

H/Γ
620



ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 200kW

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΣΠΥΡΟΣ ΤΣΙΩΛΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ:

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ Α.Μ:33853

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Πειραιά. Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου Κ. Σπύρο Τσιώλη για τη βοήθεια και συμπαράσταση που μου έδειξε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την πολύτιμη βοήθειά τους και την πρακτική και ηθική τους συμπαράσταση όλο αυτό το διάστημα.

Με εκτίμηση ,

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τεχνικό-οικονομική μελέτη φωτοβολταϊκού πάρκου 200 KW

Μία από τις σημαντικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θεωρείται η ηλιακή ενέργεια. Η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η αρχή λειτουργίας και η τεχνολογία αυτών των συστημάτων, καθώς επίσης, και η βιωσιμότητα μιας τέτοιας εγκατάστασης στην περιοχή της Κοζάνης. Εξετάζονται οι οικονομικές και οι ενεργειακές απαιτήσεις του πάρκου, αλλά και το υψηλό κόστος των συστημάτων αυτών. Η πτυχιακή αυτή χωρίζεται σε 6 ενότητες οι οποίες έχουν ως εξής: στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα καθώς επίσης και το φαινόμενο του θερμοκηπίου ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το φωτοβολταϊκό κύτταρο και η λειτουργία τους. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η λειτουργία τους και οι τρόποι σύνδεση στο δίκτυο Ε.Ρ και στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική μελέτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και ειδικότερα στην περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια ενεργειακή μελέτη σχετικά με την περιοχή της Κοζάνης ενώ στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικονομική μελέτη του έργου.

ABSTRACT

Techno-Economical study of photovoltaic park 200 KW

One of the most important Renewable Sources of Energy is considered the solar energy. Her transformation in electric energy is achieved with the photovoltaic systems. In the present work, are examined the beginning of operation and the technology of these systems, while also, and the viability of such installation in the region of Kozani. Is also examined the economic and energy requirements of park, but also the high cost of this systems. This work is separated in 6 units that have as following: the first chapter generally refers to renewable energy sources in Greece and also the greenhouse effect while at the second chapter is analyzed the photovoltaic cell and the operation of solar cells. In the third chapter are presented and analyzed the photovoltaic systems, the operation and connectivity to the A.C network and in the fourth chapter is presented the technical study for the production of electric energy in Greece and particularly in the region of West Macedonia. Finally, at the fifth chapter is presented an energy study at the region Kozani while in the sixth and final chapter is presented the economic study of the project.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή-Σκοπός πτυχιακής εργασίας.....	6
Κεφάλαιο 1:	
Περί των ΑΠΕ	
1.1 Ενεργειακό πρόβλημα.....	7
1.2 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	8
1.3 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στη Ελλάδα.....	12
1.4 Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	13
Κεφάλαιο 2:	
2.1 Το φωτοβολταϊκό κύτταρο.....	15
2.1.1 Το πυρίτιο.....	15
2.1.2 Η p-n επαφή.....	18
2.1.3 Η δίοδος.....	19
2.2 Λειτουργία των ηλιακών κυψελών	19
2.2.1 Είδη ηλιακών κυττάρων.....	23
2.2.2α Μονοκρυσταλλικά Κύτταρα Si.....	23
2.2.2β Πολυκρυσταλλικά Κύτταρα Si.....	24
2.2.2γ Κύτταρα λεπτής μεμβράνης.....	25
2.2.2δ Υβριδικά κύτταρα.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Φωτοβολταϊκά συστήματα	
3.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	27
3.1.1 Εισαγωγή.....	27
3.1.2 Συστήματα Επίπεδων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	27
3.1.3 Συστήματα Συγκεντρωτικών Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	28
3.1.4 Μηχανισμός Κίνησης.....	29
3.1.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	29
3.2 Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	35
3.2.1 Το σύστημα.....	35
3.2.2 Συσσωρευτές.....	36
3.2.3 Συστήματα Ρύθμισης Ισχύος.....	37
3.2.4 Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	38
3.2.5 Τρόποι Σύνδεσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στο Δίκτυο Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	40
Κεφάλαιο 4:	
4.1 Εισαγωγή.....	46
4.1.1 Προκατακτική τεχνική μελέτη του προτεινόμενου έργου.....	50
4.1.2 Σύντομη περιγραφή του έργου	51
4.1.3 Χωματουργικές εργασίες.....	53
4.1.4 Χωροταξική διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	53
4.1.5 Ομαδοποίηση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	56
4.1.6 Επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	57
4.1.7 Επιλογή αντιστροφών.....	58
4.2 Καλώδια.....	60
4.2.1 Καλωδιώσεις περιμετρικού φωτισμού.....	60
4.2.2 Καλωδιώσεις συστήματος καμερών.....	60
4.2.3 Καλωδιώσεις συστήματος συναγερμού.....	60
4.2.4 Καλωδιώσεις συστήματος τηλεπαρακολούθησης.....	60
4.2.5 Καλωδιώσεις μετεωρολογικού σταθμού.....	60
4.3 Αντικεραυνική προστασία.....	61

4.4 Κατασκευή οικοδομικού μέρους σταθερών βάσεων.....	61
4.5 Κατασκευή περίφραξης.....	62
4.6 Κατασκευή βάσεων υποπινάκων.....	62
4.7 Κατασκευή βάσης οικίσκου.....	63
4.8 Κατασκευή βάσης αλεξικέρανου.....	63
4.9 Κατασκευή τοιχίου τοποθέτησης μετρητικής διάταξης.....	63
4.10 Κατασκευή ιστών καμερών-φωτισμού.....	63
4.11 Τοποθέτηση καλωδιώσεων.....	63
4.12 Συναρμολόγηση βάσεων.....	63
4.13 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων και αντιστροφέων.....	63
4.14 Κατασκευή βοηθητικών εγκαταστάσεων.....	64
4.14.1 Σύστημα παρακολούθησης.....	64
4.14.2 Σύστημα καμερών.....	64
4.14.3 Σύστημα συναγερμού.....	64
4.14.4 Δίκτυο φωτισμού.....	65
4.14.5 Κατασκευή αλεξικέρανου-Τρίγωνα γείωσης.....	65
Κεφάλαιο 5:	
Ενεργειακή μελέτη- Αποτελέσματα λειτουργίας.....	66
Κεφάλαιο 6:	
Οικονομική μελέτη.....	69
6.1 Σύντομη περιγραφή.....	69
6.2 Μελέτη βιωσιμότητας της επένδυσης.....	69
6.3 Κόστη παραγωγής και έξοδα επιχείρησης.....	72
6.3.1 Προσωπικό.....	72
6.3.2 Ασφάλιση εγκατάστασης.....	72
6.3.3 Επισκευές-Συντήρηση εξοπλισμού.....	73
6.3.4 Έξοδα διοίκησης.....	73
6.3.5 Λειτουργικά κόστη.....	73
6.3.6 Αποσβέσεις.....	73
6.4 Δανειακές απαιτήσεις.....	74
6.4.1 Βραχυπρόθεσμο δάνειο.....	74
Εξοικίωση με την ωρολογία-Συντομογραφίες.....	75
Βιβλιογραφία.....	76

Σκοπός εργασίας

Το περιεχόμενο της πτυχιακής αυτής, πραγματεύεται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, και πιο συγκεκριμένα, με τα φωτοβολταϊκά συστήματα και την χρήση τους, αναλύει την χρησιμότητα τους αλλά και τις μελλοντικές προσδοκίες για την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Αναφέρεται εκτενώς στον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και στα εξαρτήματα τα οποία περιλαμβάνονται σε αυτήν (ανάλογα με το ποιο σύστημα έχει επιλεγθεί) αναφέρει τα είδη των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και επεξηγεί σε τι διαφέρουν, και με ποια κριτήρια γίνεται η επιλογή τους .

Ακόμη περιγράφει το πώς βρίσκουμε τα βασικά δεδομένα για να προβούμε στην μελέτη για το φωτοβολταϊκό πάρκο στην περιοχή της Κοζάνης. Αλλά και με ποιον τρόπο αξιοποιούμε αυτά τα δεδομένα.

Επίσης όπως προαναφέραμε, μελετά την περίπτωση χρήσης φωτοβολταϊκών σε συγκεκριμένη περιοχή, και αναλύει μέσω των μετρήσεων ποια υλικά θα χρησιμοποιηθούν, ποιο είδος θα επιλεγεί(αυτόνομα, διασυνδεδεμένα, κ.τλ.) για να καλύψουν τις ανάγκες του .

Μετέπειτα προβαίνει σε τεχνικό-οικονομική μελέτη ούτως ώστε να δείξει το μακροπρόθεσμο κέρδος του συστήματος αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΑΠΕ

1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού, μέχρι τις αρχές της 10ετίας του '70, παρατηρείται διεθνώς μία συνεχής συγκέντρωση της παραγωγής σε συνεχώς μεγαλύτερους «Σταθμούς Παραγωγής» και παράλληλα ανάπτυξη των δικτύων Μεταφοράς και Διανομής με συνεχώς μεγαλύτερες τάσεις, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συνέβη και στην χώρα μας με την ανάπτυξη του Εθνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία κατά την περίοδο 1956-63 (περίπου) εξαγόρασε τις 300 περίπου ηλεκτρικές εταιρείες που προμήθευαν τότε την ηλεκτρική ενέργεια με μικρά τοπικά δίκτυα. Όμως, με αφορμή τις «πετρελαϊκές κρίσεις» της 10ετίας του '70, άρχισε να γίνεται διεθνώς συνείδηση η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας, αφενός μεν για να αξιοποιούνται καλύτερα οι διατιθέμενοι ενεργειακοί πόροι, αφετέρου δε για να περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος. Άρχισε τότε σε διεθνές επίπεδο η αναζήτηση Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας, σε αντιστάθμισμα των Συμβατικών Πηγών, όπως είναι το κάρβουνο και το πετρέλαιο, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας, η οποία βεβαίως παρουσιάζει τα γνωστά προβλήματα. Παράλληλα άρχισε μία προσπάθεια για την εξοικονόμηση και γενικότερα την καλύτερη και αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας.

Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι μορφές των ΑΠΕ που είναι σήμερα τεχνικοοικονομικά εκμεταλλεύσιμες είναι οι ακόλουθες:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Βιομάζα
- Αιολική Ενέργεια
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα εγγενή πλεονεκτήματα των ΑΠΕ και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους

στην ενεργειακή ανεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Πραγματικά, σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο). Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕ

Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα παρακάτω:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα, αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

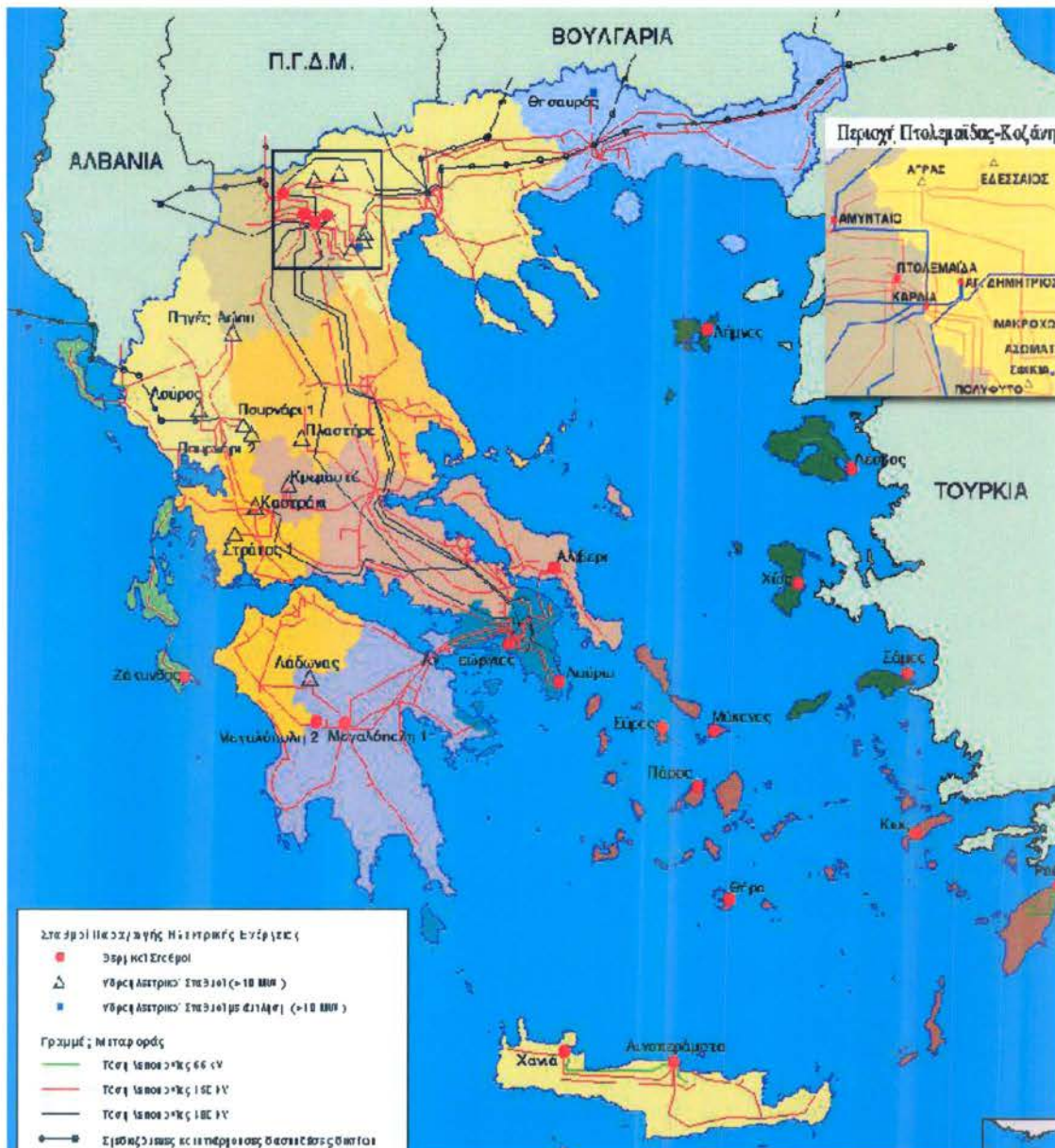
Τα μειονεκτήματα των Α.Π.Ε είναι τα παρακάτω:

Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.

- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών των μεγάλων αστικών κέντρων
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητικής άποψης κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου



ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΟΙ ΑΠΕ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ



Πίνακας 2. Γενικός Πίνακας Παραγωγής- Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με τους δυο παραπάνω πίνακες δείχνουμε πρώτον την τεχνολογία των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα στον οποίο διαπιστώνουμε ότι εξαιρούμενου των μεγάλων υδροηλεκτρικών τα Α.Π.Ε. και δη τα φωτοβολταϊκά κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται κυρίως στα νησιά, και αυτό εξηγείται εάν κοιτάξουμε τον δεύτερο πίνακα θα διαπιστώσουμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια στα νησιά δεν είναι διασυνδεδεμένη με το κυρίως δίκτυο αλλά καλύπτει την ζήτηση της από μικρούς σταθμούς, οι οποίοι και δυσκολεύονται συνήθως να αντεπεξέλθουν σε ώρες αιχμής και κυρίως το καλοκαίρι που η ζήτηση αυξάνεται λόγω τουρισμού.

Η χρήση λοιπόν τον Α.Π.Ε διορθώνει 2 προβλήματα :

Αφενός αποσυμφορεί το δίκτυο σε περιόδους αιχμής (εννοώντας τα διασυνδεδεμένα συστήματα αλλά και τους σταθμούς παραγωγής) και αφετέρου δίνει ρεύμα σε περιοχές που είναι ασύμφορο να πάει δίκτυο (π.χ. Γαύδος).

1.3 Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης των ΑΠΕ έγινε με τον Ν. 1559/85, με τον οποίο δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε ιδιώτες και τους ΟΤΑ (αυτοπαραγωγούς), μέχρι το τριπλάσιο της ισχύος των εγκαταστάσεών τους και την πώληση της περίσσειας στη ΔΕΗ. Η συνεισφορά του νόμου στην ανάπτυξη των ΑΠΕ ήταν μηδαμινή, λόγω της χαμηλής τιμής αγοράς της ενέργειας από την ΔΕΗ αλλά και των πολύπλοκων διαδικασιών αδειοδότησης : Το 1993 λειτουργούσαν ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 27 MW, από τις οποίες 3 MW ανήκαν σε ιδιώτες, τους ΟΤΑ και τον ΟΤΕ, ενώ οι λοιπές στην ΔΕΗ.

Ένα επόμενο βήμα για την αξιοποίηση των ΑΠΕ έγινε με τον Ν.2244/94, με τον οποίο δινόταν η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και σε ιδιώτες και την πώληση της παραγόμενης ενέργειας στη ΔΕΗ και παράλληλα αύξησε τις δυνατότητες αυτοπαραγωγής . Όρισε επίσης σχετικά επαρκείς τιμές αγοράς της πωλούμενης στην ΔΕΗ ενέργειας και δεκαετή διάρκεια συμβάσεων. Παράλληλα θεσπίστηκαν αναπτυξιακά κίνητρα (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, Αναπτυξιακός Νόμος κ.ά.), τα οποία περιλάμβαναν επιδοτήσεις των δαπανών εγκαταστάσεως ΑΠΕ και Συμπαραγωγής, ώστε παρά τα εμπόδια λόγω των πολύπλοκων διαδικασιών αδειοδότησης , που δεν κατέστη δυνατόν να ξεπεραστούν, να σημειωθεί σημαντική πρόοδος κατά τα τελευταία ιδίως έτη. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας, που λόγω των ετήσιων μέσων τιμών του, ευνοεί την εγκατάσταση των ΑΠΕ στον ελλαδικό χώρο.



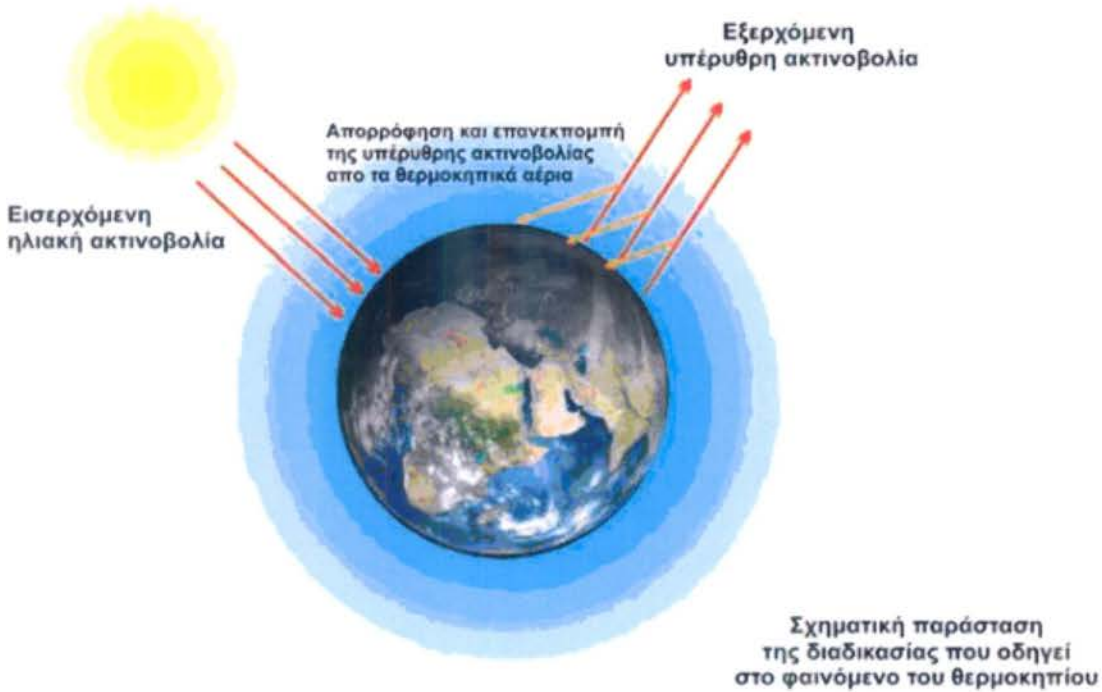
Σχήμα 1.1: Ημερήσιες τιμές του ηλιακού δυναμικού στον ελλαδικό χώρο

Συμβολή στην ανάπτυξη των ΑΠΕ, αποτέλεσε και η δημιουργία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας-ΚΑΠΕ, το οποίο από το 1989 που ιδρύθηκε μετέχει ενεργά στην όλη προσπάθεια με μελέτες του δυναμικού των ΑΠΕ (αιολικού, ανάπτυξης μικρών υδροηλεκτρικών κ.ά.) καθώς και των Πανεπιστημίων, για την εκτέλεση πάσης φύσεως μετρήσεων και πιστοποιήσεων. Αξιόλογη επίσης υπήρξε η συμβολή της ΔΕΗ με την εγκατάσταση των πρώτων ανεμογεννητριών, κυρίως σε νησιά, και γενικότερα την απόκτηση των πρώτων εμπειριών. Τα κυριότερα από τα εμπόδια μιας μεγαλύτερης ανάπτυξης των ΑΠΕ, ήταν τα ακόλουθα:

1. Οι χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες έκδοσης Αδειών Εγκατάστασης, που κυρίως οφείλονται στην έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού, την μη επαρκή στελέχωση και εκπαίδευση των αρμόδιων περιφερειακών υπηρεσιών και την πολυπλοκότητα και ασάφεια των υφιστάμενων ρυθμίσεων.
2. Την ανάγκη εκτεταμένων επεκτάσεων και ενισχύσεων των δικτύων της ΔΕΗ σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό (π.χ. Ν. Εύβοια, Λακωνία)
3. Την έλλειψη κτηματολογίου και γενικότερου σχεδιασμού της χρήσης γης, η οποία σε συνδυασμό με την ελλιπή ενημέρωση των πολιτών για τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, και ακόμη τη μη απ' αρχής πρόβλεψη κάποιου αντισταθμίματος που θα ικανοποιούσε ανάγκες των τοπικών κοινωνιών, οδήγησαν σε αντιδράσεις των κατοίκων.
4. Την αδυναμία πλήρους αξιοποίησης του υψηλού αιολικού δυναμικού των νησιών, λόγω τεχνικών προβλημάτων συνεργασίας με τους υφιστάμενους Ντιζελοηλεκτρικούς σταθμούς.

1.4 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο. Αυτό που αποτελεί απειλή για το πλανήτη μας είναι η υπερβολική εμφάνιση του φαινομένου, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων. Έχει εξακριβωθεί ότι ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας (γνωστά και ως αέρια θερμοκηπίου), επιτρέπουν την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (η οποία διαφορετικά θα απελευθερωνόταν στο Διάστημα) από τα συγκεκριμένα αέρια ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, τη διατήρηση και της εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν τον μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν περίπου κατά 35°C χαμηλότερη, δηλαδή περίπου -20°C αντί για +15°C που είναι σήμερα, και η ζωή θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον στη μορφή που τη γνωρίζουμε.



Σχήμα 1.2: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Κατά συνέπεια, το εν λόγω φαινόμενο, στις φυσικές του διαστάσεις, δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα έχει ζωτική σημασία για τη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη στους 15°C περίπου. Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων αυξάνουν τη δυνατότητα της ατμόσφαιρας να παγιδεύσει την υπέρυθρη ακτινοβολία της Γης. Η αύξηση αυτή οδηγεί στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνεπώς στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη. Τα αέρια εκείνα των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης καθώς και ο βαθμός συνεισφοράς τους αναφέρονται στις παρακάτω παραγράφους. Εμάς μας ενδιαφέρουν οι εκπομπές ρύπων που προκαλούνται από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση της, άμεσα ή έμμεσα, δηλαδή από τον ενεργειακό τομέα.

