμα η κατασκευή να συνεχίσει να λειτουργεί με αυτάρκεια σε όλη τη διάρκεια ζωής της αυξάνοντας τον βαθμό ανεξαρτησίας του επενδυτή με την μητρική εταιρεία.

⁴ Όλες οι πληροφορίες δόθηκαν από την εταιρεία ΝΕΔΑ Α.Ε. κατόπιν σχετικού αιτήματος.

Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μεγαλύτερου μοντέλου της εταιρείας (Τύπος 100η, όπου η ο αριθμός των παραπέτων στήριξης των panel⁵) ο οποίος ο ένας μόνο τέτοιος τύπος μπορεί με υψηλής ισχύος panel αποδώσει μέχρι 200 kWp.

Πίνακας 6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Tracker ΝΕΔΑ

	ΝΕΔΑ 1001-1002-1003
Βάση Στήριξης	Χάλυβας Γαλβανισμένος εν' Θερμώ
Διάμετρος Tracker	49 μ.
Άξονας Ανατολή - Δύση	67 -294 Μοίρες
Άξονας Βορράς - Νότος	17-90 Μοίρες
Ανίχνευση Πορείας Ήλιου	Αστρονομικά Δεδομένα
Μέγιστη Ισχύς εγκατάστασης	Έως 150 kWp
Μέγιστη Επιφάνεια κάλυψης	Έκταση 1885 τ.μ.
Τρόπος Έδρασης	Σκυρόδεμα < 18 κυβ.μ.
Κινητήρας	1,5 hp
Μετάδοση Κίνησης / Λειτουργία	Υδραυλικά
Έλεγχος Κίνησης Κατανάλωση	Μέσω PLC 60kWh/έτος
Βάρος Χωρίς Πλαίσια	1 τόνος/4kWp
Μέγιστη Αντοχή Σε Ταχύτητα Ανέμου	155 km/h
Οριζοντίωση φ/β Πλασίων	110 km/h
Μέγιστο Ύψος από έδαφος	2,40μ.
Εγγύηση Η/Μ Εξοπλισμού	2,5,10,15,20 Έτη
Εγγύηση για Διάβρωση Μεταλλικών Μερών	20 έτη
Στατική Μελέτη	Σύμφωνα με Πρότυπα EC3, ΕΚΟΣ,ΕΑΚ2000

(Πηγή: <http://neda2.sigmasoft.gr>)

⁵ Σύμφωνα με τους υπευθύνους της εταιρείας πλέον ο συγκεκριμένος Ηλιοστάτης κατασκευάζεται με διπλό και τριπλό παραπέτο στήριξης των panel σε θέση landscape.

5.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Καλαμάτα είναι μια περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα οι εγκαταστάσεις Φ/Β πάρκων στην ευρύτερη περιοχή να είναι ιδιαίτερα ελκυστικές.

Σε αυτή τη παράγραφο γίνεται ο υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ένα τυπικό σταθμό 200 kWp στη περιοχή της Καλαμάτας με χρήση του δημοσίως διαθέσιμου λογισμικού PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>)⁶. Παρακάτω παρατίθενται αποσπάσματα από το περιβάλλον του λογισμικού.

The screenshot displays the PVGIS web application interface. On the left, a map of Europe is shown with a color-coded solar radiation scale ranging from 200 to 2000 kWh/m². The map includes labels for various countries and cities. On the right, a configuration panel is visible, titled 'Performance of Grid-connected PV'. This panel contains several input fields and options: 'Radiation database' (dropdown), 'PV technology' (set to 'Crystalline silicon'), 'Installed peak PV power' (1 kWp), 'Estimated system losses' (14%), 'Fixed mounting options' (Free-standing, Slope 35°, Azimuth 0°), 'Tracking options' (Vertical axis, Inclined axis, 2-axis tracking), and 'Output options'. A search bar at the top left contains the coordinates '45.256N, 16.9589E'.

Εικόνα 21: Αρχικό Μενυ Λογισμικού PVGIS

(Πηγή: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι επιλογές που γίνονται στο περιβάλλον του λογισμικού προκειμένου να εκτιμηθούν τα ποσά της αναμενόμενης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

⁶ Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας που συνεκτιμώνται από το πρόγραμμα για τον υπολογισμό των παραγωγών προέρχονται από την Climate Monitoring Satellite Application Facility (<http://www.cmsaf.eu/>)

Εικόνα 22: Παραμετροποίηση Προγράμματος

Προκειμένου να εξαχθούν τα δεδομένα παραγωγής μέσω του λογισμικού PVGIS απαιτούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Καθορισμός της τοποθεσίας του έργου (το λογισμικό έχει χάρτες με τη χωρική κατανομή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας οπότε η σωστή και ακριβής χωροθέτηση του έργου οδηγεί σε λιγότερο επισφαλή αποτελέσματα)
2. Εισαγωγή της ονομαστικής ισχύος του Έργου
3. Επιλογή της ελεύθερης κίνησης του συστήματος. Αυτή η επιλογή γίνεται από το πεδίο Mounting Position όπου η επιλογή Free-standing υποδηλώνει ότι το έργο αφορά σε εγκατάσταση επί εδάφους.
4. Επιλογή βελτιστοποιήσεων κλίσης και αζιμούθιου
5. Επιλογή ότι πρόκειται για διαξονική κίνηση μέσω της επιλογής 2-axis tracking.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω επιλογών εξαγονται αυτόματα σε μορφή Πινάκων με τις μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραγωγών σε πίνακες τόσο με την επιλογή συστήματος διαξονικής κίνησης όσο και με σύστημα tracking.

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°1'38" North, 22°6'32" East, Elevation: 5 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 200.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 10.2% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.3%

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

Combined PV system losses: 24.6%

Fixed system: inclination=31 deg., orientation=1 deg. (optimum)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	560.00	17400	3.51	109
Feb	622.00	17400	3.95	111
Mar	839.00	26000	5.40	167
Apr	929.00	27900	6.10	183
May	1000.00	31100	6.74	209
Jun	1080.00	32400	7.39	222
Jul	1110.00	34300	7.64	237
Aug	1080.00	33500	7.46	231
Sep	940.00	28200	6.38	191
Oct	780.00	24200	5.17	160
Nov	643.00	19300	4.13	124
Dec	536.00	16600	3.38	105
Year	844.00	25700	5.61	171
Total for year		308000		2050

2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	704.00	21800	4.43	137
Feb	760.00	21300	4.85	136
Mar	1040.00	32200	6.69	207
Apr	1210.00	36200	7.88	236
May	1380.00	42800	9.20	285
Jun	1560.00	46900	10.60	318
Jul	1600.00	49500	10.90	339
Aug	1470.00	45500	10.10	312
Sep	1210.00	36400	8.18	245
Oct	973.00	30200	6.44	200
Nov	820.00	24600	5.28	158
Dec	674.00	20900	4.27	132
Year	1120.00	34000	7.41	226
Total for year		408000		2710

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

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

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

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

Εικόνα 23: Εξαγόμενα Αποτελέσματα Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας στη περιοχή της Καλαμάτας

Παρατηρούμε τη θεαματική διαφορά στις παραγωγές με σύστημα σταθερών βάσεων στήριξης των panel αλλά και με σύστημα Tracking. Συγκεκριμένα η μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια με σταθερές βάσεις ανέρχεται σε 308.000 kwh/year και με σύστημα Tracker 408.000 Kwh/year. Η διαφορά αυτή είναι της τάξεως του **32% παραπάνω** παραγόμενη ενέργεια με την επιλογή του συστήματος του Διαξονικού Ηλιοστάτη.

