

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΠΟΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ : ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ : ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ

ΜΑΡΙΝΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΜ:6783

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει μια αναλυτική μελέτη εφαρμογής σχεδίασης και ανάλυσης φ/β πάρκου με ισχύ 100 kwp.

Ως προς την δομή της η εργασία αυτή περιλαμβάνει 3 ενότητες:

- 1) Χωροθέτηση του φ/β πάρκου για την μέγιστη μείωση των απωλειών του
- 2) Ιδιαιτερότητα και συνδεσμολογία των inverter
- 3) Τεχνικά χαρακτηριστικά, με σκοπό τις μεθόδους σύνδεσης των φ/β πάνελ ανάλογα με τον τύπο του φ/β

Επίσης θα γίνει λεπτομερής ανάλυση όλων των υλικών που απαιτούνται για την λειτουργία του φωτοβολταϊκού πάρκου ,π.χ. καλωδιώσεις και συνδεσμολογία, σύνδεση γειώσεων και αντικεραυνικής προστασίας, όπως και τον τύπο γείωσης θα χρησιμοποιήσουμε.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας εικόνων.....	4
----------------------	---

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
1.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	11
1.2 Χαρακτηριστικά των ημιαγωγών :	12
1.3 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών :	12
1.4 Δημιουργία μιας επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου) :	13
1.5 Επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας :	14
Γιατί δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια; Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.	14
.....	14
<i>Εικόνα 10 : Διάγραμμα μήκους κύματος - πυκνότητα ισχύος....</i> Error! Bookmark not defined.	
Κεφάλαιο 2.....	16
2.1 Φωτοβολταϊκό Στοιχείο	16
2.2 Τύποι των φωτοβολταϊκών στοιχείων	18
2.2.1 Απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος	21
2.3 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών	21
2.4 : ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ :	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	23
3.1 Εισαγωγή	23
3.2 Αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος	23
3.3 Το φωτοβολταϊκό κελί.....	24
3.4 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	24
3.5 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων :	27
3.6 Αντιστροφεείς (Inverters)	33
3.7 Συσσωρευτές ή μπαταρίες	38
3.8 Ρυθμιστές φόρτισης.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	42
4.1 Εισαγωγή	43
4.2 Τεχνική μελέτη κατασκευής φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή της Κορινθίας.....	43
4.3 Ηλιακό Δυναμικό περιοχής	44
4.4 Επιλογή των φωτοβολταϊκών Πάνελ	45
4.5 Επιλογή ηλεκτρονικών αντιστροφέν που θα χρησιμοποιήσουμε	46
4.6 Ηλεκτρολογική μελέτη της εγκατάστασης	50
4.7 Μελέτη Χωροθέτησης του χώρου εγκατάστασης	50
4.8 Σύστημα Στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων :	52

4.9 Καλωδιώσεις.....	52
4.10 Κεντρικός πίνακας εγκατάστασης.....	54
4.10.1 Γειώσεις-Ισοδυναμικές Συνδέσεις	55
4.10.2 Εγκατάσταση Αλεξικέραυνου	55
4.10.3 Εγκατάσταση Συσκευών Αντικεραυνικής Προστασίας (Απαγωγοί Υπέρτασης).....	56
4.10.4 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Edmond Becquerel: Γάλλος φυσικός που ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	7
Εικόνα 2: Adams Grylls.....	7
Εικόνα 3: Czochralski.....	8
Εικόνα 4: Δορυφόρος Vanguard.....	8
Εικόνα 5: φαινόμενο φωτοβολταϊκού φαινομένου	11
Εικόνα 6: κρυσταλλική δομή πυριτίου (Si)	12
Εικόνα 7: Αρσένιο (As)	13
Εικόνα 8: Βόριο (B).....	13
Εικόνα 9: Επαφή P-N.....	13
Εικόνα 10: Διάγραμμα μήκους κύματος - πυκνότητα ισχύος.....	15
Εικόνα 11: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	15
Εικόνα 12: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	16
Εικόνα 13: Χαρακτηριστική Καμπύλη του φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	17
Εικόνα 14: Χαρακτηριστική I-V και $P=f(V)$	17
Εικόνα 15: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου.....	18
Εικόνα 16: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου.....	19
Εικόνα 17: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου.	19
Εικόνα 18: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου.	19

Εικόνα 19: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου.	20
Εικόνα 20: Σχέδιο υβριδικού πάνελ.....	20
Εικόνα 21:Φωτοβολταϊκό κελί.	24
Εικόνα 22: Δομή του φωτοβολταϊκού πάρκου.	26
Εικόνα 23: Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.	26
Εικόνα 24: Φωτοβολταϊκή συστοιχία.	26
Εικόνα 25: Το φωτοβολταϊκό Πάρκο	27
Εικόνα 26: Τοποθέτηση Βάσεων στήριξης με την μέθοδο της εδαφόμπτυξης.....	29
Εικόνα 27: Μέθοδος της σκυροδέτησης.....	29
Εικόνα 28: Μέθοδος της πασσαλόμπτυξης.....	30
Εικόνα 29: Βάση στήριξης με τη μέθοδο του μεταλλικού ορθοστάτη	31
Εικόνα 30: Γεωγραφικά μήκη και πλάτη περιοχών στην Ελλάδα.	33
Εικόνα 31 : Φωτοβολταϊκό σύστημα τύπου tracking	33
Εικόνα 32: Χαρακτηριστικά στοιχεία βαθμού απόδοσης ενός αντιστροφέα.....	37
Εικόνα 33: Συστοιχία συσσωρευτών φ/β συστήματος.....	39
Εικόνα 34: Διάρκεια ζωής συσσωρευτών ανάλογα με το βάθος φόρτισης ανά κύκλο.	40
Εικόνα 35: Κάτοψη περιοχής φωτοβολταϊκού πάρκου	43
Εικόνα 36: Ολική ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Κορινθίας.	44
Εικόνα 37: Άμεση ηλιακή ενέργεια στην περιοχή της Κορινθίας.....	44
Εικόνα 38: Τύπος φωτοβολταϊκού πάνελ	46
Εικόνα 39: Τύπος αντιστροφέα ABB Power Trio 27.0.....	47
Εικόνα 40: ABB Power trio 20.0.....	47
Εικόνα 41: Καμπύλη απόδοσης αντιστροφέων	49
Εικόνα 42: Καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης α μεταξύ δύο γειτονικών σειρών φ/β πλαισίων, προς την επικάλυψη του ύψους u, σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου	51
Εικόνα 43: Βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων με τη μέθοδο της εδαφόμπτυξης	52
Εικόνα 44: Καλώδιο solar 1x6mm	53
Εικόνα 45: Καλώδιο 5x10mm NYY.....	54
Εικόνα 46: Μονογραμμικό Σχέδιο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης	57

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1 : Μεταβολή της παραγόμενης ενέργειας ως προς τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. 28

Πίνακας 2 : Γεωγραφικά μήκη και πλάτη περιοχών στην Ελλάδα. Πηγή από <https://eclass.uop.gr>

..... **Error! Bookmark not defined.**



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

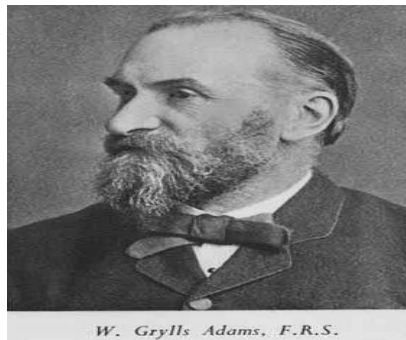
Ιστορία ανακάλυψης του φωτοβολταϊκού φαινομένου:

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντικών σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων κάνουν πλέον ποιο εφικτή την χρήση τους. Πώς φτάσαμε ως εδώ και ποιά είναι η ιστορία των φωτοβολταϊκών;

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός **Edmond Becquerel** (1820 – 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Εικόνα 1: Edmond Becquerel: Γάλλος φυσικός που ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε ενός το 1949 όταν οι **Mott** και **Schottky** ανέπτυξαν την θεωρία μιας διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια ενός Bell το 1954 από ενός **Chapin, Fuller και Pearson**. Η απόδοση του ήταν 6%, εκμετάλλευση μιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.



W. Gylls Adams, F.R.S.

Εικόνα 2: Adams Gylls

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι **Adams** (1836 – 1915) και ο φοιτητής του **Day** παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως .

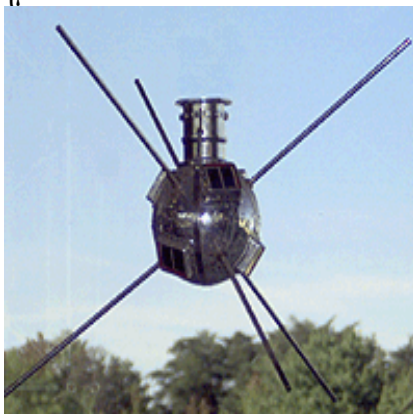


Εικόνα 3: Czochralski.

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 – 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα.

Τα πρώτα σημαντικά φωτοβολταϊκά συστήματα, Η Εξέλιξη τους, τιμές και κόστος :

Τέσσερα χρόνια μετά, το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε στον δορυφόρο Vanguard 1 ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.



Εικόνα 4: Δορυφόρος Vanguard.

Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα. Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς. Το **1962** η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την Sharp, σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242Wp. Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν λοιπόν να κάνουν την εμφάνιση ενός αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών συστημάτων για δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε

περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα **500\$** ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια , το 1970 αγγίζει τα **100\$/Watt**.

Το 1973 οι βελτιώσεις μιας μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα **50\$/Watt**. Η πρώτη εγκατάσταση PV που φτάνει τα επίπεδα του 1MW (μεγαβάτ) γίνεται στην Καλιφόρνια το **1980** από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης μιας τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual-axis trackers). Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το **1983** η παγκόσμια παραγωγή ΦΒ φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$. Το **1999** η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των ΦΒ πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MegaWatt. Το **2004** η πορεία πια είναι ασταμάτητη. Η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των ΦΒ φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της φέρνει την **τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων** στα 6,5 ευρώ/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή ΦΒ εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και μπαίνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα **1.200 MegaWatt** ΦΒ στοιχείων ενώ ο τζίρος μίας χρονιάς άγγιξε τα **6.500.000.000\$**. Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Ιαπωνία και την Γερμανία να έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Ήδη αυτές οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας.

Το μέλλον των φωτοβολταϊκών :

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διεύδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτή η καθυστέρηση οφείλεται κυρίως σε τεχνικές (και οικονομικές) δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθεια να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγικά υλικά (κρυσταλλικό πυρίτιο). Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού (κρυσταλλικού πυριτίου) είναι πολύ μεγάλος και η παραγωγή του είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα, όπου απαιτούνται υπέρογκα κεφάλαια για το κόστος του εξοπλισμού αλλά και της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Για τον λόγο αυτό άλλωστε η τάση που φαίνεται ότι θα καταλάβει ένα μεγάλο μερίδιο στην αγορά των φωτοβολταϊκών μετά από κάποια χρόνια (σε σχέση με αυτό που έχει σήμερα) είναι οι τεχνολογίες λεπτού υμεναίου (thin film) οι οποίες επιτυγχάνουν σημαντική μείωση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου (ή τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται) και συνεπώς μείωση στις τιμές των φωτοβολταϊκών.

Σε καμία περίπτωση πάντως δεν πρόκειται να αμφισβητηθούν τα πρωτεία των τεχνολογιών κρυσταλλικού πυριτίου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα εκατοντάδες εκατομμύρια ευρώ – δολάρια – γεν και γιουάν, που έχουν επενδυθεί παγκοσμίως για την κατασκευή εργοστασίων παραγωγής πολυπυριτίου (polysilicon), ράβδων και κρυσταλλικού πυριτίου φωτοβολταϊκών κυψελών και φωτοβολταϊκών πλαισίων (καθρεφτών, τζαμιών, πανέλων και άλλων). Οι προβλέψεις για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αγορά των φωτοβολταϊκών είναι ιδιαίτερα ευοίωνες, τόσο για την καθολική εξάπλωση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας παγκοσμίως, όσο και για την καθοδική πορεία στις τιμές των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Λόγοι στρέψης στην ηλιακή ενέργεια :

Την ανάγκη σε ενέργεια

Την ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος

Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου” που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (για παράδειγμα τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ.). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον.

Συμφέρει η ηλιακή ενέργεια ;

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

Πως λειτουργεί η ηλιακή ενέργεια ;

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το περιώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι αυτά που παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Σ’ αυτή την απλή δομή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

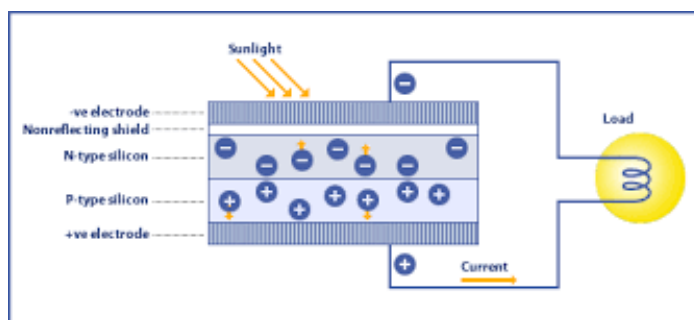
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου, στην δημιουργία επαφής του ηλεκτρικού πεδίου, πως επιδρά η ηλιακή ακτινοβολία και πως εισέρχεται αυτή η ενέργεια σε μια συστοιχία φ/β κελιών και τέλος στους περιορισμούς που δημιουργούνται στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

1.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

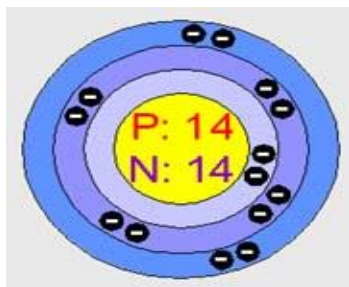
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των **ημιαγωγών** υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε λοιπόν τα πράγματα από την αρχή. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε **ανακλάται**, είτε την **διαπερνά** (διαπερατότητα) είτε **απορροφάτε** από το υλικό μιας επιφάνειας, τότε η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενός ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (**πακέτα ενέργειας**) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι **ημιαγωγοί** και σε αυτά οφείλεται η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συμβεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες; 1) τους **αγωγούς** του ηλεκτρισμού, 2) στους **μονωτές** και 3) στους **ημιαγωγούς**. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.



Εικόνα 5: φαινόμενο φωτοβολταϊκού φαινομένου

1.2 Χαρακτηριστικά των ημιαγωγών :

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το κάνει διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην **εξωτερική του στοιβάδα** (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το **πυρίτιο** (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.

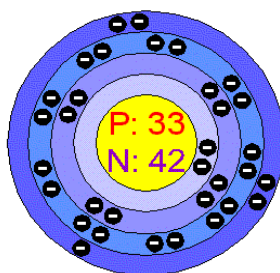


Εικόνα 6: κρυσταλλική δομή πυριτίου (Si)

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι «γενικά» συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους. Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και **κρυσταλλική δομή**. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά. Στην κρυσταλλική του μορφή το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά που έχει ένας μονωτής, αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

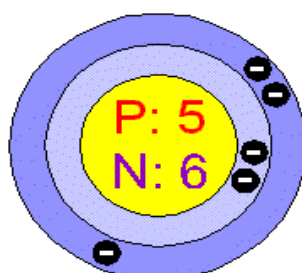
1.3 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών :

Στις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο αποκτά την ενέργεια του με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n). Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα για παράδειγμα το Αρσενικό (As).