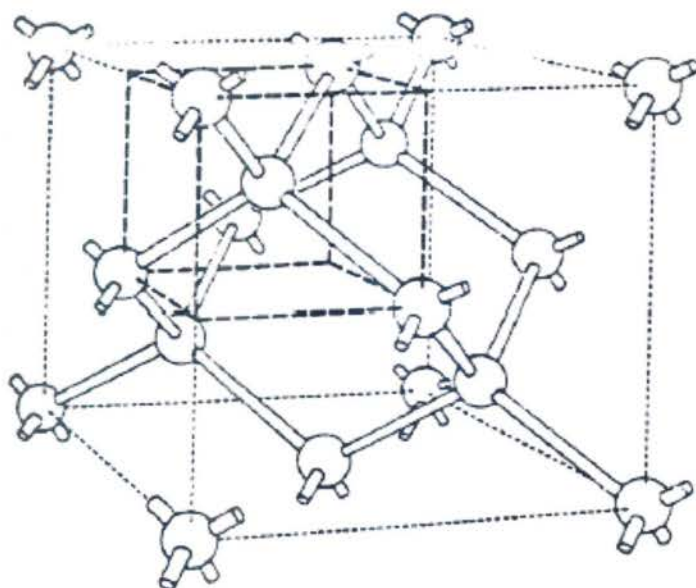
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Το Φωτοβολταϊκό κύτταρο

2.1 Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

2.1.1. Το πυρίτιο

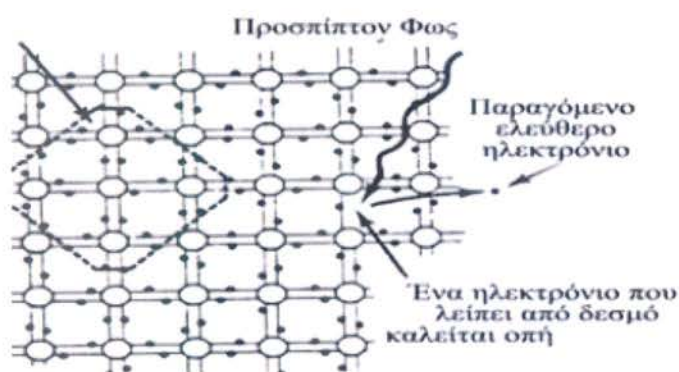
Η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας στηρίζεται αφ' ενός μεν στην ηλιακή ακτινοβολία, αφ' ετέρου δε στις ιδιότητες των ημιαγωγικών υλικών. Το άτομο του πυριτίου (που αποτελεί τον κυριότερο εκπρόσωπο των ημιαγωγών) έχει 14 ηλεκτρόνια τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα 4 εξωτερικά, που λέγονται και ηλεκτρόνια σθένους μπορούν να δοθούν, να γίνουν αποδεκτά ή να μοιραστούν με ένα άλλο άτομο. Ένας μεγάλος αριθμός ατόμων, μέσω των ηλεκτρονίων σθένους, μπορούν να αλληλοσυνδεθούν με δεσμούς και να σχηματίσουν ένα κρυσταλλικό πλέγμα (σχήμα 2.1). Κάθε άτομο του πυριτίου είναι ενωμένο με 4 γειτονικά άτομα, μέσω ενός χημικού δεσμού που αποτελείται από ένα ζεύγος ηλεκτρονίων σθένους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν ηλιακό φως πέσει σε κρυσταλλικό πυρίτιο, είναι δυνατόν να ανακλαστεί, να διαπεράσει τον κρύσταλλο ή να απορροφηθεί. Στη τελευταία περίπτωση αν το φως είναι χαμηλής ενέργειας τα άτομα του πυριτίου ταλαντώνονται περί την σταθερή θέση τους χωρίς να χαλαρώνουν οι δεσμοί μεταξύ τους, ενώ τα ηλεκτρόνια των δεσμών αποκτώντας μεγαλύτερη ενέργεια ανεβαίνουν σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες που δεν είναι ευσταθείς οπότε τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν σύντομα στις αρχικές χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες, αποδίδοντας υπό μορφή θερμότητας την ενέργεια που είχαν κερδίσει.



Σχήμα 2. 1 Κρυσταλλική δομή του πλέγματος του Πυριτίου

Από την άλλη μεριά, αν το φως έχει αρκετή ενέργεια είναι δυνατόν να αλλάξει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του κρυστάλλου. Έτσι, το ηλεκτρόνιο ενός δεσμού είναι δυνατόν να αποχωρισθεί της θέσης του στον κρύσταλλο και να μετακινηθεί στη ζώνη αγωγιμότητα αφήνοντας πίσω στη ζώνη σθένους ένα δεσμό από τον οποίον λείπει ένα ηλεκτρόνιο, που καλείται οπή (σχήμα 2.2).

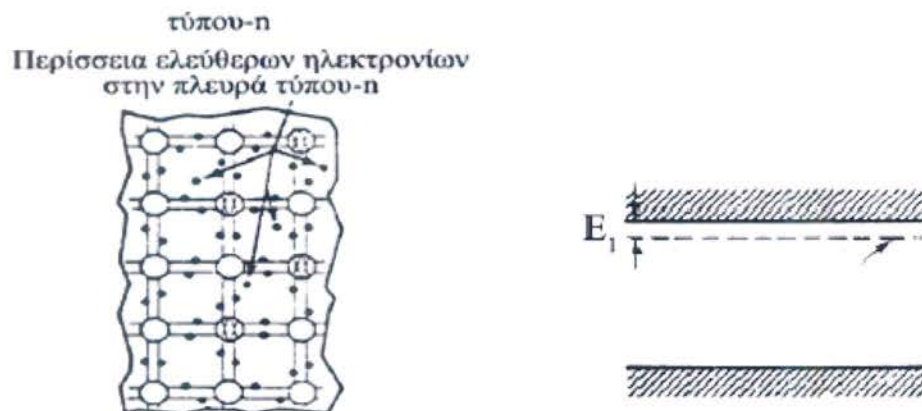
Οπές στη ζώνη σθένους και ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας είναι ελεύθερα να μετακινηθούν δια μέσω του κρυστάλλου και παίζουν σημαντικό ρόλο στην ηλεκτρική συμπεριφορά των ηλιακών κυττάρων. Τα παραγόμενα, με την βοήθεια του ηλιακού φωτός ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών αποτελούν τη βασική διαδικασία του φωτοβολταϊκού φαινομένου, χωρίς όμως να είναι σε θέση να δώσουν από μόνα τους ρεύμα. Εάν δεν υπήρχε και κάποιος άλλος μηχανισμός τα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, θα εκτελούσαν για σύντομο χρονικό διάστημα, τυχαίους ελιγμούς στο κρύσταλλο και τελικά θα επανέρχονταν στις αρχικές θέσεις τους στη ζώνη σθένους αποδίδοντας θερμική ενέργεια.



Σχήμα 2. 2 Δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων- Παραγωγή Οπών

Έτσι, για τη παραγωγή ρεύματος είναι απαραίτητος και ένας άλλος μηχανισμός, το φράγμα δυναμικού. Κάθε ηλιακό κύτταρο περιέχει ένα φράγμα δυναμικού που διαχωρίζει τα παραγόμενα ζεύγη ηλεκτρονίων - οπών, στέλνοντας περισσότερα ηλεκτρόνια στη μια πλευρά του κυττάρου και περισσότερες οπές στην άλλη έτσι ώστε να υπάρχει μικρή πιθανότητα επανασύνδεσης μεταξύ των. Ο χωρισμός αυτός των φορτίων δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού στα δυο άκρα του κυττάρου, που είναι δυνατόν να δώσει ρεύμα σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Όπως προαναφέρθηκε το άτομο του πυριτίου έχει 4 ηλεκτρόνια σθένους καθένα από τα οποία ανήκει σε ένα δεσμό με ένα άλλο άτομο πυριτίου. Εισάγουμε σε ένα καθαρό κρύσταλλο πυριτίου μια πρόσμιξη αντικαθιστώντας ένα άτομο πυριτίου με ένα άτομο από την πέμπτη ομάδα του περιοδικού συστήματος π.χ. φώσφορο, που έχει 5 ηλεκτρόνια σθένους. Το άτομο - πρόσμιξη θα αντικαταστήσει ένα άτομο πυριτίου προσφέροντας 4 ηλεκτρόνια για καθένα από τους 4 δεσμούς με 4 άλλα άτομα πυριτίου, ενώ θα υπάρχει περίσσεια ενός ηλεκτρονίου που δεν θα ανήκει σε δεσμό.

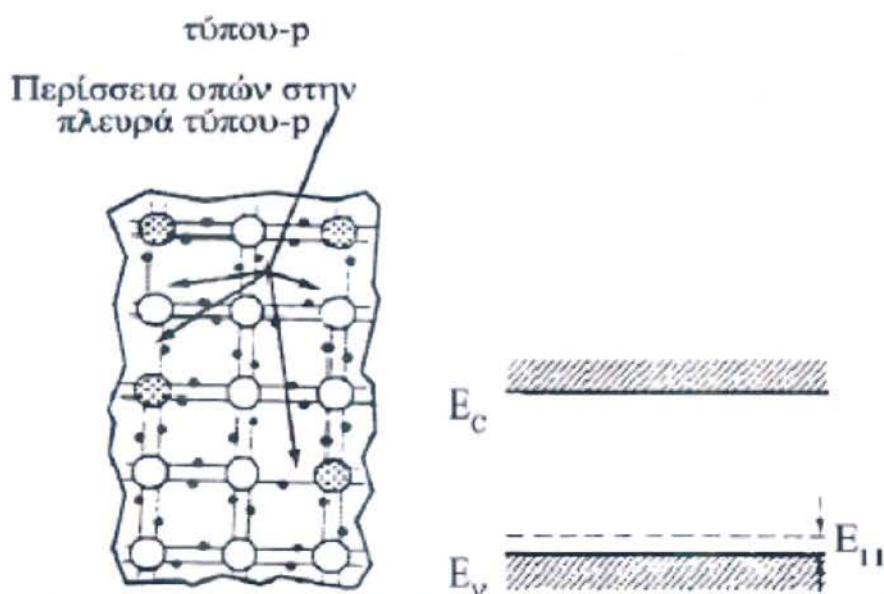
Το επί πλέον ηλεκτρόνιο δεν βρίσκεται ούτε στη ζώνη σθένους ούτε στη ζώνη αγωγιμότητας, αλλά σε μια ενδιάμεση στάθμη πολύ κοντά στη ζώνη αγωγιμότητας που στη θερμοκρασία δωματίου υπάρχει αρκετή θερμική ενέργεια στον κρύσταλλο για να μετακινήσει αυτό το ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας, χωρίς το φόβο να επανασυνδεθεί με κάποια οπή αφού δεν έχει δημιουργήσει πίσω του κάποια οπή αλλά ένα θετικό ιόν φωσφόρου και είναι πάντα σε ετοιμότητα να συμβάλει σε κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, ένας κρύσταλλος πυριτίου, όπου ένας μεγάλος αριθμός ατόμων του έχουν αντικατασταθεί με άτομα φωσφόρου θα έχει πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και ένα αντίστοιχο αριθμό θετικών ιόντων στη κρυσταλλική δομή (σχήμα 2.3). Έτσι, ενώ το σύνολο του κρυστάλλου παραμένει ηλεκτρικά ουδέτερο, οι ηλεκτρικές ιδιότητες του κρυστάλλου έχουν αλλάξει δραστικά. Προσμίξεις αυτού του τύπου έχουν ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο σθένους καλούνται δότες και ο αντίστοιχος κρύσταλλος καλείται τύπου-n (n- TYPE). Τα παραπάνω αποτελούν ένα μέρος της διαδικασίας για τη δημιουργία του εσωτερικού φράγματος δυναμικού.



Σχήμα 2.3 Αριστερά: Άτομα φωσφόρου έχουν αντικαταστήσει άτομα πυριτίου. Δεξιά: Επιτρεπόμενες στάθμες στο ενεργειακό χάσμα μεταξύ ζώνης σθένους και ζώνης αγωγιμότητας για πρόσμιξη φωσφόρου.

Αν τώρα αντικαταστήσουμε ένα άτομο πυριτίου με ένα άτομο από την τρίτη ομάδα του περιοδικού συστήματος π.χ. βόριο, που έχει 3 ηλεκτρόνια σθένους, το άτομο –πρόσμιξη θα προσφέρει τα 3 ηλεκτρόνια σε 3 δεσμούς με 3 άτομα πυριτίου, αλλά από τον τέταρτο δεσμό του αντικαθιστάμενου ατόμου πυριτίου θα λείπει ένα ηλεκτρόνιο δηλαδή θα υπάρχει μια οπή. Η οπή αυτή βρίσκεται σε μια ενδιάμεση στάθμη πολύ κοντά στη ζώνη σθένους που με αντίστοιχη θερμική ενέργεια μετακινείται στη ζώνη σθένους (σχήμα 2.4). Έτσι ένας κρύσταλλος πυριτίου "ντοπαρισμένος" με πολλά άτομα βόριου διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό οπών που είναι δυνατόν να θεωρηθούν σαν ελεύθερα θετικά φορτία και να μετακινηθούν μέσω του κρυσταλλικού πλέγματος. Προσμίξεις αυτού του τύπου (με 3 ηλεκτρόνια σθένους) καλούνται δέκτες, διότι οι οπές τους δέχονται ηλεκτρόνια (ηλεκτρόνια σθένους που ανήκουν σε δεσμούς ή ηλεκτρόνια αγωγιμότητας) και ο αντίστοιχος κρύσταλλος καλείται τύπου-p (p-TYPE).

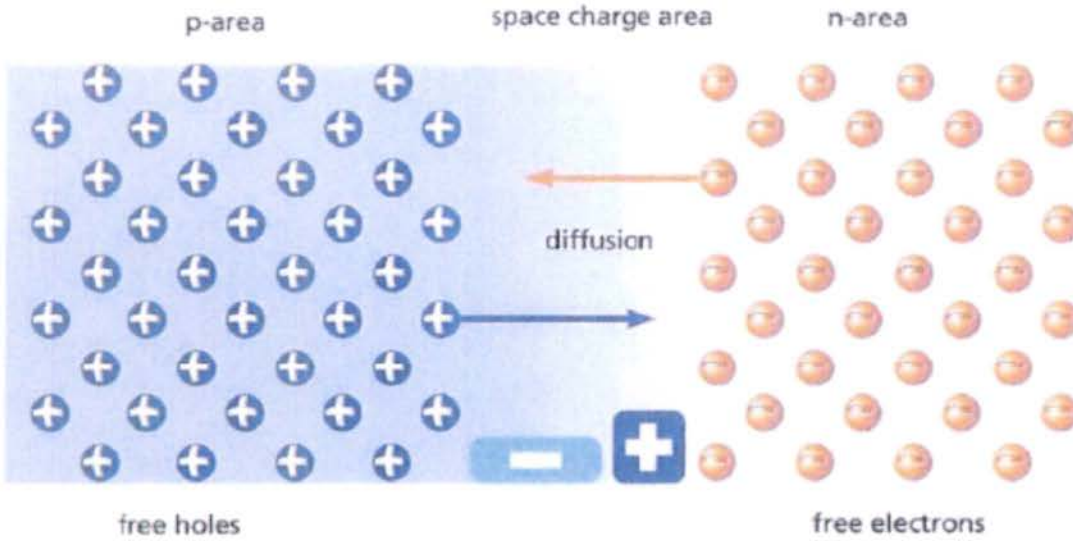
Σε ένα υλικό τύπου-n τα ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτία) αποτελούν τους φορείς πλειονότητας ενώ οι οπές τους φορείς μειονότητας. Αντίστροφα, σε ένα υλικό τύπου-p τους φορείς πλειονότητας αποτελούν οι οπές (θετικά φορτία), ενώ τους φορείς μειονότητας τα ηλεκτρόνια.



Σχήμα 2.4 Αριστερά: Άτομα βορίου έχουν αντικαταστήσει άτομα πυριτίου. Δεξιά: Επιτρεπόμενες στάθμες για πρόσμιξη βορίου.

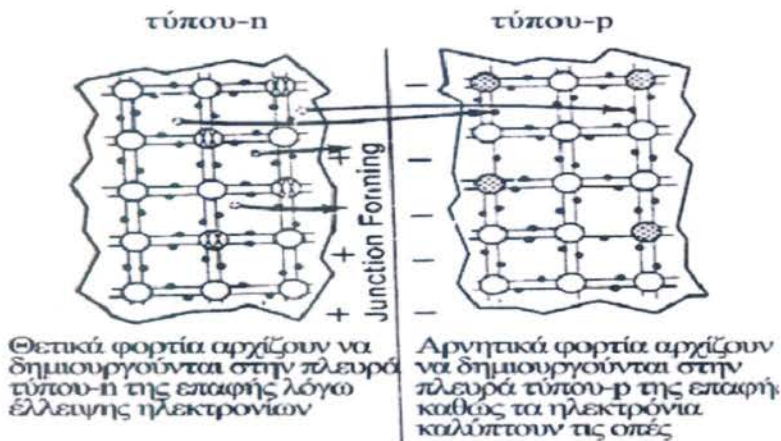
2.1.2 Η p-n επαφή

Αν φέρουμε σε επαφή ένα υλικό τύπου-n και ένα υλικό τύπου-p, η διαχωριστική γραμμή που καλείται επαφή αποτελεί την εστία δημιουργίας του φράγματος δυναμικού, που όπως είδαμε αποτελεί ουσιαστική προϋπόθεση για την λειτουργία του ηλιακού κυττάρου



Σχήμα 2.5 Το φαινόμενο της διάχυσης

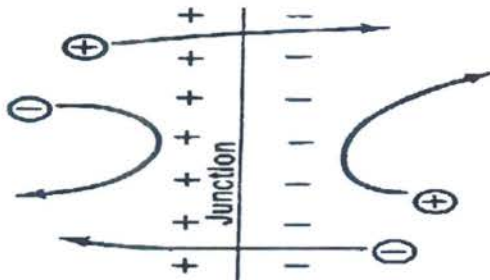
Όταν λοιπόν τα δυο υλικά έλθουν σε επαφή, ελεύθερα ηλεκτρόνια από το υλικό τύπου-n μεταπηδούν (με τη διαδικασία της διάχυσης) μέσω της επαφής στο υλικό τύπου-p και συνδέονται με αντίστοιχες οπές, αφού το υλικό αυτό διαθέτει μεγάλο αριθμό οπών(σχήμα 2.5). Αυτή η διαδικασία μεταφοράς των φορτίων(σχήμα 2.6) δημιουργεί μια ανισορροπία φορτίων στις δυο πλευρές της επαφής: αρνητικά φορτία (επί πλέον ηλεκτρόνια) στην πλευρά τύπου-p της επαφής και θετικά φορτία (ιόντα) στην πλευρά τύπου-n της επαφής.



Σχήμα 2. 6 Υλικό τύπου-n σε επαφή με υλικό τύπου-p. Ηλεκτρόνια και οπές αρχίζουν να μετακινούνται

Με άλλα λόγια, σε μια στενή περιοχή περί την επαφή δημιουργούνται φορτία χώρου, που έχουν σαν συνέπεια την δημιουργία ενός φράγματος δυναμικού περί την επαφή, που

αντιτίθεται στην παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας μέσω της επαφής (σχήμα 2.8). Ωστόσο, οι φορείς μειονότητας δεν εμποδίζονται από το φράγμα δυναμικού.



Από την στιγμή που θα δημιουργηθεί η επαφή λειτουργεί σαν φράγμα στην παραπέρα μεταπήδηση ηλεκτρονίων στην πλευρά τύπου-p

Από την στιγμή που θα δημιουργηθεί η επαφή λειτουργεί σαν φράγμα στην πιθανή μεταφορά οπών από την πλευρά τύπου-p στην πλευρά τύπου-n

Σχήμα 2. 8 Η επίδραση του φράγματος δυναμικού

Αντίθετα μάλιστα, (χωρίς φωτισμό του κυττάρου) υπάρχει μικρός αριθμός φορέων μειονότητας, όπως ελεύθερα ηλεκτρόνια στο υλικό τύπου-p, τα οποία οδηγούνται από το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής στην αντίθετη πλευρά. Το ίδιο ισχύει και για τις οπές που βρίσκονται στο υλικό τύπου-n.

Έτσι, σε συνθήκες ισορροπίας όταν το κύτταρο δεν φωτίζεται λίγοι φορείς πλειονότητας που αποκτούν τυχαία αρκετή ενέργεια ώστε να διασχίσουν το φράγμα συνιστούν ένα ρεύμα διάχυσης που αντισταθμίζεται από ίσο και αντίθετο ρεύμα ολίσθησης που οφείλεται σε φορείς μειονότητας, οπότε τελικά δεν υπάρχει ρεύμα στον κρύσταλλο.

2.1.3 Η δίοδος

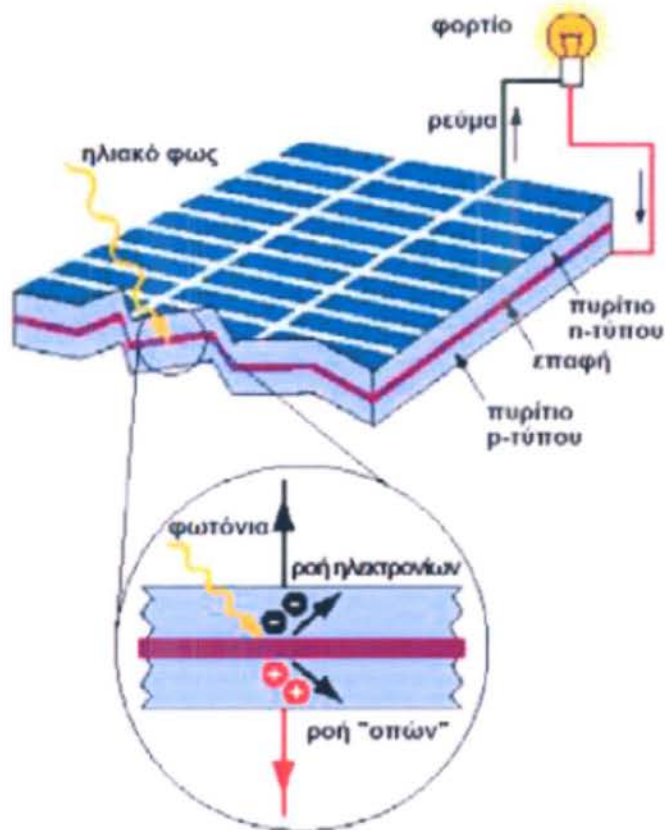
Τα παραπάνω αποτελούν την αρχή κατασκευής και κατ' επέκταση τη βάση για την αρχή λειτουργίας τόσο μιας διόδου επαφής p-n (όπως είναι ένα ηλιακό κύτταρο όταν δεν φωτίζεται) όσο και του ηλιακού κυττάρου όταν φωτίζεται.

2.2 Λειτουργία των ηλιακών κυψελών

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία μιας φ/β κυψέλης, πρέπει να κατανοηθεί η φύση τόσο του υλικού όσο και του ηλιακού φωτός. Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, συνήθως πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία (οπές) από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή.

Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα όπως το παρακάτω

είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια φ/β συσκευή καθορίζεται από:

- Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού
- Την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία) και
- Το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης.

Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει αρκετή

ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10% περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

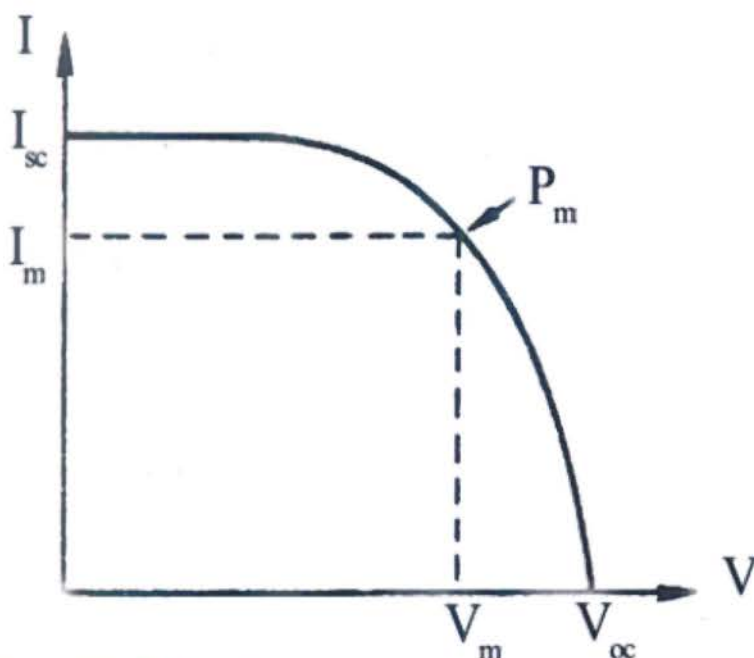
Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα:

- Θερμοκρασία = 25°C
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας = 1000W/m²
- Αέρια μάζα = AM 1,5.

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με 1.