Οι παραπάνω τιμές ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκαν με βάση τις εξής απώλειες:

- Εκτίμηση απωλειών λόγω θερμοκρασίας : 10.2%
- Εκτίμηση απωλειών λόγω αντανάκλασεων : 2.3%
- Άλλες απώλειες (καλώδια, inverter κτλ.): 14.0%
- Συνδυασμένες απώλειες στο Φ/Β σύστημα : 24.6%

5.1.1. Μέσος Ετήσιος και Συνολικός Τζίρος

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και δεδομένου ότι δεν έχουμε κάποια συγκεκριμένη τιμή πώλησης της KWh θα υποθέσουμε με το σενάριο ότι πρόκειται για καινούργια άδεια και υπογεγραμμένη σύμβαση με τον ΔΕΣΜΗΕ με τιμή πώλησης 0,29208 €/KWh (βλ. Πιν5)

Συνεπώς στο παρακάτω Πίνακα έχουμε τους εξής υπολογισμούς μέσου ετήσιου και συνολικού τζίρου από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου (20 ετία).

Πίνακας 7: Πίνακας Υπολογισμού Συγκριτικών Τζιρων με Σταθερές Βάσεις και με Σύστημα Tracking

Σύστημα Στήριξης	Μέσος Ετήσιος	Συνολικός Τζίρος 20 ετίας
Σταθερές Βάσεις	308.000Kwh x 0,29208 €/KWh = 89.960 €/year	89.960 €/year x 20 years = 1.799.200 €
Σύστημα Tracking	408.000 kWh x 0,29208 €/KWh = 119.168 €/year	119.168 €/year x 20 years = 2.383.372 €

Η διαφορά που προκύπτει στην 20 ετία είναι € 584.172,00 επιπλέον αν επιλεγεί το σύστημα διαξονικής κίνησης.

5.2 Επιλογή Υλικών-Γενική Ηλεκτρολογική Μελέτη

5.2.1 Γενική Περιγραφή

Ο σταθμός πρόκειται να αποτελείται από Φ/Β πάνελ εδραζόμενα σε κινητές βάσεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου. Κατάλληλα διαστασιολογημένοι αντιστροφείς πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την μετατροπή της παραγόμενης ενέργειας στη μορφή που απαιτείται από τις προδιαγραφές ΔΕΗ για τη σύνδεση του

Για τη σχεδίαση του σταθμού πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο ισχύων κανονισμός ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων (HD 384). Ο έλεγχος των βασικών ηλεκτρικών παραμέτρων έγινε με τη βοήθεια του σχετικού σχεδιαστικού εργαλείου της εταιρείας των αντιστροφένων (Fronius Solar Configurator).

5.2.2 Επιλογή Φ/Β *Panel*-Αντιστροφένων

Ο αριθμός και η ισχύς των Φ/Β πάνελ καθορίζονται από έναν αριθμό κριτηρίων όπως:

- Ποιότητα και εγγυήσεις
- Αδειοδοτημένη Ισχύς: στη συγκεκριμένη περίπτωση η εγκατεστημένη ισχύς δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 200,00kWp.
- Δυνατότητα στήριξης: στη συγκεκριμένη περίπτωση ο μέγιστος αριθμός πάνελ που μπορεί να εγκατασταθεί στην κάθε κινητή βάση στήριξης είναι 416.
- Δυνατότητα σύνδεσης σε κλάδους στους αντιστροφείς.
- Διαθεσιμότητα και κόστος.

Με βάση τα παραπάνω, ο σταθμός πρόκειται να κατασκευαστεί με τη χρήση των πάνελ τύπου S240P60 Professional του οίκου CENTROSOLAR **Γερμανίας**. Τα συγκεκριμένα πάνελ διαθέτουν όλες τις απαραίτητες εγγυήσεις (κατά IEC 61215, IEC 61730, CE) και είναι ονομαστικής ισχύος 240Wp έκαστο.

Η επιλογή των αντιστροφένων γίνεται βάσει κυρίως των παρακάτω κριτηρίων:

- Ποιότητα και εγγυήσεις: οι αντιστροφείς πρέπει να διαθέτουν τα κατάλληλα πιστοποιητικά ώστε να είναι συμβατοί με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ.
- Δυνατότητα συνδυασμού με συγκεκριμένο τύπο πάνελ
- Μέγιστη ισχύς: είναι η ισχύς που προκύπτει από το συνδυασμό με τα Φ/Β πάνελ, ώστε να μη ξεπερνάται η μέγιστη αδειοδοτημένη ισχύς. Η ισχύς πρέπει να

επιλεγεί κατάλληλα ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής και αποδοτική λειτουργία του αντιστροφέα (πάνω από 90%).

- Διαθεσιμότητα και κόστος

Με βάση τα παραπάνω πρόκειται να χρησιμοποιηθούν αντιστροφείς της διεθνούς φήμης εταιρείας Fronius, τύπου Fronius IG Plus 150. Οι συγκεκριμένοι τύποι είναι τριφασικοί και απολύτως συμβατοί με τις προδιαγραφές ΔΕΗ.

Για τον υπολογισμό της συνδεσμολογίας των πάνελ χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Fronius Solar Configurator της Fronius (βλ. Εικ.24). Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες και τις δυνατές τεχνικές λύσεις, προκρίνεται η παρακάτω λύση:

- Χρήση δύο ηλιοστατών (trackers) ονομαστικής ισχύος 100 kWp έκαστος.
- 832 πάνελ επί δύο ηλιοστατών, δηλαδή ισχύς 199,732kWp για το σύνολο του σταθμού.
- Χρήση 16 συνολικά αντιστροφέων, Fronius IG Plus 150

The screenshot shows the 'Location information' and 'Component selection' sections of the Fronius Solar Configurator. The 'Location information' section includes dropdown menus for Country (Deutschland), Location (Berlin), Type of installation (free-standing), Deviation from ideal orientation (0°), Downtilt (30°), and Inverter combinations (2). The 'Component selection' section includes dropdown menus for Manufacturer (CENTROSOLAR), Module type (S 240P80 Professional), and Module favorites. It also features a 'Module specification' button, radio buttons for 'Number of modules' (selected) and 'Total power', and input fields for '832' and '199732 W'. Below these sections are checkboxes for 'Only display inverters that fulfill the BDEW Medium Voltage Directive' and 'Symmetrical feed-in', along with 'Further suggestions' and 'Calculate' buttons. At the bottom, a table titled 'Fronius IG Plus 150 Size relation (99%)' provides technical specifications.