Εικόνα 7: Αρσένιο (As)

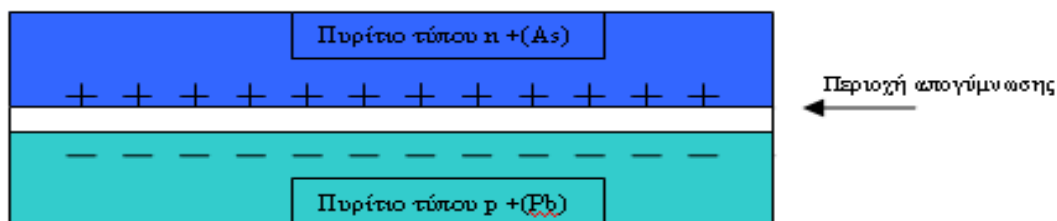
Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμιξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού π.χ. το **βόριο (B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



Εικόνα 8: Βόριο (B)

1.4 Δημιουργία μιας επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου) :

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια διόδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση.



Εικόνα 9: Επαφή P-N

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

1.5 Επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας :

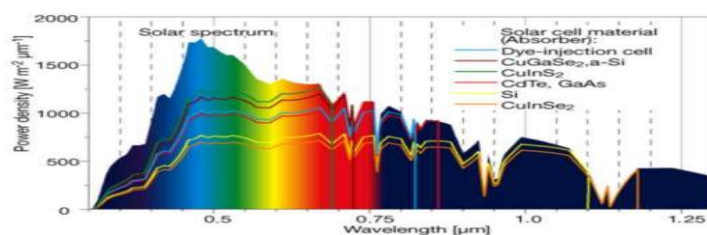
Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φ/β κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου **n** και χτυπούν τα άτομα μιας περιοχής τύπου **p**. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου **p** αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή μιας διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της περιοχής.

Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα μιας περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι μιας επαφής **n** πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπου ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος μιας επαφής **n** και στο κάτω μιας επαφής **p** και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού π.χ. το **βόριο (B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

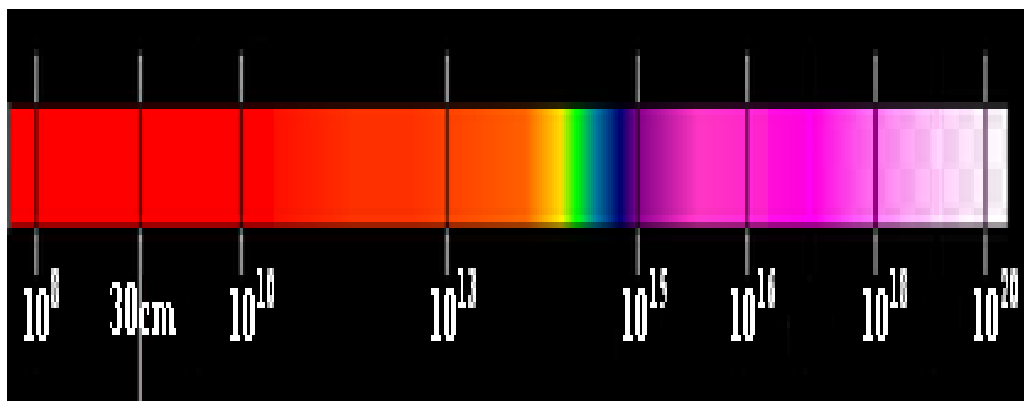
1.6 Περιορισμοί στην απόδοση των φ/β συστημάτων :

Γιατί δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια; Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.



Εικόνα 10: Διάγραμμα μήκους κύματος - πυκνότητα ισχύος

Έτσι λοιπόν ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό.



Εικόνα 11: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

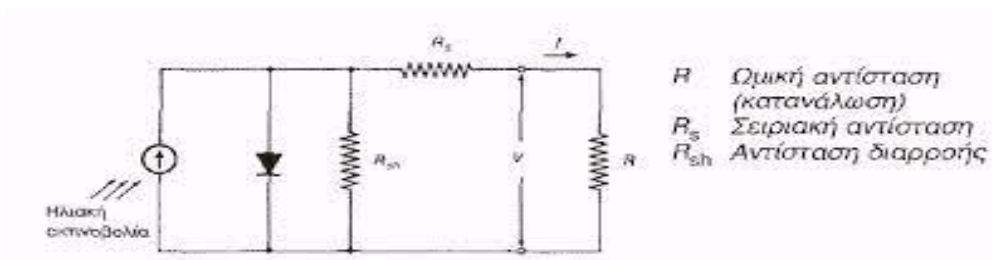
Περιοχή του φάσματος	Περιοχή συχνοτήτων	Ενέργεια φωτονίων
<u>Ραδιοκύματα</u>	0-300 <u>MHz</u>	0-10-5 <u>eV</u>
<u>Μικροκύματα</u>	300 <u>MHz</u> – 300 <u>GHz</u>	10-5 – 10-3 <u>eV</u>
<u>υπέρυθρη ακτινοβολία</u>	300 <u>GHz</u> – 400 <u>THz</u>	10-3 – 1,6 <u>eV</u>
<u>ορατή ακτινοβολία</u>	400-800 <u>THz</u>	1,6 – 3,2 <u>eV</u>
<u>υπεριώδης ακτινοβολία</u>	800 <u>THz</u> – 3 · 10 ¹⁷ <u>Hz</u>	3 <u>eV</u> – 2000 <u>eV</u>
<u>ακτίνες X</u>	3 · 10 ¹⁷ <u>Hz</u> – 5 · 10 ¹⁹ <u>Hz</u>	1200 <u>eV</u> – 2,4 · 10 ⁵ <u>eV</u>
<u>ακτίνες γ</u>	5 · 10 ¹⁹ <u>Hz</u> – 3 · 10 ²² <u>Hz</u>	10 ⁵ <u>eV</u> – 10 ⁷ <u>eV</u>
<u>Κοσμικές ακτίνες</u>	3 · 10 ²² <u>Hz</u> -	10 ⁷ <u>eV</u> -

Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

Κεφάλαιο 2

2.1 Φωτοβολταϊκό Στοιχείο

Φωτοβολταϊκό στοιχείο ονομάζεται το στοιχείο το οποίο δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, τότε έχει την δυνατότητα πηγής ηλεκτρικού ρεύματος. (PV Cell = photovoltaic cell = φωτοβολταϊκό κελί). Το ρεύμα που παράγεται από την πηγή ονομάζεται φωτόρευμα, το οποίο είναι ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο [W/m^2] και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών που περιέχονται μέσα σε αυτό. Μόνο ένα μικρό μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω στο στοιχείο είναι αξιοποιήσιμη.

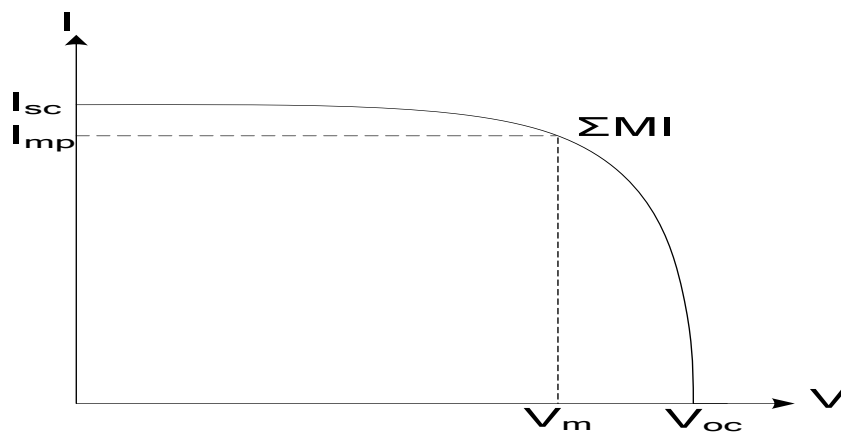


Εικόνα 12: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Όπου R_s είναι η σειριακή αντίσταση η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από 5 Ohm και R_{sh} είναι η αντίσταση διαρροής η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 500 Ohm.

Χαρακτηριστική Καμπύλη του φωτοβολταϊκού στοιχείου :

Είναι πάρα πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ότι τα χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου διαφέρουν από μια απλή δίοδο.

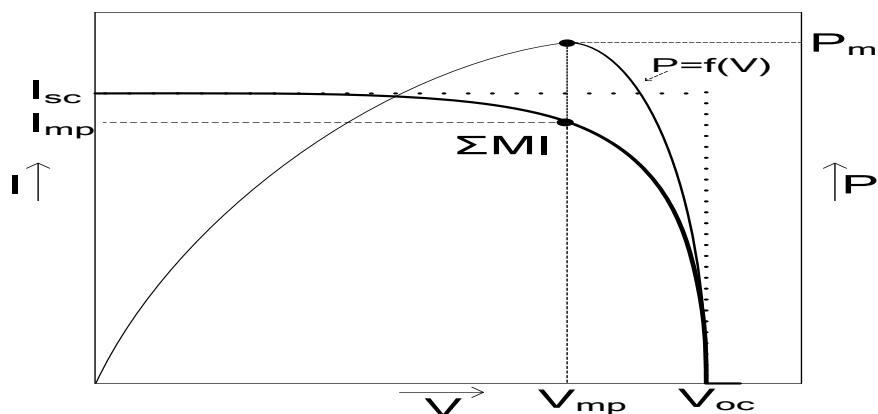


Εικόνα 13: Χαρακτηριστική Καμπύλη του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Στην καμπύλη αυτή εντοπίζουμε τέσσερα βασικά σημεία:

- το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , (για $R=0$)
- την τάση ανοιχτού κύκλου, V_{oc} , (για $R=\infty$)
- την τάση μέγιστης ισχύος, V_{mp}
- το ρεύμα μέγιστης ισχύος, I_{mp} .

Η τάση και το ρεύμα μέγιστης ισχύος, V_{mp} και I_{mp} είναι οι τιμές της τάσης και του ρεύματος φορτίου που αντιστοιχούν στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ P_m από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το σημείο που ορίζεται από τα δύο αυτά μεγέθη ονομάζεται Σημείο Μέγιστης Ισχύος, ΣΜΙ (Maximum Power Point-MPP). Είναι προφανές ότι για την αποδοτικότερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φωτοβολταϊκού στοιχείου θα πρέπει να προσαρμόσουμε την τιμή της αντίστασης που επιθυμούμε να συνδέσουμε στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ώστε η τάση και το ρεύμα σε αυτή να αντιστοιχούν στο ΣΜΙ. Αυτό πραγματοποιείται με ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις, γνωστές ως διατάξεις παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Trackers).



Εικόνα 14: Χαρακτηριστική I-V και $P=f(V)$

Χαρακτηριστική I-V και $P=f(V)$:

Το παραλληλόγραμμο που σχηματίζεται στο σχήμα της καμπύλης I-V με πλευρές I_{mp} και V_{mp} έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Το πηλίκο του εμβαδού αυτού προς το εμβαδόν ενός άλλου παραλληλόγραμμου με πλευρές I_{sc} και V_{oc} που περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ως πηγή σταθερού ρεύματος, λέγεται παράγοντας πλήρωσης FF (Fill Factor):

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

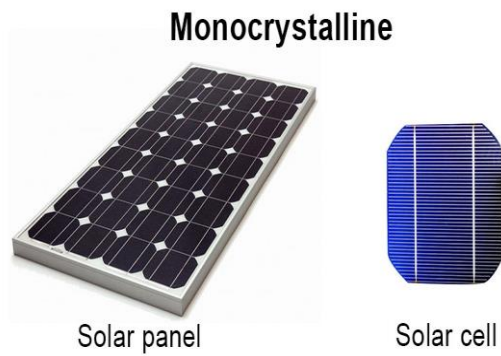
2.2 Τύποι των φωτοβολταϊκών στοιχείων

- **Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) :**

Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (περίπου 300μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Η απόδοσή του είναι 13-16% και η απαιτούμενη επιφάνεια για 1kWp είναι 7-8 m². Πλεονέκτημά της η λίγο μεγαλύτερη απόδοση (στο ίδιο εμβαδό μπορούν να τοποθετηθούν σχετικά μεγαλύτερη ισχύς σε σύγκριση με τα πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου) και συνήθως χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει πρόβλημα χώρου. Αν δεν υπάρχει πρόβλημα χώρου δεν υπάρχει κανένα κέρδος από τη χρήση της. Αποτελεί ξεπερασμένη άποψη (η οποία εδράζεται σε δεδομένα της προηγούμενης δεκαετίας) ότι τα μονοκρυσταλλικά πάνελ είναι καλύτερα (το 2005 όντως ήταν καλύτερα).



Εικόνα 15: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 16: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

- Φωτοβολταϊκά πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου :

Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια τους διακρίνονται μονοκρυσταλλικές περιοχές. Η απόδοση είναι περίπου 12.5-15.5% και απαιτούνται 8-9 m² για 1kWp (συνεπώς για την ίδια ισχύ απαιτείται λίγο μεγαλύτερη επιφάνεια σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικού). Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής πάχους 10-50μm. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες.



Εικόνα 17: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 18: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

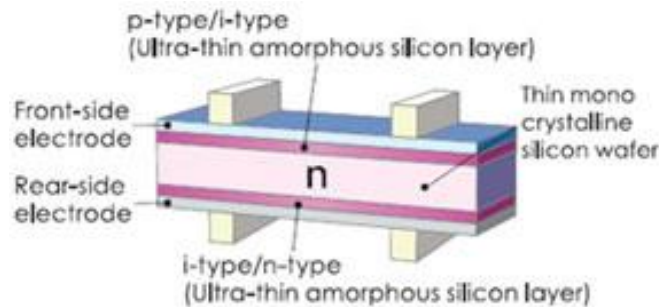


Εικόνα 19: Παραδείγματα φωτοβολταϊκών πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

- Φωτοβολταϊκά πάνελ Άμορφου πυριτίου :

Το μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αρκεί ένα στρώμα πάχους λίγων μμ για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 6-10%. (Δε χρησιμοποιείται σε στέγες ή ταράτσες καθώς υπάρχει πρόβλημα χώρου).

- Φωτοβολταϊκά πάνελ υβριδικά υψηλής απόδοσης :



Εικόνα 20: Σχέδιο υβριδικού πάνελ.

Τα πλαίσια με υβριδική τεχνολογία έχουν λάβει σημαντικό μερίδιο της αγοράς τα τελευταία χρόνια. Αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καλυμμένο από μια λεπτή στρώση άμορφου πυριτίου.

Πλεονέκτημα αποτελεί η ιδιαίτερη μεγάλη απόδοση (+18%), χαρακτηριστικό το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο ίδιο το εμβαδό του να τοποθετείται μεγαλύτερη ισχύ. Το ισχυρότερο θετικό χαρακτηριστικό του είναι ο χαμηλός θερμοκρασιακός συντελεστής σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πλαίσια. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης ενέργειας από ένα σύστημα της ισχύος με διαφορετικά πλαίσια. Μειονέκτημα αποτελεί η υψηλότερη τιμή η οποία της αποσβένει σε αντίστοιχο χρονικό διάστημα με την όλη επένδυση, προσφέροντας μεγαλύτερα έσοδα 25ετίας.

2.2.1 Απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα μετεωρολογικά-κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής (όχι μόνο η ηλιακή ακτινοβολία αλλά και η θερμοκρασία της επηρεάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Της το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και το υψόμετρο του συστήματος επηρεάζουν δραστικά την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού.