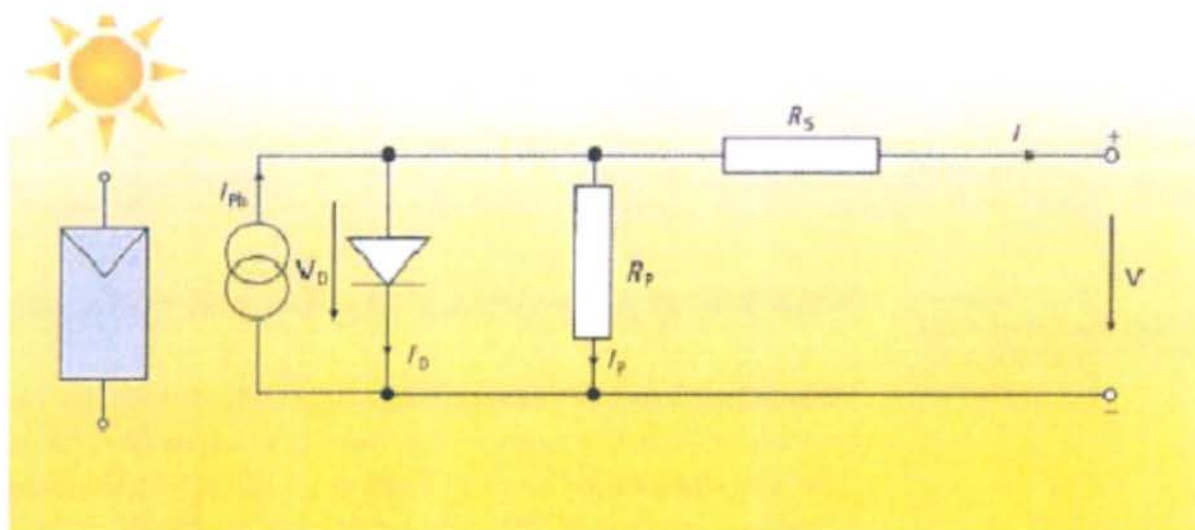
Η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την τάση και η σχέση αυτή απεικονίζεται στην καμπύλη I-V της κυψέλης. Αυτή χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόδοση της κυψέλης και για τη σύγκριση μεταξύ των κυψελών υπό ορισμένες συνθήκες. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται η καμπύλη I-V μίας κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου στις ΠΣΔ. Παρατηρείται ότι, αριστερά του γόνατος της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ στα δεξιά μεταβάλλεται σημαντικά με μικρές μεταβολές αυτής. Γι' αυτόν τον τύπο κυψέλης εν γένει ισχύουν:

- I_{sc}(ρεύμα βραχυκυκλώσεως) = 3,36 A
- V_{oc}(τάση ανοιχτού κυκλώματος) = 0,6 V
- P_{max}(σημείο μέγιστης ισχύος) = 1,5 W
- I_m(ρεύμα στο P_{max}) = 3 A
- V_m(τάση στο P_{max}) = 0,5 V



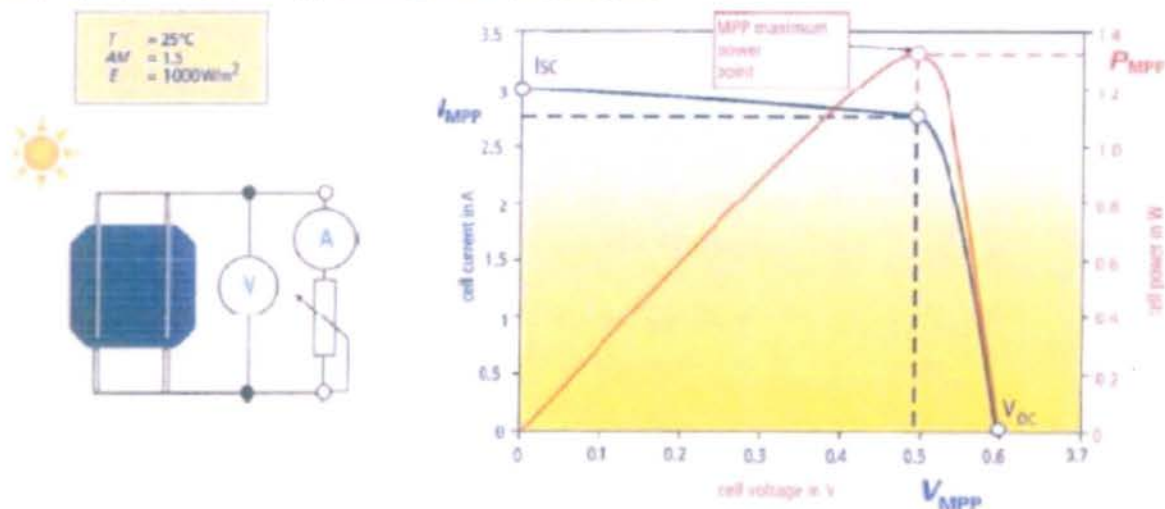
Σχήμα 2. 12 V-I Χαρακτηριστική

Παρακάτω παρουσιάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός ηλιακού κυττάρου:



Σχήμα 2. 13 Ισοδύναμο κύκλωμα ηλιακού κυττάρου

Στο σχήμα 2.14 δίνεται η αναπαράσταση της V-I χαρακτηριστικής του κυττάρου στο πρώτο τεταρτημόριο μαζί με τη χαρακτηριστική της ισχύος (V-P):



Σχήμα 2. 14 V-I και V-P χαρακτηριστική ηλιακού κυττάρου

2.2.1 Είδη ηλιακών κυττάρων

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

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

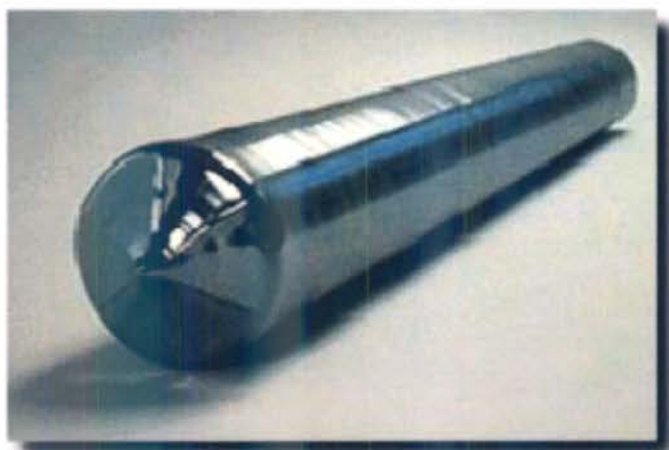
Αυτήν την περίοδο οι τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου (μονοκρυσταλλικό ή

πολυκρυσταλλικό) αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της γενικής παραγωγής ηλιακών κυττάρων όπως μπορούμε να δούμε και στο σχήμα 2.15.



Σχήμα 2. 15 Υλικά κατασκευής φ/β κυττάρων σε παγκόσμια κλίμακα

2.2.2α Μονοκρυσταλλικά Κύτταρα Si



Σχήμα 2.16 Μονοκρυσταλλικοί ράβδοι Si

Η ονομασία τους προέρχεται από την μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος των ατόμων Si που πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο (σχήμα 2.16). Το πυρίτιο και τα οξυγόνο – τα δύο πλέον άφθονα στοιχεία της γης – σχηματίζουν μια χημική ένωση, το SiO₂, που αποτελεί το πρωταρχικό υλικό, το οποίο με κατάλληλες βιομηχανικές διεργασίες δηλαδή τήξη, αργή στερεοποίηση, πρόσθεση προσμίξεων, καθαρισμός, κοπή και στίλβωση, καταλήγει σε λεπτές πλάκες τα ηλιακά κύτταρα (σχήμα 2.17). Βασικό μειονέκτημα της όλης διαδικασίας είναι το κόστος κατασκευής του κυττάρου, που είναι σχετικά μεγάλο, λόγω της ανάγκης χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού Si, η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος αυξάνει το κόστος παραγωγής. Η εμπορική αποδοτικότητα τους όμως φτάνει μεταξύ 15% και 18 % δίνοντας τους τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από όλες τις τεχνολογίες κατασκευής κυττάρων. Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα μονοκρυσταλλικά

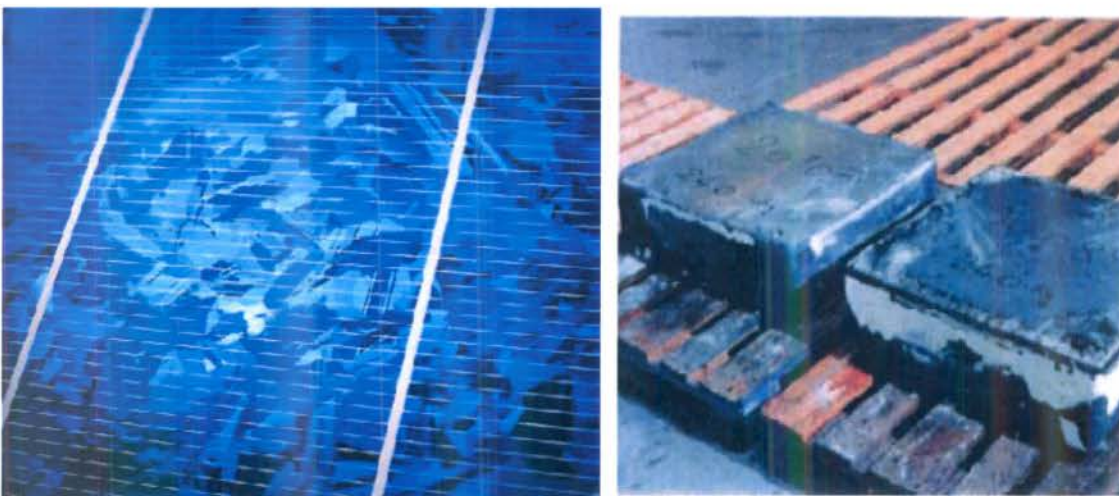
κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην υπέρυθη ακτινοβολία που το ενεργειακό της περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό.



Σχήμα 2.17 Πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε λειτουργία

2.2.2β Πολυκρυσταλλικά Κύτταρα Si

Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα στο πλέγμα τους περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα που κατασκευάζονται συνήθως μετά από τήξη και διαδικασία στερεοποίησης, είναι λιγότερο ακριβές να παραχθούν διότι είναι μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη η ψύξη του Si. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη το πολυκρυσταλλικό πλέγμα προιόνιζεται στα λεπτά φ/β κύτταρα (σχήμα 2.18). Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με αποτέλεσμα έναν βαθμό απόδοσης περίπου 14 %.



Σχήμα 2.18 Φωτοβολταϊκά κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου

2.2.2γ Κύτταρα λεπτής μεμβράνης

Η τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών χρησιμοποιεί πολύ λεπτά στρώματα (πάχους λίγων μικρών) του ημιαγωγού και με τον τρόπο αυτό μειώνεται το κόστος (σχήμα 2.19). Τα πιο γνωστά υλικά που χρησιμοποιούνται στα κύτταρα αυτά είναι :

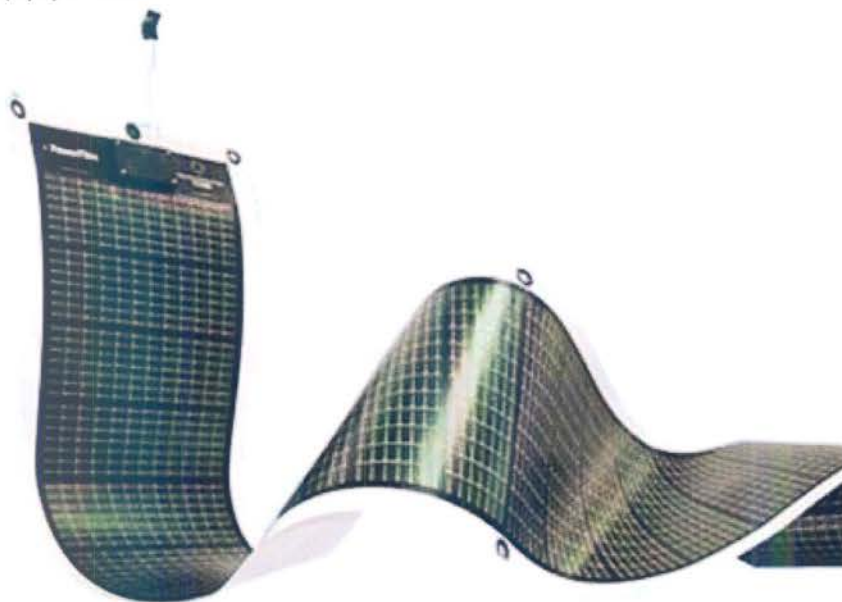
- Άμορφο πυρίτιο (a-Si).
- Copper Indium Diselenide (CIS).
- Cadmium Telluride (CdTe).
- Gallium Arsenide (GaAs).

Με τα δυο πρώτα να είναι τα σημαντικότερα.

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες.

Σήμερα ένα εμπορικό φ/β πλαίσιο με κύτταρα άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%, ενώ τα κύτταρα μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 11-14%.

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



Σχήμα 2.19 Κύτταρα λεπτής μεμβράνης

2.2.2δ Υβριδικά κύτταρα

Για να επιτευχθεί ουσιαστική βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων έπρεπε να γίνει κάποια σημαντική αλλαγή. Σε μια προσπάθεια να γίνει αυτό έγινε μελέτη στη χρήση υβριδικών δομών, στις οποίες κύτταρα με διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης φωτός

συνδέονται μαζί. Αυτό επιτρέπει να πετύχουμε καλύτερα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα υλικά και διαδικασίες.

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

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

Στο σχήμα 2.20 γίνεται μια σύγκριση όλων των τεχνολογιών που περιγράφηκαν.

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

Σχήμα 2.20 Σύγκριση της απόδοσης και της επιφάνειας των διαφόρων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών κυττάρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

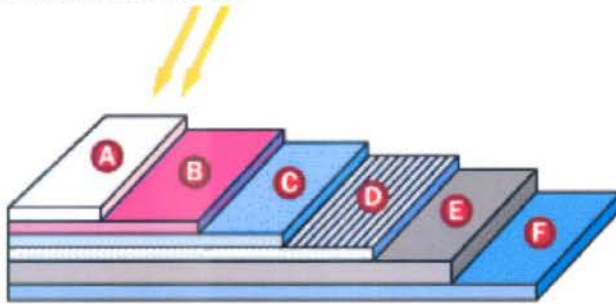
Φωτοβολταϊκά συστήματα

3.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

3.1.1 Εισαγωγή

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο πυριτίου αποτελείται από 36 ηλιακά κύτταρα σε σειρά, έχει έξοδο με συνεχές ρεύμα και συνεχή τάση. Συνήθως τροφοδοτεί συσσωρευτή τάσης 12V. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1 που ακολουθεί, η επιφάνεια που είναι στραμμένη προς τον ήλιο καλύπτεται από γυάλινο κάλυμμα που είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία, προφυλάσσει τα κύτταρα και τις ηλεκτρικές επαφές από την βροχή, το χαλάζι και το χιόνι που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση. Κάτω από το γυάλινο κάλυμμα υπάρχει αντί-ανακλαστική μεμβράνη, ώστε να μειωθεί το ποσοστό της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Πάνω και κάτω από την επιφάνεια του πυριτίου υπάρχουν ηλεκτρικές επαφές από υλικό μικρής θερμικής αντίστασης που το συνδέουν με το εξωτερικό κύκλωμα. Τέλος, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ασφαρίζεται μέσα σε μια μεταλλική θήκη αλουμινίου.

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



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

Σχήμα 3.1 Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) στα κλασσικά επίπεδα συστήματα και β) στα συστήματα συγκεντρωτικών συλλεκτών.

3.1.2 Συστήματα Επίπεδων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

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

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

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

3.1.3 Συστήματα Συγκεντρωτικών Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

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

Αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα των συγκεντρωτικών συστημάτων έναντι των επίπεδων. Έχουν αυξημένη ισχύ εξόδου και η απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη έχοντας ταυτόχρονα μικρότερο μέγεθος κυττάρων ή μικρότερο αριθμό κυττάρων. Το πόσο θα αυξηθεί η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απ' το σχήμα του ηλιακού κυττάρου και από το υλικό που είναι κατασκευασμένο. Ακόμα, η δυνατότητα χρήσης μικρών ηλιακών κυττάρων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα διότι είναι πιο δύσκολο να παραχθούν κύτταρα μεγάλης επιφάνειας με μεγάλη απόδοση απ' ότι μικρής επιφάνειας. Απ' την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον. Για παράδειγμα τα απαιτούμενα οπτικά του συστήματος είναι σημαντικά πιο ακριβά από τα καλύμματα των επίπεδων συστημάτων. Επιπλέον, δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν την διάχυτη ακτινοβολία, δηλαδή ακόμη και σε μία ηλιόλουστη μέρα χάνεται το 20% της ακτινοβολίας, οπότε χρειάζεται να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθ' όλη την διάρκεια της μέρας και συνολικά του έτους. Άρα, για την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης πρέπει ο μηχανισμός κίνησης να είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα συστήματα. Για την συγκέντρωση του φωτός χρησιμοποιούνται οι ανακλαστήρες και οι φακοί με πιο διαδεδομένο τον φακό FRESNEL που έχουν διατομή σαν δόντι πριονιού για να συγκεντρώσουν το εισερχόμενο φως. Όμως, δεν υπάρχει φακός που να μπορεί να μεταφέρει το 100% του προσπίπτοντος φωτός αλλά συνήθως μεταφέρεται 90-95% ή και λιγότερο (λόγω απορρόφησης και ανακλάσεως).

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

προσπίπτει στο πρίσμα, εκτρέπεται και διοχετεύεται στο κύτταρο. Η άλλη λύση είναι να τοποθετηθούν και οι δύο επαφές πίσω από το κύτταρο το οποίο όμως απαιτεί πολύ καλής ποιότητας υλικό πυριτίου.

3.1.4 Μηχανισμός Κίνησης

Ο μηχανισμός κίνησης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να επιτρέψει την κίνηση σε έναν ή σε δύο άξονες.

Τα συστήματα ενός άξονα είναι σχεδιασμένα να ακολουθούν την πορεία του ήλιου από την ανατολή στη δύση. Χρησιμοποιούνται κυρίως με συστήματα επίπεδων φωτοβολταϊκών πλαισίων και μερικές φορές με συστήματα συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τα συστήματα δύο αξόνων όχι μόνο κάνουν την παραπάνω λειτουργία, αλλά και παρακολουθούν την μεταβολή της απόκλισης του ήλιου κατά την διάρκεια του έτους. Χρησιμοποιούνται κυρίως με συγκεντρωτικά πλαίσια. Τα συστήματα δύο αξόνων είναι πιο πολύπλοκα, πιο ακριβά και χρειάζονται μεγαλύτερη συντήρηση σε σύγκριση με αυτά του ενός άξονα.

3.1.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Γενικά, ένα φ/β πλαίσιο ή μια συστοιχία επηρεάζεται από το περιβάλλον με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζεται και μία φ/β κυψέλη. Η τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και το ρεύμα αυξάνεται καθώς αυξάνεται η έκθεση στις ηλιακές ακτίνες.

Σύνδεση εν σειρά

Όταν ηλιακές κυψέλες (ή πλαίσια) συνδέονται εν σειρά, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος της συνδεσμολογίας με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια. Αυτό προϋποθέτει ότι οι συνθήκες λειτουργίας για τις κυψέλες είναι οι ίδιες και ότι οι κυψέλες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V.

- Ρεύμα

Το ρεύμα σε μία εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι το ίδιο σε κάθε σημείο της συνδεσμολογίας, ίδιο με αυτό που παράγεται από μία κυψέλη. Εάν μία κυψέλη με χαρακτηριστικά χαμηλού ρεύματος συνδεθεί σε μια συνδεσμολογία με άλλες κυψέλες που έχουν χαρακτηριστικά υψηλότερου ρεύματος, η συνδεσμολογία θα περιοριστεί στο ρεύμα της κυψέλης χαμηλού ρεύματος.

$$I_{\text{σειράς}} = (I_{\text{max}} \text{ μιας κυψέλης}) \quad (3.1)$$

- Τάση

Η τάση σε μία συνδεσμολογία κυψελών είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας όμοιες κυψέλες, η τάση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο :

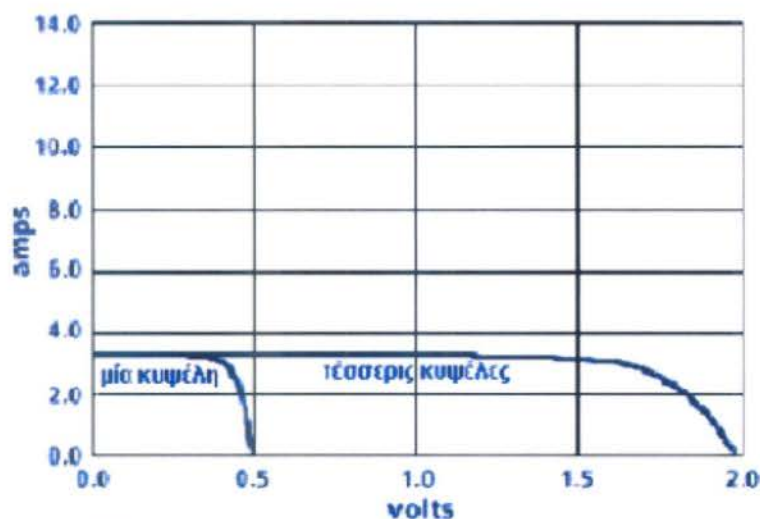
$$V_{\text{σειράς}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.2)$$

- Ισχύς

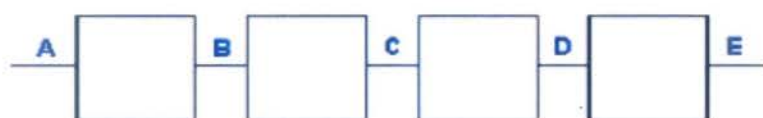
Η παραγόμενη ισχύς από μία συνδεσμολογία κυψελών ισούται με το ρεύμα της συνδεσμολογίας-σχέση (3.1)- πολλαπλασιαζόμενο με την τάση της σχέσης (3.2):

$$P_{\text{max}} = I_{\text{σειράς}} \times V_{\text{σειράς}} \Rightarrow P_{\text{σειράς}} = (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \times (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.3.)$$

Σημειώνεται ότι, μπορεί οι μεμονωμένες κυψέλες να λειτουργούν σε διαφορετικές τάσεις, αλλά κάθε μία κυψέλη θα λειτουργεί με το ίδιο ρεύμα όπως και οι άλλες στη συνδεσμολογία. Το σχήμα 3.9 παρουσιάζει το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της εν σειρά συνδεσμολογίας. Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται μία εν σειρά συνδεσμολογία από τέσσερις κυψέλες και τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος αυτών.



Σχήμα 3.9. Τυπικές καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά



τάση μεταξύ A και B = 0.5 volts
 A και C = 1.0 volts
 A και D = 1.5 volts
 A και E = 2.0 volts

ρεύμα στο A = B = C = D = E = 3.0 amps

Σχήμα 3.10. Υπολογισμός ηλιακών κυψελίδων σε σειρά

Σύνδεση εν παραλλήλω

Εάν οι κυψέλες(ή τα πλαίσια) συνδεθούν παράλληλα, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση του ρεύματος, της τάσης και της ισχύος τους με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια, υποθέτοντας και πάλι ότι οι συνθήκες λειτουργίας είναι οι ίδιες και ότι οι κυψέλες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V.

- Ρεύμα

Τα παραγόμενο ρεύμα από μία ομάδα κυψελών συνδεδεμένων παράλληλα ισούται με το άθροισμα των μεμονωμένων ρευμάτων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας παρόμοιες κυψέλες, το ρεύμα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$I_{\text{παραλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.4)$$

- Τάση

Η τάση μεταξύ δύο κόμβων μιας ομάδας κυψελών συνδεδεμένων εν παραλλήλω είναι ίση με την τάση κάθε κυψέλης:

$$V_{\text{παραλληλα}} = (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.5)$$

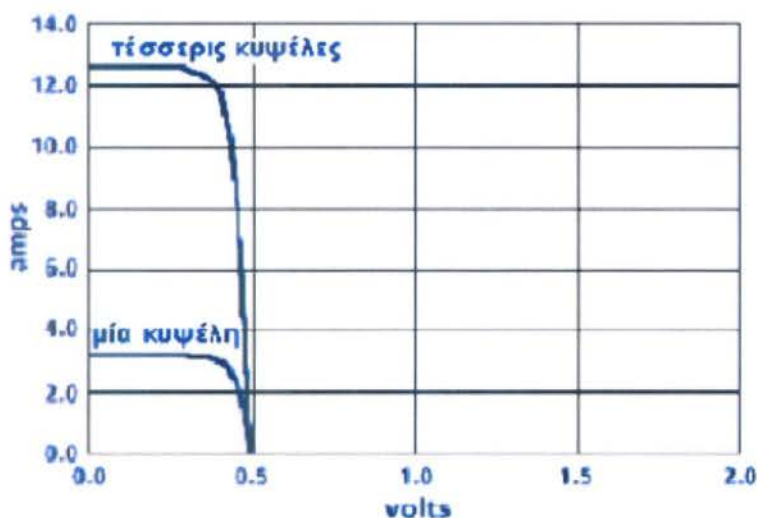
• Ισχύς

Η παραγόμενη ισχύς από κυψέλες εν παραλλήλω είναι ίση με το παράλληλο ρεύμα- εξίσωση (3.4)- πολλαπλασιαζόμενο με την παράλληλη τάση της εξίσωσης(3.5):

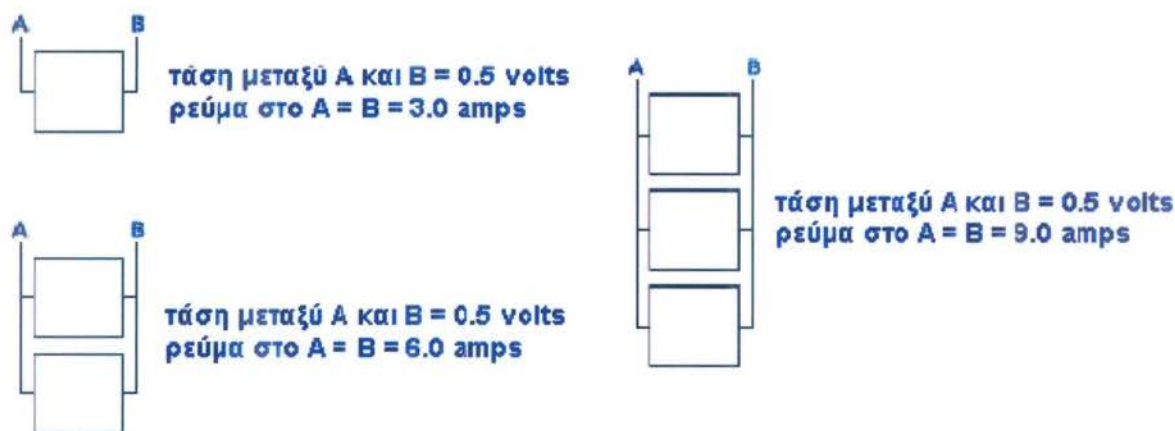
$$P_{\text{παράλληλα}} = I_{\text{παράλληλα}} \times V_{\text{παράλληλα}} \Rightarrow$$

$$P_{\text{παράλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \times (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.6)$$

Σημειώνεται ότι, όταν μια ομάδα κυψελών συνδέεται παράλληλα, οι μεμονωμένες κυψέλες μπορεί να παράγουν διαφορετικά ρεύματα, αλλά κάθε κυψέλη θα λειτουργεί στην ίδια τάση. Στο παρακάτω σχήμα 3.11 παρουσιάζεται το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της ομάδας των κυψελών εν παραλλήλω. Στο σχήμα 3.12 απεικονίζονται ομάδες κυψελών εν παραλλήλω και τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος αυτών.