Fronius IG Plus 150 Size relation (99%)					
Number of inverters:	16	Number of PV modules:	52	MPP voltage at 70°C	299 V
Number of modules/string:	13	PV output:	12483 W	MPP voltage at 25°C	374 V
Number of strings:	4	Max. PV current:	34,80 A	Open circuit voltage at -10°C	533 V

Εικόνα 24: Παραμετροποίηση Συνδεσμολογίας Inverters

Σύμφωνα με τη διαστασιολόγηση που φαίνεται στην εικόνα 24 η σύνδεση των panel κάθε tracker με τους αντιστροφείς έχει ως εξής:

Ηλιοστάτης 1:

Inverter 1: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 2: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 3: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 4: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 5: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 6: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 7: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Ηλιοστάτης 2:

Inverter 8: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 9: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 10: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 11: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 12: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 13: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 14: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 15: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

Inverter 16: 4 κλάδοι των 13 εν σειρά panel έκαστος

5.2.3. Υπολογισμός Διατομής DC Καλωδίων

Ο υπολογισμός της διατομής των DC καλωδίων από τα πάνελ προς τους αντιστροφείς γίνεται βάσει των παρακάτω παραγόντων:

- Θερμική φόρτιση
- Πτώση τάσης ή ισοδύναμα απώλεια ισχύος.

Ο κατασκευαστής των πάνελ προμηθεύει το πάνελ με καλώδιο 4mm². Κατά συνέπεια, από θερμικής πλευράς αυτή είναι και η ελάχιστη διατομή.

Από πλευράς πτώσης τάσης ή απώλειας ισχύος από τα καλώδια (DC και AC), ο στόχος είναι να είναι το πολύ 2% της ονομαστικής τιμής.

Ο υπολογισμός των απωλειών ισχύος στο DC καλώδιο γίνεται βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$P_{Loss} = I^2 R'(2l) \quad (1)$$

όπου I είναι η ένταση ρεύματος σε (A), R' είναι η αντίσταση του καλωδίου ανά μονάδα μήκους και l είναι το μήκος του καλωδίου.

Για την ένταση του ρεύματος λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη τιμή της που είναι η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης των πάνελ, ίση προς 8,33A. Οι αντιστάσεις των DC καλωδίων τύπου SOLARFLEX που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν είναι 5,09Ω/χλμ για το καλώδιο των 4mm², και 3,39Ω/χλμ για το καλώδιο των 6mm². Η ονομαστική ισχύς του κλάδου είναι 3.150W. Έτσι προκύπτει:

- Καλώδιο 4mm²: PLOSS=70,6W ή 2,24%
- Καλώδιο 6mm²: PLOSS=47,1W ή 1,5%

Έτσι, **επιλέγεται η χρήση καλωδίου 1x6mm²**. Η συγκεκριμένη διατομή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για όλα τα καλώδια DC.

5.2.4. Υπολογισμός Διατομής AC Καλωδίων και Αντιστροφών

Ο υπολογισμός της διατομής των AC καλωδίων γίνεται βάσει των παρακάτω παραγόντων:

- Θερμική φόρτιση
- Πτώση τάσης ή ισοδύναμα απώλεια ισχύος.

Για τον υπολογισμό της θερμικής φόρτισης λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

Η μέγιστη ισχύς εισόδου πρόκειται να είναι 12,6kW. Θεωρώντας έναν μέγιστο βαθμό απόδοσης 96%, προκύπτει ότι η μέγιστη ισχύς εξόδου πρόκειται να είναι περίπου 12,1kW. Ο συντελεστής ισχύος του αντιστροφέα είναι ίσος με τη μονάδα. Έτσι το μέγιστο ρεύμα γραμμής του αντιστροφέα προκύπτει ίσο με 17,5A.

Από πίνακες προκύπτει ότι για καλώδια τοποθετημένα στο έδαφος αρκεί μία διατομή $2,5\text{mm}^2$.

Για τον υπολογισμό της απώλειας ισχύος ή τάσης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$A = \frac{IP}{U^2} \frac{100}{ke} \quad (2)$$

Όπου l το μήκος καλωδίου (χειρίστη περίπτωση 30 μέτρα), P η ισχύς, U η πολική τάση, k η ειδική αγωγιμότητα του χαλκού και ε (%) η επιτρεπόμενη πτώση τάσης.

Θεωρώντας ότι η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι 0,5% (ώστε να συμπεριληφθεί και η απώλεια λόγω των καλωδίων DC), προκύπτει ότι η ελάχιστη επιτρεπόμενη διατομή καλωδίου είναι 8 mm^2 . Κατά συνέπεια, μία διατομή καλωδίου 10 mm^2 αρκεί για να καλύψει και την απαίτηση πτώση τάσης.

Ωστόσο, στα πλαίσια περαιτέρω περιορισμού των απωλειών στο έργο, χωρίς σημαντική επιβάρυνση του κόστους, επιλέγεται η χρήση καλωδίου διατομής $5 \times 25 \text{mm}^2$. Για το συγκεκριμένο τύπο καλωδίου η πτώση τάσης (ή ισχύος), υπολογίζεται σε 0,16%. Ο τύπος του καλωδίου θα είναι NYΥ.

Έτσι, η εκτίμηση απωλειών για τα καλώδια ανέρχεται σε 1,66%.

Για τον υπολογισμό της διατομής του καλωδίου παροχής, λαμβάνεται υπόψη η θερμική φόρτιση και η πτώση τάσης. Θεωρώντας ως μέγιστη ισχύ εξόδου τα 200kW με συντελεστή ισχύος μονάδα (1), προκύπτει ότι η μέγιστη ένταση ρεύματος γραμμής θα είναι 220A. Από πίνακες προκύπτει, ότι για ενταφιασμένα καλώδια θα αρκούσε μία διατομή των 90mm^2 . Για την πτώση τάσης, θεωρείται ένα μήκος καλωδίου 20 μέτρων. Για τη διατομή των 90mm^2 προκύπτει ότι η πτώση τάσης και ισχύος θα είναι της τάξης του 0,32%, διατηρώντας έτσι το σύνολο των απωλειών καλωδίων DC και AC κάτω του 2%.

Ωστόσο η διατομή του καλωδίου επιλέχθηκε σε 120mm^2 , λόγω απαιτήσεων της ΔΕΗ. Για τη συγκεκριμένη διατομή προκύπτει ότι η πτώση τάσης θα είναι 0,19%. Έτσι οι συνολικές απώλειες μαζί με τα καλώδια DC και AC των αντιστροφών διαμορφώνεται σε 1,85%. Για τη

σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ πρόκειται να χρησιμοποιηθεί καλώδιο τύπου **ΝΥΥ 3x 120+70+70mm²**.