2.3 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την αξιοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το γεγονός ότι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που υπάρχουν κατά την χρησιμοποίηση των φωτοβολταϊκών για τη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω θα παρατηρήσουμε και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αξιοποίησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Πλεονεκτήματα :

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά της αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται της αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, της είναι π.χ. η στέγη της σπιτιού ή η πρόσοψη της κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία της εφαρμογής: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με της πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου

Μειονεκτήματα :

Το κόστος του, παρά της τεχνολογική του εξέλιξη παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 4000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρώ

κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

Αναλύοντας τα θετικά και τα αρνητικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ότι τα μειονεκτήματα υπερτερούν των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω και αυτό έχει ως αποτέλεσμα πως μία εγκατάσταση γίνεται συμφέρουσα και αποδοτική αλλά αυτό επιτυγχάνεται σε βάθος χρόνου. Επειδή όμως η τεχνολογία εξελίσσεται διαρκώς με γρήγορους ρυθμούς αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να ξεπεραστούν αρκετά τα αρνητικά εμπόδια που εμφανίζονται π.χ. το υψηλό κόστος αγοράς και επένδυσης.

2.4 : ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ :

Ανάλογα με την χρήση και την εφαρμογή τους τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- Διασυνδεδεμένα οικιακά συστήματα :

Από τους πιο συνηθέστερους και πιο δημοφιλέστερους τύπους φωτοβολταϊκού συστημάτων σε οικίες. Η ΔΕΗ δέχεται όλη την παραγομένη ενέργεια από τα πάνελ και την αγοράζει, με αποτέλεσμα ο ιδιοκτήτης της εκάστοτε οικίας να συνεχίζει να λαμβάνει τον λογαριασμό της ΔΕΗ κάθε δίμηνο, όπως επίσης και κάθε δίμηνο λαμβάνει τον πιστωτικό λογαριασμό που αναγραφεί την παραγωγή του συστήματος του, μείον την κατανάλωση.

- Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Πάρκα :

Τα φωτοβολταϊκά πάρκα είναι εγκατεστημένα σε σταθερά σημεία και παράγουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη αυτή ενέργεια μπορεί να της τάξεως δεκάδων kw ή δεκάδων Mw. Τα φωτοβολταϊκά αυτά (πάρκα) είναι εγκατεστημένα σε βιομηχανικά κτήρια, εργοστάσια ή σε αγροτικές εκτάσεις.

- Μη διασυνδεδεμένα συστήματα για ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων περιοχών:

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια απομακρυσμένες περιοχές εκεί όπου δεν υπάρχει δίκτυο τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος.

- Μη διασυνδεδεμένα βιομηχανικά συστήματα

Είναι μια πολύ ελκυστική και οικονομική επιλογή. Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές και εφαρμόζονται κυρίως στον τομέα των τηλεπικοινωνιών για να συνδέουν της απομακρυσμένες περιοχές της χώρας. Αποφεύγοντας έτσι την εγκατάσταση υψηλού κόστους δικτύου από τον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό, διότι θα αναφερθούν αναλυτικά όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για να δημιουργήσουμε έναν φωτοβολταϊκό σταθμό ή πάρκο. Επίσης θα αναφερθούμε γενικά στην αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

3.2 Αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος

Η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις ιδιότητες των ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί έχουν την δυνατότητα να μετατρέπουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική του αγωγιμότητα μπορεί να ελεγχθεί μόνιμα ή και δυναμικά. Ο ημιαγωγός γενικότερα έχει ένα χαρακτηριστικό στοιχείο που το κάνει να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα. Αυτός είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που βρίσκεται στην εξωτερική στοιβάδα. Ο πιο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si). Αποκτά τις ημιαγωγικές ιδιότητες του με τεχνητό τρόπο. Η πρόσμιξη του με στοιχεία τα οποία έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο ή ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην στοιβάδα σθένους τους (εξωτερική), κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά (υλικό τύπου n). Έτσι γίνεται η δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών. Το πυρίτιο αποτελεί το κύριο στοιχείο στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για να δημιουργηθεί τώρα ένα ηλεκτρικό πεδίο πρέπει να έρθουν σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p. Στην θέση επαφής έτσι δημιουργείται μια ζώνη στην οποία εναλλάσσονται ηλεκτρόνια και οπές. Έτσι λοιπόν τα

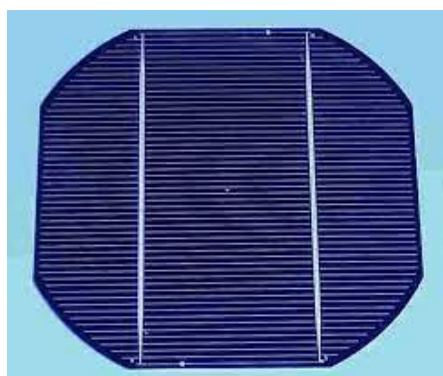
ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού n εισέρχονται στον ημιαγωγό p και συμπληρώνουν τις αντίστοιχες οπές. Οι ελεύθερες οπές από τον ημιαγωγό p εισέρχονται στον ημιαγωγό n και ενώνονται με ίσο αριθμό ηλεκτρονίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η πλευρά n να αποκτά θετικό δυναμικό και η πλευρά p αρνητικό. Έτσι σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή επαφής των δύο ημιαγωγικών στοιχείων που ονομάζεται ημιαγωγική επαφή ή δίοδος επαφής $p - n$. Η ηλιακή ενέργεια εισέρχεται με την μορφή φωτονίων τα οποία όταν προσπίπτουν στο φωτοβολταϊκό κελί περνούν την περιοχή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p . Τα ηλεκτρόνια αυτά αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών και τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου. Εκεί έλκονται από το θετικό πεδίο της περιοχής και μόλις ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα της περιοχής αυτής είναι αδύνατο να επιστρέψουν. Επιστρέφοντας στην περιοχή n παρατηρείται ότι μπορεί να εκμεταλλευτούν τα περισσευούμενα ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό γίνεται τοποθετώντας έναν μεταλλικό αγωγό ή κάποια παρόμοια διάταξη στο κάτω μέρος της επαφής p και στο πάνω μέρος της επαφής n και ένα φορτίο στο ενδιάμεσο, με τέτοιο τρόπο που να κλείνει ένας αγωγίμος δρόμος για το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα κύρια μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος :

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική συλλέγοντας την ηλιακή ακτινοβολία. Τα κυριότερα μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα εξής :

3.3 Το φωτοβολταϊκό κελί

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο το φωτοβολταϊκό κελί συλλέγει το ηλιακό φως. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό δημιουργεί ηλεκτρική τάση που με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 21:Φωτοβολταϊκό κελί.

3.4 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων, τα οποία είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα μεταξύ τους και αποτελούν την βασική μονάδα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά κελιά σφραγίζονται ερμητικά μέσα σε

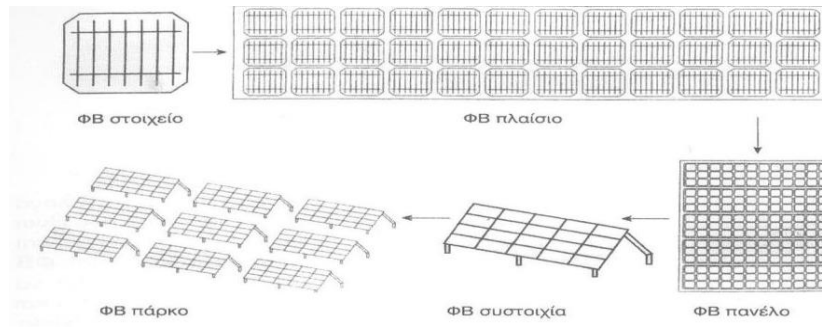
πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες και ειδικότερα από την υγρασία. Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από αυθεντικό γυαλί. Τα πλαίσια αυτά τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή και αλληλοσυνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους δημιουργώντας μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια. Ο συνδυασμός τέτοιων ομάδων συνδεδεμένων σε σειρά ή παράλληλα ονομάζεται Φωτοβολταϊκή συστοιχία. Έχουν διάφορες τιμές ισχύος που κυμαίνονται από 200W – 300W. Στην αγορά κυκλοφορούν τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια, τα πολυκρυσταλλικά και τα άμορφα. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν όταν εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία είναι σε θέση να μετατρέψουν περίπου 10% - 15% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν ωστόσο και παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Τέτοιοι είναι η γήρανση όπου, η απόδοση μειώνεται λόγω αλλοίωσης των υλικών που απαρτίζουν το πλαίσιο περίπου 1% για κάθε χρόνο. Ένας άλλος παράγοντας επίσης είναι η ρύπανση της επιφάνειας του πλαισίου. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η δίοδος αντεπιστροφής που είναι μια δίοδος η οποία εμποδίζει την αντίστροφη διέλευση ρεύματος όταν το πλαίσιο δεν φωτίζεται και προκαλεί απώλεια περίπου 1%.

Ένα τυπικό φ/β πλαίσιο έχει 36 φ/β στοιχεία στη σειρά και συχνά ονομάζεται “φ/β πλαίσιο 12 V” αν και μπορεί να παράγει πολύ μεγαλύτερες τάσεις (από 12 V). Πολλά φ/β πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά για να αυξηθεί η τάση. Επίσης πολλά φ/β πλαίσια μπορούν να συνδεθούν παράλληλα για να αυξηθεί το ρεύμα. Μία σημαντική παράμετρος στη σχεδίαση των φ/β συστημάτων είναι η απόφαση για το πλήθος των φ/β πλαισίων που θα πρέπει να συνδεθούν σε σειρά καθώς και για το πλήθος των φ/β πλαισίων που θα πρέπει να συνδεθούν παράλληλα για να παράγεται η ζητούμενη ενέργεια. Ένας τέτοιος συνδυασμός φ/β πλαισίων ονομάζεται φ/β συλλέκτης. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η διάκριση ανάμεσα στο φ/β στοιχείο, το φ/β πλαίσιο, και το φ/β συλλέκτη. Από τα Φ/Β Στοιχεία στα Φ/Β Πλάισια Όταν τα φ/β στοιχεία συνδέονται σε σειρά για να σχηματίσουν το φ/β πλαίσιο, όλα τα φ/β στοιχεία μεταφέρουν το ίδιο ρεύμα. Η συνολική τάση, V_{module} του φ/β πλαισίου δίνεται από τη σχέση:

$$V_{module} = n \cdot (V_d - I \cdot R_s)$$

όπου n είναι ο αριθμός των φ/β στοιχείων που συνδέονται σε σειρά για να σχηματιστεί το φ/β πλαίσιο.

Τα φ/β πλαίσια συνδέονται στη σειρά για αύξηση της τάσης, και παράλληλα για αύξηση του ρεύματος. Οι φ/β συλλέκτες αποτελούνται από συνδυασμό φ/β πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά και παράλληλα για αύξηση της ισχύος. Στο Σχήμα 2 φαίνονται τρία φ/β πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Για κάθε ρεύμα, το οποίο ρέει μέσα από κάθε ένα από τα φ/β πλαίσια, η συνολική τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των ατομικών φ/β πλαισίων.



Εικόνα 22: Δομή του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία ή κελιά δημιουργούν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, που με τη σειρά τους δημιουργούν το φωτοβολταϊκό πάνελο. Τα φωτοβολταϊκά πάνελα που είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα δημιουργούν την Φωτοβολταϊκή συστοιχία. Πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες στον ίδιο χώρο δημιουργούν ένα φωτοβολταϊκό συγκρότημα ή ένα φωτοβολταϊκό πάρκο.



Εικόνα 23: Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.



Εικόνα 24: Φωτοβολταϊκή συστοιχία.



Εικόνα 25: Το φωτοβολταϊκό Πάρκο

3.5 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων :

Για να μπορέσουμε να ομαδοποιήσουμε σωστά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και να δημιουργήσουμε μία φωτοβολταϊκή συστοιχία, πρέπει να τοποθετηθούν κατάλληλα και να αλληλοσυνδεθούν ηλεκτρονικά. Αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε με δυο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με σταθερές βάσεις και ο δεύτερος με κινητές βάσεις (trackers) ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου. Για να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση από τα φωτοβολταϊκά θα πρέπει να πληρούνται και ορισμένες προϋποθέσεις :

- Να υπάρχει αρκετός ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Χρειάζεται περίπου ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας για κάθε πλαίσιο των 100 W κρυσταλλικού πυριτίου. Για την καλύτερη απόδοση του θα πρέπει ο χώρος να παραμένει ασκίαστος σε όλη τη διάρκεια της ημέρας.
- Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν μεγαλύτερη απόδοση όταν τοποθετούνται με Νότιο προσανατολισμό. Μπορούμε να έχουμε έως και 45ο απόκλιση από το Νότο, όμως η απόδοση θα είναι αρκετά μειωμένη.
- Η τοποθέτηση του συλλέκτη θα πρέπει πάντα να γίνεται με κλίση 10% - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Πολλές φορές η κλίση καθορίζεται με βάση τις τοπικές καιρικές συνθήκες όπως είναι το υγρό κλίμα κλπ.

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	30°	0°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh _(max)	90%kWh _(max)	50%kWh _(max)
ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός	95%kWh _(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
Νότιος	kWh _(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
ΒορειοΑνατολικός - ΒορειοΔυτικός	67%kWh _(max)	90%kWh _(max)	30%kWh _(max)
Βόρειος	60%kWh _(max)	90%kWh _(max)	20%kWh _(max)

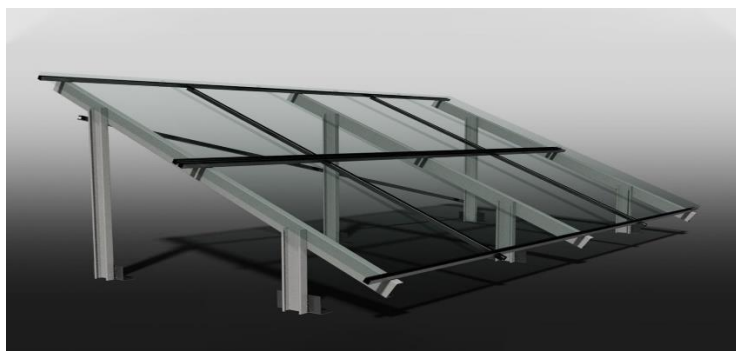
Πίνακας 1 : Μεταβολή της παραγωγίμης ενέργειας ως προς τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας.