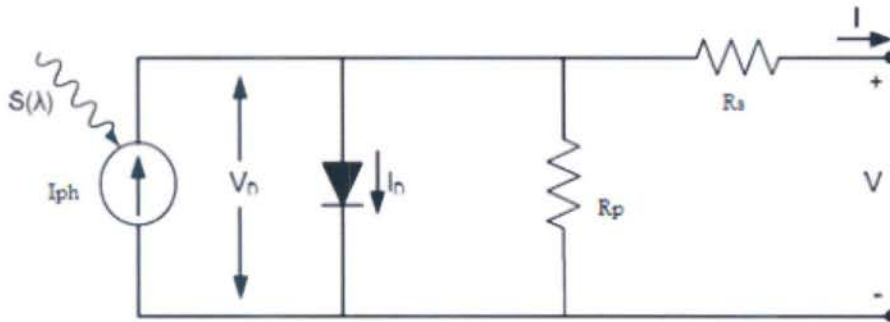


Σχήμα 3.11 παράλληλη σύνδεση ηλιακών κυψελίδων



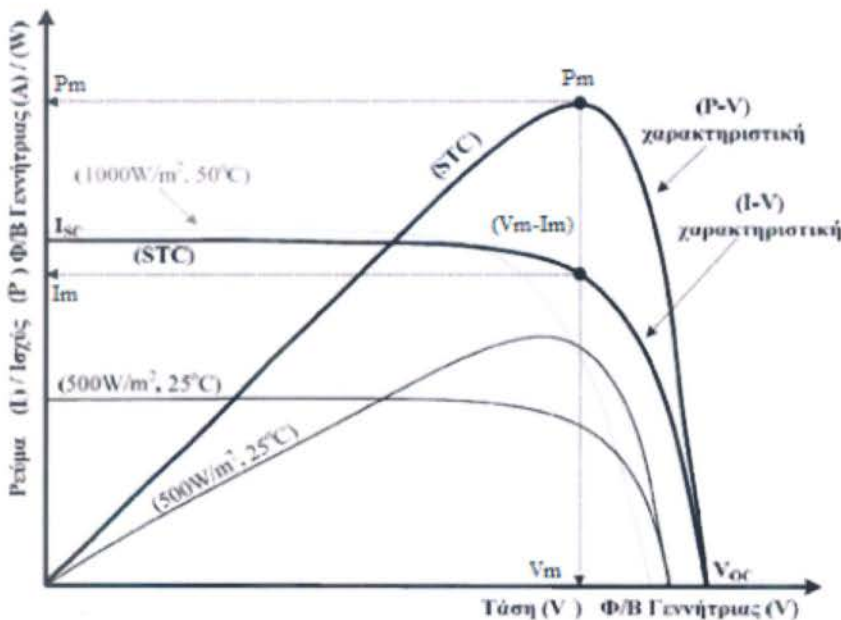
Σχήμα 3.12. Υπολογισμός ηλιακών κυψελίδων παράλληλα συνδεδεμένων

το ισοδύναμο κύκλωμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, μπορεί να παρασταθεί από το ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 3.3:



Σχήμα 3.3 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού πλαισίου

Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζονται οι τυπικές ποιοτικές χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης-ρεύματος (χαρακτηριστική V-I) και τάσης- ισχύος (χαρακτηριστική V-P) ενός φ/β πλαισίου και πάνω σε αυτές σημειώνονται τα χαρακτηριστικά ηλεκτρικά του μεγέθη, που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας του πλαισίου και καθορίζουν την απόδοση του. Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος, I_{sc} και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης, V_{oc}), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα. Συνεπώς, στα δύο παραπάνω σημεία λειτουργίας της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (ζεύγος τιμών τάσης και ρεύματος), η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς μηδενίζεται. Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά η ισχύς που παράγει το στοιχείο και η μέγιστη τιμή της P_m , επιτυγχάνεται για ένα συγκεκριμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και ρεύματος I_m , για το οποίο η χαρακτηριστική (V-P) της ισχύος ως προς την τάση παρουσιάζει μέγιστο. Διαφορετικά μπορεί να ειπωθεί, ότι για τις τιμές αυτές των V_m , I_m , το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται από την V-I καμπύλη και τους άξονες τάσης και έντασης ρεύματος, γίνεται μέγιστο.

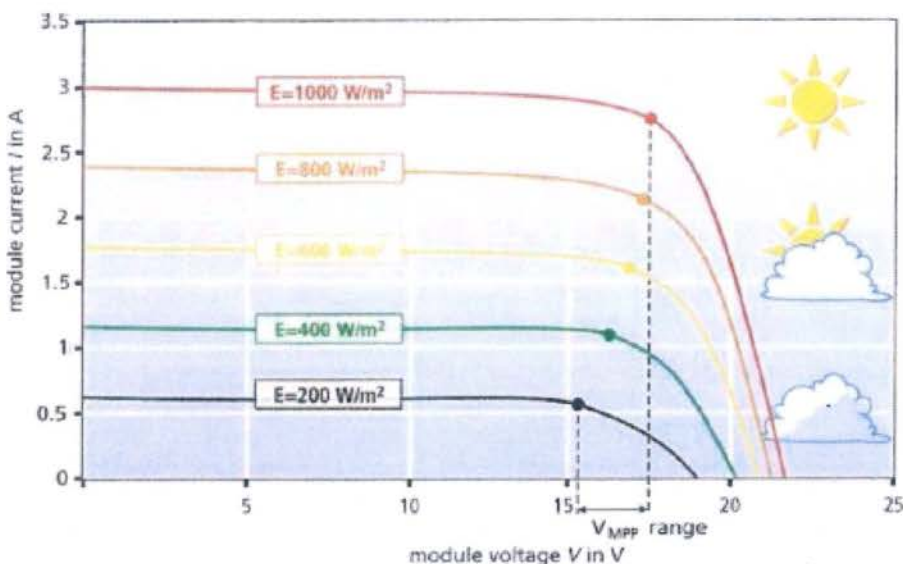


Σχήμα 3.4 Ποιοτικές καμπύλες τάσης-ρεύματος και τάσης- ισχύος ενός φ/β πλαισίου

Από τη μελέτη του παραπάνω σχήματος, διαπιστώνεται ότι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες παρουσιάζουν μια αρκετά ιδιόμορφη συμπεριφορά συγκριτικά με τις συνήθεις πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή την τιμή της τάση τους στην περιοχή κανονικής λειτουργίας τους, η τάση των φ/β γεννητριών μεταβάλλεται δραστικά και μάλιστα μη γραμμικά συναρτήσει της έντασης του ρεύματος που παρέχουν σε κάποιο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα, ακόμα και για σταθερές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Μια προσεκτικότερη μελέτη της χαρακτηριστικής V-I, αποδεικνύει ότι αριστερά από το γόνατο της καμπύλης, η ένταση του ρεύματος που παρέχεται από το φ/β πλαίσιο σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα μεταβάλλεται ελάχιστα για μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ αντίθετα δεξιά από το γόνατο το ρεύμα μεταβάλλεται σημαντικά για μικρές μεταβολές της τάσης.

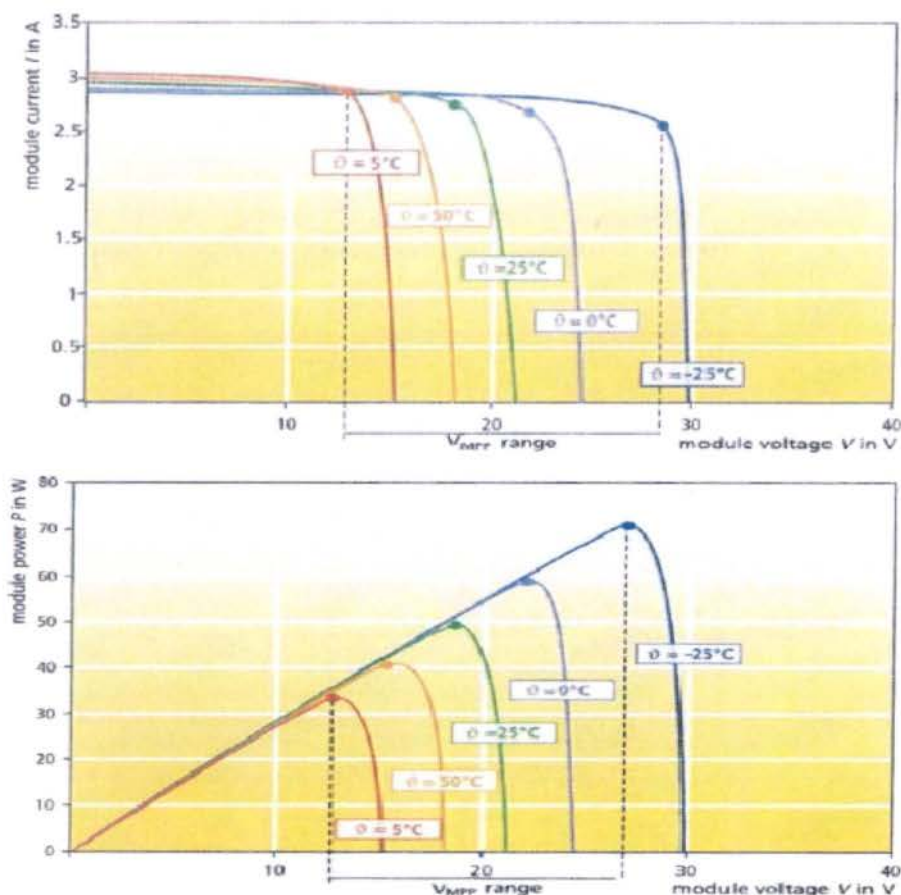
Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα ενός ηλιακού κυττάρου καθορίζεται από τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής του, ενώ το ρεύμα που δύναται να παράσχει σε ένα εξωτερικό κύκλωμα είναι, σχεδόν, ευθέως ανάλογο προς την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα για την εξάρτηση της λειτουργικής συμπεριφοράς των φ/β γεννητριών από τις τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας:

α) Εξάρτηση από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας: Διατηρώντας σταθερή την θερμοκρασία και την φασματική κατανομή της ακτινοβολίας, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς όπως και η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} μεταβάλλονται ευθέως ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η τιμή της V_{oc} δεν επηρεάζεται αξιοσημείωτα. Συνεπώς, η μορφή των χαρακτηριστικών V-I και V-P δεν εξαρτώνται από τις μεταβολές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αλλά σημειώνεται παράλληλη μετατόπιση των χαρακτηριστικών ως προς τον κατακόρυφο άξονα σύμφωνα με το σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 V-I Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου για διάφορες τιμές ακτινοβολίας E

β) Εξάρτηση από τη θερμοκρασία: Η αύξηση της θερμοκρασίας, υπό την προϋπόθεση ότι η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διατηρείται σταθερή, επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του ενεργειακού χάσματος του ημιαγωγικού υλικού και αύξηση του αριθμού των επανασυνδεμένων φορέων φορτίου. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αισθητή μείωση της V_{oc} και η ελαφριά αύξηση της τιμής του I_{sc} . Απόρροια αυτών των μεταβολών, είναι αφενός μεν η μείωση της ισχύος εξόδου της φ/β γεννήτριας αφετέρου δε η αλλοίωση της μορφής της χαρακτηριστικής V-I, δηλαδή το γόνατο της καμπύλης αποκτά πιο στρογγυλεμένη μορφή. Η επίδραση της θερμοκρασίας στις τιμές της τάσης, του ρεύματος και της ισχύος εξόδου της φ/β γεννήτριας, προσδιορίζεται από τρεις συντελεστές. Οι δύο πρώτοι εκφράζουν σε απόλυτα μεγέθη τη μείωση της V_{oc} και την αύξηση του I_{sc} αντίστοιχα για μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ανά βαθμό Κελσίου, ενώ ο τρίτος την επί της εκατό μεταβολή του P_m για ίδια μεταβολή της θερμοκρασίας. Οι συντελεστές αυτοί παρέχονται συνήθως από τον κατασκευαστή μαζί με τα υπόλοιπα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φ/β πλαισίου. Το σχήμα 3.6 παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές εξόδου V-I ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου. Επίσης στο ίδιο σχήμα (3.6) φαίνεται η καμπύλη τάσεως- ισχύος (V-P) του πλαισίου, για διαφορετικές θερμοκρασίες και σταθερή ακτινοβολία $1000W/m^2$.



Σχήμα 3.6 Χαρακτηριστικές εξόδου V-I και V-P ενός πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου

3.2 Φωτοβολταϊκό σύστημα

3.2.1 Το σύστημα

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το ηλιακό κύτταρο. Ένα κύτταρο παράγει μικρή ποσότητα ισχύος που είναι ίση με 1 έως 2W. Για να αυξηθεί η ισχύς στην έξοδο των κυττάρων, τοποθετούμε πολλά κύτταρα μαζί (ενώνοντας την θετική επαφή του ενός με την αρνητική του επόμενου, δηλαδή εν σειρά, αυξάνουμε την τάση, ενώ ενώνοντας τις θετικές μεταξύ τους και τις αρνητικές μεταξύ τους, δηλαδή παράλληλα, αυξάνουμε το ρεύμα) και έτσι δημιουργούνται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Με την συνένωση πολλών πλαισίων μαζί δημιουργούνται μονάδες μεγαλύτερης ισχύος που λέγονται συστοιχίες. Συνεχίζοντας αυτήν την διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί οποιαδήποτε ηλεκτρική ισχύς μας χρειάζεται όσο μικρή ή μεγάλη κι αν είναι. Το βασικό στοιχείο στο εμπόριο είναι το φωτοβολταϊκό (φ/β) πλαίσιο. Το μέγεθος ενός φ/β πλαισίου χαρακτηρίζεται από την ισχύ που μπορεί να παράγει και συγκεκριμένα με βάση την ισχύ που δίνει υπό καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας φ/β κυττάρου (25 οC) και ακτινοβολίας (1000W/m²) και είναι γνωστή ως «ισχύς αιχμής». Για παράδειγμα, όταν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια δύναται να παράγει 10 Wp αυτό σημαίνει ότι παράγει 10W για ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m² και θερμοκρασία κυττάρου 25 οC. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν ένα μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος, το οποίο είναι κάθε φορά σχεδιασμένο για συγκεκριμένες λειτουργίες. Οι άλλες συσκευές που προστίθενται στο πλαίσιο μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

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

Πρακτικά δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλες οι παραπάνω συσκευές σε όλα τα συστήματα. Για παράδειγμα, σε συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν χρειάζεται αντιστροφέας. Για συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο δεν είναι απαραίτητος ο συσσωρευτής διότι το δίκτυο χρησιμεύει και για αποθήκευση.

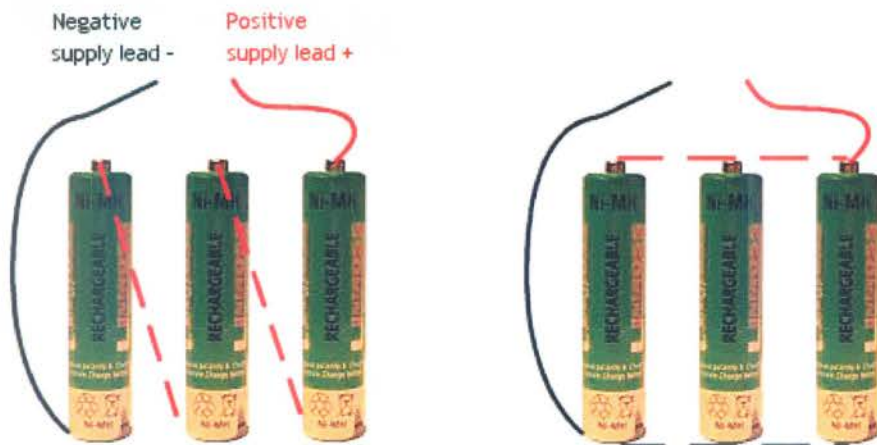
Δηλαδή, όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων-φορτίου, τότε αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση έλλειψης ενέργειας, η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται λαμβάνεται από το δίκτυο. Κάποια συστήματα απαιτούν συσκευές που δεν σχετίζονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως για παράδειγμα είναι μερικά απομονωμένα συστήματα που έχουν ντιζελογεννήτρια για την παροχή ρεύματος όταν εξαντληθεί η ενέργεια των συσσωρευτών.

3.2.2 Συσσωρευτές

Σε συστήματα απομονωμένα από το δίκτυο, το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παρέχει κάθε φορά την ενέργεια που απαιτείται ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (συννεφιά ή ηλιοφάνεια). Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συσσωρευτές που αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας (σχήμα 3.9). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταριών είναι οι μολύβδου-ασβεστίου και μολύβδου-αντιμονίου (σχήμα 3.10). Για περιπτώσεις όπου ο συσσωρευτής είναι εκτεθειμένος σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται οι νικελίου-καδμίου. Εξαιτίας της συνεχώς μεταβαλλόμενης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας και του φορτίου, οι συσσωρευτές πρέπει να περνούν από πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς να χάνουν τις ιδιότητές τους γρήγορα. Το ποσοστό της χωρητικότητας του συσσωρευτή που μπορεί να εκφορτιστεί χωρίς να καταστραφεί ονομάζεται βάθος εκφόρτισης και εξαρτάται από τον τύπο του. Οι μολύβδου-ασβεστίου είναι μικρού βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 20% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι νικελίου-καδμίου είναι μεγάλου βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 80% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι συσσωρευτές χρειάζονται αλλαγή κάθε 5 με 10 χρόνια ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που κάνουν. Οι συσσωρευτές παρέχουν αυτονομία στο σύστημα από μερικές μέρες μέχρι δύο βδομάδες. Η χρονική διάρκεια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, δηλαδή από την τοποθεσία του και την ύπαρξη ή όχι γεννήτριας. Οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από την τάση τους, η οποία συνήθως είναι πολλαπλάσιο των 12 V, και από την χωρητικότητά τους, που μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Για παράδειγμα συσσωρευτής 50Ah, 48V θα αποθηκεύσει υπό ονομαστικές συνθήκες 2400Wh. Οι συσσωρευτές, πέραν της μείωσης της απόδοσης που προκαλούν, χρειάζονται περιοδική συντήρηση (έλεγχο υγρών) και έναν μεγάλο χώρο για να αποθηκευτούν. Ο σωστός υπολογισμός του μεγέθους του συσσωρευτή του συστήματος είναι καθοριστικός για την επίτευξη μεγάλης διάρκειας ζωής του, για την ιδανική απόδοση και για την επίτευξη ονομαστικού κόστους κύκλου ζωής του συστήματος (LCC).



Σχήμα 3.7 Συσσωρευτές

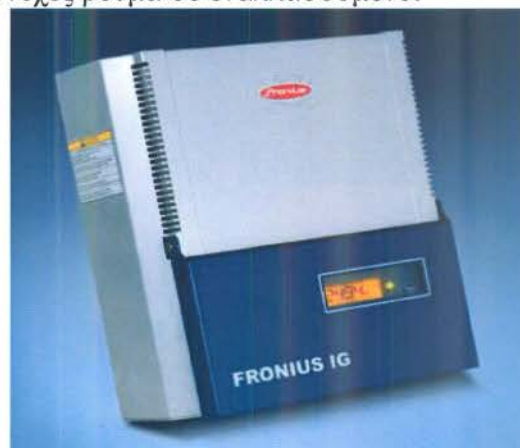


Σχήμα 3.8 Είδη συσσωρευτών

3.2.3 Συστήματα Ρύθμισης Ισχύος

Υπάρχουν αρκετά ηλεκτρονικά συστήματα (σχήμα 3.11) που χρησιμεύουν στον έλεγχο και στην ρύθμιση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Πιο συγκεκριμένα είναι:

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



Σχήμα 3.9 Συστήματα ρύθμισης ισχύος

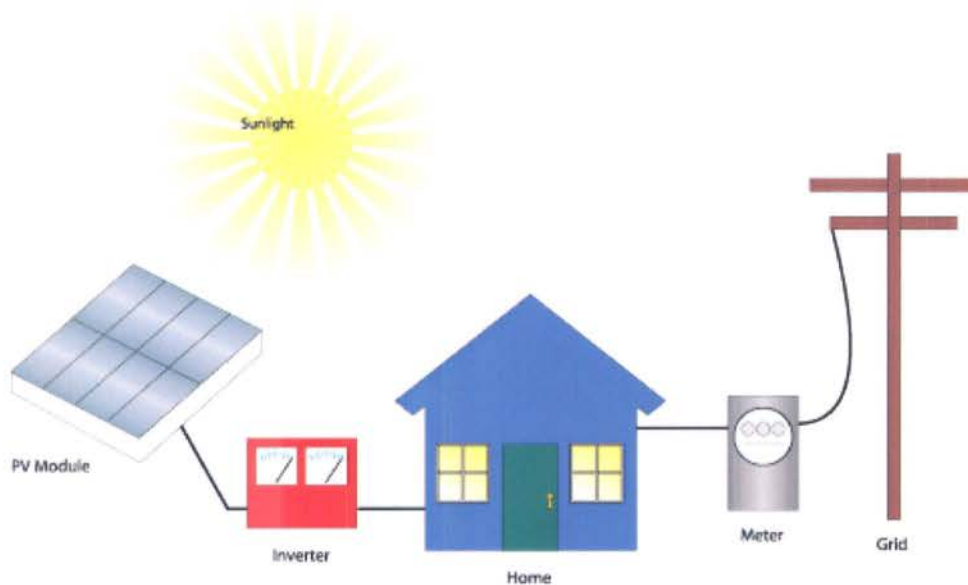
3.2.4 Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων

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

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

1. Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Στα συνδεδεμένα συστήματα η φωτοβολταϊκή συστοιχία τροφοδοτεί απευθείας με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο (σχήμα 3.12), οπότε δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσσωρευτή.



Σχήμα 3.10 Φωτοβολταϊκό Σύστημα Συνδεδεμένο στο Δίκτυο

Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

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

Στην πρώτη περίπτωση ο καταναλωτής-ιδιοκτήτης που έχει τη συστοιχία, μπορεί να αγοράζει και να πουλάει ενέργεια κάθε χρονική στιγμή. Είναι σε θέση να παίρνει την ενέργεια που χρειάζεται από τη συστοιχία και να χρησιμοποιεί το δίκτυο μόνο όταν είναι απαραίτητο (κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε πολύ συννεφιασμένες μέρες). Αυτό γίνεται εφικτό με την χρήση κατάλληλου μετρητή που έχει την ιδιότητα να είναι αμφίδρομος (διπλό ρολόι). Όταν η συστοιχία τροφοδοτεί το φορτίο του κτιρίου και της περισσεύει ενέργεια, την δίνει στο δίκτυο. Όταν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την παραγωγή της συστοιχίας τότε η ζήτηση ικανοποιείται με εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο. Έτσι, το δίκτυο δρα σαν μονάδα αποθήκευσης για το φωτοβολταϊκό σύστημα. Τυπικές τιμές για οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 2 με 4 kWp ενώ για μεγάλα δημόσια κτίρια είναι 100kWp ή και περισσότερο.