5.2.5. Διατομές AC Λοιπών Καταναλώσεων

Από τις λοιπές καταναλώσεις, η σημαντικότερη είναι αυτή του περιμετρικού φωτισμού. Πρόκειται να δημιουργηθούν 4 κυκλώματα φωτισμού τα οποία θα τροφοδοτούν αντίστοιχα φωτιστικά ισχύος 500W έκαστο. Ο υπολογισμός της αναγκαίας διατομής πρόκειται να γίνει βάσει της πτώσης τάσης καθώς η θερμική φόρτιση είναι πολύ μικρή (2,2A). Ο υπολογισμός γίνεται βάσει του παρακάτω τύπου:

$$A = \frac{2lP}{U^2} \frac{100}{ke} \quad (3)$$

Όπου l το μήκος καλωδίου (χειρίστη περίπτωση 100 μέτρα), P η ισχύς, U η τάση, k η ειδική αγωγιμότητα του χαλκού και ε (%) η επιτρεπόμενη πτώση τάσης, η μέγιστη τιμή της οποίας θεωρείται 3%.

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι η αναγκαία διατομή καλωδίου είναι 1,12mm² και κατά συνέπεια αρκεί η χρήση ενός κοινού καλωδίου ΝΥΥ 3x1,5mm². Ωστόσο, για περαιτέρω περιορισμό της πτώσης τάσης και των σχετικών απωλειών επιλέγεται καλώδιο **ΝΥΥ 3x2,5mm²**. Για τη συγκεκριμένη διατομή προκύπτει ότι η πτώση τάσης είναι 1,35%.

Για τον υπολογισμό της διατομής των καλωδίων τροφοδοσίας των κινητήρων των δύο tracker, αυτός πρόκειται να γίνει βάσει και πάλι της πτώσης τάσης καθώς, το θερμικό φορτίο για κινητήρα 1hp με τριφασική τροφοδότηση είναι αρκετά μικρό (της τάξης των 1,5A).

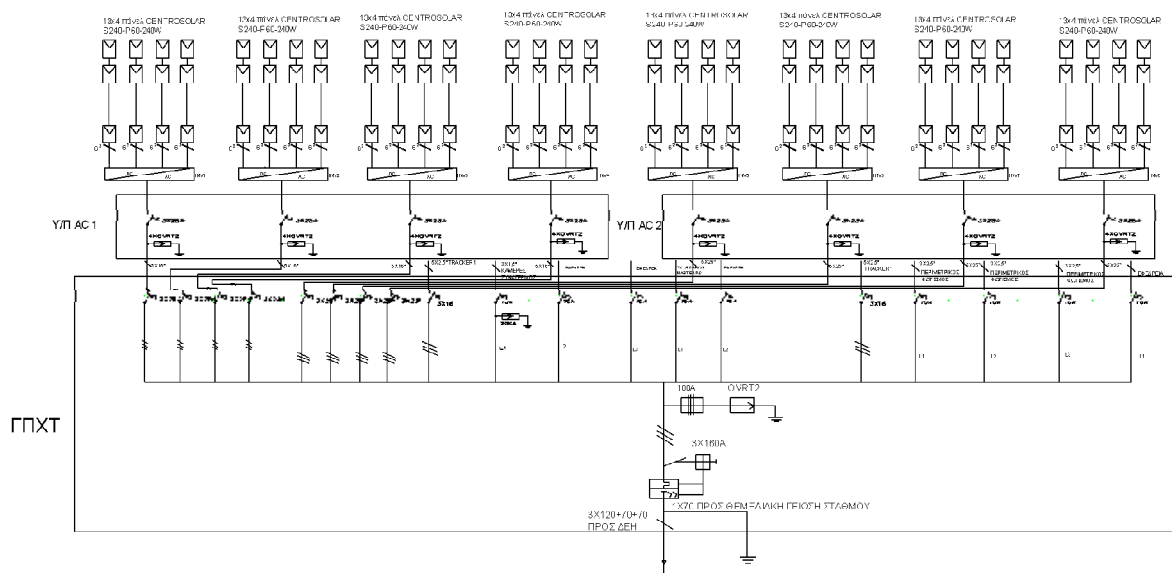
Η μέγιστη απόσταση καλωδίου θεωρείται 80 μέτρα και η μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσης είναι 3%. Έτσι, με βάση τη σχέση (2) προκύπτει ότι η ελάχιστη διατομή καλωδίου είναι 0,22mm². Έτσι αρκεί να χρησιμοποιηθεί η ελάχιστη δυνατή από τις προδιαγραφές που είναι η διατομή των 1,5mm². Ωστόσο, για περαιτέρω περιορισμό των απωλειών κατά την κίνηση του tracker επιλέγεται καλώδιο τύπου **ΝΥΥ 3x4mm²**. Για το συγκεκριμένο καλώδιο, η πτώση τάσης και η σχετική απώλεια ισχύος είναι σχεδόν μηδενική.

Αναφορικά με την τροφοδοσία ισχύος των καμερών, αυτή είναι πολύ μικρή και επιλέγεται η χρήση ενός κυκλώματος με καλώδιο τύπου **ΝΥΥ 3x1,5mm²**. Στο Γενικό Πίνακα Χαμηλής Τάσης (ΓΠΧΤ) επιλέγεται ακόμη η δημιουργία δύο γραμμών με καλώδια τύπου

ΝΥΥ 3x2,5mm² από τις οποίες η πρώτη θα χρησιμοποιηθεί ως γραμμή για γενικές καταναλώσεις του οικίσκου (πρίζες, φωτιστικά κτλ) και η δεύτερη ως εφεδρική γραμμή για μελλοντική πιθανή τοποθέτηση κλιματιστικού

5.2.6. Γείωση Σταθμού

Για τον περιορισμό της αντίστασης γείωσης, πρόκειται να γίνει περιμετρική γείωση του σταθμού με ταινία γειώσεως 30x3mm. Η περίφραξη του γηπέδου πρόκειται να ενωθεί με την ταινία γείωσης ανά 25 μέτρα με αγωγό χαλκού 16mm². Η μεταλλική κατασκευή στήριξης των αντιστροφένων πρόκειται να γειωθεί με αγωγό χαλκού 70mm², όπως επίσης και το ISOBOX. Τέλος, στο κέντρο κάθε tracker πρόκειται να δημιουργηθεί θεμελιακή γείωση και ένωση με τα μεταλλικά μέρη με αγωγούς 70mm², σε τέσσερα (4) σημεία.



Σχήμα 8: Τυπικό Μονογραμμικό Σχέδιο Ηλεκτρικής Εγκατάστασης σε κάθε Tracker

Στο προηγούμενο Σχήμα παρουσιάζεται ένα τυπικό μονογραμμικό σχέδιο ηλεκτρολογικής εγκατάστασης. Το συγκεκριμένο σχέδιο αναφέρεται στη συνδεσμολογία ενός Tracker και παρουσιάζει επίσης όλες τις γραμμές των καλωδιώσεων και τις διατομές αυτών.

5.3 Προκοστολόγηση

Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζεται μια προκοστολόγηση των υλικών και των επί μέρους εργασιών που θα απαιτηθούν προκειμένου να κατασκευαστεί ο σταθμός ισχύος 100 KWp. Το έργο θα προδιαγραφεί με χρήση Trackers ΝΕΔΑ και οι τιμές προέκυψαν

κατόπιν έρευνας αγοράς αλλά και κατόπιν ευγενικής παραχώρησης κάποιων ενδεικτικών κοστολογίων από την ΝΕΔΑ Α.Ε.