Οι σταθερές βάσεις στήριξης των πάνελ είναι οι πιο διαδεδομένες και οικονομικά πιο προσιτές. Η αρχή λειτουργίας τους είναι πολύ απλή. Κατά το μεσημέρι οι προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες πρέπει να πέφτουν κάθετα πάνω στο φωτοβολταϊκό πάνελ. Οι βάσεις λοιπόν κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση περίπου 30ο. Οι 30ο είναι μια μέση τιμή που θεωρείται δανική για τα ελληνικά δεδομένα. Κατασκευάζονται από αλουμίνιο ή χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ. Πρέπει να έχουν μεγάλες αντοχές στις ανεμοπιέσεις και τα διάφορα φορτία όπως φορτία χιονιού. Ανάλογα με το έδαφος της περιοχής και το κόστος της εγκατάστασης οι σταθερές βάσεις στήριξης χωρίζονται σε 4 κατηγορίες :

- 1) Πασσαλόμπτυξη
- 2) Σκυροδέτηση
- 3) Βιδωτά θεμέλια
- 4) Μεταλλικοί Ορθοστάτες

Εδαφόμπτυξη :

Κατά την συγκεκριμένη μέθοδο τοποθετούμε πολλά πέλματα τα οποία συνδέονται με τις βάσεις και είναι τοποθετημένα σε λάκκους σκαμμένους, πριν από την τοποθέτηση είτε με ένα ενιαίο για όλες τις βάσεις δοκάρι από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Μέθοδος της σκυροδέτησης :

Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (κάτι σαν δοκός από μπετόν σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλατα από σκυρόδεμα τοποθετημένα κατάλληλα, ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Επίσης κατά την μέθοδο της σκυροδέτησης οι βάσεις μπορούν να προσαρμοστούν σε όλα τα είδη εδάφους, ακόμα και όταν το έδαφος είναι μαλακό, όμως η μέθοδος της σκυροδέτησης των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης, σε σχέση με την μέθοδο της εδαφόμπτυξης



Εικόνα 27: Μέθοδος της σκυροδέτησης

Πασσαλόμπτυξη :

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την τοποθέτηση πασσάλων σε μικρά βάθη πάνω στους οποίους τοποθετείται μία βάση στήριξης με την οποία "δένουν" τα πάνελ. Μπορεί να γίνει είτε απευθείας στο έδαφος είτε με την χρήση σκυροδέματος. Για μεγάλες εγκαταστάσεις και για τοποθεσίες που δεν επιτρέπουν την χρήση σκυροδέματος η πασσαλόμπτυξη γίνεται απευθείας στο έδαφος. Απαιτεί λίγο χρόνο εγκατάστασης και έχει και σχετικά μικρότερο κόστος από τις υπόλοιπες μεθόδους στήριξης καθώς απαιτεί λιγότερη εργασία και λιγότερα υλικά όπως βίδες κ.α. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι οι γεωτεχνικές μελέτες που πρέπει να γίνουν στο έδαφος έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι η πασσαλόμπτυξη θα πραγματοποιηθεί χωρίς να προκύψουν μελλοντικά προβλήματα αστάθειας. Οι πάσσαλοι κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα και σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Η διαδικασία της πασσαλόμπτυξης πραγματοποιείται με ειδικά μηχανήματα που αποτρέπουν τα λάθη απόκλισης.



Εικόνα 28: Μέθοδος της πασσαλόμπτυξης

Βιδωτά Θεμέλια :

Ο επόμενος τρόπος στήριξης είναι τα βιδωτά θεμέλια δηλαδή βίδες εδάφους . Η διαφορά από την πασσαλόμπτυξη είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση τοποθετούμαι στο έδαφος ειδικές βίδες όπως γαιόβιδες ή οι αγκυρόβιδες μετά από περιστροφή και κατακόρυφη πίεση. Τα θεμέλια αυτά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αντέχουν στις αντίξοες καιρικές συνθήκες και μπορούν να στηρίξουν πολύ μεγάλο φορτίο χωρίς να επιτρέπουν καμία μετακίνηση. Τα βιδωτά θεμέλια μπορούν να τοποθετηθούν σε όλα τα είδη εδάφους όπως χωμάτινο ή και βραχώδες έδαφος, και κατά την διάρκεια οποιονδήποτε καιρικών συνθηκών. Επίσης με αυτήν την μέθοδο στήριξης μπορεί να γίνει τοποθέτηση σε επίπεδα με κλίση. Οι βίδες είναι συνήθως κατασκευασμένες από χάλυβα και η τοποθέτηση τους γίνεται με ειδικά μηχανήματα που διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος της βίδας και το έδαφος τοποθέτησης

Μεταλλικοί Ορθοστάτες :

Ο τελευταίος τρόπος θεμελίωσης σταθερών βάσεων είναι η θεμελίωση με μεταλλικούς ορθοστάτες. Οι ορθοστάτες αυτοί είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα σε συνδυασμό με ψευδάργυρο για να αποφεύγεται η διάβρωση. Οι μεταλλικοί ορθοστάτες τοποθετούνται με ειδικά τρυπάνια. Πάνω στους ορθοστάτες υπάρχει ένα τριγωνικό πλαίσιο και τρία σημεία πάκτωσης για μεγαλύτερη σταθερότητα .



Εικόνα 29: Βάση στήριξης με τη μέθοδο του μεταλλικού ορθοστάτη

Οι κινητές βάσεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου είναι σχετικά μια νέα τεχνική με στόχο την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την διάρκεια της ημέρας οι βάσεις ακολουθούν την πορεία του ήλιου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας συνεχώς. Είναι αρκετά πιο πολύπλοκες από τις σταθερές βάσεις ωστόσο προσφέρουν μεγαλύτερες αποδόσεις. Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με ηλιακούς αισθητήρες που αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου και ο δεύτερος, είναι μέσω ειδικού λογισμικού με αστρονομικά δεδομένα που υπολογίζει την θέση του ήλιου για κάθε ημέρα ξεχωριστά αναλόγως τις συντεταγμένες της περιοχής.

Πόλη	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
Άγιος Νικόλαος	+35° 11'	+25° 45'
Αγρίνιο	+38° 37'	+21° 30'
Αθήνα	+37° 58'	+23° 45'
Αίγιο	+38° 15'	+22° 00'
Αλεξάνδρεια	+40° 37'	+22° 30'
Αλεξανδρούπολη	+40° 51'	+25° 45'
Αμαλιάδα	+37° 48'	+21° 15'
Άμφισσα	+38° 31'	+22° 30'
Άργος	+37° 38'	+22° 45'
Αργοστόλι	+38° 00'	+20° 30'
Άρτα	+39° 09'	+21° 00'
Ασπρόπυργος	+38° 03'	+23° 30'
Αχαρνές	+38° 05'	+23° 45'
Βέροια	+40° 31'	+22° 15'
Βόλος	+39° 22'	+23° 00'
Γιαννιτσά	+40° 47'	+22° 30'

Γρεβενά	+40° 05'	+21° 30'
Δράμα	+41° 09'	+24° 15'
Έδεσσα	+40° 48'	+22° 00'
Ελευσίνα	+38° 02'	+23° 30'
Ερμούπολη	+37° 27'	+25° 00'
Ζάκυνθος	+37° 47'	+21° 00'
Ηγουμενίτσα	+39° 30'	+20° 15'
Ηράκλειο	+35° 21'	+25° 00'
Θεσσαλονίκη	+40° 38'	+23° 00'
Θήβα	+38° 19'	+23° 15'
Ίλιον	+38° 05'	+23° 45'
Ιωάννινα	+39° 40'	+20° 45'
Καβάλα	+40° 56'	+24° 30'
Καλαμάτα	+37° 02'	+22° 00'
Κάλυμνος	+36° 57'	+27° 00'
Καρδίτσα	+39° 22'	+22° 00'
Καρπενήσι	+38° 55'	+21° 45'
Καστοριά	+40° 31'	+21° 15'
Κατερίνη	+40° 16'	+22° 30'
Κέρκυρα	+39° 37'	+20° 00'
Κιλκίς	+40° 59'	+23° 00'
Κοζάνη	+40° 18'	+21° 45'
Κομοτηνή	+41° 07'	+25° 30'
Κόρινθος	+38° 56'	+23° 00'
Κορωπί	+37° 54'	+23° 45'
Κως	+36° 54'	+27° 15'
Λαμία	+38° 54'	+22° 30'
Λάρισα	+39° 38'	+22° 30'
Λευκάδα	+38° 50'	+20° 45'
Λιβαδειά	+38° 26'	+22° 45'
Μάνδρα	+38° 04'	+23° 30'
Μέγαρα	+38° 00'	+23° 15'
Μεσολόγγι	+38° 22'	+21° 30'
Μυτιλήνη	+39° 06'	+26° 30'
Νάουσα	+40° 38'	+22° 00'
Ναύπακτος	+38° 23'	+21° 45'
Ναύπλιο	+37° 34'	+22° 45'
Νέα Μάκρη	+38° 07'	+20° 00'
Ξάνθη	+41° 08'	+25° 00'
Ορεστιάδα	+41° 30'	+26° 30'
Πάτρα	+38° 15'	+21° 45'
Πολύγυρος	+40° 22'	+23° 30'

Πρέβεζα	+38° 57'	+20° 45'
Πτολεμαΐδα	+40° 31'	+21° 45'
Πύργος	+37° 40'	+21° 30'
Ρέθυμνο	+35° 22'	+24° 30'
Ρόδος	+36° 26'	+28° 15'
Σαλαμίνα	+37° 58'	+23° 30'
Σάμος	+37° 45'	+27° 00'
Σέρρες	+41° 05'	+23° 30'
Σπάρτη	+37° 04'	+22° 30'
Τίρναβος	+39° 45'	+22° 15'
Τρίκαλα	+39° 33'	+21° 45'
Τρίπολη	+37° 30'	+22° 15'
Φλώρινα	+40° 47'	+21° 30'
Χαλκίδα	+38° 28'	+23° 30'
Χανιά	+35° 31'	+24° 00'
Χίος	+38° 23'	+26° 15'

Εικόνα 30: Γεωγραφικά μήκη και πλάτη περιοχών στην Ελλάδα.



Εικόνα 31 : Φωτοβολταϊκό σύστημα τύπου tracking

3.6 Αντιστροφείς (Inverters)

Αποτελούν την καρδιά του φωτοβολταϊκού συστήματος. Είναι σε θέση να μετατρέπουν την συνεχή τάση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε εναλλασσόμενη τάση ονομαστικών τιμών 230 V / 50 Hz. Όλη η ενέργεια (ηλεκτρική) που παράγεται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο, επομένως χαρακτηρίζονται από την υψηλή τους απόδοση και αξιοπιστία. Οι αντιστροφείς μπορούν να λειτουργήσουν για διασύνδεση στο δίκτυο αλλά και για αυτόνομη λειτουργία. Για το λόγο αυτό υπάρχουν διάφοροι τύποι αντιστροφέων με διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως ονομαστική ισχύ, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και απόδοση. Οι περισσότεροι (αυτοί που θα λειτουργήσουν για να τροφοδοτούν το δίκτυο) είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν χωρίς μπαταρίες, ωστόσο υπάρχουν και αντιστροφείς οι οποίοι περιλαμβάνουν μπαταρίες. Αντιστροφείς οι οποίοι προορίζονται για την σύνδεση τους στο δίκτυο είναι ιδανικό να είναι εγκατεστημένοι στην σκιά και μπορούν να εγκαθίστανται υπαίθρια. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς που προορίζονται για αυτόνομη λειτουργία, οι οποίοι δεν είναι στεγανοί και θα πρέπει να τοποθετούνται στο εσωτερικό της εγκατάστασης κοντά στην συστοιχία μπαταριών. Όταν το δίκτυο ή το σύστημα παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα στην λειτουργία του οι αντιστροφείς θα πρέπει να είναι σε θέση να τα ανιχνεύουν και να μην συμβάλλουν σε αυτά. Θα πρέπει επίσης, να αποφεύγεται το φαινόμενο της νησιδοποίησης

(islanding). Το φαινόμενο της νησιδοποίησης αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα το οποίο έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία. Έτσι ο σταθμός λειτουργεί ως νησίδα παραγωγής ενέργειας και αν παραμένουν συνδεδεμένοι οι αντιστροφείς, τότε υπάρχει πολύ μεγάλος κίνδυνος για τυχόν προσωπικό που βρίσκεται εκεί ή ακόμα και για ολόκληρη την εγκατάσταση. Αν η τάση ή η συχνότητα του δικτύου ξεπεράσει το προκαθορισμένο όριο θα πρέπει ο αντιστροφέας να κάνει άμεση απόξευση της φωτοβολταϊκής πηγής από το δίκτυο. Έπειτα από έναν προκαθορισμένο χρόνο αναμονής και εφόσον το πρόβλημα δεν υφίσταται πια ο αντιστροφέας μπορεί να κάνει επαναφορά στη σύνδεση.

Η εταιρία παραγωγής αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρολό που έχει ένας αντιστροφέας σε ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα έχει θέσει συγκεκριμένες προδιαγραφές απαιτώντας την ύπαρξη των σχετικών πιστοποιητικών. Οι προδιαγραφές ενός αντιστροφέα είναι οι εξής :

Από την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφέων: οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.

Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion -THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Κατά την παραλαβή ενός έργου ο αντιστροφέας υποβάλλεται σε έλεγχο ώστε να διαπιστώνεται η σωστή λειτουργία του και η τήρηση των συγκεκριμένων προδιαγραφών.

Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.

Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126.

Ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγει ένας αντιστροφέας χωρίζεται στις εξής κατηγορίες :

1. Μονοφασικός Αντιστροφέας για ισχύ από 10 kw έως 11 kw
2. Τριφασικός Αντιστροφέας για ισχύ από 6-7 kw έως και 1 MW.

Η εταιρία παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλει την σύνδεση του αντιστροφέα στο τριφασικό σύστημα όταν η εγκατάσταση ξεπερνά τα 5 kw ενώ για εγκατάσταση άνω των 100 kw τότε η σύνδεση του αντιστροφέα γίνεται υποχρεωτικά μέσω του δικτύου της μέσης τάσης.

Αν ένας αντιστροφέας χρησιμοποιεί μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας), ανάμεσα στην είσοδο (DC) και στην έξοδο (AC) τότε χωρίζεται σε δυο κατηγορίες :

1. Αντιστροφέας με μετασχηματιστή
2. Αντιστροφέας χωρίς μετασχηματιστή

Επίσης, ανάλογα με την τρόπο σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πάνελ που χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας διακρίνεται στις εξής κατηγορίες :

- 1.Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
2. Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
3. Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
4. Αντιστροφείς για ενσωμάτωση σε Φωτοβολταϊκό πάνελ (module integrated inverters)

3.7 Οικογένειες αντιστροφέων :

Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)

Οι αντιστροφείς αυτοί εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος. Η τιμή τους κυμαίνεται από 30 kW – 50kW έως και 1MW – 2MW. Για αυτόν τον λόγο η χρήση τους είναι διαδεδομένη σε φωτοβολταϊκά πάρκα μεγάλης ισχύος. Χαρακτηρίζονται από τον μικρό αριθμό εισόδων DC που είναι συνήθως 1-2. Το γεγονός αυτό και σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για ένα τέτοιο εγχείρημα επιβάλλει την χρήση καλωδίων DC σε σχέση με τις υπόλοιπες οικογένειες αντιστροφέων που η καλωδίωση μπορεί να γίνει και με AC καλωδίωση.

Αντιστροφείς κλάδων (String Inverters) :

Είναι η περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία ή οικογένεια αντιστροφέων. Χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκά πάρκα μικρής και μεγάλης ισχύος. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση κλάδων (strings) στις αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα. Κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μονοφασική ή και τριφασική σύνδεση συνήθως πάνω από 100 kWp. Διαθέτουν ευελιξία σχετικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορούν να συνδεθούν στις εισόδους, αλλά δεν πρέπει να παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Πρέπει επίσης να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό των πάνελ.

Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters) :

Οι συγκεκριμένοι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται όταν πρέπει σε έναν αντιστροφέα να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ. Με τον όρο διαφορετικά πάνελ εννοούνται η ονομαστική ισχύς, ο αριθμός των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, ο κατασκευαστής κ.α. Έτσι κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες, διαθέτοντας τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς. Χρησιμοποιούνται επίσης σε εγκαταστάσεις όπου τα χαρακτηριστικά τους επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας όπως για παράδειγμα η κλίση των πάνελ ή, κάποιο

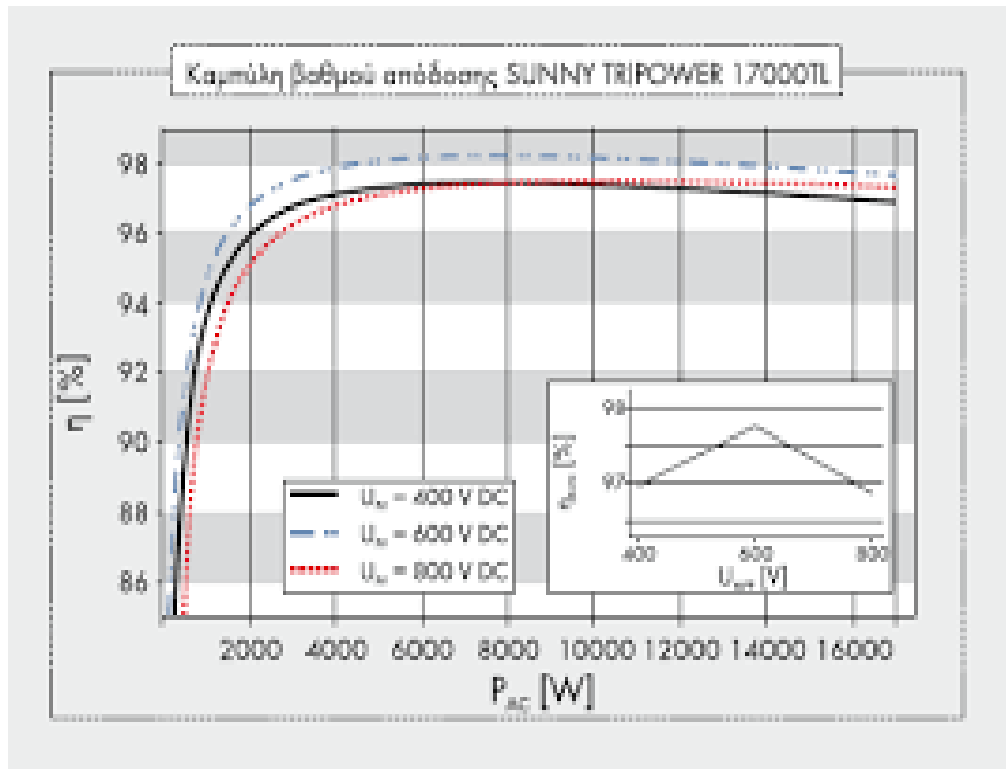
πρόβλημα σκίασης. Η διαθεσιμότητα τους είναι πιο περιορισμένη σε σχέση με τους συμβατικούς αντιστροφείς κλάδων λόγω της πολυπλοκότητας της χρήσης τους.

Αντιστροφείς για ενσωμάτωση σε φωτοβολταϊκό πάνελ :

Αυτή η κατηγορία αντιστροφέων είναι σχετικά νέα και αφορά κατηγορίες χαμηλής ισχύος περίπου 300W. Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται (δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους), με ένα φωτοβολταϊκό πάνελ. Οι συγκεκριμένοι χρησιμοποιούνται για την βέλτιστη λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανά πάνελ ξεχωριστά. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στις οποίες υπάρχουν σημαντικά προβλήματα σκίασης. Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί το πιο σημαντικό στοιχείο σε έναν αντιστροφέα. Ο λόγος είναι ότι οι απώλειες ισχύος ισοδυναμούν με απώλειες εισοδήματος δηλαδή με απώλειες κέρδους. Ο βαθμός απόδοσης ενός αντιστροφέα λοιπόν, εκφράζει το πηλίκιο της εναλλασσόμενης πηγής εξόδου προς την συνεχή ισχύ εξόδου, δηλαδή :

$$n(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι ο βαθμός απόδοσης ενός αντιστροφέα εκφράζει το ποσό της ισχύος που χάνεται στις απώλειες του αντιστροφέα. Η κυριότερη πηγή απωλειών σε ένα τέτοιο σύστημα εμφανίζεται στα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης καταγράφεται πάντα στα τεχνικά εγχειρίδια κάθε αντιστροφέα, όμως κάθε αντιστροφέας λειτουργεί πολύ λίγες φορές στον απόλυτο μέγιστο βαθμό απόδοσης. Αυτό συμβαίνει γιατί εξαρτάται από την συνεχή τάση λειτουργίας και από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα. Επίπεδο ή βαθμός φόρτισης είναι το ποσοστό της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα, ως προς την ονομαστική ισχύ εισόδου ή εξόδου αναλόγως με τον κατασκευαστή. Όλα αυτά τα στοιχεία παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων στα τεχνικά εγχειρίδια.



Εικόνα 32: Χαρακτηριστικά στοιχεία βαθμού απόδοσης ενός αντιστροφέα.

Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής: Οι απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα.

3.7 Συσσωρευτές ή μπαταρίες

Οι μπαταρίες ή συσσωρευτές είναι το πιο ευπαθές και επικίνδυνο κομμάτι του συστήματος. Φθείρονται με τη χρήση, και η διάρκεια ζωής τους, είναι μεν περιορισμένη (από 1 έως και 10 χρόνια), αλλά επεκτείνεται με την εφαρμογή κανόνων κατά τη χρήση. Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τις μπαταρίες είναι οι παρακάτω :

1. Σοβαρός τραυματισμός λόγω κακού χειρισμού κατά τη μεταφορά, πτώσης ή κακής τοποθέτησης
2. Ηλεκτροπληξία λόγω γυμνών επαφών, λανθασμένης συνδεσμολογίας , κακού χειρισμού ή άγνοιας. Πριν την πρώτη ηλεκτροπληξία από μπαταρία όλοι πιστεύουμε ότι το ρεύμα είναι χαμηλής τάσης και ακίνδυνο...
3. Κίνδυνος έκρηξης από εκρηκτικά αέρια (Υδρογόνο)
4. Κίνδυνος χημικού εγκαύματος από τον ηλεκτρολύτη (διάλυμα θειικού οξέος)

Λόγο των κινδύνων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι πολύ σημαντικό η τοποθέτηση των μπαταριών να γίνεται από επαγγελματία ειδικά στην περίπτωση που οι μπαταρίες είναι ανοικτού τύπου και έχουν μεγάλη χωρητικότητα. Οι μπαταρίες φορτίζονται όταν η παραγωγή του Φ/Β υπερκαλύψει τη ζήτηση και εκφορτίζονται κάθε άλλη στιγμή. Ακόμη και σε κατάσταση ηρεμίας, οι μπαταρίες εκφορτίζονται σε ποσοστό από 1 έως 3% μηνιαίως. Το διάστημα από το τέλος μιας περιόδου φόρτισης, δηλαδή από τη στιγμή που θα σταματήσει η φόρτιση της μπαταρίας μέχρι τη στιγμή που θα αδειάσει ή θα αρχίσει και πάλι η φόρτιση ονομάζεται "κύκλος". Ιδανικά, σε κάθε κύκλο οι μπαταρίες πρέπει να φορτίζονται στο 100% της χωρητικότητάς τους πριν αρχίσουν να εκφορτίζονται, και δεν πρέπει ποτέ να εκφορτίζονται πλήρως. Η κάθε μπαταρία μπορεί να αντέξει ορισμένους κύκλους, ο αριθμός των οποίων κυμαίνεται από 5000 για τις μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης υψηλής ποιότητας έως και κάτω από δέκα για μπαταρίες αυτοκινήτου οι οποίες δεν πρέπει γενικά να χρησιμοποιούνται σε Φ/Β συστήματα. Κανένα άλλο στοιχείο του συστήματος δεν επηρεάζεται τόσο από το μέγεθος και τη χρήση του φορτίου όσο οι μπαταρίες. Εάν το φορτίο είναι συνδεδεμένο απευθείας στη μπαταρία χωρίς έλεγχο, η ανεξέλεγκτη κατανάλωση μπορεί να αδειάσει τη μπαταρία σε βαθμό πρόκλησης μη αναστρέψιμης ζημιάς. Το ίδιο μπορεί να συμβεί αν η μπαταρία συνδεθεί σε υπερβολικά μεγάλο φορτίο έστω και για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Εάν η φόρτιση της μπαταρίας δεν είναι ελεγχόμενη και αντίστοιχη με τον τύπο και την ονομαστική τάση της, τότε η μπαταρία και πάλι μπορεί να υποστεί ζημιά. Οι μπαταρίες πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν το φορτίο και να φορτίζονται σωστά με τα διαθέσιμα μέσα. Αφού γίνει αυτή η επιλογή το σύστημα φόρτισης θα πρέπει να μπορεί να φορτίσει πλήρως τη μπαταρία με τη σωστή τάση ανά στάδιο φόρτισης για το συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας.



Εικόνα 33: Συστοιχία συσσωρευτών φ/β συστήματος.

Οι μπαταρίες αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων χαρακτηρίζονται από τη χωρητικότητά τους σε Αμπερώρια (Ah), σε συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης (C) και το βάθος εκφόρτισης για το οποίο είναι σχεδιασμένες.

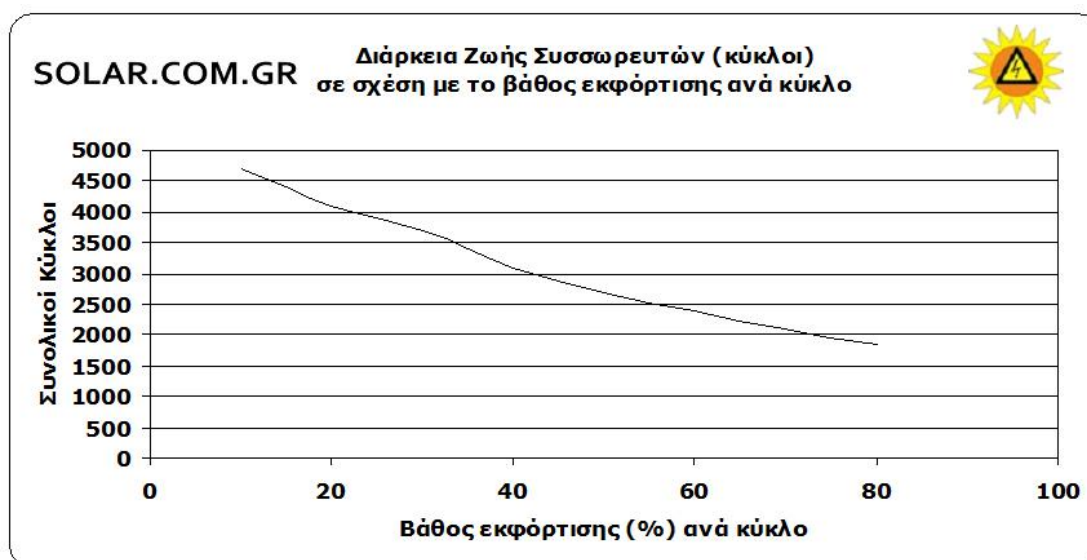
Χωρητικότητα Μπαταριών :

Η χωρητικότητα είναι το ρεύμα που μπορεί να δώσει η μπαταρία σε Αμπέρ (A) επί τις ώρες (h) για τις οποίες μπορεί να το δώσει. Μια μπαταρία με χωρητικότητα 10Ah μπορεί να δώσει 1A για 10 ώρες. Εκ πρώτης όψεως, μία μπαταρία 200 Αμπερωρίων (Ah) θα πρέπει να μπορεί να δώσει 200A για μία ώρα, 50A για 4 ώρες, 1A για 200 ώρες κ.ο.κ. Αυτό δεν ισχύει. Η χωρητικότητα της μπαταρίας δίδεται σε συνάρτηση και με το βαθμό εκφόρτισης (C). Γενικά όσο αυξάνεται ο βαθμός εκφόρτισης, τόσο μειώνεται η πραγματική χωρητικότητα. Για παράδειγμα, όταν μια μπαταρία αναφέρεται ως 200Ah (C10), αυτό σημαίνει ότι η χωρητικότητα ισχύει για εκφόρτιση εντός 10 ωρών, δηλαδή ρεύμα 20A για 10 ώρες. Εάν από την ίδια μπαταρία ζητήσουμε ρεύμα 30A, ίσως να μπορεί να δώσει για 5 -6 ώρες (χωρητικότητα 150 -180Ah). Αυτό λειτουργεί και αντίστροφα, δηλαδή η ίδια μπαταρία να μπορεί να δώσει ρεύμα 5A για 45 ώρες, με ουσιαστική χωρητικότητα 225Ah. Η θερμοκρασία της μπαταρίας και του περιβάλλοντος χώρου επηρεάζει επίσης τη χωρητικότητα. Η Υψηλότερη θερμοκρασία έχει αποτέλεσμα την ελαφρώς μεγαλύτερη χωρητικότητα αλλά υπάρχει περίπτωση να αυξηθεί η εξάτμιση του νερού σε ανοικτές μπαταρίες και να μειωθεί ο αριθμός των κύκλων που θα αντέξει η μπαταρία πριν χρειαστεί αντικατάσταση. Όταν συγκρίνουμε τη χωρητικότητα των μπαταριών, θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν μας και την ονομαστική τάση του συστήματος. Μια μπαταρία 200Ah στα 12V μπορεί να αποθηκεύσει 2400Wh. Μια μπαταρία 200Ah στα

24V (η οποία συνήθως αποτελείται από μια συστοιχία 2 μπαταριών 200Ah στα 12V συνδεδεμένων σε σειρά) μπορεί να αποθηκεύσει 4800Wh.

Βάθος εκφόρτισης :

Βάθος εκφόρτισης είναι το ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας της μπαταρίας το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σε έναν κύκλο φόρτισης/εκφόρτισης. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης είναι σχεδιασμένες να εκφορτίζονται σε ποσοστό 60-80% ανά κύκλο. Μπαταρίες οι οποίες δεν είναι βαθιάς εκφόρτισης (εκκίνησης, έλξης κλπ.) είναι σχεδιασμένες να εκφορτίζονται σε ποσοστό μόλις 15 -30% ανά κύκλο. Αυτό σημαίνει ότι μια μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης με χωρητικότητα 200Ah είναι σχεδιασμένη να παρέχει έως 120 - 160Ah ανά κύκλο χωρίς να πάθει ζημιά, ενώ μια αντίστοιχη μπαταρία εκκίνησης ή έλξης μόλις 30 -60Ah ανά κύκλο. Ακόμη και η διάρκεια ζωής των μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης επηρεάζεται από το βάθος εκφόρτισης ανά κύκλο. Όσο βαθύτερος είναι ο κάθε κύκλος, τόσο μικρότερη είναι η αναμενόμενη διάρκεια ζωής, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην παρακάτω εικόνα .



Εικόνα 34: Διάρκεια ζωής συσσωρευτών ανάλογα με το βάθος φόρτισης ανά κύκλο.

Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτών :

Κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας είναι η τρέχουσα διαθέσιμη χωρητικότητά της. Μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια με βάση την ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη ή και με τη χρήση πυκνόμετρου. Η κατάσταση φόρτισης μπορεί επίσης να προκύψει με βάση την τάση της μπαταρίας, με την προϋπόθεση ότι η μπαταρία να παραμένει σε ηρεμία (χωρίς να φορτίζεται ή να εκφορτίζεται) για 30 -60 λεπτά πριν τη μέτρηση. Σε περίπτωση που η μπαταρία έχει υψηλή τάση αλλά όταν συνδέουμε κάποιο φορτίο η τάση πέφτει κατακόρυφα, η μέτρηση τάσης δεν μας δίνει αξιόπιστη ένδειξη για την κατάστασή της. Ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μεταβάλλεται και το σημείο πήξης του ηλεκτρολύτη, η θερμοκρασία δηλαδή στην οποία παγώνει και η μπαταρία κινδυνεύει να καταστραφεί.