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

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

2. Συστήματα Απομονωμένα από το Δίκτυο

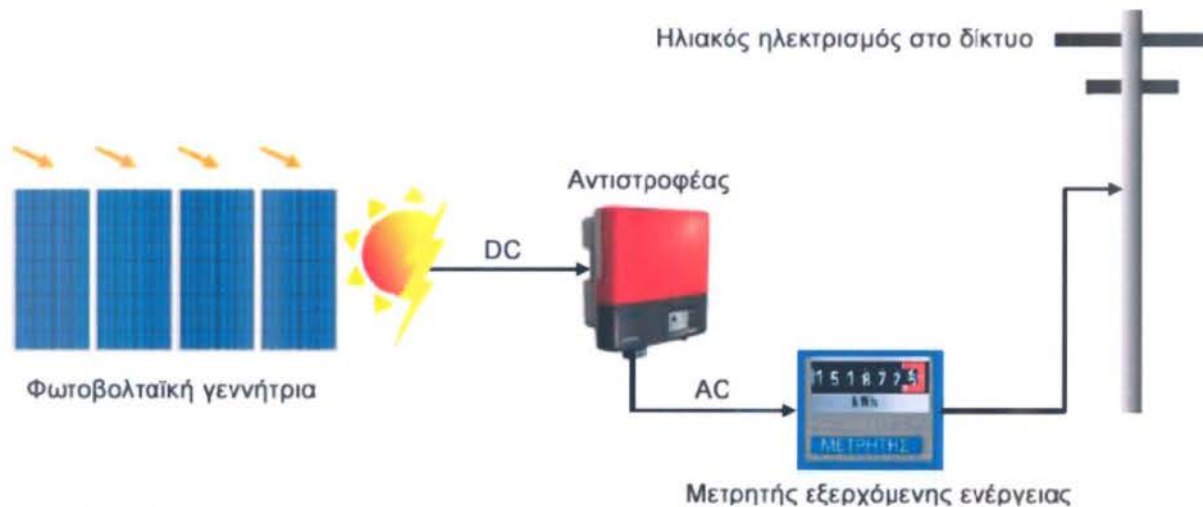
Στα απομονωμένα συστήματα το φωτοβολταϊκό δεν συνδέεται με το δίκτυο. Τέτοιου είδους φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει AC δίκτυο, είτε επειδή έχει μεγάλο κόστος να εγκατασταθεί γραμμή σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μεταξύ της περιοχής και του AC δικτύου είτε τέλος η σύνδεση δεν είναι εφικτή λόγω μεγάλης απόστασης από τις μονάδες παραγωγής. Τα συστήματα αυτά είναι μικρής ισχύος, συνήθως λιγότερο από 10 kWp. Μπορεί να αποτελούνται μόνο από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ή να έχουν και συσσωρευτή ή αντλία νερού ή ακόμα και γεννήτρια. Τα συστήματα που αποτελούνται μόνο από μία φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συστήματα που δεν χρειάζονται μονίμως ενέργεια. Εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι οι ηλιόλουστες μέρες που κάνουν το σύστημα να έχει μεγάλη παραγωγή ισχύος παράλληλα προκαλούν αυξημένες ανάγκες για ψύξη και εξαερισμό χώρων. Έτσι, συνδέοντας τη συστοιχία με ανεμιστήρες εξαερισμού βελτιώνονται οι συνθήκες του χώρου. Ακόμα, η μεγάλη ηλιοφάνεια αυξάνει τις ανάγκες σε νερό για ύδρευση και άρδευση οπότε η συστοιχία συνδέεται με αντλία νερού για την άντληση νερού από κάποιο χαμηλότερο σημείο και την μεταφορά του είτε εκεί που υπάρχει ανάγκη, είτε για αποθήκευση σε κάποιο ψηλότερο σημείο (δεξαμενή). Στη περίπτωση αυτή η δεξαμενή αποτελεί την αποθήκη ενέργειας. Στη περίπτωση ύπαρξης συσσωρευτή το φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει την ενέργεια κάθε φορά που απαιτείται ανεξαρτήτως αν έχει ήλιο ή όχι διότι οι συσσωρευτές αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας όταν αυτή υπάρχει και την επιστρέφουν όταν χρειάζεται. Το πόση ενέργεια θα επιστρέψει εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος του συσσωρευτή. Χρησιμοποιούνται για φωτισμό ή και για άλλες συσκευές, κυρίως σε τροχόσπιτα και ιστιοφόρα. Όταν υπάρχει άλλου είδους γεννήτρια τότε το σύστημα είναι υβριδικό. Η γεννήτρια μπορεί να είναι πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Στα συστήματα αυτά η γεννήτρια και η φωτοβολταϊκή συστοιχία αλληλοσυμπληρώνονται. Το πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι για να έχουμε επάρκεια σε χρονικές περιόδους μικρής ηλιοφάνειας αντί να βάλουμε φωτοβολταϊκή συστοιχία μεγαλύτερης επιφάνειας και συσσωρευτή μεγαλύτερης χωρητικότητας, παίρνουμε την ισχύ από την γεννήτρια. Επίσης, η κατανάλωση της γεννήτριας

και το κόστος συντήρησής της είναι μικρότερο σε σχέση με ένα ίδιας ισχύος συστήματος παραγωγής με μια μόνο γεννήτρια.

3.2.5 Τρόποι Σύνδεσης Φωτοβολταϊκών συστημάτων στο Δίκτυο Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Η ισχύς από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί είτε να εισαχθεί μέσα στο δίκτυο είτε σε ένα συσσωρευτή. Για να συνδεθεί λοιπόν στο δίκτυο η φωτοβολταϊκή γεννήτρια (σχήμα 3.14), η μικρή συνεχής τάση που παράγεται πρέπει να ενισχυθεί σε μια υψηλότερη εναλλασσόμενη τάση, το οποίο συνήθως γίνεται από έναν μετατροπέα. Επίσης ο μετατροπέας τοποθετείται για να ελέγχει συνέχεια το σημείο λειτουργίας των πλαισίων όπως μεταβάλλεται στη καμπύλη V-P, δηλαδή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του σημείου βέλτιστης ισχύος των πλαισίων (Maximum Power Point Tracking-MPPT). Εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία μεταβάλλονται διαρκώς κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι χαρακτηριστικές εξόδου (V-I) μετατοπίζονται διαρκώς. Το σημείο λειτουργίας του μετατροπέα δε θα πρέπει απλά να μπορεί να κινηθεί πάνω στις καμπύλες εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, αλλά θα πρέπει να εντοπίζει και να σταθεροποιείται στο εκάστοτε σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος, για δεδομένη ακτινοβολία και θερμοκρασία.

Τα πλεονεκτήματα της σύνδεσης στο δίκτυο, είναι ότι μπορεί η ισχύς να “αποθηκευτεί” όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση.



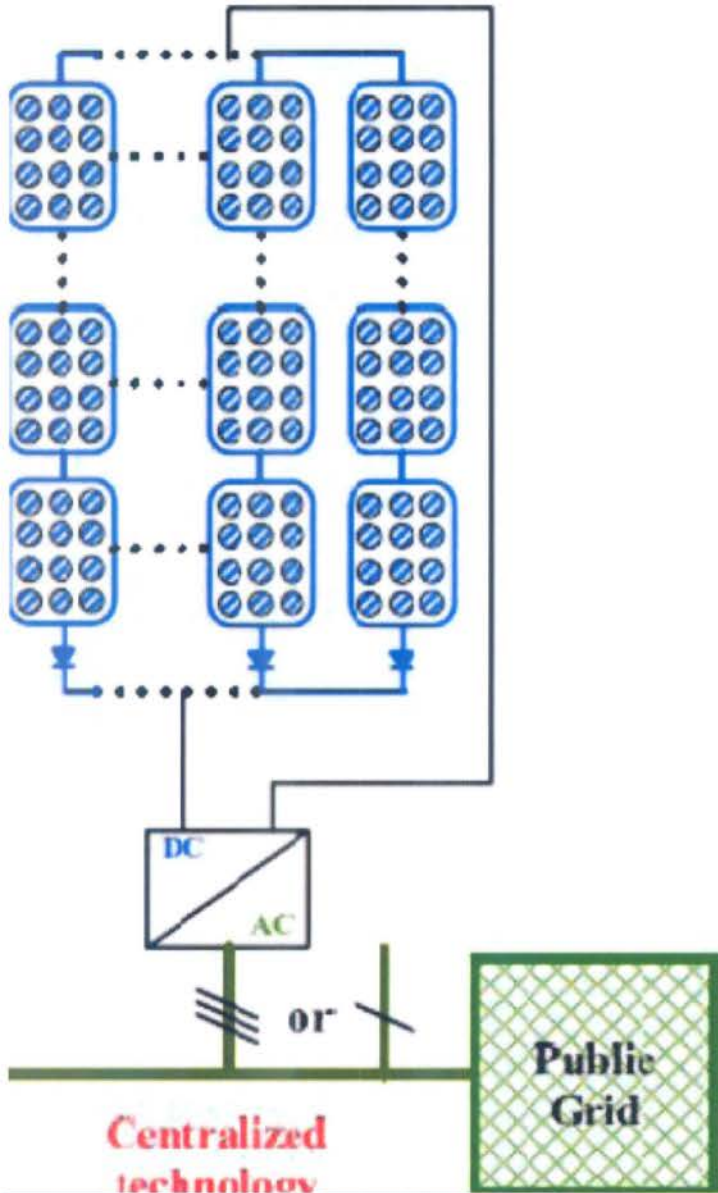
Σχήμα 3.12 Σύστημα φωτοβολταϊκής γεννήτριας με αντιστροφέα συνδεδεμένο στο δημόσιο δίκτυο μέσω Μετρητή

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων για τη σύνδεση στο δίκτυο (συνδεδεμένο σύστημα). Η διαφοροποίηση των τεχνολογικών τάσεων έγκειται, αφενός μεν στον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέονται ανά ηλεκτρονικό μετατροπέα (επίπεδο ισχύος του μετατροπέα), αφετέρου δε στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (εν σειρά σύνδεση, παράλληλη σύνδεση ή συνδυασμός αυτών). Οι τεχνολογίες που αναλύονται είναι οι εξής:

1. Η Κεντροποιημένη Τεχνολογία (Centralized Technology)
2. Η Τεχνολογία Αλυσίδας (String Technology)
3. Η Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων (Multistring Technology)

4. Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Πλαισίων Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC- PV Modules)

1. Η Κεντριοποιημένη Τεχνολογία



Σχήμα 3.13 Παράδειγμα Κεντριοποιημένης Τεχνολογίας

Η κεντριοποιημένη τεχνολογία είναι από τις παλαιότερες που εφαρμόστηκαν και αποσκοπεί στην παραγωγή μεγάλων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία μεταφέρονται στο δίκτυο μέσω ενός μόνο αντιστροφέα ο οποίος συνδέει έναν μεγάλο αριθμό φ/β πλαισίων (σχήμα 3.15). Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται από ένα πλέγμα φ/β πλαισίων, τα οποία χωρίζονται σε εν σειρά ομάδες εξασφαλίζοντας έτσι υψηλή τιμή συνεχούς τάσης, χωρίς να απαιτείται επιπλέον ενίσχυση, αυτές οι αλυσίδες των εν σειρά συνδεδεμένων φ/β πλαισίων συνδέονται παράλληλα, για να επιτευχθεί η απαιτούμενη τιμή εντάσεως. Χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας, αποτελεί η χρήση ενός μόνου ελέγχου ανίχνευσης του σημείου λειτουργίας μέγιστης αποδοδόμενης ισχύος (M.P.P.T. ελεγκτής) και η χρήση διόδων ισχύος ώστε να αποφευχθεί η λειτουργία ορισμένων εν σειρά ομάδων ως φορτία λόγω σκίασης. Αν

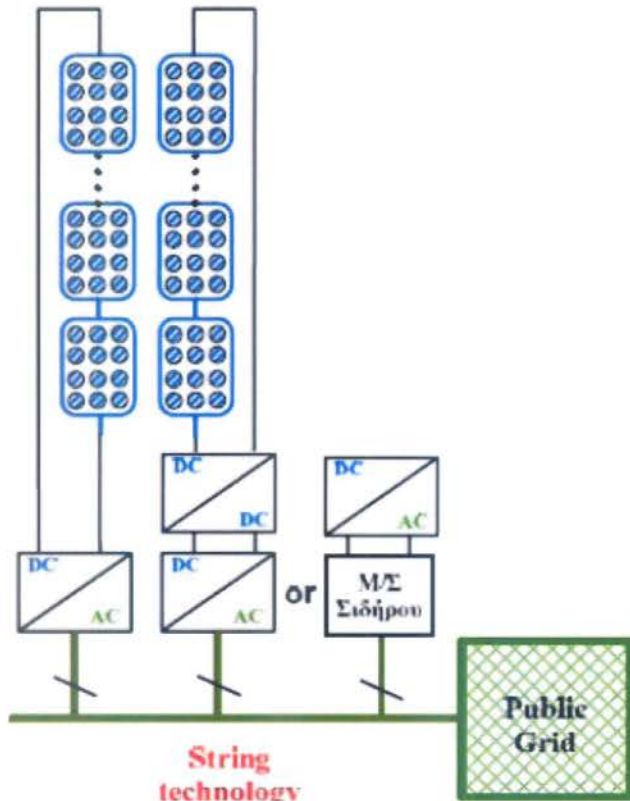
εξαιρέσουμε τα υψηλά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να παραχθούν από ένα μόνο φ/β σύστημα και το ότι δεν είναι απαραίτητη η περαιτέρω ενίσχυση της τάσης του συστήματος είτε με μετατροπέα συνεχούς τάσης είτε με μετασχηματιστή(M/Σ), υπάρχουν πολλά σημαντικά μειονεκτήματα.

Καταρχήν υπάρχουν υψηλές τιμές τάσης σύνδεσης μεταξύ φωτοβολταϊκού πλέγματος και αντιστροφέα, πράμα που επιβάλλει την εγκατάσταση ειδικών συστημάτων προστασίας και την εφαρμογή ειδικών τεχνικών γειώσεως των επιμέρους τμημάτων του φ/β συστήματος, αυξάνοντας έτσι το κόστος της όλης εγκατάστασης. Επίσης στη περίπτωση που γίνει μερική ή ολική σκίαση ενός ή περισσότερων κυττάρων ή ολική θραύση ενός κυττάρου, θα έχουμε κύτταρα με ανόμοια χαρακτηριστικά να συνδέονται σε σειρά, η μη προσαρμογή όμως των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας επιφέρει απώλειες ισχύος και καταστροφή κάποιου μέρους του φ/β συστήματος. Στη περίπτωση που ένα κύτταρο ή ομάδα παράλληλων κυττάρων βρίσκονται υπό σκιά, το ολικό ρεύμα εξόδου της συστοιχίας μειώνεται. Το σκιασμένο κύτταρο περιορίζει την έξοδο της αλυσίδας, αλλά και είναι δυνατόν να προκαλέσει το φαινόμενο hotspot, το οποίο οφείλεται στην ανάστροφη πόλωση ενός ή περισσότερων κυττάρων και συνεπάγεται υπερθέρμανσή τους, που μπορεί να είναι καταστροφική για όλη την εγκατάσταση. Όταν μια αλυσίδα από κύτταρα βραχυκυκλωθεί η τάση στο σκιασμένο κύτταρο πρέπει να είναι ίση και αντίθετη με την τάση στα υπόλοιπα κύτταρα. Το κύτταρο αυτό πολώνεται ανάστροφα και καταναλώνει (αντί να παράγει) ισχύ και είναι δυνατόν να καταναλώνεται ισχύς ίση με τη μέγιστη ισχύ που μπορούν να παράγουν τα υπόλοιπα κύτταρα της αλυσίδας. Τέτοια φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά (hotspot) στο κύτταρο με πιθανό αποτέλεσμα θραύση του πλαισίου ή ακόμη και πλήρη καταστροφή του.

Για να μειώσουμε την επίδραση του φαινομένου hotspot στην λειτουργία της συστοιχίας συνδέουμε διόδους παράκαμψης για την παράλληλη σύνδεση των εν σειρά ομάδων. Οι διόδοι ισχύος που χρησιμοποιούνται όμως επιβαρύνουν τον βαθμό απόδοσης του όλου συστήματος με τις απώλειές τους. Επίσης η εφαρμογή κεντρικού Μ.Ρ.Ρ.Τ. ελέγχου δεν επιτρέπει σε όλα τα πλαίσια να λειτουργούν στο σημείο μέγιστης ισχύος, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης και ο σχεδιασμός τους δεν αφήνει περιθώρια τεχνικών προσαρμογών και επέκτασης. Τέλος ο χαμηλός βαθμός απόδοσης και το υψηλό κόστος κατασκευής ήταν η αφορμή για το σχεδιασμό άλλων τεχνολογιών.

2. Η Τεχνολογία Αλυσίδας

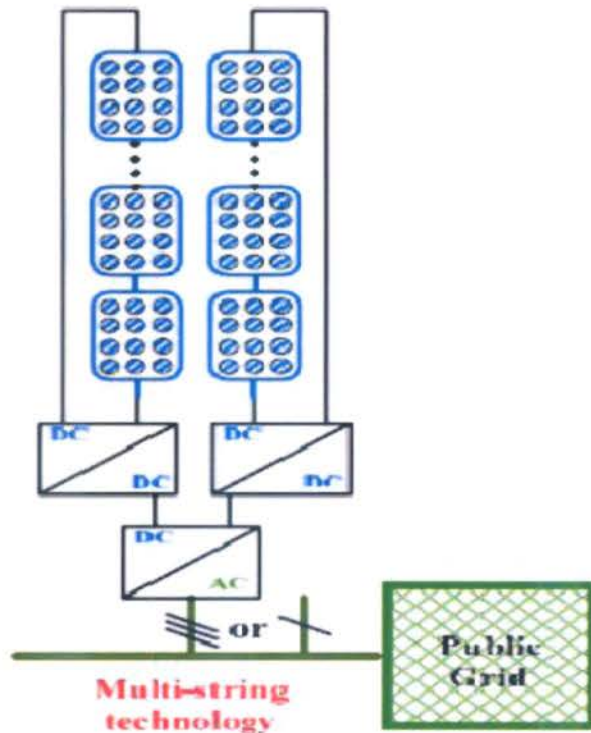
Στα συστήματα βασισμένα στην τεχνολογία αλυσίδας, η οποία διαδέχτηκε την κεντροκοποιημένη τεχνολογία, κάθε μονάδα αποτελείται από μία αλυσίδα εν σειρά συνδεδεμένων φ/ω πλαισίων που καταλήγει σε έναν αντιστροφέα (σχήμα 3.16). Η τάση που παράγεται μπορεί να είναι αρκετά υψηλή και να αποφευχθεί η ενίσχυση τάσης. Ο Μ.Ρ.Ρ.Τ. έλεγχος είναι αποδοτικότερος σε σχέση με αυτόν της κεντροκοποιημένης τεχνολογίας, μιας και εφαρμόζεται σε μικρότερο αριθμό πλαισίων. Δεν είναι απαραίτητη η εφαρμογή διόδων ισχύος. Υπάρχει δυνατότητα επέκτασης της εγκατάστασης με χρήση περισσότερων μονάδων. Οι απώλειες είναι λιγότερες και έτσι υπάρχει υψηλότερος βαθμός απόδοσης σε σχέση με την κεντροκοποιημένη τεχνολογία, συνεπώς μειώνεται το κόστος κατασκευής λόγω της μαζικής παραγωγής. Βέβαια παραμένουν τα προβλήματα που επιφέρουν οι υψηλές τάσεις στα σημεία σύνδεσης, καθώς επίσης και ο κίνδυνος εμφάνισης φαινομένου hotspot. Αν χρησιμοποιείται μικρό πλήθος φ/β πλαισίων απαιτούνται πιο πολύπλοκες τοπολογίες για την ενίσχυση της τάσης και έτσι η τιμή/watt αυξάνεται μειώνοντας έτσι τη συνολική απόδοση.



Σχήμα 3.14 Τρόπος διασύνδεσης με χρήση τεχνολογίας Αλυσίδας

3. Η Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων

Η τεχνολογία πολλαπλών αλυσίδων αποτελεί μια επέκταση της τεχνολογίας αλυσίδας, όπου πολλές αλυσίδες εν σειρά συνδεδεμένων φ/β πλαισίων συνδέονται σε έναν κεντρικό αντιστροφέα μέσω ανεξάρτητων μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή (σχήμα 3.17). Το πλεονέκτημα της συγκρινόμενη με την κεντροκοιμημένη τεχνολογία είναι ότι κάθε αλυσίδα μπορεί να ελέγχεται ξεχωριστά. Έτσι γίνεται πιο εύκολη η επέκταση του συστήματος απλά συνδέοντας στον αντιστροφέα περισσότερες αλυσίδες πλαισίων με τους μετατροπείς τους. Προσφέρει λοιπόν ανάλογη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αυτήν της κεντροκοιμημένης τεχνολογίας περιορίζοντας ταυτόχρονα αρκετά από τα μειονεκτήματα που συναντώνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα κεντροκοιμημένης δομής. Το μειονέκτημα που παρουσιάζεται σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο αντιστροφέας δεν μπορεί να δεχθεί άπειρο αριθμό αλυσίδων σε περίπτωση που θέλουμε να επεκτείνουμε το σύστημα, καθώς επίσης μπορεί να παρουσιαστεί ο κίνδυνος ολικής διακοπής της ηλεκτροπαραγωγικής διαδικασίας, σε περίπτωση που ο αντιστροφέας παρουσιάσει βλάβη.



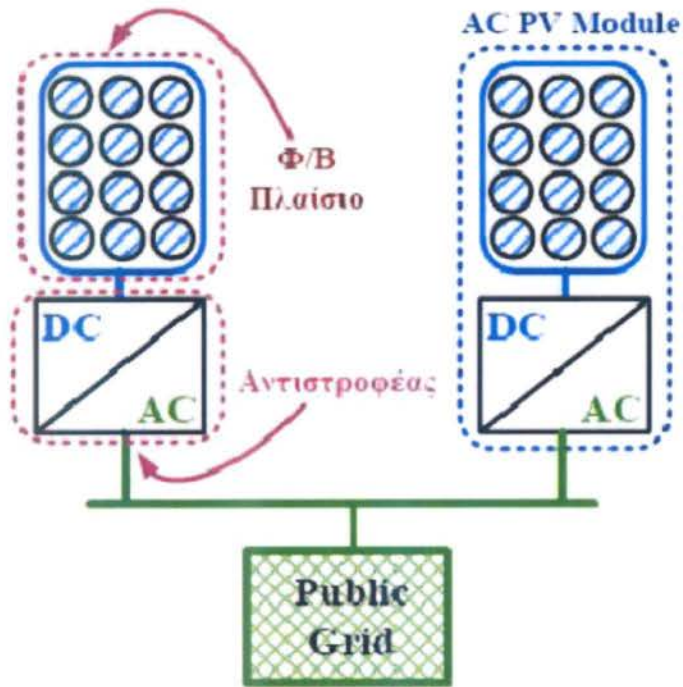
Σχήμα 3.15 Φωτοβολταϊκά συστήματα multistring τεχνολογίας

4. Η Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Πλαισίων Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών πλαισίων εναλλασσόμενου ρεύματος, είναι και η νεότερη στο χώρο των φωτοβολταϊκών εφαρμογών, στην οποία ένα μεγάλο φ/β πλαίσιο συνδέεται σε έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα συνεχούς τάσης σε μονοφασική εναλλασσόμενη και στη συνέχεια συνδέεται απ' ευθείας στο δίκτυο χαμηλής τάσης όπως φαίνεται στο σχήμα 3.18. Η απουσία συνδέσεων τύπου πλέγματος (βλέπε κεντρικοποιημένη τεχνολογία) ή αλυσίδας μεταξύ φ/β πλαισίων, καθώς και η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου κάθε αυτόνομης διάταξης (φ/β πλαίσιο και αντιστροφέας), οδηγούν σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα του όλου συστήματος. Ο αντιστροφέας μπορεί να είναι ενσωματωμένος είτε στο πίσω μέρος των πλαισίων, είτε στο μηχανισμό στήριξης τους.

Σε σχέση με τις παραπάνω τεχνολογίες τα AC PV Modules έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: η αντιστοιχία ενός αντιστροφέα ανά πλαίσιο επιτρέπει τον βέλτιστο M.P.P.T. έλεγχο, οι τάσεις στα σημεία σύνδεσης είναι αρκετά χαμηλές, το κόστος κατασκευής είναι μικρό, δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την εγκατάσταση του συστήματος, οι απαιτήσεις επιφανείας ανά μονάδα είναι ελάχιστες, κάτι που τα καθιστά κατάλληλα ακόμα και για αστικές εφαρμογές, και παρουσιάζει καλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες.

Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι πρόκειται για διατάξεις χαμηλής ισχύος και ότι η τεχνολογία δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη όσον αφορά το είδος του μετατροπέα που θα δίνει την απαραίτητη τιμή τάσης για τη σύνδεση τους στο δίκτυο ενώ ταυτόχρονα θα επιτυγχάνεται και υψηλή απόδοση.



Σχήμα 3.17 Φωτοβολταϊκά συστήματα AC PV Module τεχνολογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την μελέτη ενός φωτοβολταϊκού σταθμού θα πρέπει να υπάρχει μία εκτίμηση της ετήσιας απόδοσης που θα έχει ο φωτοβολταϊκός σταθμός ετησίως καθώς, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που θα εγκατασταθούν καθώς και περιγραφή του χώρου και του τόπου που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο.

1) Εκτίμηση ετήσιας απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού.

Η εκτίμηση της απόδοσης του σταθμού βασίζεται στα στοιχεία για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ηλιοφάνεια που παρέχονται από το σύστημα γεωγραφικών δεδομένων της ευρωπαϊκής επιτροπής. Συνοπτικά και σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού πρέπει να έχουμε την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος και την μέση συνολική παραγόμενη ενέργεια ανά έτος.

2) Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία είναι:

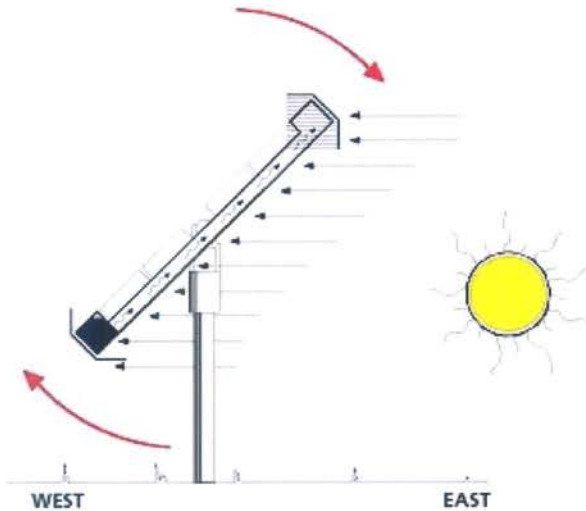
- Φωτοβολταϊκά πάνελ. Για την υλοποίηση του φωτοβολταϊκού σταθμού εγκαταστάθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ υψηλής απόδοσης τα οποία ενσωματώνουν μια σειρά χαρακτηριστικών που τα καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλα για μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρουμε το εξαιρετικά στιβαρό αλουμινένιο πλαίσιο, την υψηλή τάση λειτουργίας, την υψηλή ισχύ καθώς και το ευέλικτο σύστημα διασύνδεσης.



- Μετατροπείς (Inverters). Η σύνδεση του συστήματος στο δίκτυο υλοποιήθηκε με μετατροπείς που πρέπει να ξεχωρίζουν για την υψηλή τους ποιότητα, την κορυφαία τους αξιοπιστία καθώς πρόκειται για προϊόντα τα οποία ενσωματώνουν τεχνολογία αιχμής, συνδυάζοντας τη μεγιστοποίηση της απόδοσης με πολύ καλή σχέση απολαβής - κόστους.



- Σύστημα παρακολούθησης της Ηλιακής τροχιάς (Solar Tracker). Η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς επιλέχτηκε διότι προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα έναντι των σταθερών συστημάτων, με κυριότερο την αύξηση της απόδοσης του συστήματος έως και 40% όπως έχουν δείξει έρευνες δεκαετιών σε εγκαταστάσεις στην Αμερική και στην Ευρώπη.

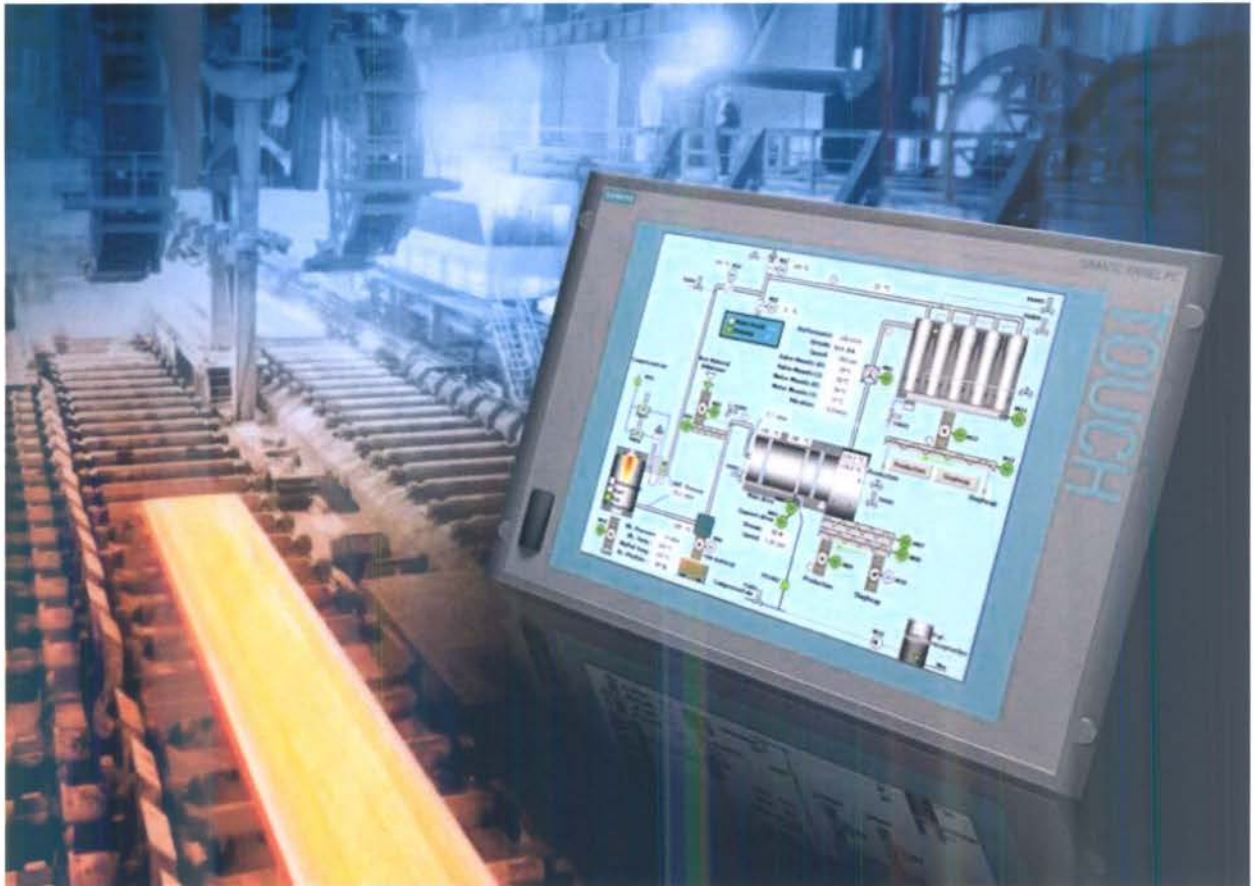


ΕΙΚΟΝΑ 1



ΕΙΚΟΝΑ 2

- Σύστημα διαρκούς (On line) παρακολούθησης του συστήματος κα λογισμικό καταγραφής. Το λογισμικό επιτηρεί τη λειτουργία του σταθμού συνεχώς και καταγράφει την απόδοσή του. Τα δεδομένα λειτουργίας της εγκατάστασης είναι διαθέσιμα στους υπεύθυνους του σταθμού και στην κατασκευάστρια εταιρία, η οποία θα έχει έτσι τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποια δυσλειτουργία.



ΕΙΚΟΝΑ 3

3) Περιγραφή του χώρου και του τόπου που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο.

- Τοπογραφικό σχέδιο του χώρου που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο.
- Έγκριση από το δήμο ότι στην περιοχή επιτρέπεται η κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου δηλαδή ότι είναι σε αγροτικές περιοχές που ο νόμος επιτρέπει την κατασκευή του.

4.1.1 Προκαταρκτική τεχνική μελέτη του προτεινόμενου έργου

Τεχνική μελέτη.

Σκοπός του έργου είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η παραγωγή θα γίνεται σε γήπεδο που η εταιρεία έχει δεσμεύσει με επίσημο προσύμφωνο και τα οποία προσαρτώνται στην παρούσα αίτηση.

Στόχος είναι η εκμετάλλευση του ηλιακού δυναμικού της περιοχής που αποτελεί και ανεξάντλητο φυσικό πόρο, κατά τρόπο που συμβάλλει στον γενικότερο περιορισμό της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, του υπεδάφους και των υδάτινων πόρων λόγω της αντικατάστασης της παραγόμενης ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, αλλά και στην εξοικονόμηση καυσίμων προς όφελος της εθνικής οικονομίας.

Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου, εκτός από την οικονομική διάσταση που βεβαίως έχει για τους επενδυτές, θα συμβάλλει όμως και στην ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής,

δεδομένης της απασχόλησης που θα δημιουργηθεί και κατά το στάδιο της υλοποίησης του έργου αλλά και την εν συνεχεία λειτουργία του.

Η διάρκεια ζωής της επένδυσης αναμένεται να είναι 35 τουλάχιστον έτη καθώς η διάρκεια ζωής του κύριου και βασικού εξοπλισμού του φωτοβολταϊκού πάρκου είναι τουλάχιστον 35 έτη έστω με ελαφρά μειωμένη απόδοση τα τελευταία χρόνια της ζωής του.

4.1.2 Σύντομη περιγραφή του έργου

Βρίσκεται στο Νομό Κοζάνης, όπως παρουσιάζεται στο γενικό χάρτη της περιοχής στο Μέρος 5, (τοπογραφικό διάγραμμα χάρτη ΓΥΣ κλίμακας 1:5.000 και Φ.Χ. ΓΥΣ κλίμακας 1:50.000). Η πρόσβαση γίνεται μέσω υφιστάμενης αγροτικής οδού στις παρυφές της θέσης εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού Πάρκου. Η προβλεπόμενη έκταση γης για την κατασκευή του Έργου είναι περίπου 2.050 στρέμματα. Το γήπεδο έχει μηδενική κλίση, εξαιρετικά ηλιόλουστο αφού κανένα βουνό ή λόφος δεν το σκιάζει από την ανατολή έως την δύση του ηλίου Το προτεινόμενο γήπεδο έχει ήδη δεσμευθεί με το επισυναπτόμενο προσύμφωνο από την εταιρεία – φορέα της επένδυσης.

Από τα μετεωρολογικά στοιχεία τεκμηρίωσης ηλιακής ενέργειας, που έχουν συλλεχθεί, η περιοχή δεν έχει ιδιαίτερες σωρεύσεις νεφών, και έχει υψηλή ηλιοφάνεια, με συνεχείς ήπιους σχετικά ανέμους που συνεισφέρουν στον δροσισμό της μονάδος, συμβάλλοντας έτσι σε καλύτερη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η επιλογή της θέσης έγινε μετά από σχολαστική έρευνα ώστε :

- 1) να ικανοποιεί τους περιορισμούς που προβλέπονται στην σχετική νομοθεσία δηλαδή να μην είναι σε Πυρήνες Εθνικών Δρυμών, Αισθητικά δάση, Προστατευόμενες περιοχές άρθρου 21 Ν 1650 ή άρθρου 3044/2002, να μην είναι οικότοπος, περιοχή ορνιθοπανίδας, αρχαιολογικός χώρος, πολιτιστικό μνημείο, αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, ζώνη αναδασμού, αρδευόμενη έκταση, η οργανωμένη ζώνη δευτερογενούς ή τριτογενούς τομέα.
- 2) να μην επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον, τους υπάρχοντες οικισμούς, και γενικώς καμία από τις εν γένει δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής.
- 3) να μην είναι ορατό από οικισμούς.

Η χωροθέτηση του φωτοβολταϊκού (Φ/Β) σταθμού θα γίνει με νότιο προσανατολισμό. Τα φωτοβολταϊκά θα στηριχθούν σε σταθερές βάσεις. Η απόσταση μεταξύ των συστημάτων θα είναι τέτοια έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα σκίασης ακόμη και κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών όταν ο ήλιος φθάνει έως 30ο μοίρες σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Σημαντική παράμετρος για την σωστή χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων αποτελεί η εκτίμηση σκιάσεων που σαν αποτέλεσμα θα μας δώσει και τη σωστή εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος μας, πάνω στην οποία θα βασιστούμε για να αξιολογήσουμε την επένδυση μας.

Η εκτίμηση σκιάσεων γίνεται σε δύο επίπεδα που είναι τα κοντινά εμπόδια όπως καμινάδες, διπλανά κτίρια, δέντρα κλπ και ο ορίζοντας.

Για τα κοντινά εμπόδια με βάση το πληροφοριακό υλικό που έχουμε στη διάθεση μας για το ακίνητο έχει γίνει μελέτη έτσι ώστε να αποφύγουμε τις σκιάσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό η επιλογή στοχεύει ο επηρεασμός να είναι ελάχιστος και να αφορά ημέρες και ώρες που η παραγωγή είναι πολύ περιορισμένη. Για παράδειγμα πολύ πρωινές ώρες, πολύ απογευματινές ώρες και ημέρες του χειμώνα.

Σε περίπτωση ύπαρξης κοντινών εμποδίων στο χώρο, τα οποία επηρεάζουν με τη σκίαση τους το σύστημα, αυτά απεικονίζονται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα με κόκκινο περίγραμμα

και γραμμοσκίαση στο εσωτερικό. Παράλληλα ο πιθανός επηρεασμός τους στη συνολική απόδοση του συστήματος έχει ληφθεί υπόψη στα στατιστικά στοιχεία απόδοσης της εγκατάστασης.

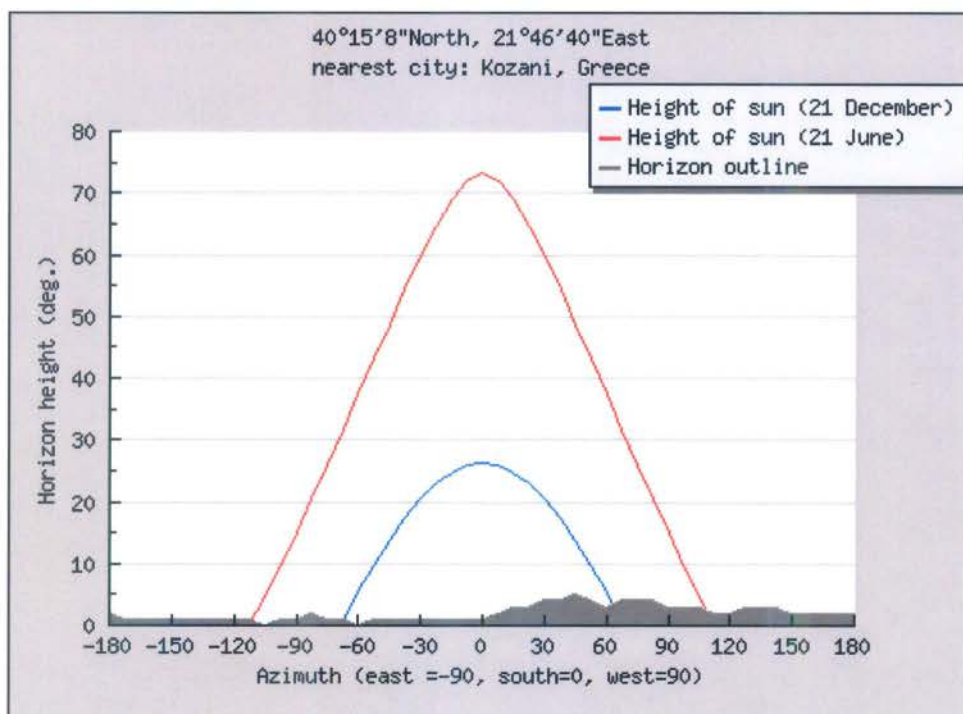
Για τις σκιάσεις που δημιουργούνται από τον ορίζοντα όπως υψώματα, λόφοι, βουνά κλπ έχουμε αναλυτική αποτύπωση μέσα από εξειδικευμένη εφαρμογή που μας δίνει τον ορίζοντα για το συγκεκριμένο σημείο του ακινήτου.

Το ανάγλυφο του εδάφους αποτυπώνεται με γκρι χρώμα στο παρακάτω διάγραμμα έτσι ώστε να μας δώσει την ακριβή εικόνα του ορίζοντα μας προς το Νότο.

Ταυτόχρονα βλέπουμε την τροχιά του ήλιου για δύο χρονικές στιγμές μέσα στο χρόνο που απεικονίζουν την ψηλότερη και χαμηλότερη τροχιά του ήλιου. Για την ακρίβεια η κάτω καμπύλη απεικονίζει την τροχιά που διαγράφει ο ήλιος στις 21 Δεκεμβρίου που είναι η μέρα με τη μεγαλύτερη νύχτα και την χαμηλότερη θέση του ήλιου. Αντίστοιχα η πάνω καμπύλη απεικονίζει την τροχιά που διαγράφει ο ήλιος στις 21 Ιουνίου που είναι η μέρα με την μικρότερη νύχτα και την υψηλότερη θέση του ήλιου.

Με τον τρόπο αυτό εξομοιώνουμε πιστά όλες τις παραμέτρους έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την καλύτερη δυνατή εκτίμηση της αναμενόμενης απόδοσης του συστήματος σε παραγόμενη ενέργεια.

Παρακάτω βρίσκεται γράφημα με την αποτύπωση του ορίζοντα για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος που βρίσκεται το υπό μελέτη ακίνητο.



Γενικά

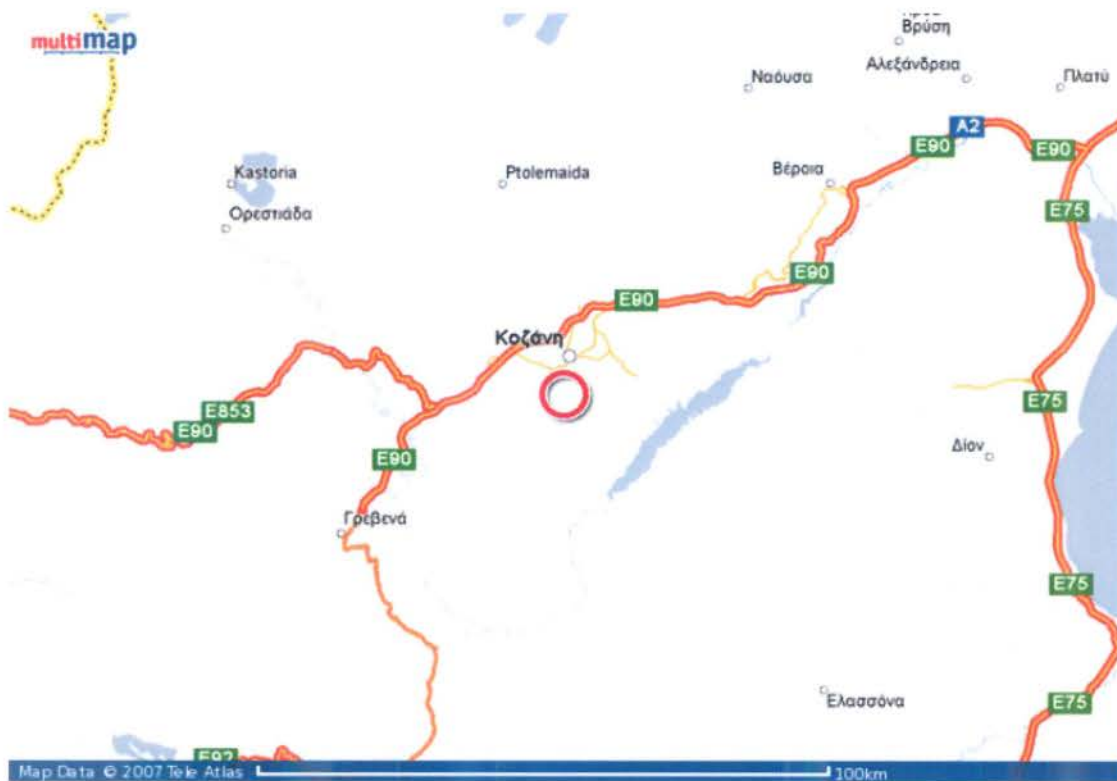
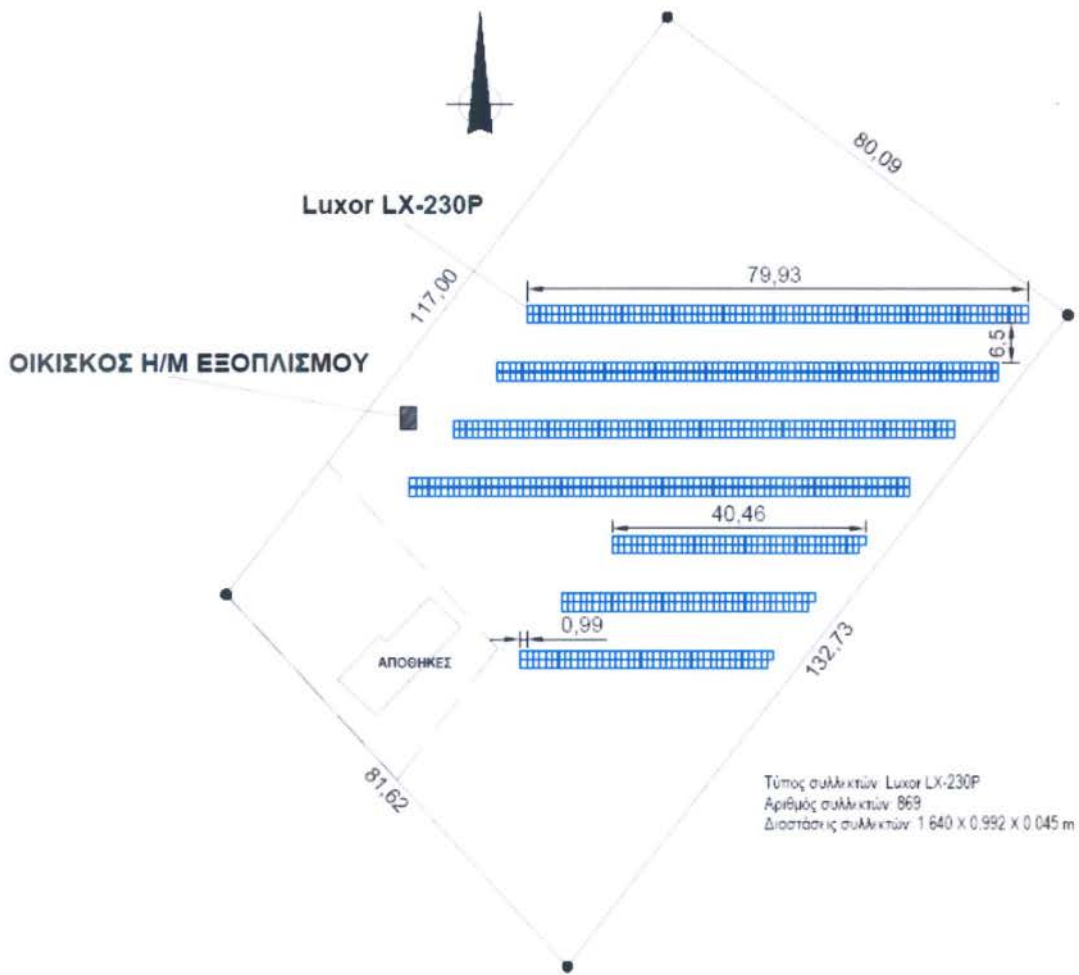
Στη μελέτη που ακολουθεί θα μελετήσουμε όλα τα στάδια που ακολουθήθηκαν μετά την ολοκλήρωση της αδειοδοτικής διαδικασίας μέχρι την ολοκλήρωση του έργου και την σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης θα εξετάσουμε χρηματοοικονομικά την κατασκευή του πάρκου όπως επίσης και τα αποτελέσματα χρήσης μετά από ένα πλήρες έτος λειτουργίας και θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτά με τα αποτελέσματα που προϋπολογίστηκαν μέσω προγραμμάτων προσομοίωσης.

4.1.3 Χωματοργικές εργασίες

Πριν από την έναρξη των εργασιών εγκατάστασης απαιτείται η διαμόρφωση του χώρου. Έτσι προχωρούμε με τη βοήθεια χωματοργικού μηχανήματος, αρχικά στην εκχέρωση του χώρου εγκατάστασης όπως επίσης και στην εξομάλυνση του εδάφους ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή όπως και η λειτουργία των βάσεων. Στη συνέχεια προχωρούμε στην κατασκευή των βάσεων, την κατασκευή της περίφραξης και την κατασκευή του οικίσκου, την κατασκευή του τοιχίου της μετρητικής διάταξης της ΔΕΗ, τις βάσεις τοποθέτησης των υποπινάκων, την κατασκευή της βάσης του αλεξικέραυτου και την κατασκευή των ιστών στήριξης των καμερών, φωτισμού και αισθητήρων συναγερμού. Πριν την κατασκευή ξυλοτύπων κάνουμε τις απαραίτητες εκσκαφές.