Πίνακας 8: Κοστολόγηση Έργου

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΙΔΟΥΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ (€)
1. ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ			
1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο 240 Wp Τύπος : S240 P60 Professional Κατασκευαστής : CENTROSOLAR Γερμανίας	832	€ 272	€ 226.304,00
1.2 Μετατροπέας DC/AC (Inverter) 12000 W AC Τύπος: IG PLUS 150 Κατασκευαστής: FRONIUS Αυστρίας	16	€ 2.700,00	€ 43.200,00
1.3 Ηλεκτρονικό σύστημα επιτήρησης σταθμού Τύπος: Datalogger Web/LAN Κατασκευαστής : FRONIUS Αυστρίας	1	€ 2.152,00	€ 2.152,00
1.4 Διαξονικοί Ηλιοστάτες ΝΕΔΑ Α.Ε. Τύπος: 1002 Κατασκευαστής : ΝΕΔΑ Α.Ε.	2	€ 60.000,00	€ 120.000,00
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (ΧΩΡΙΣ ΦΠΑ):			€ 391.656,00
2. ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ			
2.1 Ηλεκτρολογικοί Πίνακες, Καλωδιώσεις, Γειώσεις, και λοιπό υλικό	Κατ' αποκοπή	€ 30.000,00	€ 30.000,00
2.2 Σετ Αντικεραυνικής προστασίας,	Κατ' αποκοπή	€ 4.500,00	€ 4.500,00
2.3 Σύστημα συναγερμού με παρελκόμενα	1	€ 3.500,00	€ 3.500,00
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ (ΧΩΡΙΣ ΦΠΑ):			€ 38.000,00
3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ, ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ			
3.1 Εργασίες Εγκατάστασης Μηχανολογικού Εξοπλισμού			
3.2 Εργασίες Εγκατάστασης Λοιπού Εξοπλισμού			
3.3 Ηλεκτρολογικό Υλικό Εγκατάστασης			
3.4 Μεταφορικά Έξοδα			
3.5 Εκφορτώσεις και Μετακινήσεις Εξοπλισμού			
3.6 Έξοδα Αποθήκευσης	Κατ' αποκοπή	€ 27.000,00	€ 27.000,00
3.7 Ασφάλιση του Χώρου Εγκατάστασης κατά τη Κατασκευή			
3.8 Ασφάλιση Εξοπλισμού κατά τη Κατασκευή			
3.9 Υπηρεσίες Μηχανικού Ασφαλείας του Έργου			
3.10 Υπηρεσίες Υπευθύνου Εγκατάστασης (Αντίκλητος με ΔΕΗ)			
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΧΩΡΙΣ ΦΠΑ):			€ 27.000,00
4. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ			
4.1 Διαμόρφωση Περιβάλλοντος Χώρου			
4.2 Κατασκευή Περιφράξης Λειτουργικού Χώρου Εγκατάστασης τύπου NATO	Κατ' αποκοπή	€ 18.000,00	€ 18.000,00
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ (ΧΩΡΙΣ ΦΠΑ):			€ 18.000,00

5. ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΔΕΗ)			
Εργασίες Σύνδεσης με το Δίκτυο της ΔΕΗ (Όροι Σύνδεσης)	1	€ 25.000,00	€ 25.000,00
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ (ΧΩΡΙΣ ΦΠΑ):			€ 25.000,00
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ:			€ 499.656,00

5.4 Χρηματοδοτικό Σχήμα και Οικονομική Ανάλυση

Με βάση έρευνα αναφορικά με τις υφιστάμενες χρηματοδοτικές λύσεις της αγοράς προέκυψε το συμπέρασμα πως αφενός δεν υπάρχει κάποια μορφή επιδότησης Φ/Β σταθμών δεδομένου ότι ο νέος Αναπτυξιακός Νόμος δεν προβλέπει την υπαγωγή επενδύσεων που αποσκοπούν στη πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα.

Η μόνη λύση χρηματοδότησης αφορά τη χρηματοδότηση μέσω τραπεζικού δανεισμού αλλά και πάλι με την ίδια συμμετοχή του υποψήφιου επενδυτή. Αυτή τη στιγμή τα τραπεζικά χρηματοδοτικά σχήματα είναι της μορφής 75%-25% δηλαδή 25% ίδια συμμετοχή και 75% δανεισμός. Είναι σημαντικό ότι στο 25% της ίδιας συμμετοχής μπορεί να υπαχθεί και το κόστος σύνδεσης του Φ/Β Σταθμού με τη ΔΕΗ βάση της προσφοράς των όρων σύνδεσης.

Με βάση τα παραπάνω θα εξετάσουμε πρώτα το σενάριο χρηματοδότησης της εγκατάστασης με τραπεζικό δανεισμό. Το υποψήφιο χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης είναι το παρακάτω.

Πίνακας 9: Χρηματοδοτικό Σχήμα Επένδυσης

Ιδία Συμμετοχή (25%)	€ 124.914,00
Τραπεζικός Δανεισμός (75%)	€ 374.742,00
ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ:	€ 499.656.00

Βήμα βήμα στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα χαρακτηριστικά του τραπεζικού δανεισμού.

Τα χαρακτηριστικά του μέσου τραπεζικού δανεισμού στην αγορά αυτή τη στιγμή είναι ως εξής:

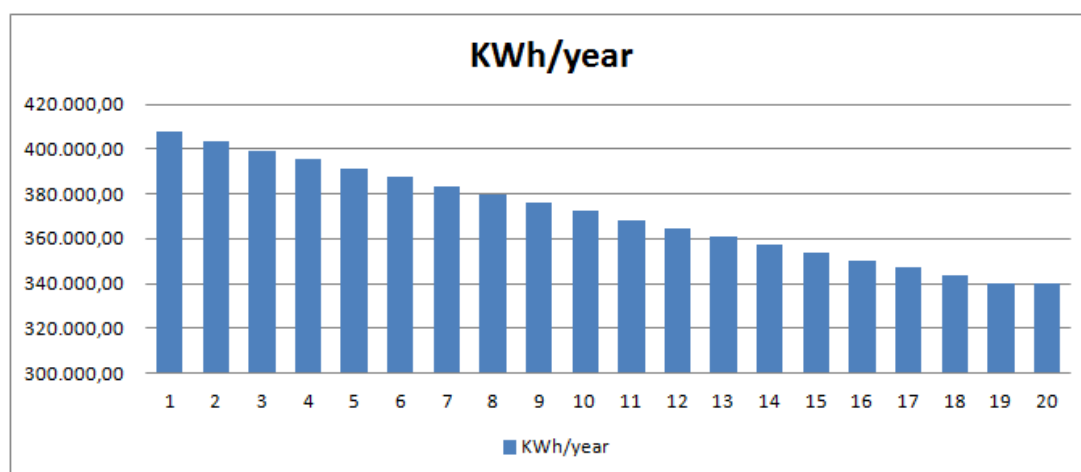
Επιτόκιο	8,5%
Διάρκεια Δανείου	12 έτη
Τρόπος Εξόφλησης	Ισόποσες 3μηνες Τοκοχρεολυτικές Δόσεις
Περίοδος Χάριτος	0 έτη