Κανόνες χρήσης μπαταρίας :

1. Επιλέγουμε τη σωστή μπαταρία για την επιθυμητή χρήση
2. Φροντίζουμε για τη σωστή φόρτιση της μπαταρίας
3. Δεν εκ φορτίζουμε τη μπαταρία εντελώς
4. Δεν αφήνουμε τη μπαταρία αφόρτιστη
5. Ελέγχουμε και συμπληρώνουμε απιονισμένο νερό
6. Δεν "ξεχειλίζουμε" με νερό τη μπαταρία

3.8 Ρυθμιστές φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης , ο οποίος ονομάζεται και αυτόματος/κόφτης/ σταθεροποιητής, είναι απαραίτητο όργανο για να προστατεύει τους συσσωρευτές (μπαταρίες) από υπερβολική φόρτιση και πολλές φορές από υπερβολική εκφόρτιση. Παρεμβάλλεται μεταξύ του φωτοβολταϊκού συλλέκτη και του συσσωρευτή. Όταν η μπαταρία δεν μπορεί και δεν πρέπει να δεχθεί περισσότερη ηλεκτρική φόρτιση, ο ρυθμιστής φόρτισης διακόπτει τη ροή του ρεύματος προς τον συσσωρευτή κι έτσι ο συσσωρευτής δεν παθαίνει κάποια ζημιά. Επίσης, αν ηλεκτρικές συσκευές είναι συνδεδεμένες με το ρεύμα από την έξοδο για φορτία του ρυθμιστή φόρτισης και η τάση της μπαταρίας δεν πρέπει να κατέβει σε χαμηλά επίπεδα τάσης για να μην υποστούν ζημιά τα στοιχεία της, ο ρυθμιστής φόρτισης διακόπτει το ρεύμα προς τις συσκευές και προστατεύει την μπαταρία. Γενικά υπάρχουν 2 ειδών Ρυθμιστές Φόρτισης. Ο απλός PWM και ο προηγμένος, MPPT.

MPPT ρυθμιστής φόρτισης :

Η σύγκριση θα βασιστεί στη χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος -τάσης του φωτοβολταϊκού πάνελ. Από το σύνολο των σημείων ρεύματος-τάσης προκύπτει το σύνολο των σημείων του γινομένου ρεύματος-τάσης, δηλαδή της ισχύος και η αντίστοιχη καμπύλη ως προς την τάση.

Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης για τις εκάστοτε συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας «ανιχνεύει» το βέλτιστο σημείο Pm και «τραβάει » τη μέγιστη ισχύ από το πάνελ. Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης είναι ένας DC σε DC μετασχηματιστής. Η ισχύς, το γινόμενο τάσης -ρεύματος, στην είσοδο και την έξοδό του είναι η ίδια, συμπεριλαμβανομένων των μικρών απωλειών ίδιας κατανάλωσής του. Στην είσοδο έχουμε υψηλότερη τάση και χαμηλότερο ρεύμα και στην έξοδο χαμηλότερη τάση και υψηλότερο ρεύμα. Ο MPPT

ρυθμιστής φόρτισης βασίζεται σε έναν αλγόριθμο προσαρμογής της τάσης στην είσοδό του, που πραγματοποιεί μικρά και γρήγορα βήματα. Προσαρμόζει την τάση του πάνελ στην τιμή του V_m , και λαμβάνει το αντίστοιχο ρεύμα από το πάνελ I_m και προσεγγίζει το βέλτιστο σημείο P_m , απορροφώντας έτσι τη μέγιστη ισχύ. Αυτή η γρήγορη βηματική κίνηση προσαρμογής της τάσης λαμβάνει χώρα στις εκάστοτε συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ώστε να απορροφάτε αντίστοιχα η μέγιστη ισχύς που μπορεί να απορροφήσει από αυτές τις συνθήκες. Στις παραπάνω καμπύλες στις STC συνθήκες θα προσαρμόσει την τάση του πάνελ στα 18V (V_m), θα τραβήξει 40A αντίστοιχο ρεύμα 5,56A (I_m) και θα απορροφήσει έτσι τη μέγιστη δυνατή ισχύ P_m , την ονομαστική τιμή των 100Wp. Το φωτοβολταϊκό πάνελ συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος και όχι ως πηγή τάσης. Με την μείωση της ακτινοβολίας μειώνεται το ρεύμα που δίνει το πάνελ. Η τάση μειώνεται λιγότερο. Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης προσαρμόζει την τάση του πάνελ, τραβάει το αντίστοιχο ρεύμα και απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ για τις εκάστοτε συνθήκες συννεφιάς και μειωμένης ακτινοβολίας.

PWM ρυθμιστής φόρτισης :

Ο PWM ρυθμιστής φόρτισης δεν είναι ένας DC σε DC μετασχηματιστής. Είναι ουσιαστικά ένας διακόπτης που απλά συνδέει το φωτοβολταϊκό πάνελ με τη μπαταρία και, όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η τάση του πάνελ εξισώνεται με αυτή της μπαταρίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο ξεκινάει η μελέτη του φωτοβολταϊκού πάρκου 100kw συνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, π.χ. τεχνική ανάλυση της κατασκευής, ενεργειακή μελέτη, εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί, με ποιο τρόπο θα γίνει η στήριξη των φωτοβολταϊκών πάνελ, ο τύπος των φωτοβολταϊκών πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή μας, οι τύποι των ηλεκτρονικών αντιστροφών που θα χρησιμοποιήσουμε, αντικεραυνική προστασία και σύστημα γειώσεως.

4.2 Τεχνική μελέτη κατασκευής φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή της Κορινθίας.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο οποίος απεικονίζει το γεωγραφικό πλάτος και μήκος διαφόρων περιοχών ο οποίος αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο το γεωγραφικό πλάτος που αντιστοιχεί στην περιοχή της Κορινθίας είναι στις $\phi = 38^\circ$.

Ο χώρος στον οποίο θα γίνει η κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου έχει έκταση 3000 τετραγωνικά μέτρα (30x100). Στόχος αυτής της μελέτης είναι να γίνει κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου 95000 Wp με πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου με ονομαστική ισχύ 250 Wp. Η αντιστροφή της συνεχούς τάσης που θα παραχθεί θα γίνει με τη χρήση αντιστροφέα χωρίς τη χρήση μετασχηματιστή μονοφασικής ισχύος.

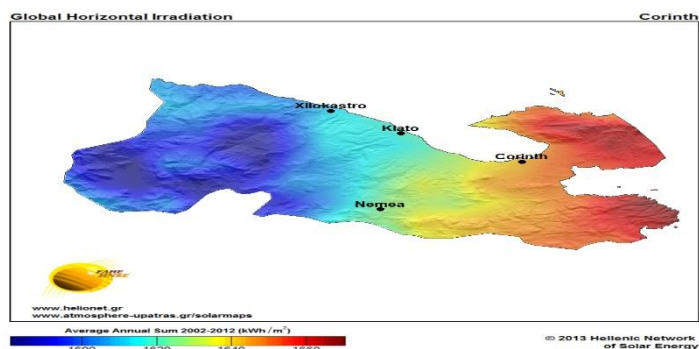
Εικόνα
πάρκου



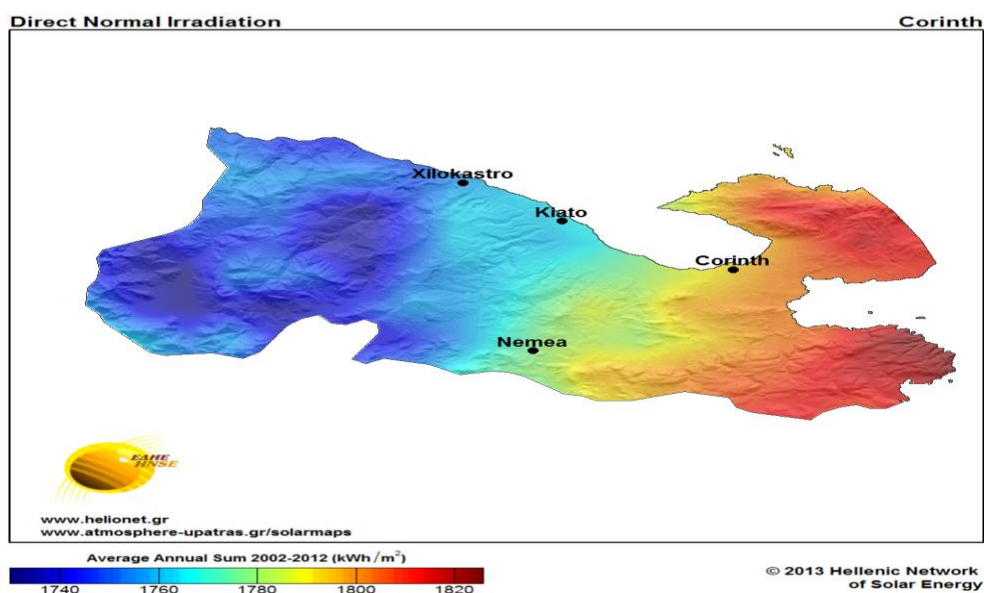
34 : Κάτοψη
περιοχής
φωτοβολταϊκού

Εικόνα 35: Κάτοψη περιοχής φωτοβολταϊκού πάρκου

4.3 Ηλιακό Δυναμικό περιοχής



Εικόνα 36: Ολική ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Κορινθίας.



Εικόνα 37: Άμεση ηλιακή ενέργεια στην περιοχή της Κορινθίας

Οι παραπάνω χάρτες δίνουν αρκετά ξεκάθαρα δεδομένα καθώς, συνδυάζονται δορυφορικές μετρήσεις της ηλιακής ενέργειας με δορυφορικές εικόνες της νέφωσης και δεδομένα των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων. Στους χάρτες αυτούς παρουσιάζεται η ολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια και η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια που είναι κάθετη στην ακτινοβολία που έρχεται απευθείας από τον ήλιο. Μελετώντας τους χάρτες αυτούς είναι φανερό πως το σημείο εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου έχει ένα πάρα πολύ καλό δυναμικό συνεχούς ηλιοφάνειας.

Επίσης από τον πρώτο χάρτη φαίνεται ξεκάθαρα πως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι αρκετά μεγάλη στην περιοχή αυτή. Επομένως εκ πρώτης όψεως η εγκατάσταση του πάρκου μπορεί να χαρακτηριστεί ως συμφέρουσα και επικερδής.

Ένα σημαντικό πράγμα που πρέπει να επισημάνουμε είναι η ύπαρξη φυσικών εμποδίων (π.χ. δέντρα) η οποία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής παραγωγής ισχύος από τα πάνελ. Για τον λόγο αυτό τα πάνελ εκτός από τον νότιο προσανατολισμό που θα πρέπει να έχουν, θα πρέπει να εγκατασταθούν και σε χώρο ο οποίος είναι 'καθαρός' από φυσικά εμπόδια και σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ των διαδοχικών σειρών (strings) έτσι ώστε να αποφεύγεται η παρεμπόδιση. Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου θα γίνει σε χώρο ο οποίος θα είναι καθαρός με σκοπό την καλύτερη αποδοτικότητα του πάρκου.

4.4 Επιλογή των φωτοβολταϊκών Πάνελ

Η επιλογή των συγκεκριμένων πάνελ έγινε μέσω έρευνας έτσι ώστε να πέτυχουμε την καλύτερη απόδοση. Επίσης υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες που έπαιξαν ρόλο στην συγκεκριμένη επιλογή αυτών των πάνελ, όπως : το κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ, η ονομαστική ισχύς των πάνελ, κατά πόσο αξιόπιστα είναι τα πάνελ μας, ονομαστικά ρεύματα των άλλων κ.α. Η επιλογή των συγκεκριμένων πάνελ έγινε λόγω κάποιων παραμέτρων :

Sharp ND-R250A5 :

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια υψηλής απόδοσης κατασκευασμένα από πολυκρυσταλλικά (156,5 mm)² ηλιακά κύτταρα πυριτίου με απόδοση μονάδων 14,6%.
- Τεχνολογία 3 ζυγών για ενίσχυση της ισχύος εξόδου.
- Αντί-αντανakλαστική επιστρωση για αύξηση της απορρόφησης φωτός.
- Ελεγχόμενη παραγωγή θετικής ανοχής ισχύος από 0 έως +5 %. Θα παραδοθούν μόνο μονάδες που έχουν την καθορισμένη ισχύ ή μεγαλύτερη για υψηλή απόδοση ενέργειας.
- Παράδοση μονάδων σε διαστήματα 5 watt.
- Βελτιωμένος συντελεστής θερμοκρασίας για μείωση των απωλειών ισχύος σε υψηλότερες θερμοκρασίες.
- Υψηλή απόδοση ισχύος ακόμη και σε χαμηλότερες ακτινοβολίες.

Γενικά δεδομένα:

- Αποδοτικότητα: 15,2 %
- Ισχύς: 250 W
- Εγγύηση: 10 χρόνια εγγύηση προϊόντος

Μηχανικά στοιχεία:

- Μέγεθος κυψέλης (mm)²: 156,5
- Αριθμός κυψελών και συνδέσεων: 60 σε σειρά
- Διαστάσεις (ΜxΥxΠ) (mm): 1652x994x46
- Βάρος (kg): 19
- Μέγιστο μηχανικό φορτίο (N/m²): 2400

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά:

- Τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} (V): 37,6
- Ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} (A): 8,68
- Μέγιστη τάση ισχύος V_{rpm} (V): 30,9
- Μέγιστο ρεύμα ισχύος I_{rpm} (A): 8,10
- Τάση συστήματος (V DC): 1000

Θερμικοί συντελεστές και χαρακτηριστικά:

- α_{Pm} (%/°C): -0,440
- α_{Isc} (%/°C): 0,038
- α_{Voc} (%/°C): -0,329
- Θερμοκρασία λειτουργίας (°C): -40 έως +90
- Θερμοκρασία αποθήκευσης (°C): -40 έως +90



Εικόνα 38: Τύπος φωτοβολταϊκού πάνελ

4.5 Επιλογή ηλεκτρονικών αντιστροφέων που θα χρησιμοποιήσουμε

Κατά την επιλογή ενός αντιστροφέα θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν μας κάποια κριτήρια στα οποία επιλέγουμε έναν αντιστροφέα, όπως το κόστος, τον βαθμό απόδοσης του αντιστροφέα, τα strings που μπορούμε να συνδέσουμε, την ονομαστική ισχύ που βγάζει ο αντιστροφέας όπως και το ρεύμα, την τάση εισόδου, αν έχει πυκνωτή εξομάλυνσης, επικοινωνία του inverter και άλλους εξίσου σημαντικούς παράγοντες. Στη συγκεκριμένη μελέτη θα χρησιμοποιήσουμε τον ABB POWER TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400/JP 27.6 KW, και ABB power trio 20.0 Η ονομαστική ισχύ του αντιστροφέα είναι 27600 W, εμείς θα χρησιμοποιήσουμε 4 αντιστροφέις για να υλοποιήσουμε την κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου 100000 W. Οι συγκεκριμένοι αντιστροφέις είναι ιδανικοί για εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Έχουν βαθμό απόδοσης 98,2% και προσφέρουν υψηλές αποδόσεις με ευελιξία στο σχεδιασμό και τη συμβατότητα με πολλές φωτοβολταϊκές μονάδες με μεγάλο εύρος τάσης εισόδου και δυνατότητες πολλαπλών στοιχείων, σειρών. Οι βλάβες μπορούν να εντοπιστούν κατευθείαν μέσω της οθόνης ενδείξεων του αντιστροφέα. Όταν ο βαθμός απόδοσης ενός αντιστροφέα είναι πάνω από 98%, αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα που μπορεί να παραχθεί από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα

σε αναλογία σχεδόν 1 προς 1, το οποίο είναι κατάλληλο για το ρεύμα του δικτύου και την τροφοδοσία του.



