



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μελέτη φωτοβολταϊκού πάρκου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργιάδης Μιχαήλ
Μίχος Χριστόφορος

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μελέτη φωτοβολταϊκού πάρκου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργιάδης Μιχαήλ
Μίχος Χριστόφορος

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2012.

.....
Μ.Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2012

.....
Γεωργιάδης Μιχαήλ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

.....
Μίχος Χριστόφορος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Γεωργιάδης Μ, Μίχος Χ. 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό επιθυμούμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στην κ. Μαρία Ιωαννίδου καθηγήτρια ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που μας έδωσε στην ανάθεση του θέματος, την επιστημονική της καθοδήγηση, την ευχάριστη συνεργασία και πολύπλευρη συμπαράστασή της σ' ολόκληρη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους δικούς μας ανθρώπους, της οικογένειες μας που μας στηρίζουν ηθικά αλλά και οικονομικά όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Περίληψη-Αντικείμενο της παρούσης εργασίας.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΡΩΤΟ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

- 1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....
- 1.2 Κύριες πηγές ενέργειας σήμερα.....
- 1.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....
- 1.4 Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.....
- 1.5 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.....
 - 1.5.1 Παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα.....
 - 1.5.2 Ανάπτυξη ΑΠΕ στην Ελλάδα
 - 1.5.3 Εξέλιξη ΑΠΕ στην Ελλάδα.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΔΕΥΤΕΡΟ

Ηλιακή Ενέργεια

- 2.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....
- 2.2 Μέτρηση και υπολογισμός ακτινοβολίας.....
- 2.3 Υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η Γη.....
- 2.4 Ζενίθια γωνία του Ήλιου (θ).....
- 2.5 Γωνία απόκλισης του Ήλιου (δ).....
- 2.6 Γεωγραφικές συντεταγμένες.....
- 2.7 Ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία.....
- 2.8 Η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα.....
- 2.9 Σφαίρα ακτινοβολίας και στερεά γωνία.....
- 2.10 Ένταση και ροή της ηλιακής ακτινοβολίας.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΡΙΤΟ

3.1 Ημιαγωγοί.....	
3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	
3.3 Φ/Β Πλαίσια (Συστοιχία).....	
3.3.1 Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας.....	
3.3.2 Η κυψέλη.....	
3.3.3. Συνδεσμολογία.....	
3.3.4. Πλαίσιο.....	
3.3.5 Ενθυλάκωση.....	
3.3.6 Λειτουργία των Φ/Β συστοιχιών.....	
3.3.7 Δίοδοι.....	
3.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΕΤΑΡΤΟ

4.1 Αρχή λειτουργίας και είδη συσσωρευτών.....	
4.2 Σχεδιαστική δομή και αρχή λειτουργίας συσσωρευτών.....	
4.4 Προσαρμογή της λειτουργίας του συσσωρευτή σε φωτοβολταϊκό σύστημα	
4.5 Αναγκαιότητα αποθηκευτικής διάταξης σε συστήματα με ανανεώσιμες πηγές	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΜΠΤΟ

Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

5.1 Εισαγωγή	
5.2 Μετατροπείας συνεχούς τάσης DC/DC.....	
5.3 Ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος MPPT	
5.4 Αντιστροφέας DC/AC	
5.5 Ανώτερες αρμονικές.....	
5.6 Αυτόνομα συστήματα.....	
5.6.1 Συνιστώσες και συντήρηση.....	
5.6.2 Υβριδικά Φ/Β συστήματα.....	
5.6.3. Διασυνδεδεμένα συστήματα.....	
5.6.4 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων.....	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΚΤΟ

6.1 Σενάριο	
6.2 Περιγραφή του περιβάλλοντος	
6.3 Ηλιακό δυναμικό για την K_w	

6.4 Προδιαγραφές Έργου.....	
6.4.1 Γενικά στοιχεία έργου-φορτία	
6.4.2 Μπαταρίες.....	
6.4.3 Γεννήτρια Diesel.....	
6.5 Φωτοβολταϊκές συστοιχίες.....	
6.6 Μετατροπείς τάσης.....	
6.7.1 Συνδυασμός πλαισίου αντιστροφή	
6.7.2 Προσομοίωση με το λογισμικό PVSYST.....	
6.8 Καλωδιώσεις και ηλεκτρολογικοί πίνακες.....	
6.9 Σύστημα τηλεμετρίας και ελέγχου.....	6.10
Εξοπλισμός προστασίας.....	
6.10.1 Γείωση	
6.10.2 Αντικεραυνική προστασία.....	
6.10.3 Περίφραξη έργου.....	
6.10.4 Σύστημα ασφαλείας (συναγερμός).....	
6.11 Οικονομική μελέτη.....	
6.12 Συμπεράσματα και προοπτικές.....	

Περίληψη - Αντικείμενο της παρούσης εργασίας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή “ήπιες μορφές ενέργειας” είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η ενέργεια νερού, ηλιακή, αιολική, βιομάζα μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων Ως Α.Π.Ε. θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Κάθε μορφή έχει τις δικές της ιδιομορφίες και μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είτε σε μικρότερες μονάδες όπως στα κτίρια. Οι νέες τεχνολογίες που εξετάζονται σήμερα, κυμαίνονται με βάση την παραγωγή ποσών ενέργειας με παρονομαστή το κόστος, δηλαδή να είναι οικονομικά αποδεκτές και ταυτόχρονα να καλύπτουν υψηλά ποσά ενέργειας. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και πολλά κράτη υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού σταθμού των 105.6 KW στην Κω. Η μελέτη περιλαμβάνει έρευνα σχετικά με τη βελτιστοποίηση της ολικής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στη συνέχεια διαστασιολόγηση και καθορισμό των παραγόντων του προς εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού, μέχρι τις αρχές της 10 ετίας 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 περίπου κατά την περίοδο 1956-63 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. Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που ο άνθρωπος έχει στη διάθεσή του διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της Γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και σ'αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης. Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα, και η χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια. Οι δεύτερες, έχουν βασική τους προέλευση τον Ήλιο. Η ακτινοβολούμενη απ'τον Ήλιο ενέργεια, που φτάνει στη Γη, εκτός από τη γενικότερη συμβολή της στη δημιουργία, ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίδει ακατάπαυστα ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (Αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (Ενέργεια κυμάτων) και συμβάλλει στη δημιουργία των θαλασσίων ρευμάτων. Αναρροφούμενο από συνδυσασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

1.2 Κύριες πηγές ενέργειας σήμερα

Το κάρβουνο



Για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα αποτελεί την κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από την καύση του ορυκτού άνθρακα.

Το πετρέλαιο



Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από δύο πετρελαϊκές κρίσεις (1973 και 1979) και τη διαπίστωση ορατών πλέον επιπτώσεων στο περιβάλλον μας, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αλλαγής του τρόπου ζωής μας και αναζήτησης λύσεων από το χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και το 55%, στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες, το ποσοστό χρήσης πετρελαίου, ως ενεργειακής πηγής, συνεχίζει να αυξάνει, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες παρατηρείται τάση μείωσής του, με σταδιακή διεύρυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του δίδει, ως άμεσα προϊόντα, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για περίπου 200 χρόνια για το κάρβουνο και 50 χρόνια για το πετρέλαιο.