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα για ποσό δανεισμού ύψους € 374.742 το πλάνο δόσεων και αποπληρωμής κεφαλαίου θα είναι ως εξής:

3 ΜΗΝΑ ΠΛΗΡΩΜΩΝ	ΤΟΚΟΣ	ΧΡΕΟΛΥΣΙΟ	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
1	15.926,54	2.499,02	18.425,55	372.242,98
2	15.820,33	2.605,23	18.425,55	369.637,75
3	15.709,60	2.715,95	18.425,55	366.921,81
4	15.594,18	2.831,38	18.425,55	364.090,43
5	15.473,84	2.951,71	18.425,55	361.138,72
6	15.348,40	3.077,16	18.425,55	358.061,56
7	15.217,62	3.207,94	18.425,55	354.853,62
8	15.081,28	3.344,27	18.425,55	351.509,35
9	14.939,15	3.486,41	18.425,55	348.022,94
10	14.790,98	3.634,58	18.425,55	344.388,36
11	14.636,51	3.789,05	18.425,55	340.599,32
12	14.475,47	3.950,08	18.425,55	336.649,23
13	14.307,59	4.117,96	18.425,55	332.531,27
14	14.132,58	4.292,97	18.425,55	328.238,30
15	13.950,13	4.475,43	18.425,55	323.762,87
16	13.759,92	4.665,63	18.425,55	319.097,24
17	13.561,63	4.863,92	18.425,55	314.233,32
18	13.354,92	5.070,64	18.425,55	309.162,68
19	13.139,41	5.286,14	18.425,55	303.876,54
20	12.914,75	5.510,80	18.425,55	298.365,74
21	12.680,54	5.745,01	18.425,55	292.620,73
22	12.436,38	5.989,17	18.425,55	286.631,56

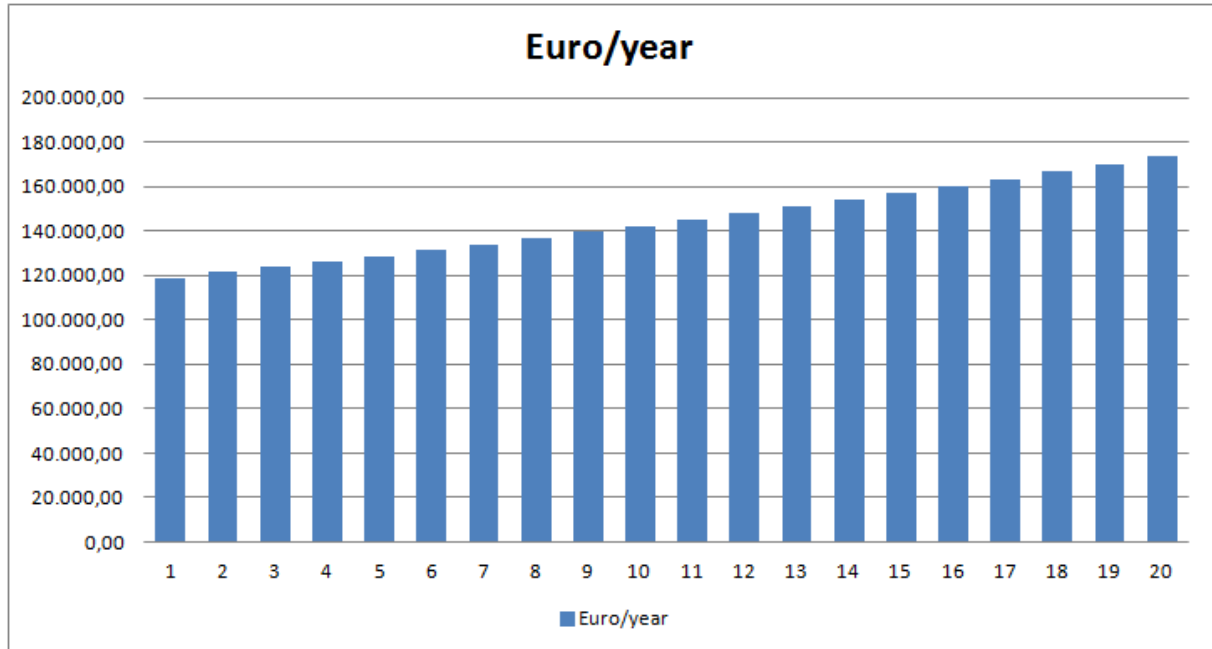
23	12.181,84	6.243,71	18.425,55	280.387,85
24	11.916,48	6.509,07	18.425,55	273.878,78
25	11.639,85	6.785,71	18.425,55	267.093,07
26	11.351,46	7.074,10	18.425,55	260.018,97
27	11.050,81	7.374,75	18.425,55	252.644,22
28	10.737,38	7.688,17	18.425,55	244.956,05
29	10.410,63	8.014,92	18.425,55	236.941,13
30	10.070,00	8.355,56	18.425,55	228.585,57
31	9.714,89	8.710,67	18.425,55	219.874,91
32	9.344,68	9.080,87	18.425,55	210.794,04
33	8.958,75	9.466,81	18.425,55	201.327,23
34	8.556,41	9.869,15	18.425,55	191.458,08
35	8.136,97	10.288,59	18.425,55	181.169,50
36	7.699,70	10.725,85	18.425,55	170.443,65
37	7.243,86	11.181,70	18.425,55	159.261,95
38	6.768,63	11.656,92	18.425,55	147.605,03
39	6.273,21	12.152,34	18.425,55	135.452,69
40	5.756,74	12.668,81	18.425,55	122.783,87
ΣΥΝΟΛΟ	485.064,02	251.958,13	737.022,14	

Αναφορικά με τις προβλεπόμενε ετήσιες παραγωγές λαμβάνοντας υπόψη ετήσια μείωση της τάξεως του 1% για τα πάνελ τότε οι παραγωγές στη διάρκεια της 20 ετίας έχουν ως εξής:



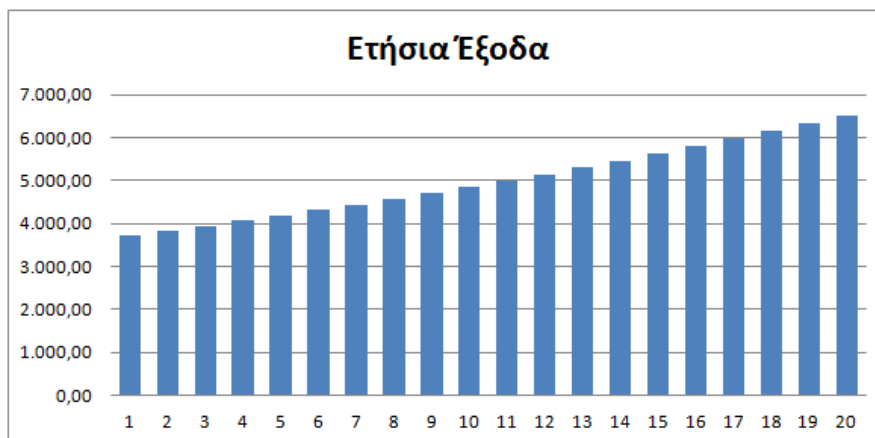
Σχήμα 9: Προβλεπόμενες Ετήσιες Παραγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας για 20 έτη

Ο προβλεπόμενος κύκλος εργασιών στη διάρκεια της 20 ετίας λαμβάνοντας υπόψη ετήσια αύξηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας 2% έχει ως εξής.