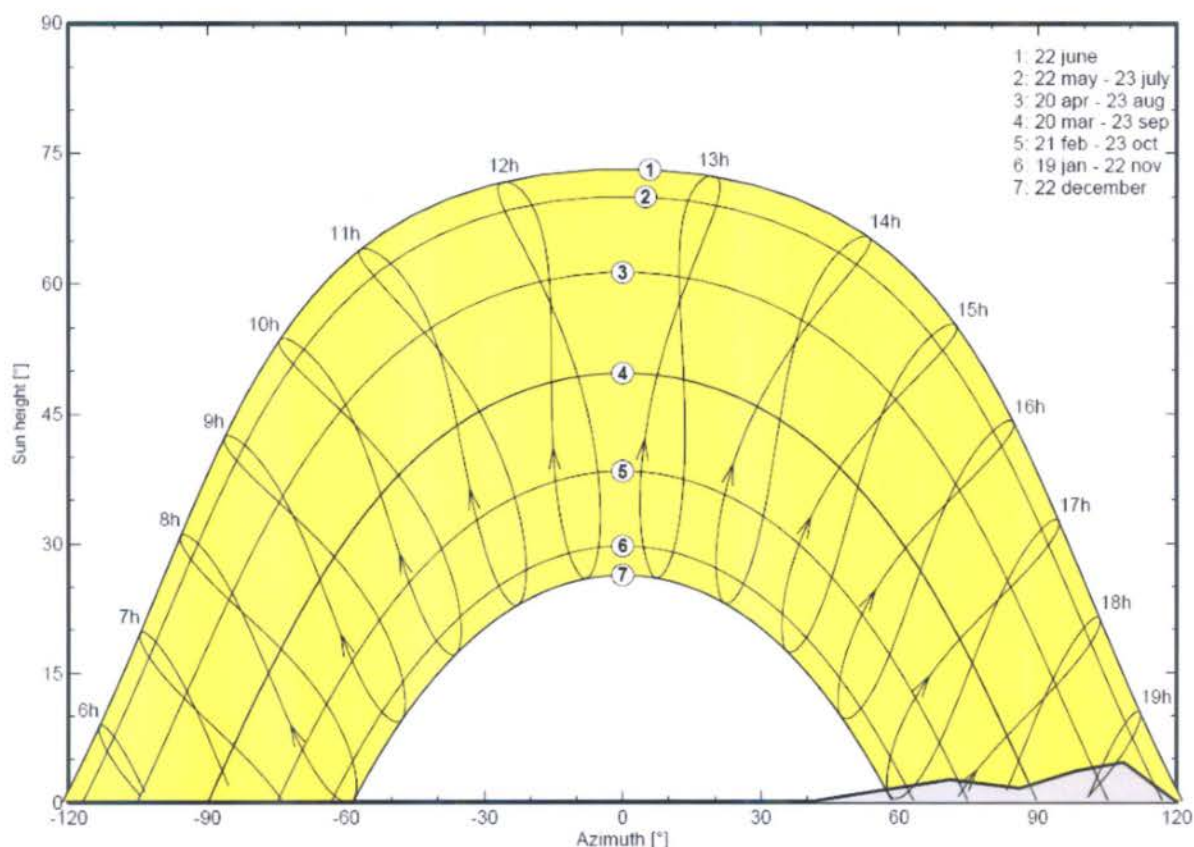
4.1.4 Χωροταξική διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 200kW



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο ορίζοντας για την περιοχή της Κοζάνης

Horizon line for Lefkovrisi, (Lat. 40.2°N, long. 21.8°E, alt. 616 m)



4.15 Ομαδοποίηση φ/β πλαισίων

Για την ομαδοποίηση των πλαισίων καθοριστικός παράγοντας είναι τα χαρακτηριστικά των πλαισίων (τάσης και έντασης) όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά των αντιστροφών. Στο συγκεκριμένο έργο οι αντιστροφείς που χρησιμοποιούμε έχουν την δυνατότητα σύνδεσης πλαισίων με τάση εισόδου 150~800 V και μέγιστη ένταση 33 A/11 A. Σε ότι αφορά τα πλαίσια τα χαρακτηριστικά τους είναι:

- Ονομαστική ισχύς 230 Wp.
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος 37,55 V.
- Ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης 8,39 A.
- Τάση λειτουργίας 30,10 V.
- Ένταση ρεύματος λειτουργίας 7,81 A.

Για την ομαδοποίηση των πλαισίων και την δημιουργία των string (αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων στη σειρά) λαμβάνουμε υπ' όψιν τους εξής παράγοντες:

-Στον ίδιο αναστροφέα φροντίζουμε να δημιουργούμε ομάδες με τον ίδιο αριθμό πλαισίων έτσι ώστε να έχουμε στα άκρα κάθε string την ίδια τάση. Να σημειώσουμε εδώ ότι υπάρχουν inverters στην αγορά, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να συνδέονται με δύο διαφορετικές σε αριθμό πλαισίων συστοιχίες.

- Τα string που θα δημιουργήσουμε θα πρέπει να έχουν τάση στα άκρα τους (τάση ανοιχτού κυκλώματος) που να βρίσκεται εντός των ορίων λειτουργίας του αναστροφέα.
 - Η τάση στα άκρα κάθε string προσπαθούμε να πλησιάζει κατά το δυνατό στα υψηλότερα όρια του εύρους λειτουργίας του αναστροφέα. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε καλύτερη απόδοση του συστήματος λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η χαμηλότερη ακτινοβολία δημιουργεί χαμηλότερη τάση στα Φ/Β πλαίσια. Μειούμενη όμως η τάση στα άκρα των strings κάτω από ένα κρίσιμο όριο, χαρακτηριστικό για κάθε αναστροφέα, αυτός τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι λοιπόν όσο πιο μεγάλη είναι η τάση λειτουργίας έπειτα από την ομαδοποίηση, τόσο πιο χαμηλή θα είναι η κρίσιμη ακτινοβολία που θα θέτει εκτός λειτουργίας τον αναστροφέα.
 - Η ομαδοποίηση θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερβαίνουμε την μέγιστη ένταση που ορίζει ο κατασκευαστής των αναστροφέων.
 - Η ονομαστική ισχύς εισόδου συνεχούς ρεύματος δίνεται από τον κατασκευαστή. Όλοι οι αναστροφείς έχουν την δυνατότητα υπερφόρτισης σε ποσοστό που στους περισσότερους κατασκευαστές είναι 20%. Θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν εδώ κατά το σχεδιασμό ότι υπερφόρτιση πάνω από το 110% εγκυμονεί πάρα πολλούς κινδύνους να τίθεται συχνά εκτός λειτουργίας ο αναστροφέας (λόγω λειτουργίας εκτός ορίων), ιδιαίτερα τις ημέρες με ηλιοφάνεια και χαμηλές θερμοκρασίες.
- Βάσει των παραπάνω και για το έργο το οποίο εξετάζουμε έχουμε να ομαδοποιήσουμε 11 αναστροφείς με 869 πλαίσια και 11 αναστροφείς. Κάθε υποσύστημα θα αποτελείται από 4 συστοιχίες και ένα 1 inverter. Τρεις συστοιχίες θα περιλαμβάνουν από 20 panels και μία θα περιλαμβάνει 19 panels.

4.1.6 Επιλογή φ/β πλαισίων

Σε ότι αφορά τα φ/β πλαίσια επιλέχθηκαν πολυκρυσταλλικού πυριτίου ονομαστικής ισχύος 230 Wp. Έτσι για το συγκεκριμένο έργο απαιτούνται $199,87:230=869$ τεμάχια φ/β πλαισίων, διαστάσεων 1640x992mm. Τα φ/β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρίας LUXOR, μοντέλο LX-230P ισχύος 230W.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ Luxor ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα πάνελ της αγοράς κυρίως για 3 λόγους, εκτός φυσικά από την **εμφανώς υψηλότερη γερμανική ποιότητα σχεδιασμού:**



- Έχουν εγγυημένη αυξημένη παραγωγή έως 6,5Wp παραπάνω από την ονομαστική τους (αυτό σημαίνει ότι ένα πάνελ 230Wp παράγει εγγυημένα περισσότερα, μέχρι και 237Wp).
- Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κυψέλες με την υψηλότερη απόδοση (πάνω από 17%).
- Το ειδικά επεξεργασμένο για αυξημένη αντοχή στο χαλάζι τζάμι τους, έχει ειδική επίστρωση που αυξάνει ακόμη περισσότερο την ισχύ του πάνελ, ενώ βελτιστοποιείται και η παραγωγή του σε συνθήκες συννεφιάς.

Το πλαίσιο αλουμινίου είναι ειδικά σχεδιασμένο για να επιτρέπει το στράγγισμα του νερού και της υγρασίας, προστατεύοντας έτσι το πάνελ Luxor από ζημιές που προκαλούνται σε πάνελ χαμηλότερης ποιότητας από το πάγωμα του νερού στις ενώσεις του πλαισίου.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Ισχύς 230 Watt/p

Τάση (at max. power) 30,0 V

Ένταση (at max. power) 7,67A

Διαστάσεις 164,0 x 99,2 x 4,0 cm

Βάρος 20,0 KG

4.1.7 Επιλογή αντιστροφέων (inverter)

Για την επιλογή των αντιστροφέων αποφασίστηκαν 11 μετατροπείς (inverters) της εταιρίας SMA, μοντέλο STP17000TL ισχύος 17 KW. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η συνολική ισχύς του συστήματος θα είναι 199,87 kw σταθερού προσανατολισμού σταθερής κλίσης 30°.

Επιλέγουμε αυτόν τον inverter για τα εξής χαρακτηριστικά του:

- Μέγιστη απόδοση του 98,2%
- Καλύτερη απόδοση εντοπισμού με OptiTrac MPP παρακολούθηση από την SMA
- Bluetooth επικοινωνία
- Τριπλή προστασία με Optiprotect:
- Ηλεκτρονική ασφάλεια στοιχειοσειρών
- Αυτό-μάθηση εντοπισμού αστοχίας εγχόρδων
- DC σταματών κύμα (τύπου II) μπορούν να ενσωματωθούν
- DC τάση εισόδου έως και 1 000 V
- Ολοκληρωμένες λειτουργίες διαχείρισης δικτύου
- Προσαρμογή του σχεδιασμού των εγκαταστάσεων με Optiflex

- Τριφασική feed-in
- Σύνδεση μέσω καλωδίου χωρίς εργαλεία
- DC SUNCLIX plug-in σύστημα
- Εύκολα προσβάσιμη περιοχή σύνδεσης

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ	
ΤΥΠΟΣ	Sunny Tripower STP 17000TL-10
ΜΕΓΕΘΗ ΕΙΣΟΔΟΥ	
Μέγιστη ισχύς	17,41KW
PV – πεδίο τάσης MPPT (U_{PV})	150 V - 800 V
Μέγιστη τάση εισόδου ($U_{PV,max}$)	1000 V
Μέγιστη ένταση εισόδου ($I_{PV,max}$)	33 A/11 A
DC κυματισμός τάσης (U_{SS})	<10 %
ΜΕΓΕΘΗ ΕΞΟΔΟΥ	
Μέγιστη ($P_{AC max}$)	17,00kVA
Ονομαστική AC ισχύς ($P_{AC nom}$)	17,00 KW
Αρμονικές	<4 %
Περιοχή λειτουργίας AC τάσης (U_{AC})	160 – 280 V
AC συχνότητα (F_{AC})	49,8-50,2 Hz
Μετατόπιση Φάσης ($\cos \varphi$) άεργου ισχύος	1
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
Βαθμός απόδοσης	98.2 %
Προστασία σύμφωνα με DIN EN 60529	IP 65
Διαστάσεις	665 mm X 690mm X 250 mm
Βάρος	65 kg

4.2 Καλώδια

Τμήμα 1(φωτοβολταϊκά πλαίσια-αντιστροφείς)

Φωτοβολταϊκά πλαίσια με κύκλωμα συνεχούς ρεύματος. Για τους 12 inverters έχουμε τάση 1000V DC και ένταση 33/11 A και τέσσερα κυκλώματα των 18 m το κάθε ένα. Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 7680 m ενώ η διατομή του καλωδίου είναι 6 mm².

Τμήμα 2(αντιστροφείς – γενικός πίνακας)

Στο τμήμα αυτό έχουμε τάση 380V(τριφασικοί αντιστροφείς), ένταση 71,97 A (κάθε inverter). Το μήκος της γραμμής είναι 25m μέχρι τον γενικό πίνακα AC και η διατομή του καλωδίου είναι 25 mm².

Τμήμα 3(γενικός πίνακας AC- μετρητής)

Στο τμήμα αυτό υπάρχει γενικός διακόπτης ισχύος ονομαστικής έντασης 287,89 A(ανά φάση). Το μήκος της γραμμής είναι 5 m και η διατομή του καλωδίου είναι 120 mm²

4.2.1 Καλωδιώσεις περιμετρικού φωτισμού

Για τον περιμετρικό φωτισμό προβλέπεται η τοποθέτηση 8 προβολέων LED ισχύος 30 W έκαστος όπως παρουσιάζονται στο σχεδιάγραμμα καλωδιώσεων. Για το σκοπό αυτό θα τοποθετηθούν από το γενικό πίνακα δύο γραμμές που θα οδεύσουν περιμετρικά με καλώδιο NYF 3x2,5 έκαστη.

4.2.2 Καλωδιώσεις συστήματος καμερών

Για την πλήρη εποπτεία του χώρου προβλέπεται η τοποθέτηση 8 καμερών. Για την καλωδίωση τους θα χρησιμοποιηθεί για κάθε κάμερα ομοαξονικό καλώδιο RG 57 με ενσωματωμένους αγωγούς για την ηλεκτρική τροφοδοσία τους.

4.2.3 Καλωδιώσεις συστήματος συναγερμού

Για το σύστημα συναγερμού προβλέπονται η τοποθέτηση 6 ανιχνευτών δέσμης υπερύθρων σε ιστούς σε απόσταση 0,8 m εσωτερικά της περίφραξης, δύο μαγνητικών επαφών στην θύρα της περίφραξης και στη θύρα του οικίσκου, ενός ανιχνευτή κίνησης εντός του οικίσκου και μιας σειρήνας που θα τοποθετηθεί στο εξωτερικό μέρος του οικίσκου. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται η περιμετρική τοποθέτηση εκατέρωθεν του οικίσκου γραμμές από δύο καλωδίων 4x0,25 mm² (UTP).

4.2.4 Καλωδιώσεις συστήματος τηλεπαρακολούθησης

Για το σύστημα τηλεπαρακολούθησης της λειτουργίας των αντιστροφών, ο κατασκευαστής προβλέπει την εν σειρά σύνδεση κεντρικής μονάδας ελέγχου που θα τοποθετηθεί εντός του οικίσκου με τους αντιστροφείς με καλώδιο UTP και μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 1000 m.

4.2.5 Καλωδιώσεις μετεωρολογικού σταθμού

Για τον μετεωρολογικό έλεγχο του πάρκου προβλέπεται η τοποθέτηση και σύνδεση των ακόλουθων αισθητηρίων με την κεντρική μονάδα που θα τοποθετηθεί εντός του οικίσκου:

- Αισθητήριο θερμοκρασίας περιβάλλοντος, που θα τοποθετηθεί στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου με καλωδίωση $2 \times 1 \text{ mm}^2$.
- Αισθητήριο ταχύτητας ανέμου, που θα τοποθετηθεί στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου με καλωδίωση $2 \times 1 \text{ mm}^2$.
- Αισθητήριο θερμοκρασίας φωτοβολταϊκών πλαισίων, που θα τοποθετηθεί στο πίσω μέρος στο πλησιέστερο φωτοβολταϊκό πλαίσιο με καλωδίωση $2 \times 1 \text{ mm}^2$.
- Αισθητήριο ηλιακής ακτινοβολίας, που θα τοποθετηθεί παράλληλα με το πλησιέστερο φωτοβολταϊκό πλαίσιο με καλωδίωση $2 \times 1 \text{ mm}^2$.

4.3 Αντικεραυνική προστασία

Για την αντικεραυνική προστασία θα κατασκευαστεί διάταξη προστασίας έναντι άμεσων πληγμάτων και προστασία έναντι κρουστικών υπερτάσεων. Για την άμεση αντικεραυνική προστασία προβλέπεται η κατασκευή ισοδυναμικού πλέγματος γείωσης με την οποία θα συνδεθούν όλες οι σταθερές βάσεις και ο οικίσκος από λάμα χαλκού διαστάσεων $30 \times 2 \text{ mm}^2$, ενώ θα κατασκευαστεί και αλεξικέραυνο με ιστό ύψους 9 m στον οποίο θα τοποθετηθεί κεφαλή τύπου pulsar με ακτίνα δράσης 90 m. Στην κεφαλή του αλεξικέραυνου θα συνδεθεί αγωγός καθόδου διαμέτρου 12 mm, ο οποίος θα συνδεθεί με τρίγωνο γείωσης που θα κατασκευαστεί στη βάση του αλεξικέραυνου. Τα ηλεκτρόδια του τριγώνου θα είναι μήκους 2 m το καθένα και θα τοποθετηθούν σε απόσταση 2,5 m. Το σύστημα του αλεξικέραυνου θα συνδεθεί με το πλέγμα ισοδυναμικής γείωσης. Σε ότι αφορά την προστασία έναντι κρουστικών υπερτάσεων, θα τοποθετηθούν, στις γραμμές DC των φωτοβολταϊκών πλαισίων, απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T1 + T2, ενώ στην γραμμή AC, απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T1 + T2 και T3.

4.4 Κατασκευή οικοδομικού μέρους σταθερών βάσεων

Για την κατασκευή των βάσεων αυτών ο κατασκευαστής των βάσεων δεν προβλέπει εκσκαφές. Παράλληλα λόγω της κυκλικής του μορφής χρησιμοποιείται μεταλλικό καλούπι για την διαμόρφωση. Για την όδευση των καλωδίων στο κέντρο της βάσης όπου θα τοποθετηθεί ο αναστροφέας και ο πίνακας ελέγχου της σταθερής βάσης τοποθετούμε εύκαμπτους αγωγούς (σπιράλ) για την όδευση των καλωδίων έναν για τα ισχυρά και έναν για τα ασθενή ρεύματα (κύκλωμα τηλεπαρακολούθησης διάταξη προστασίας της βάσης από ανέμους, αισθητήρια θερμοκρασίας πλαισίων και ηλιακής ακτινοβολίας). Για τον σκοπό αυτό κάνουμε εκσκαφή στενού αυλακιού από το κέντρο της βάσης έως ως το άκρο της και με κατεύθυνση προς τη θέση του υποπίνακα. Στη συνέχεια τοποθετούμε τους εύκαμπτους σωλήνες (αφού ρίξουμε περιμετρικά ψιλή άμμο και ξαναεπιχώνουμε. Τοποθετούμε τα μεταλλικά καλούπια και τοποθετούμε τον οπλισμό που ορίζει ο κατασκευαστής των βάσεων. Με την ολοκλήρωση κατασκευάζουμε βάση ρίχνοντας σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 όπως ορίζεται στη στατική μελέτη των βάσεων.



Θεμελίωση φ/β πάρκου



Πέδιλο από σκυρόδεμα και τοποθέτηση βάσεων

4.5 Κατασκευή περίφραξης

Η περίφραξη θα κατασκευαστεί από πλέγμα γαλβανιζέ με άνοιγμα οπής 50X50 mm, πάχους 2.5 mm και ύψους 2 m. Η στήριξη θα γίνει με σωλήνες γαλβανιζέ 1 1/2" μήκους 3 m πακτωμένοι κατά 50 cm εντός της βάσεως. Στην απόληξη της θα είναι κεκλιμένη κατά 40ο με φορά προς το πάρκο. Εκεί θα τοποθετηθούν τρεις σειρές αγκαθωτό σύρμα. Ανά δύο σωλήνες θα δημιουργούνται προεντάσεις χιαστί με σύρμα περιφράξεως. Σε κάθε αλλαγή διεύθυνσης, όπως και στα ευθύγραμμα τμήματα της περίφραξης και ανά 40 m μήκους θα τοποθετηθούν κολώνες από κοιλοδοκό 120X120X6 mm και μήκους 3 m οι οποίοι θα τοποθετηθούν εντός πέλματος από σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 0,3 m³. Στις κολώνες όπως και στους σωλήνες θα τοποθετηθούν πλαστικές τάπες στις απολήξεις τους. Για την στήριξη της θα κατασκευαστεί βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20. Ο οπλισμός θα φέρει δύο τεμάχια σίδερα Φ8 και πλέγμα. Οι διαστάσεις της βάσης θα είναι 30X20 cm και θα ενταφιαστεί κατά 10 cm. Θα κατασκευαστεί συρόμενη τύπου ΑΣΚΟ από δομικό χάλυβα κατά EN 10025 διαστάσεων 2000X5000 mm αποτελούμενη από περιμετρικό κοιλοδοκό 100X40X3 με τρεις φάσες 80X40X2 ο με ράουλα και υποδοχή για κλείσιμο.

4.6 Κατασκευή βάσεων υποπινάκων

Πριν την κατασκευή των βάσεων θα κατασκευαστούν φρεάτια στο πίσω μέρος της βάσης, όπου θα καταλήγουν οι καλωδιώσεις από τις βάσεις. Οι βάσεις θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 διαστάσεων 40x70x130 και θα κατασκευαστούν ενταφιασμένοι κατά 10 cm. Πριν την εφαρμογή του σκυροδέματος, τοποθετούμε εύκαμπτους σωλήνες που καταλήγουν στο φρεάτιο για την όδευση των καλωδίων από τους υποπίνακες στο φρεάτιο.

4.7 Κατασκευή βάσης οικίσκου

Για την κατασκευή της βάσης του οικίσκου ακολουθείται η ίδια φιλοσοφία με την κατασκευή των βάσεων των υποπινάκων. Έτσι κατασκευάζουμε βάση 3,5X4,5X0,3 m ενταφιασμένη κατά 10 cm και δύο φρεάτια εκατέρωθεν της βάσης.

4.8 Κατασκευή βάσης αλεξικέραυνου

Σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή του ιστού του αλεξικέραυνου, γίνεται εκσκαφή τάφρου 1X1X0,9 m και κατασκευάζεται βάση διαστάσεων 1X1X1 m. Για την κατασκευή χρησιμοποιείται ο οπλισμός που προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή του ιστού, κατασκευάζεται ο ξυλότυπος ώστε να εξέχει από το έδαφος 10 cm και τοποθετείται η αγκύρωση και το σκυρόδεμα.

4.9 Κατασκευή τοιχίου τοποθέτησης μετρητικής διάταξης.

Η κατασκευή γίνεται σύμφωνα με το έντυπο επισκόπησης της ΔΕΗ. Κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και δίπλα του κατασκευάζεται φρεάτιο για την όδευση των καλωδίων.

4.10 Κατασκευή ιστών καμερών – φωτισμού.

Στα σημεία τοποθέτησης των ιστών, τοποθετούνται ιστοί από γαλβανιζέ 2'' και μήκους 3 m. Πακτώνονται στο έδαφος και παράλληλα για την σταθεροποίησή τους, γίνεται και ενίσχυση με σκυρόδεμα. Για την όδευση των καλωδίων εμπρός από κάθε ιστό τοποθετείται φρεάτιο.

4.11 Τοποθέτηση Καλωδιώσεων.

Για την τοποθέτηση των καλωδιώσεων ανοίγονται τάφροι στα σημεία όδευσης των καλωδιώσεων που καταλήγουν στα φρεάτια που έχουν κατασκευαστεί. Εντός των τάφρων τοποθετούνται σωλήνες PVC (ένας για τα ισχυρά και ένας για τα ασθενή ρεύματα) και αφού περιβληθούν με ψιλή άμμο επιχώνονται ξανά. Εντός τάφρων (με επίχωση μόνο) τοποθετούνται και οι αγωγοί γειώσεων όπως και οι αγωγοί του πλέγματος της αντικεραυνικής προστασίας. Στη συνέχεια τοποθετούνται οι καλωδιώσεις σύμφωνα με την μελέτη εφαρμογής.

4.12 Συναρμολόγηση Βάσεων.

Οι βάσεις συναρμολογούνται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Λόγω του χαμηλού ύψους τους, είναι δυνατή η εύκολη τοποθέτηση των πλαισίων σε πλήρως συναρμολογημένη βάση. Έτσι μετά την συναρμολόγηση των βάσεων τοποθετείται, ο πίνακας ελέγχου και γίνονται οι ηλεκτρολογικές τους συνδέσεις.

4.13 Τοποθέτηση φ/β πλαισίων και αντιστροφών

Για την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει πρώτα να γίνει ομαδοποίηση. Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο πως ομαδοποιούμε τα πλαίσια σε strings. Από την κατασκευή του όμως κάθε πάνελ έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά τάσης και έντασης. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν από έλεγχο ένα προς ένα στο εργοστάσιο κατασκευής. Τα αποτελέσματα του ελέγχου (flashing report) συνοδεύουν τα πάνελ και παραδίδονται στον εγκαταστάτη από τον προμηθευτή. Είναι προφανές ότι σε ένα string, το πάνελ που έχει σαν χαρακτηριστικό τη μικρότερη σε ένταση ρεύματος θα καθορίσει και την ένταση του ρεύματος σε ολόκληρο το string.

Έτσι λοιπόν από το flashing report , κατατάσσουμε τα πάνελ κατ' αύξουσα σειρά ως προς την ένταση του ρεύματος και στη συνέχεια τα χωρίζουμε σε ομάδες των 15 πάνελς όπως προέκυψε στην μελέτη εφαρμογής για τον συγκεκριμένο τύπο αναστροφέα.

Στη συνέχεια βιδώνουμε τα πάνελς πάνω στις βάσεις (στα σημεία που προβλέπει ο κατασκευαστής των πάνελ) κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα πάνελς της ίδιας ομάδας (string) να είναι δίπλα-δίπλα και να είναι δυνατή η σύνδεσή τους με το μικρότερο δυνατό μήκος καλωδίου. Αφού τοποθετήσουμε τα πάνελς, τοποθετούμε και τον αναστροφέα. Για την σύνδεση με τον αναστροφέα θα πρέπει να παρεμβάλουμε:

- Ασφάλεια σε κάθε string.
- Διακόπτη συνεχούς ρεύματος.
- Προστασία έναντι κρουστικών υπερτάσεων.