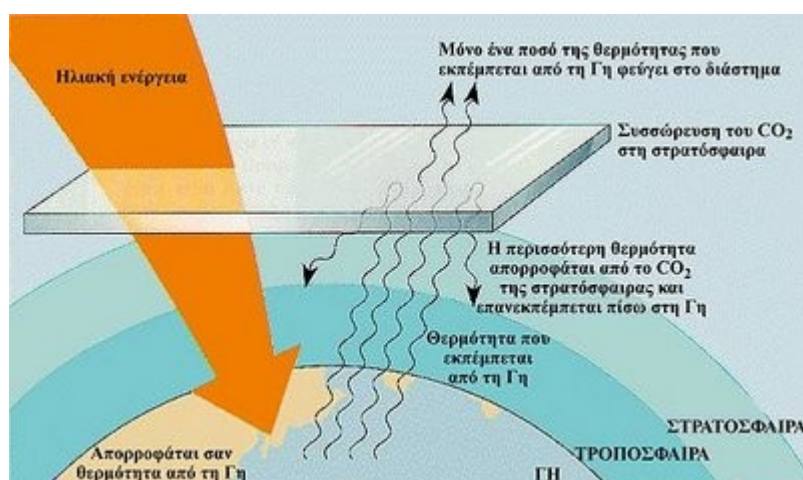
Η πυρηνική ενέργεια



Από το 1945 και μετά, προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση, την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόμο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα. Από τα πιο σημαντικά, εκείνο στον πυρηνικό σταθμό του ThreeMileIsland της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ), τον Απρίλιο του 1979 και εκείνο στο Τσέρνομπιλ της Ρωσίας, τον Απρίλιο του 1986, τρομοκράτησαν όλο τον κόσμο πυρηνική ενέργεια προορίζεται, στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί σήμερα, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρισμού βάσης, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής ισχύος χωρίς δυνατότητα κάλυψης των διακυμάνσεων ζήτησης. Καλύπτει το 6,5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης και το 17% της παγκοσμίως παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη παγκοσμίως ηλεκτρική ισχύς σε πυρηνικά εργοστάσια ανέρχεται σε ~370 GW. Στην Ευρώπη ξεπερνά τα 158,4 GW. Το περιορισμένο των κοιτασμάτων του βασικού υλικού, τα πυρηνικά απόβλητα και η απειλητική πιθανότητα ολοσχερούς καταστροφής του κόσμου μας, είτε από την υποτιθέμενη υπό έλεγχο πυρηνική αντίδραση είτε από την ανεξέλεγκτη διασπορά των πυρηνικών όπλων, βάζουν φρένο στη χρήση της. Όλες οι μεγάλης πυκνότητας ισχύος συμβατικές πηγές ενέργειας, εκτός από την αδιαμφισβήτητη προσφορά τους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης και τη μεγάλη συμβολή τους στη βελτίωση της διαβίωσης του ανθρώπου, συνδέονται δυστυχώς με πολύ σοβαρές και εμφανώς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, ενισχύεται διεθνώς η άποψη για μερική, σε πρώτη φάση, αντικατάστασή τους με άλλες πηγές ενέργειας, που να μη ρυπαίνουν και να ενσωματώνονται φιλικά στο περιβάλλον, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

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 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 $+15^{\circ}\text{C}$ που είναι σήμερα, και η ζωή θα ήταν αδύνατη, στη μορφή που τη γνωρίζουμε.



Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

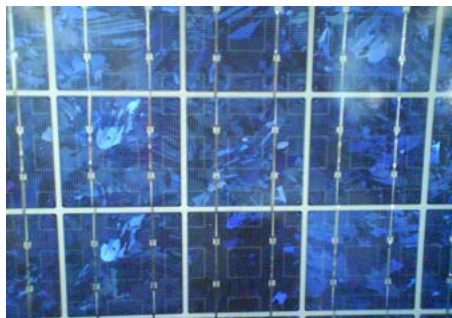
Το εν λόγω φαινόμενο, στις φυσικές του διαστάσεις, δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα έχει ζωτική σημασία για τη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη στους 15°C περίπου. Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων αυξάνουν 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. 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.

1.4 Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

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

Α.Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται συνηθέστερα μέσω φωτοβολταϊκών γεννητριών που μετατρέπουν μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια ή με την συγκέντρωση των ηλιακών ακτίνων μέσω ηλιακών συλλεκτών για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών και τελικά η παραγωγή ηλιακής ενέργειας.