Σχήμα 10: Κύκλος Εργασιών

Θα πρέπει όμως να ληφθούν υπόψη και τα διάφορα έξοδα τα οποία προκύπτουν από μια τέτοια επένδυση. Τα έξοδα αυτά είναι α) Το ετήσιο κόστος συντήρησης (περίπου 2.000), β) το κόστος ασφάλισης παγίων ίσο με 0,4% και γ) ο Φόρος εισοδήματος (20%). Επιπλέον θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το κόστος συντήρησης αυξάνεται κάθε χρόνο 3% και το κόστος ασφάλισης επίσης 3% ετησίως. Το συνολικό αυτό κόστος σε διάρκεια 20 ετών έχει ως εξής:



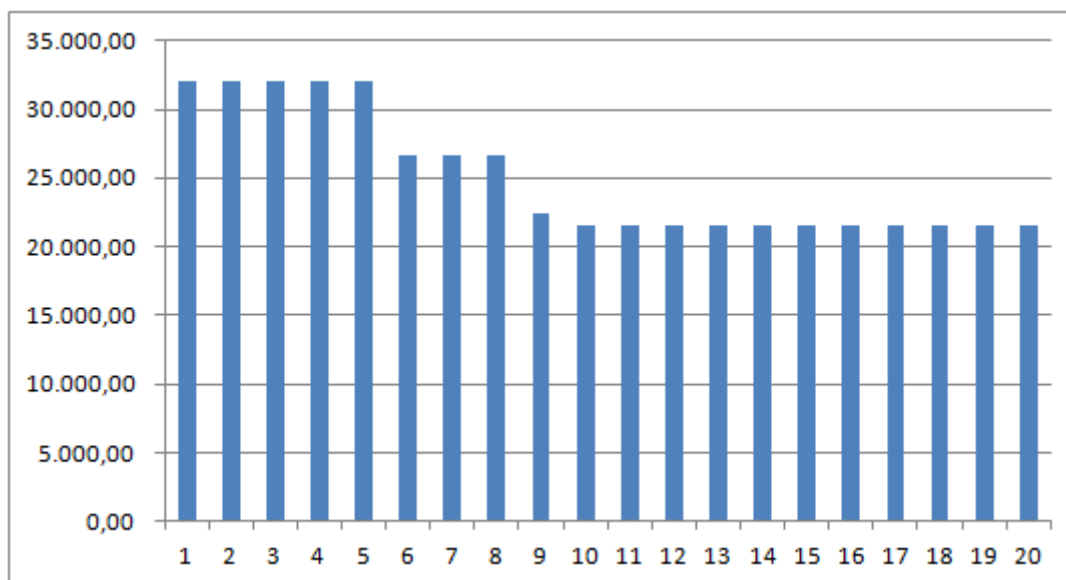
Σχήμα 11: Ετήσια Έξοδα Συντήρησης και Ασφάλισης για τη Διάρκεια Ζωής του Έργου

Οι αποσβέσεις βάση των ποσοστών απόσβεσης που ορίζονται από τους αντίστοιχους πίνακες του taxisheaven (<http://www.taxheaven.gr/laws/circular/view/id/6708>) είναι ως εξής:

Πίνακας 10: Αποσβέσεις Δαπανών

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	5%	391.656,00
ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ	12%	25.000,00
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ	12%	18.000,00
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	5%	38.000,00
ΜΕΤ & ΕΓΚ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΛΟΙΠΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	20%	27.000,00

Συνεπώς οι αποσβέσεις σε ετήσια βάση για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου έχουν ως εξής:



Σχήμα 12: Ετήσιες Αποσβέσεις

Με βάση όλα τα παραπάνω μπορούμε πλέον να συντάξουμε τον Πίνακα Λογαριασμού Εκμετάλλευσης και των αποτελεσμάτων χρήσεως σε ετήσια βάση για όλη τη διάρκεια του δανείου.

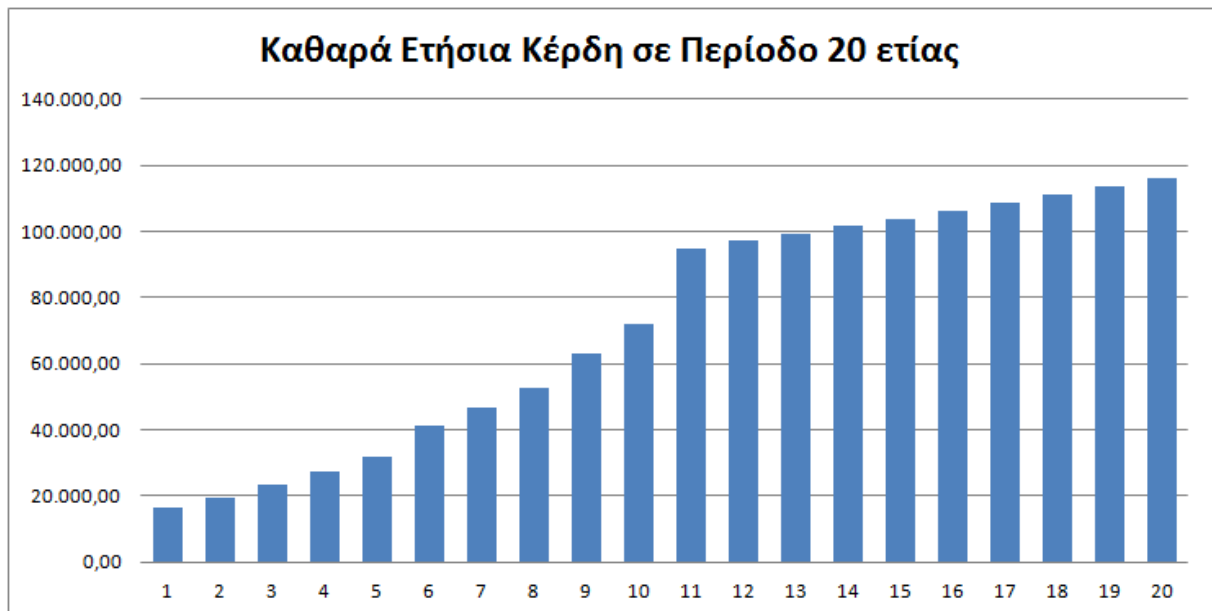
Το καθαρό αποτέλεσμα για κάθε έτος εξάγεται από τον τύπο:

Καθαρό Αποτέλεσμα = Ετήσιος Κύκλος Εργασιών – Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος (Συντήρηση+Ασφάλιση) – Τόκοι Επένδυσης του Έτους – Ετήσια Απόσβεση = **Ετήσιο Αποτέλεσμα προς Φόρων.**

Ο φόρος εισοδήματος είναι αυτή τη στιγμή 20% άρα το καθαρό ετήσιο αποτέλεσμα είναι:

Ετήσιο Αποτέλεσμα προ Φόρων – (Ετήσιο Αποτέλεσμα προ Φόρων * 20%) = Ετήσιο Καθαρό Αποτέλεσμα.