Εικόνα 39: Τύπος αντιστροφέα ABB Power Trio 27.0

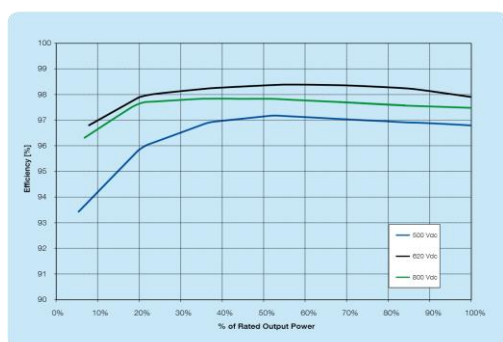


Εικόνα 40: ABB Power trio 20.0

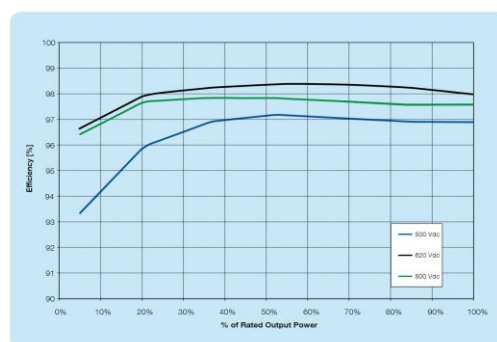
Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input side		
	1000 V	
	430 V (adj. 250...500 V)	
	0.7 x V _{start} ...950 V (min 200 V)	
Absolute maximum DC input voltage (V _{max,abs})	620 V	
Start-up DC input voltage (V _{start})		
Operating DC input voltage range (V _{dcrmin} ...V _{dcrmax})		
Rated DC input voltage (V _{dcr})		
Rated DC input power (P _{dcr})		
Number of independent MPPT	2	
	20750 W	28600 W
	2	
Maximum DC input power for each MPPT (P _{MPPTmax})	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P _{acr}	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [800 V ≤ V _{MPPT} ≤ 950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P _{acr} , max unbalance example	[350 V V ^{dcr} 800 V] 12000 W [480 V ≤ V _{MPPT} ≤ 800 V] the other channel: P -12000 W ≤ MPPT ≤	[400 V V ^{dcr} 800 V] 16000 W [500 V ≤ V _{MPPT} ≤ 800 V] the other channel: P -16000 W ≤ MPPT ≤
Maximum DC input current (I _{dcrmax}) / for each MPPT (I _{MPPTmax})	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	40.0 A
Number of DC inputs pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X, -S2F, -S1J, -S2J versions)	1 (5 in -S2X and -S2F -S2J) onnector WM / MC4
DC connection type	Tool Free PV c	ck on standard and -S2
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes	
Input over voltage protection for each MPPT - plug In -S2X: Type 2; modular surge arrester (-S2X, -S1J and -S2J versions)-S1J, -S1J: Type 1+2		
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	

Output side		
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power (P_{acr} @ $\cos\phi=1$)	20000 W	27600 W
Maximum AC output power (P_{acmax} @ $\cos\phi=1$)	22000 W ³⁾	
	30000 W ⁴⁾	
Maximum apparent power (S_{max})	22200 VA	30670 VA
Rated AC grid voltage ($V_{ac,r}$)	400 V	
AC voltage range	320...480 V ¹⁾	
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	46.0 A
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ²⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. \pm 0.9 with $P \pm 0.8$	
with max 22.2 kVA _{acr} = 20.0 kW,	> 0.995, adj. \pm 0.9 with $P \pm 0.8$ with max 30 kVA _{acr} = 27.6 kW,	
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG36	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	50.0 A	
	63.0 A	
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in arrester (-S2X version)	modular surge 4 (Type 2)	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Feed in power threshold	40 W	
Night consumption	< 0.6 W	

Efficiency curves of TRIO-20.0-TL-OUTD



Efficiency curves of TRIO-27.6-TL-OUTD



Εικόνα 41: Καμπύλη απόδοσης αντιστροφών

BCD.00379 Rev. C EN 25.03.2015

4.6 Ηλεκτρολογική μελέτη της εγκατάστασης

Το φωτοβολταϊκό πάρκο που θέλουμε να εγκαταστήσουμε έχει ισχύ 100 KWp. Το πάνελ που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε έχουν ισχύ 250 Wp. Έτσι λοιπόν το πηλίκο της διαίρεσης της συνολικής ισχύος διαιρούμενο με την ισχύ των πάνελ ισούται με 400 ($100000 / 250 = 400$). Επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν 400 πάνελ. Οι αντιστροφείς που θα επιλεγούν είναι τριφασικοί της ABB power one, δύο (2) ισχύος 27,6 KW ο καθένας από 120 πάνελ και δύο (2) ισχύος 20 KW ο καθένας από 80 πάνελ (φωτοβολταϊκά πλαίσια) (όπως φαίνεται και στο μονογραμμικό στην εικόνα της σελ. 64)

Κάθε αντιστροφέας των 27600 W όπως βλέπουμε και από τον παραπάνω πίνακα μπορεί να έχει 6 σειρές πανέλων. (Number of independent MPP inputs / strings per MPP unit \diamond 2) . Άρα ισχύει ότι τα 100 πάνελ που έχει κάθε αντιστροφέας διαιρούμενα με τις 5 σειρές (strings) ισούται με 20 πανέλα ανά σειρά (string). Για να γίνει επαλήθευση τώρα ότι ένας αντιστροφέας μπορεί να αντέξει 100 πάνελ έχουμε : 100 πάνελ ανά αντιστροφέα πολλαπλασιασμένα με 250 Wp που είναι η ονομαστική ισχύς του κάθε πάνελ ισούται με 25000 Wp. Το νούμερο που προέκυψε είναι μικρότερο συγκρίνοντας το με το 276000 Wp που είναι η ονομαστική ισχύς του αντιστροφέα. ($25000 \text{ Wp} < 27600 \text{ Wp}$). Για κάθε σειρά (string) ισχύει το εξής : Ο MPP του πάνελ ισούται 30,9V. Άρα λοιπόν για τα 20 πάνελ που έχει η κάθε σειρά ισχύει ότι : $20 \times 30,9 = 618 \text{ Volt}$. Οπότε η κάθε σειρά (string) έχει 618 volt, το οποίο καλύπτει πλήρως την κλίμακα MPP από τα χαρακτηριστικά στοιχεία του αντιστροφέα.

Για τους αντιστροφείς των 20000 W μπορεί να έχει μέχρι 6 σειρές πανέλων. Άρα ο κάθε αντιστροφέας θα έχει 4 string από 20 πάνελ το κάθε string. Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα θα παρατηρήσουμε ότι 80 πάνελ 250 Wp μας κάνει 20000 Wp που σημαίνει ότι μας καλύπτει ($20000 \text{ Wp} < 20750 \text{ Wp}$)

4.7 Μελέτη χωροθέτησης του χώρου εγκατάστασης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη του χώρου εγκατάστασης και θα διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτό να εφαρμοστούν οι υπολογισμοί που έγιναν προηγουμένως αλλά και η χρησιμοποίηση των υλικών που επιλέχτηκαν. Για να γίνει όμως αυτή η μελέτη θα πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που θα γίνει η κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου. Η υλοποίηση του φωτοβολταϊκού έργου θα γίνει στην περιοχή της Κορινθίας και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής ισούται με $\phi=38^\circ$.
2. Οι διαστάσεις του φωτοβολταϊκού πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε είναι:
Μήκος : 1652mm Πλάτος : 46mm Ύψος : 994mm
3. Η διάσταση του οικοπέδου στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση είναι 3στρέμματα(30x100m).

Για να έχουμε την καλύτερη απόδοση λειτουργίας των πάνελ ως προς την καλύτερη απόδοση τους θα πρέπει να γίνει σωστή αξιοποίηση του χώρου εγκατάστασης αλλά και η σωστή

τοποθέτηση των πάνελ. Για το λόγο αυτό η κάθε σειρά (string) θα πρέπει να έχει τέτοια απόσταση ώστε να μην επηρεάζει την άλλη σειρά (string) από πάνελ.

Πρώτα θα γίνει ο υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης γίνεται από τη σχέση:

$$u = \gamma \cdot \eta\mu\beta - \delta = 2 \cdot 1,652 \cdot \eta\mu(27) = 0,749\text{m} \cdot 2 = 1,498 \text{ m}$$

όπου:

$$\gamma = 1.652(\chi^2) \quad : \text{ μήκος } \Phi\text{B} \text{ πλαισίων σε m}$$

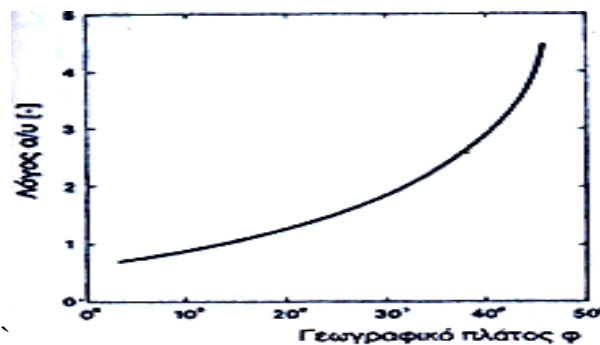
$$\beta = 27.00^\circ \quad : \text{ γωνία κλίσης } \Phi\text{B} \text{ πλαισίων σε } (^\circ)$$

δ : υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών ΦB πλαισίων ($\delta = 0$ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο) σε m

Επιπλέον υπολογίζουμε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών σειρών ΦB πλαισίων η οποία υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon = a + \gamma \cdot \sigma\upsilon\upsilon\beta = 2,5 + 1,652\chi\sigma\upsilon\upsilon 27 = 3,97\text{m}$$

Μέσα από το διάγραμμα που ακολουθεί, δηλαδή το λόγο της απόστασης μεταξύ δυο γειτονικών σειρών φωτοβολταϊκών πλαισίων παρατηρούμε ότι το κενό $a=2,5\text{m}$. Άρα από τον τύπο ελάχιστης απόστασης παρατηρούμε ότι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών φωτοβολταϊκών σειρών είναι 3,97 μέτρα.



Εικόνα 42: Καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης α μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ϕ/β πλαισίων, προς την επικάλυψη του ύψους u , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου

4.8 Σύστημα Στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων :

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα γίνει σε σταθερές βάσεις αλουμινίου με τη μέθοδο της εδαφόμπτυξης. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να τηρεί όλες τις απαραίτητες πιστοποιήσεις αλλά και τις απαραίτητες αντοχές σε ανεμοπιέσεις και φορτία. Η ελεύθερη απόσταση κάθε φωτοβολταϊκής σειράς από την επόμενη θα είναι όπως υπολογίστηκε από τον πίνακα. Στην πράξη επιλέγοντας απόσταση διπλάσια του ύψους αποφεύγουμε φαινόμενα αυτοσκίασης.



Εικόνα 43: Βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων με τη μέθοδο της εδαφόμπτυξης

4.9 Καλωδιώσεις

Για ένα επιτύχουμε ένα τέτοιο εγχείρημα, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αρκετές καλωδιώσεις. Πρώτον θα πρέπει να συνδεθεί κάθε σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων με τον αντιστροφέα. Έπειτα θα πρέπει να μεταφέρεται η παραγόμενη ισχύς από τους αντιστροφείς στον κεντρικό πίνακα. Και τέλος θα πρέπει να γίνεται και η μεταφορά της ισχύος από τον κεντρικό πίνακα στο δίκτυο όπου είναι συνδεδεμένη η εγκατάσταση. Οι καλωδιώσεις που θα χρησιμοποιούν θα πρέπει να είναι συνεχούς ρεύματος και τάσης αλλά και εναλλασσόμενου.

DC καλωδίωση

Η συγκεκριμένη καλωδίωση χρησιμοποιείται για την σύνδεση κάθε σειράς (string) φωτοβολταϊκών πλαισίων με τον αντιστροφέα που έχουμε επιλέξει. Άρα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν εύκαμπτα καλώδια με μόνωση και ο μανδύας τους να είναι φτιαγμένος από ελαστικό υψηλής αντοχής. Τα καλώδια πρέπει να ακολουθούν τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί κατά ΕΛΟΤ, για αυτό τον λόγο λοιπόν θα επιλέξουμε καλώδιο DC Solar 1x6mm² όπου ενδείκνυται για χρήση σε τόπους ξηρούς, βρεγμένους ή υγρούς στο ύπαιθρο.



Εικόνα 44: Καλώδιο solar 1x6mm

Το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των σειρών(string) των φωτοβολταϊκών πάνελ με τον αντιστροφέα.

Η καλωδίωση αυτή θα πρέπει να ακολουθεί τη φορά είτε της μίας είτε της άλλης πολικότητας και θα πρέπει να είναι τοποθετημένα ανά ζευγάρια, διασυνδέοντας κατά σειρά τα πλαίσια πριν καταλήξουν στην είσοδο του αντιστροφέα.

AC Καλωδίωση

Την συγκεκριμένη καλωδίωση την χρησιμοποιούμε για να μεταφέρουμε την παραγόμενη ισχύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων από τους αντιστροφείς στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης. Θυμίζουμε επίσης πως ο κυριότερος ρόλος των αντιστροφέων εκτός των άλλων είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε εναλλασσόμενη. Επομένως χρησιμοποιούμε την AC καλωδίωση για τον συγκεκριμένο τομέα. Τα καλώδια που έχουμε επιλέξει είναι τύπου H07RN-F με διατομή $5 \times 10\text{mm}^2$, με μόνωση και μανδύα από PVC και χρησιμοποιείται για σταθερές εγκαταστάσεις σε ξηρούς ή υγρούς χώρους στον αέρα ή στο έδαφος. Επίσης σε ξηρό έδαφος (δεν παρουσιάζονται θέματα υγρασίας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε καλώδιο E1VV-U(NYY) $5 \times 10\text{mm}^2$. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση και λόγω της μελέτης του εδάφους θα χρησιμοποιήσουμε καλώδιο $5 \times 10\text{mm}^2$ NYY.