Το μέγεθος της ασφάλειας από την ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} των πάνελ (δίνεται από τον κατασκευαστή των πάνελ) και είναι ίση με $1,5 \cdot I_{sc}$.

Έτσι πριν τον αναστροφέα θα πρέπει να παρεμβληθεί πίνακας που να περιέχει τα παραπάνω στοιχεία. Επειδή ο αναστροφέας που επιλέξαμε διαθέτει ενσωματωμένο πίνακα με διακόπτη DC και μέχρι έξι ανεξάρτητα κυκλώματα με ασφάλειες, κατά την σύνδεση στον πίνακα που τοποθετήθηκε χρησιμοποιήθηκε μόνο διάταξη προστασίας έναντι κρουστικών υπερτάσεων DC. Οι συνδέσεις των καλωδίων έγιναν με στεγανούς ταχυσυνδέσμους που αφού τοποθετήθηκαν στα καλώδια στη συνέχεια συνδέθηκαν μεταξύ τους. Οι συνδέσεις αυτές απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή δεδομένου του ότι στα άκρα του κάθε string από την στιγμή που θα συνδεθούν τα πάνελ μεταξύ τους έχουμε τάση της τάξης των 500V. Πριν την σύνδεση των πάνελ μεταξύ τους ελέγχουμε την λειτουργία του μετρώντας την τάση στα άκρα του κάθε πάνελ.

4.14 Κατασκευή Βοηθητικών Εγκαταστάσεων.

4.14.1 Σύστημα τηλεπαρακολούθησης

Στον οικίσκο τοποθετούνται η κεντρική μονάδα δεδομένων η οποία συνδέεται με τους αναστροφείς σε σειρά με καλώδιο $4 \times 0.25 \text{ mm}^2$ (UTP) των αναστροφέων και η μονάδα μετεωρολογικών δεδομένων η οποία συνδέεται με τα αισθητήρια και με την κεντρική μονάδα δεδομένων.

4.14.2 Σύστημα καμερών.

Για την πλήρη εποπτεία του χώρου λειτουργική και ασφαλείας τοποθετούνται και συνδέονται 8 κάμερες στους στύλους που έχουν κατασκευαστεί, οι οποίες συνδέονται με καταγραφικό 8 καναλιών στο χώρο του οικίσκου.

4.14.3 Σύστημα συναγερμού.

Για την κάλυψη του χώρου τοποθετούνται περιμετρικά στα έξι σημεία, 12 αισθητήρες δέσμης υπερύθρων. Στις πόρτες εισόδου και οικίσκου τοποθετούνται μαγνητικές επαφές, ενώ στο χώρο

του οικίσκου τοποθετείται αισθητήρας κίνησης. Η σύνδεση γίνεται σε κεντρική μονάδα στο χώρο του οικίσκου. Η Κεντρική μονάδα συνδέεται επίσης με πληκτρολόγιο και σειρήνα που τοποθετείται στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου. Τέλος το σύστημα συμπληρώνει ένα GSM modem για απομακρυσμένη ειδοποίηση αναγγελίας συναγερμού.

4.14.4 Δίκτυο φωτισμού

Οκτώ προβολείς LED ισχύος 30 Watt έκαστος αναλαμβάνουν το φωτισμό του πάρκου. Η σύνδεση γίνεται στο γενικό πίνακα μέσω αισθητήρα φωτός ώστε να ενεργοποιείται κατά την διάρκεια της νύχτας. Ο αυτοματισμός συμπληρώνεται με μεταγωγικό διακόπτη τριών θέσεων για δυνατότητα και χειροκίνητης λειτουργίας.

Η αποστολή των δεδομένων και της εικόνας και η παρακολούθηση μέσω διαδικτύου γίνεται με εγκατάσταση δορυφορικού internet.

4.14.5 Κατασκευή Αλεξικέραννου-Τρίγωνα Γείωσης.

Για την κατασκευή του αλεξικέραννου τοποθετούμε τον ιστό στη βάση και στην κορυφή του στερεώνουμε την κεφαλή. Την κεφαλή την συνδέουμε με τον αγωγό καθόδου όπως προκύπτει από την μελέτη εφαρμογής. Η διάταξη αντικεραυνικής προστασίας περιλαμβάνει κατασκευή ισοδυναμικής γείωσης με πλέγμα γείωσης από λάμα χαλκού πάχους διαστάσεων 30X2 mm. Η λάμα τοποθετείται σε βάθος 80 cm όπως παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Όλες οι βάσεις συνδέονται με το πλέγμα γείωσης. Στη βάση του αλεξικέραννου κατασκευάζεται τρίγωνο γείωσης το οποίο συνδέεται με το πλέγμα γείωσης και τον αγωγό καθόδου. Ένα δεύτερο τρίγωνο γείωσης κατασκευάζεται δίπλα στον μετρητή της ΔΕΗ, το οποίο συνδέεται με την γείωση του γενικού πίνακα όπως επίσης και με το πλέγμα γείωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**Ενεργειακή Μελέτη-Αποτελέσματα Λειτουργίας**

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε ενεργειακά το έργο δημιουργώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης μέσω software. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Meteornorm και PVSOL της εταιρείας Valentin.

Ξεκινώντας θα υπολογίσουμε τα στοιχεία ηλιοφάνειας της περιοχής του έργου. Το έργο κατασκευάστηκε στην περιοχή με συντεταγμένες $40^{\circ} 15' 8''$ N και $21^{\circ} 46' 40''$ E. Εισάγοντας τα δεδομένα αυτά στο πρόγραμμα Meteornorm έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Month	G_Ghhor	G_Dhhor	Ta	FF
Jan	83	35	2.2	1.7
Feb	107	57	4.3	2.1
Mar	158	81	7.6	3.2
Apr	210	84	11.6	3.0
May	254	109	16.3	1.9
Jun	281	98	20.3	2.0
Jul	293	100	22.7	1.9
Aug	263	92	22.2	2.0
Sep	210	64	18.3	1.9
Oct	136	63	13.0	2.0
Nov	87	36	8.1	1.5
Dec	73	37	3.7	1.6
Year	180	71	12.5	2.1

Υπόμνημα:

Ta: Θερμοκρασία, (Air temperature)

FF: Ταχύτητα ανέμου, (Wind speed)

G_Ghhor: Μέση ηλιακή ακτινοβολία με βάση τις παραμέτρους ορίζοντα της περιοχής, (Mean irradiance of global radiation horiz., with high horizon)

G_Dhhor: Μέση διάχυτη ακτινοβολία με βάση τον ορίζοντα της περιοχής, (Mean irradiance of diffuse rad. horiz., with high horizon)

Η ακτινοβολία εκφράζεται σε [W/m²]

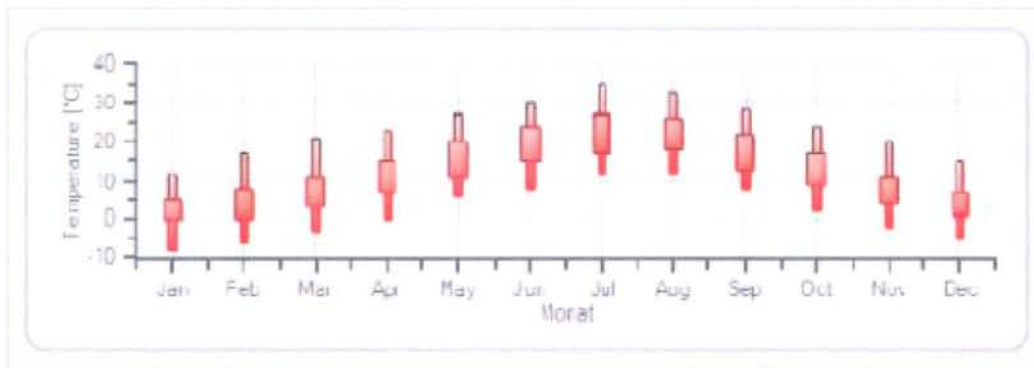
Η θερμοκρασία εκφράζεται σε [C]

Η ταχύτητα του ανέμου εκφράζεται σε [m/s]

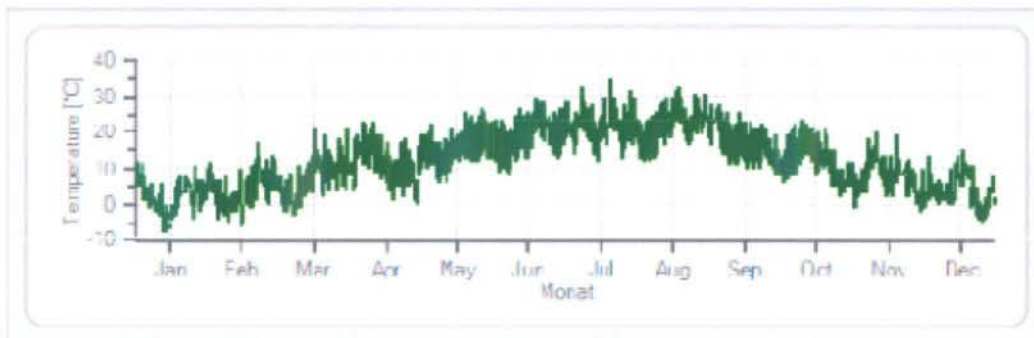
Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής



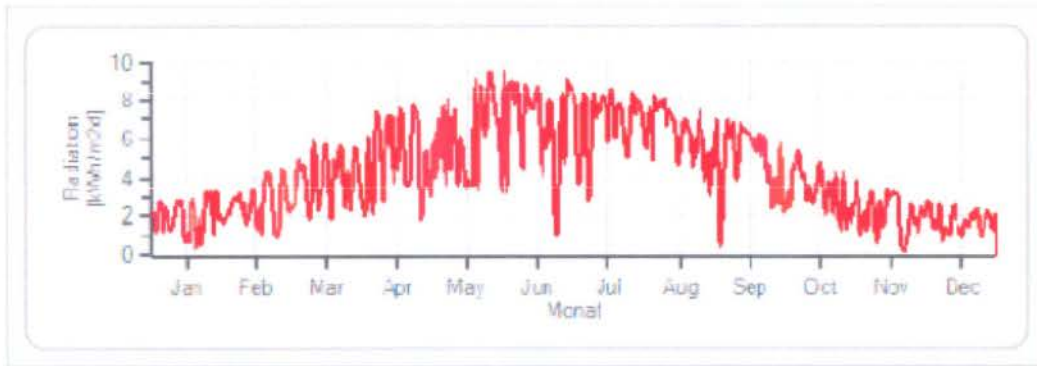
Θερμοκρασίες περιοχής με ακραίες τιμές



Θερμοκρασίες περιοχής με απόλυτες τιμές



Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής σε απόλυτες τιμές



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Σύντομη περιγραφή

Ο φωτοβολταϊκός σταθμός που θα εγκατασταθεί σε αγροτεμάχιο ιδιοκτησίας 2.050 m² που βρίσκεται στην Κοζάνη είναι ισχύος 199,87 Kwp και θα είναι διασυνδεδεμένος στο δίκτυο της ΔΕΗ στην μέση τάση.

Όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αφού καταμετρηθεί θα διοχετεύεται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η .Ο φωτοβολταϊκός σταθμός θα αποτελείται από 869 φωτοβολταϊκές γεννήτριες της εταιρείας LUXOR ονομαστικής ισχύος 230 Wp και έντεκα τριφασικούς αντιστροφείς δικτύου SMA τύπος STP 17000TL.

6.2 Μελέτη βιωσιμότητας της επένδυσης

Εκτίμηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τεχνικής μελέτης στην οποία έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας, των κλιματολογικών συνθηκών, των απωλειών του συστήματος όπως και η μορφολογία του εδάφους για την συγκεκριμένη περιοχή βρέθηκε ότι η συνολική παραγωγή κατά έτος θα είναι **276,653 KWh**. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι αυτή η παραγωγή έχει προκύψει με παραμέτρους απωλειών κατά 3% μεγαλύτερες για λόγους ασφαλείας.

Για να υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος για τα επόμενα 20 χρόνια λειτουργίας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την φυσιολογική μείωση απόδοσης των πάνελ. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των πάνελ και λαμβάνοντας υπόψη ότι εγγυούνται 80% τουλάχιστον απόδοση στην ονομαστική τιμή peak μετά από 20 χρόνια έχουμε 1% μείωση κατά έτος.

Έτσι η παραγωγή ανά έτος για τα επόμενα 20 χρόνια θα είναι:

Έτη	Παραγωγή σε KWh ανά έτος
1	276.653
2	274.467
3	272.282
4	270.096

5	267.911
6	265.725
7	263.540
8	261.354
9	259.169
10	256.983
11	254.797
12	252.612
13	250.426
14	248.241
15	246.055
16	243.870
17	241.684
18	239.499
19	237.313
20	235.127

ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Ισχύς εγκατάστασης σε KWp	199,87
Φωτοβολταϊκά πάνελ	375.408,00
Μετατροπείς	35.350,00
Κόστος σταθ.βάσεων – θεμελιώσεων	50.000,00
Καλωδιώσεις-εκσκαφές	35.000,00
Έργα εσωτερικής οδοποιίας	4.000,00
Σύστημα τηλεμέτρησης	15.000,00
Οικίσκοι	35.000,00
Αντικεραυνική προστασία	4.000,00
Διαμόρφωση χώρου	8.000,00
Σύνδεση Δ.Ε.Η	15.000,00
Μεταφορά εξοπλισμού	8.500,00
Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	5.000,00
Δαπάνες εγκατάστασης	90.000,00
Σύνολο	680.258,00

Η επένδυση συνολικής ισχύος 199,87 KWp έχει συνολικό προϋπολογισμό 680.258,00 € που σημαίνει κόστος 3,40 € ανά kw.

Η τιμή πώλησης της KWh από Φωτοβολταϊκό σύστημα μεγαλύτερης ισχύος από 100 KW συνδεδεμένο στο δίκτυο είναι 0,40 € ανά KWh. Με τα δεδομένα που έχουμε τον Αύγουστο η τιμή κυμαινόταν στα 0,30€ ανά Kwh. Η τιμή λοιπόν καθορίστηκε στα 351 € ανά Mwh. Λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτή η τιμή θα αναπροσαρμόζεται ετησίως κατά 80% ως προς τον δείκτη των τιμών καταναλωτή που ανακοινώνεται από την τράπεζα της Ελλάδος ή σύμφωνα με την μεσοσταθμική μεταβολή των εγκεκριμένων τιμολογίων της Δ.Ε.Η. και σύμφωνα με τα

στοιχεία των τελευταίων πέντε ετών μπορούμε να πούμε κατά προσέγγιση ότι η ετήσια μεταβολή της αποζημίωσης ανά KWh θα είναι τουλάχιστον 1,5%.

Έτη	Τιμή πώλησης ανά MWh
1	351 €
2	357,79 €
3	364,58 €
4	371,37 €
5	378,16 €
6	384,95 €
7	391,74 €
8	398,53 €
9	405,32 €
10	412,11 €
11	418,90 €
12	425,69 €
13	432,48 €
14	439,27 €
15	446,06 €
16	452,85 €
17	459,64 €
18	466,43 €
19	473,22 €
20	480,01 €

Πίνακας. Τιμές πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος κατά προσέγγιση με μέση ετήσια αύξηση 1,5% για τα επόμενα 20 χρόνια.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα έσοδα ανά έτος αλλά και το κόστος συντήρησης και ασφάλειας σε €.

Έτη	Έσοδα σε € ανά έτος	Κόστος συντήρησης και ασφάλειας σε €
1	97.105	4.600

2	96.940	4.600
3	96.769	4.600
4	96.593	4.600
5	96.410	4.600
6	96.221	4.600
7	96.026	4.600
8	95.825	4.600
9	95.617	4.600
10	95.404	4.600
11	95.183	4.600
12	94.957	4.600
13	94.724	4.600
14	94.484	4.600
15	94.237	4.600
16	93.984	4.600
17	93.724	4.600
18	93.457	4.600
19	93.183	4.600
20	92.901	4.600
ΣΥΝΟΛΑ	1.903.742	92.000

6.3 Κόστη παραγωγής και έξοδα επιχείρησης

Ακολουθεί ανάλυση του συνολικού ετήσιου κόστους λειτουργίας της μονάδας καθώς και των διαφόρων απαιτούμενων ειδών σε σταθερές τιμές.

6.3.1 Προσωπικό

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση υπολογίζεται ότι απαιτεί έναν υπαλλήλο μερικής απασχόλησης για την εποπτεία της καλής λειτουργίας. Άρα το κόστος προσωπικού της εγκατάστασης δεν θα ξεπερνάει τους 6 ανθρωπομήνες κατά έτος. Σημειώνεται ότι η καταγραφή της ημερήσιας παραγωγής του Φ/Β πάρκου θα γίνεται αυτόματα και τα δεδομένα θα είναι προσβάσιμα ανά πάσα στιγμή μέσω του Διαδικτύου όπως περιγράφεται στην τεχνική μελέτη, όποτε τυχόν μικρό σφάλματα ή μικρό ατυχήματα δεν θα έχουν επίπτωση στην συνολική παραγωγή της μονάδας. Το κόστος του προσωπικού με βάση τους απαιτούμενους 6 ανθρωπομήνες με σημερινές σταθερές τιμές υπολογίζεται σε **8.000,00 € / έτος**. Το ποσό αυτό θα αναπροσαρμόζεται ετησίως σύμφωνα με τον επίσημο πληθωρισμό.

6.3.2 Ασφάλιση εγκατάστασης

Το ετήσιο κόστος ασφάλισης των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού πάρκου θα ανέρχεται στο 0,40% της αξίας του και συμπεριλαμβάνει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, τα κτίρια και τα έργα υποδομής. Το ποσό αυτό έχει προκύψει μετά από επίσημη προσφορά της ασφαλιστικής εταιρίας, και θα εκκινήσει για το πρώτο έτος λειτουργίας από το ποσό των **4.600,00 € / έτος** το οποίο θα αναπροσαρμόζεται ετησίως κατά -1%.

6.3.3 Επισκευές – συντήρηση εξοπλισμού

Το κόστος επισκευών και συντήρησης του εξοπλισμού της εγκατάστασης υπολογίζεται να είναι ετησίως **2% επί των εσόδων** που προκύπτουν από την ετήσια παραγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει την συντήρηση και την άμεση αποκατάσταση των μετατροπέων όπως και των φωτοβολταϊκών πάνελ της εγκατάστασης. Διευκρινίζεται ότι οι μετατροπείς συνοδεύονται από εγγύηση καλής λειτουργίας 5 ετών και τα πάνελ 20 ετών. Με την υπογραφή του ανάλογου συμβολαίου συντήρησης ίσου με το 2% της παραγόμενης και πωλούμενης ενέργειας εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας για όλο το διάστημα των 20 ετών.

6.3.4 Έξοδα Διοίκησης

Τα έξοδα διοικητικής λειτουργίας της μονάδας υπολογίζονται σε 6 ανθρωπομήνες ετησίως για διοικητικό προσωπικό υποστήριξης και σε άλλους 3 ανθρωπομήνες για την διοίκηση και διαχείριση της μονάδας ως αμοιβές Διοικητικού Συμβουλίου. Τα αντίστοιχα ετήσια κόστη σε σημερινές σταθερές τιμές είναι **8.000,00 € / έτος**. Το ποσό αυτό θα αναπροσαρμόζεται ετησίως σύμφωνα με τον επίσημο πληθωρισμό.

6.3.5 Λειτουργικά κόστη

Τα λειτουργικά κόστη περιλαμβάνουν τα έξοδα τηλεφωνίας, ύδρευσης, στέγασης των γραφείων της εταιρίας, ταξιδιών στον τόπο της εγκατάστασης, γραφικών υλών κ.τ.λ. Υπολογίζονται ότι σε σημερινές σταθερές τιμές ετησίως θα είναι **6.000,00 €**.

6.3.6 Αποσβέσεις

Στην συνέχεια θα υπολογιστούν οι αποσβέσεις που πρέπει να γίνουν στην αξία του εξοπλισμού των εγκαταστάσεων ώστε να ακολουθήσει η σύνταξη των λογαριασμών εκμετάλλευσης της μονάδας και των αποτελεσμάτων χρήσης.

Σύμφωνα με το Π.Δ. 299 για τον καθορισμό κατώτερων και ανώτερων συντελεστών απόσβεσης (Φ.Ε.Κ. 255/22 2003), για τα μηχανήματα και τις εγκαταστάσεις μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά συστήματα ο κατώτερος συντελεστής μπορεί να είναι 5% και ο ανώτερος 7%.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διάρκεια ζωής της μονάδας θα είναι το ελάχιστο 20 έτη επιλέγουμε ως συντελεστή απόσβεσης το 5%.

Σύμφωνα με το προεδρικό διάταγμα η απόσβεση των κτιριακών εγκαταστάσεων της μονάδας μπορεί να γίνει με συντελεστή απόσβεσης από 3% έως 5%. Λαμβάνοντας και πάλι υπόψη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης επιλέγουμε επίσης τον συντελεστή του 5%.

Αρα ο γενικός συντελεστής απόσβεσης της μονάδας θα είναι **5%**.

Λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κόστος της επένδυσης το οποίο υπολογίστηκε σε **650.258,00 €** βρίσκουμε ότι η ετήσια απόσβεση θα είναι **34.012,90 € ανά έτος**.

Η συγκεκριμένη επένδυση επιχορηγείται με ποσοστό 40% επί του συνόλου της επένδυσης. Βάσει νόμου θα πρέπει να προστεθεί το αντίστοιχο ποσό της απόσβεσης των παγίων που αντιστοιχεί στο ποσό της επιχορήγησης σε ισόποση μείωση του αφορολόγητου αποθεματικού στα έκτακτα και ανόργανα έσοδα κάθε χρήσης.

Το ποσό που θα πρέπει να προστίθεται ανά έτος στα έκτακτα και ανόργανα

έσοδα κάθε χρήσης είναι $34.012,90 \text{ €} \times 40\% = 13.605,16 \text{ €}$.

Το ποσό αυτό φυσικά θα αφαιρείται από το αφορολόγητο αποθεματικό που θα σχηματιστεί με την είσπραξη της επιχορήγησης από το κράτος και χρησιμοποιείται μόνο για τον ορθό υπολογισμό των αποτελεσμάτων, της φορολογίας εισοδήματος και των μερισμάτων κάθε χρήσης. Δεν αποτελεί ταμειακό έσοδο για την επιχείρηση οπότε και δεν υπολογίζεται στις ροές κεφαλαίου.

6.4 Δανειακές απαιτήσεις

6.4.1 Βραχυπρόθεσμο δάνειο

Ο απαιτούμενος χρόνος για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης της μονάδας υπολογίζεται σε 2 μήνες. Για την εκκίνηση των εργασιών η εταιρία θα προβεί σε λήψη της προκαταβολής του 50% της επιχορήγησης από το κράτος αλλά η πληρωμή και εξόφληση των προμηθευτών θα πρέπει να γίνει με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης. Για αυτό τον λόγο απαιτείται η λήψη δανείου μικρής διάρκειας (έως 12 μηνών) το οποίο θα πρέπει να καλύπτει το ποσό της κρατικής επιχορήγησης $650.258,00 \times 40\% = 260.103,20 \text{ €}$. Με ετήσιο επιτόκιο λήψης αυτού του δανείου 7,00% (συμπεριλαμβανομένης της εισφοράς του νόμου 0,6%), οι καταβληθέντες τόκοι κατά το πρώτο έτος λειτουργίας της επιχείρησης θα είναι ίσοι με **18.207,21 €**.

ΕΞΟΙΚΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΩΡΟΛΟΓΙΑ- ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο: ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Πολλές φορές, για ευκολία, χρησιμοποιείται η σύντμηση Φ/Β για τη λέξη “φωτοβολταϊκό” (photovoltaic - PV).

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell): Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module): Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

Φωτοβολταϊκό πανέλο (PV panel): Ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array): Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator): Το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.

Αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter): Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

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

kW (κιλοβάτ): μονάδα ισχύος [$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ Watt}$, $1 \text{ MW (μεγαβάτ)} = 1.000 \text{ kW}$]

kWp (κιλοβάτ πικ-peak): μονάδα ονομαστικής ισχύος του φωτοβολταϊκού (ίδιο με το kW)

kWh (κιλοβατώρα): μονάδα ενέργειας

Α.Π.Ε : ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Φ/Γ : φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Τ.Ε.Ι: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα

Φ.Π.Α : Φόρος Προστιθέμενης Αξίας

Μ.Τ: Μέση τάση

Χ.Τ: Χαμηλή Τάση

Υ.Τ: Υψηλή Τάση

Υ/Σ: Υποσταθμός

Μ/Σ: Μετασχηματιστής

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Φωτοβολταϊκά συστήματα Ι.Ε Φραγκιαδάκης

Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά συστήματα Κωνσταντινίδης Στέλιος - Νεοκλέους Ανδρέας

Καπλάνης Σωκράτης, Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

www.rae.gr

www.helapco.gr

www.selasenergy.gr

www.cres.gr

www.npt.gr

www.elvityl.gr

www.photovoltaic.gr

www.ethnos.gr