Σχηματικά αυτό υπολογίστηκε ως εξής:



Σχήμα 13: Καθαρά Ετήσια Αποτελέσματα Χρήσης

Επίσης η Καθαρή Παρούσα Αξία της Επένδυσης υπολογίστηκε σε € 1.344.880 με συντελεστή εσωτερικής απόδοσης 24,62%,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναμφισβήτητα μια επένδυση τέτοιας κλίμακας χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα. Βέβαια τα πλεονεκτήματα αυτά είναι κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Καταρχήν η επιλογή της περιοχής παίζει ένα πολύ σπουδαίο ρόλο στη βιωσιμότητα της επένδυσης όταν μιλάει κανείς για επενδύσεις σε Φ/Β πάρκα διασυνδεδεμένα με το Δίκτυο της ΔΕΗ.

Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης δεν θα έλεγε κανείς πως αντιπροσωπεύει το μέσο προφίλ των επενδυτικών ευκαιριών και πλεονεκτημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα. Καταρχήν επιλέχθηκε η περιοχή της Καλαμάτας, μιας περιοχής με μεγάλη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στην οποία οι επενδύσεις τέτοιου τύπου έχουν μια επιπλέον προστιθέμενη αξία. Κατά δεύτερον επιλέχθηκε η τεχνολογία Διαξονικών Ηλιοστατών η οποία σύμφωνα με τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης ηλεκτρικών παραγωγών παρουσιάζει αύξηση 30% έναντι των σταθερών βάσεων στήριξης. Τρίτον επιλέχθηκε η μελέτη συστήματος παραγωγής >100 kWp το οποίο μπορεί να υπόκειται σε χαμηλότερη τιμή πώλησης αλλά τα ποσοτικά δεδομένα της παραγωγής αντισταθμίζουν σε βάθος χρόνου το μειονέκτημα αυτό.

Παρόλο που τα αποτελέσματα που αναλύσαμε στην αξιολόγηση της επενδυτικής πρότασης είναι πολύ θετικά, οι επενδύσεις στα φ/β συστήματα δεν παύουν να κρύβουν παράλληλα και κινδύνους. Για τον λόγο αυτό καλό θα ήταν να αναφερθούν, ώστε ο επενδυτής να μπορεί να συνυπολογίσει και το πρόσθετο κόστος αυτής της επενδυτικής πρότασης:

- Δεν είναι δεσμευτικό ότι θα αυξάνεται η τιμή πώλησης κάθε χρόνο της τάξεως του 2% όπως έχει υπολογιστεί στο χρηματοδοτικό πλάνο της πρότασης. Ο Νόμος 3468/06 αναφέρει ότι η ετήσια αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης είναι το 80% της τιμής του καταναλωτή (επιτόκιο τράπεζας Ελλάδας). Αν αυτή καθοριστεί σε χαμηλά επίπεδα τότε αλλάζει το κέντρο βάρους της επένδυσης και χρειάζονται εκ νέου οικονομετρικές αναλύσεις.
- Η αστάθεια στις πληρωμές από τον ΔΕΣΜΗΕ. Ήδη αυτή τη στιγμή οι πληρωμές παρουσιάζουν σημαντική υστέρηση με αποτέλεσμα να είναι οι περισσότεροι επενδυτές απλήρωτοι για 2-3 μήνες.

- Μια επένδυση αξιολογείται ως προς τη βιωσιμότητά της και την ελκυστικότητά αναλόγως του ευρύτερου οικονομικού περιβάλλοντος και των εναλλακτικών επενδυτικών ευκαιριών που παρουσιάζονται (Ευκαιριακό κόστος επένδυσης). Παρόλο που αυτή τη στιγμή δεν υπάρχουν άλλες επενδυτικές ευκαιρίες, εντούτοις ο κίνδυνος που διατρέχει η εθνική οικονομία και η ρευστότητα που τη χαρακτηρίζει αποτελούν ικανούς παράγοντες αποτροπής.
- Η απουσία πλέον κρατικών ενισχύσεων και τα ολοένα και συνεχώς αυξανόμενα επιτόκια δανεισμού καθιστούν για τους μικροκαταθέτες δυνητικούς επενδυτές αποτρεπτικούς παράγοντες.

Τέλος, όπως κάθε επένδυση ενέχει σημαντικά ρίσκα έτσι και αυτού του τύπου έχουν τα θετικά και τα αρνητικά τους στοιχεία. Παρόλα αυτά αναλύσεις τέτοιου τύπου όπως της παρούσας πτυχιακής σε συνδυασμό με πιο εξελιγμένα οικονομομετρικά μοντέλα πρόβλεψης και λήψης επενδυτικών αποφάσεων είναι στη σωστή κατεύθυνση για την αναγνώριση όλου του φάσματος των δυνατοτήτων και ευκαιριών που παρουσιάζονται κάθε φορά στο χώρο και στο χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Antonio Luque and Steven Hegedus (2002). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*,
2. Hummel R. E., (2001). *Electronic Properties of Materials*, 3rd ed., Springer, New York,
3. Markvart T., (2001). *Solar Electricity*, John Willey & Sons, LTD, Second edition.
4. Mohan N. (2003)., *First Course on Power Electronics and Drivers*, Professor of Power Electronics and Systems, University of Minnesota, 2003 Edition.
5. REN21. Renewables 2007, *Global Status Report*. (<http://www.ren21.net>), 2007
6. Δούκας Δ., (2009). *Εφαρμογές ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στοιχείων σε κτίρια*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
7. Ζερβός Α., (2005). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2005.
8. Καλδέλλης Ι., (1999). *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*, εκδ. Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 1999.
9. Καραγκάκης Κ., (1992). *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα,
10. Κοιλιάκος Σ., (2010). *Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
11. Κτενίδης (2008). *Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα.
12. Μπουτέτσιου Ε., *Ενεργειακή Αξιοποίηση Δασικής Βιομάζας: Η Περίπτωση του Μετσόβου*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΔΠΜΣ ΕΜΠ: «Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών», Αθήνα, 2010.
13. Παπαϊωάννου Δ., (1996). *Πολιτικές αντιμετώπισης του φαινομένου του θερμοκηπίου*, Ενέργεια και Περιβάλλον στη Βιομηχανική και Μεταβιομηχανική Κοινωνία, εκδ. Νέα Οικολογία-ΓΓΝΓ, Αθήνα, σ.σ.115-124
14. Στυλιανοπούλου Κ., και Χατζηρόδου Ε., (2009). *Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Ελληνικό Ηλεκτρικό Δίκτυο*. Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Δ. Μακεδονίας, Τμήμα Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης, Κοζάνη.
15. Φραγκιαδάκης Ι.Ε., (2006). *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, δεύτερη έκδοση, Θεσσαλονίκη.