Εικόνα 45: Καλώδιο $5 \times 10\text{mm}$ NYY

Εικόνα 43 : Καλώδιο $5 \times 10\text{mm}$ NYY

4.10 Κεντρικός πίνακας εγκατάστασης

Ο ηλεκτρικός πίνακας αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης γενικότερα. Ο κεντρικός πίνακας αναλαμβάνει την διαδικασία συγκέντρωσης των AC καλωδίων που προέρχονται από τους αντιστροφείς. Μέσω ενός μικροαυτόματου διακόπτη στόχος του είναι να τα ομαδοποιήσει σε τρεις φάσεις που οδηγούνται στον γενικό διακόπτη του πίνακα. Στον γενικό διακόπτη του πίνακα συνδέεται το κεντρικό καλώδιο σύνδεσης του μετρητή. Το κέλυφος του πίνακα πρέπει να είναι ανοξείδωτο και να προσφέρει μεγάλο βαθμό προστασίας. Συνήθως σε υφάλμυρες περιοχές χρησιμοποιούμε ανοξείδωτο ερμάριο και εντός του ερμαρίου εντοιχίζουμε τον κεντρικό πίνακα για να πετύχουμε τον μέγιστο βαθμό στεγανότητας. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης ο γενικός πίνακας θα βρίσκεται μέσα σε οικίσκο οπότε δεν θα χρησιμοποιηθεί η χρήση του πρόσθετου ερμαρίου. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης περιλαμβάνει έναν γενικό διακόπτη αυτόματης ισχύος με περιοχή ρύθμισης από 100 αμπέρ έως 160 αμπέρ. Επίσης μετά τον γενικό διακόπτη θα τοποθετηθούν οι συσκευές της αντικεραυνικής προστασίας και στην συνέχεια χρησιμοποιούμε 3 τριπολικούς διακόπτες 3χ40A (αμπέρ) όπου μετά από κάθε τριπολικό διακόπτη θα τοποθετήσουμε τριπολική ασφάλεια 3χ40 A (αμπέρ) και τέλος για τον φωτισμό του οικίσκου χρησιμοποιούμε μια γραμμή φωτισμού με δυο φωτιστικά σώματα που ελέγχονται από έναν απλό διακόπτη εξωτερικό στεγανό όπου από την απλή ασφάλεια των 10 αμπέρ έως το κουτί διακλαδώσεως χρησιμοποιούμε καλώδιο 3χ1.5mm² NYM από το κουτί διακλάδωσης έως το διακόπτη χρησιμοποιούμε καλώδιο 4χ1.5 NYM και από το κουτί διακλαδώσεως έως τα φωτιστικά σώματα με καλώδιο 3χ1.5 NYM, επίσης για τη γραμμή πριζών χρησιμοποιούμε καλώδιο 3χ2.5 NYM με ασφάλεια 16 αμπέρ.

4.10.1 Γειώσεις-Ισοδυναμικές Συνδέσεις

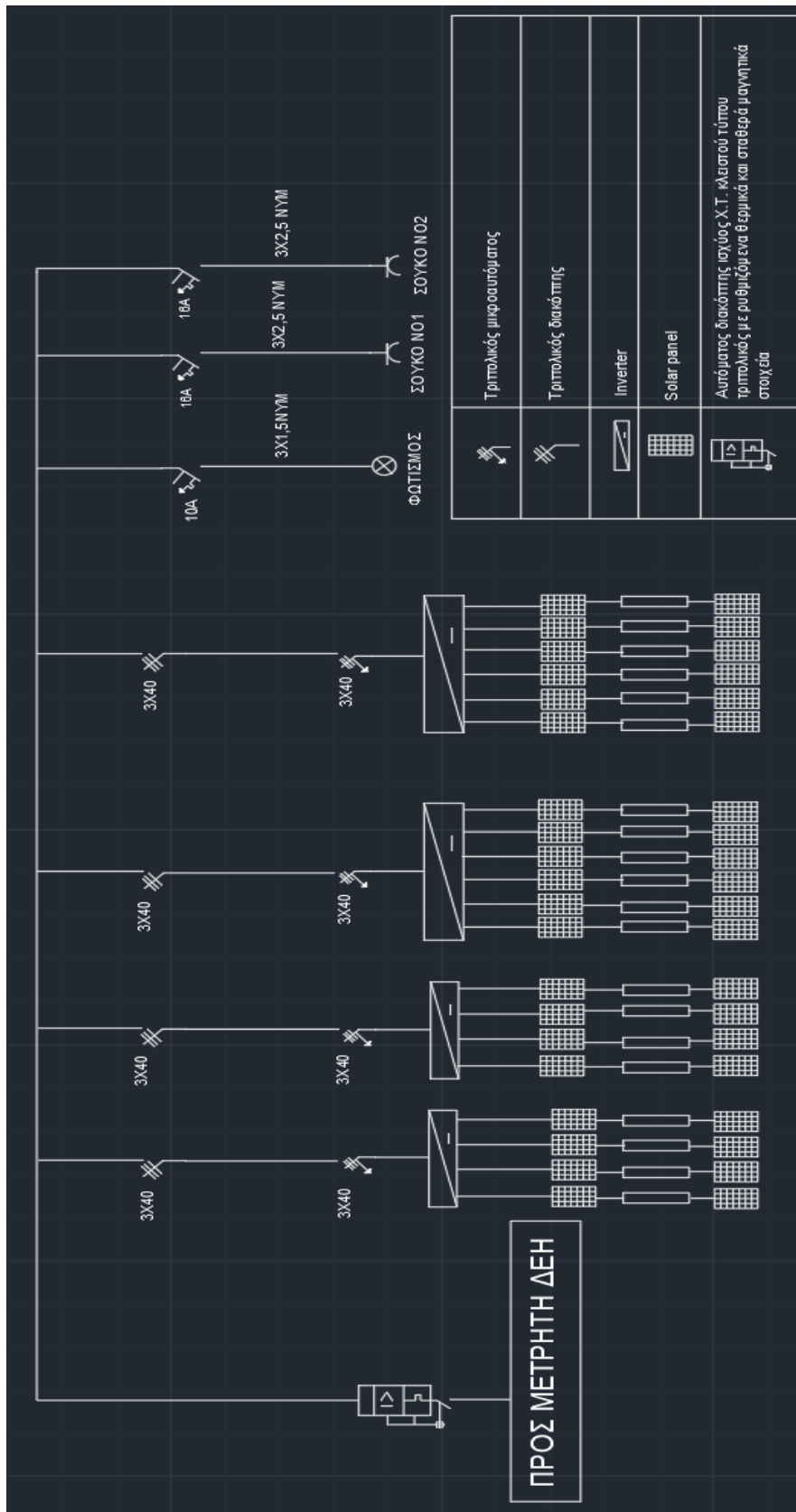
Περιμετρικά του χώρου της εγκατάστασης εγκαθιστούμε λάμα γειώσεως τύπου γαλβανιζέ (σε ξηρό έδαφος, ενώ σε υφάλμυρες περιοχές χρησιμοποιούμε αγωγό γειώσεως με σκοπό τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του μετάλλου στο έδαφος) .Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε λάμα γειώσεως τύπου γαλβανιζέ, τα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης μας θα ενωθούν με αγωγό χαλκού προς τη γείωση στο έδαφος(ισοδυναμική γείωση). Σκοπός αυτής της εγκατάστασης, δηλαδή χρήση της θεμελιακής γειώσεως είναι να επιτύχουμε την αποφυγή της βηματικής τάσης (Βηματική τάση είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των πελμάτων, όταν αυτά απέχουν 1m μεταξύ τους, τη στιγμή εισόδου του ρεύματος στο έδαφος, είτε από κεραυνό είτε από περιστατικό σε χώρους υψηλής τάσης ακόμα και με κομμένο καλώδιο) λόγω υψηλών τάσεων (volt) του σταθμού παραγωγής μας (π.χ. 1000 volt).

4.10.2 Εγκατάσταση Αλεξικέρανου

Σε περιοχές με υψηλό δίκτυ κεραυνικού φαινομένου εγκαθιστούμε ιστό αντικεραυνικής προστασίας στον οποίο η εκτόνωση προς τη γη (αγωγός γειώσεως), θα πρέπει να απέχει από την γείωση προστασίας (περιμετρική γείωση) 30 μέτρα, εφόσον το επιτρέπει η έκταση της ιδιοκτησίας μας. Αυτό το κάνουμε για να αποφύγουμε τα μεγάλα ρεύματα που δημιουργούνται από τον κεραυνό προς την περιμετρική γείωση η οποία μπορεί να μας διοχετεύσει ρεύματα τα οποία θα πλήξουν την εγκατάσταση μας. Επίσης ο ιστός του αλεξικέρανου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το ύψος της εγκατάστασης (φωτοβολταϊκό πάρκο).

4.10.3 Εγκατάσταση Συσκευών Αντικεραυνικής Προστασίας (Απαγωγοί Υπέρτασης)

Για να αποφύγουμε μεγάλα ρεύματα-κρουστικές τάσεις τα οποία είναι μεγαλύτερα από την τάση λειτουργίας τα οποία μπορούν να πλήξουν την εγκατάσταση μας τοποθετούμε στον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης μετά τον γενικό διακόπτη τις συσκευές της αντικεραυνικής προστασίας.



Εικόνα 46: Μονογραμμικό Σχέδιο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

4.10.4 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Συνδέουμε ισοδυναμικά την περιμετρική λάμα γειώσεως, φτιάχνουμε φρεάτια ανά 20 μ στα οποία θα τοποθετηθούν ράβδοι γειώσεως του ενός μέτρου, θα γίνει ισοδυναμική σύνδεση με την περιμετρική γείωση. Για να αποφύγουμε την διαφορά δυναμικού του εδάφους με τη ράβδο βάζουμε στο πάνω της ράβδου πίσσα αερομένη με νερό για προστασία της οξείδωσης. Βάζουμε περιμετρικά της ράβδου έως τους 20 πόντους βελτιωτική ταινία η οποία εξισορροπεί την ειδική αντίσταση του εδάφους με την ειδική αντίσταση του χαλκού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αρχή Λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων ,το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, χαρακτηριστικά ημιαγωγών, επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων :

Πηγή από :

<https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Ιστορία ανακάλυψης του φωτοβολταϊκού φαινομένου από :

<https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Λόγοι στρέψης στην ηλιακή ενέργεια, συμφέρει η ηλιακή ενέργεια και λειτουργία της ηλιακής ενέργειας πηγή από :

<https://enstruct.gr/articles/giati-na-strafo-stin-iliaki-energeia>

Τύποι των φωτοβολταϊκών πάνελ, πηγή από :

<https://www.mp-energy.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B2%CE%BF%CE%B7%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CE%BC%CE%B5-%CE%B1%CF%80%CE%BB%CE%B1-%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%B1.html>

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, πηγή από :

<https://sites.google.com/site/photovoltaicssystem93/pleonektemata-meionektemata>

Αντιστροφείς: Πηγή από <https://www.4green.gr/news/data/fwtoboltaika/91096.asp>

Κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πηγή από https://imegsee.gr/wp-content/uploads/2018/01/fotovoltaika_systimata.pdf

Ρυθμιστές φόρτισης. Πηγή από <https://www.fotovoltaiкаsystems.gr/rythmistes.html> και από πηγή <https://www.mp-energy.gr/blog/44/%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82-%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%83-mppt-%CE%B7-pwm-%CF%84%CE%B9-%CE%BD%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CF%89.html>

Συσσωρευτής πηγή από <https://www.fotovoltaiкаsystems.gr/fotovoltaiκοi-syssoreytes.html>

Εικόνα 1 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaiка/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 2 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaiка/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 3 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaiка/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 4 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaiка/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 5 : <http://roscoffnicoff.blogspot.com/2010/10/blog-post.html>

Εικόνα 6 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaiка/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

[%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/](https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/)

Εικόνα 7 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 8 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 9 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 10 : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>

Εικόνα 11 : <https://www.iekdelta360.gr/>

Εικόνα 12 : <https://eclass.uop.gr/>

Εικόνα 13 : <https://eclass.uop.gr/>

Εικόνα 14 : <https://eclass.uop.gr/>

Εικόνα 15 : <https://plaza24.gr/fotovoltaiko-panel-monokrystalikou-pyritioy-15-watt-12v-me-plaisio-alouminiou-solar-panel-bao-1520-oem.html>

Εικόνα 16 :

<https://www.eco2day.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB/%CE%BA%CF%81%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CF%80%CF%85%CF%81%CE%B9%CF%84%CE%AF%CE%BF%CF%85/>

Εικόνα 17 : https://www.klimatika.gr/klm/product/13_1_28_59/POLYKRISTALIKA_asola.html

Εικόνα 18 : https://www.klimatika.gr/klm/product/13_1_28_59/POLYKRISTALIKA_asola.html

Εικόνα 19 : https://www.klimatika.gr/klm/product/13_1_28_59/POLYKRISTALIKA_asola.html

Εικόνα 20 :

<https://www.mpenergy.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CE%B2%CE%BF%CE%B7%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE>

<http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5188/%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%95%CE%93%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%97%20%CE%A6%CE%A9%CE%A4%CE%9F%CE%92%CE%9F%CE%9B%CE%A4%CE%91%CE%AA%CE%9A%CE%9F%CE%A5%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%9A%CE%9F%CE%A5...pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Εικόνα 21:

<http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5188/%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%95%CE%93%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%97%20%CE%A6%CE%A9%CE%A4%CE%9F%CE%92%CE%9F%CE%9B%CE%A4%CE%91%CE%AA%CE%9A%CE%9F%CE%A5%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%9A%CE%9F%CE%A5...pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Εικόνα 22 : <https://eclass.uop.gr/>

Εικόνα 23 : <https://www.eshops.gr/%CF%84%CE%B9%CE%BC%CE%B7/suntellite-eco-300-p72/>

Εικόνα 24 : <https://sites.google.com/site/dkoloniarisstegi/er/photoboltaieka>

Εικόνα 25 : <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.larissanet.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F09%2F202109020436471663.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.larissanet.gr%2F2022%2F01%2F19%2Fmegalo-fotovoltaiko-parko-sta-oria-ton-pe-larisas-kai-magnisias-275-mw-se-pano-apo-5000-stremmata%2F&tbnid=EWzsWYZUfXkHGM&vet=12ahUKEwjxkoib7tr6AhVL0YUKHSGdDNYOMygEegUIARCHAg..i&docid=rk3h6H-UxOv00M&w=800&h=600&q=%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%B%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%BF%20%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CE%BF&hl=en&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwjxkoib7tr6AhVL0YUKHSGdDNYOMygEegUIARCHAg>

Εικόνα 26 :

<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.metallemporiki.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F02%2Fstatheres-vaseis-sthrikshs-fotovoltaikwn-synthmatwnB.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.metallemporiki.gr%2Fproduct%2Fsynthetaproionta%2Fstatheres-vaseis-sthrikshs-fotovoltaikwn-synthmatwn%2F&tbnid=anwjDVScTAXQ4M&vet=12ahUKEwiHuor97dr6AhUMvBoKHYSxBP4QMygBegUIARCdAQ..i&docid=BA7EJg2qvXlx-M&w=1200&h=840&q=%CE%B5%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%B7%CE%BE%CE%B7%20%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82&hl=en&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwiHuor97dr6AhUMvBoKHYSxBP4QMygBegUIARCdAQ>

Εικόνα 27 :

Εικόνα 28 : <https://www.edrasol.gr/wp-content/uploads/2019/07/passaompiksi.jpg>

Εικόνα 29 : <https://energypower.gr/product/trigono-stirixis-gia-fv-panel/>

Εικόνα 30 : <https://www.4green.gr/news/data/fwtoboltaika/90242.asp>

Εικόνα 31 : https://documen.site/download/5ad20e8945d69_pdf

Εικόνα 32 : <https://enelsol.gr/%CE%BD%CE%AD%CE%B1-%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CE%B1%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CF%85%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1/>

Εικόνα 33 :

<https://solar.com.gr/el/%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%>

[B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1.asp](#)

Εικόνα 34 : <https://www.atmosphere-upatras.gr>

Εικόνα 35 : www.atmosphere-upatras.gr/solarmaps

Εικόνα 36 : www.atmosphere-upatras.gr/solarmaps

Εικόνα 37 : <http://www.europe-solarshop.com/sharp-nd-250-poly.html>

Εικόνα 38 : <https://www.slideshare.net/dennyhonen/trio-20027>

Εικόνα 39 : <https://www.mp-energy.gr/category/277/abb-trio-20.html>

Εικόνα 40 : <https://www.mp-energy.gr/category/277/abb-trio-20.html>

Εικόνα 41 : <https://www.mic-metals.gr/el/vaseis-stiriksis-fwtovoltaikwn-egkatastaseis/>

Εικόνα 42 : <https://www.fotovoltaika.gr/product/solar-f1x6-gable>

Εικόνα 43 : <https://www.bestprice.gr/cat/5560/diafora-hlektrologika.html?q>