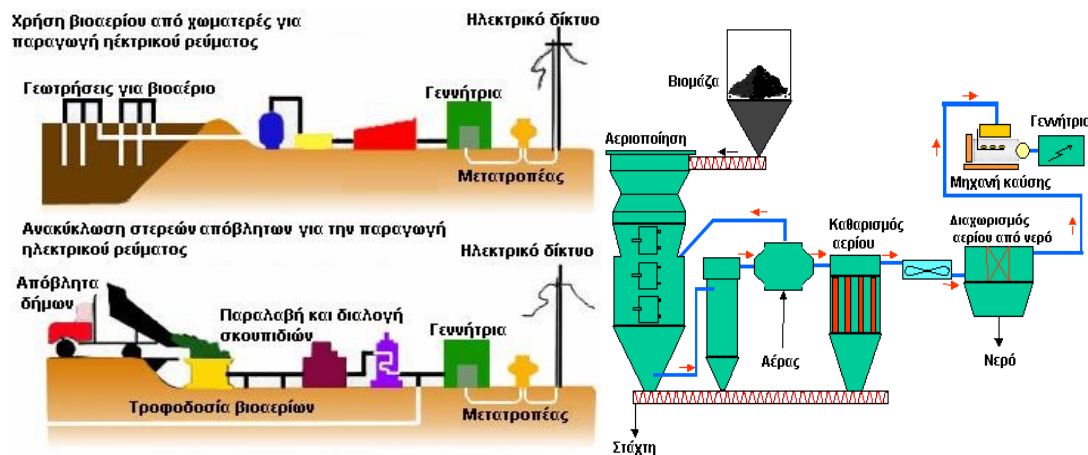
Φωτοβολταϊκά από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο



Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Β. Βιομάζα

Καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας, είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον. Στη χώρα μας τέτοιες μονάδες είναι εγκατεστημένες στη Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο, Χανιά και Ψυτάλλεια Αττικής με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 8000 KW.



Παραγωγή ενέργειας από βιομάζα

Γ. Αιολική Ενέργεια

Αξιοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια και σε ηλεκτρική ενέργεια. Παγκοσμίως εγκαταστημένη ονομαστική ισχύς ανεμογεννητριών από 7,6 GW, το 1997, έφτασε τα 120,8 GW το 2008. Στην Ευρώπη, η αντίστοιχη ισχύς είναι κοντά στα 66,0 GW.



Εικόνα από αιολικό πάρκο στη Μαγνησία

Δ. Γεωθερμική Ενέργεια

Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργειά τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών, κ.α., ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή (>150°C), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία

χαμηλής θερμοκρασίας, όπου είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με εξαιρετικά μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, μικρό μόνο μέρος (περίπου τα 3/20) χρησιμοποιείται σήμερα για θέρμανση χώρων, λουτροθεραπεία, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύστης χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MWth. .



Η γεώτρηση στο γεωθερμικό πεδίο της Ν. Κεσσάνης Ξάνθης

Ε. Υδατόπτωση

Η υδατόπτωση κινεί υδροστρόβιλους, πούμε τη σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρογεννήτριες. Η δημιουργία τεχνητών λιμνών με φράγματα έχει περιορισμένη εφαρμογή λόγω των απαιτούμενων ειδικών εδαφικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις η κατασκευή ενός φράγματος, παρότι η περιοχή καλύπτει τα τεχνικά κριτήρια, μπορεί να προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή και ενδεχομένως μετακίνηση πληθυσμού, λόγω της κατάκλισης με νερό εκτεταμένων εύφορων και με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά περιοχών. Η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας καλύπτει, περίπου, το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.



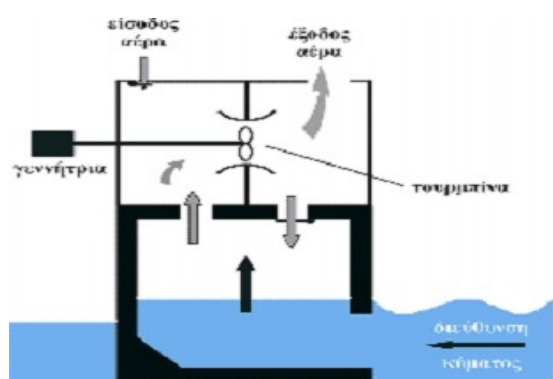
Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο Λάδωνα

ΣΤ. Ενέργεια ωκεανών

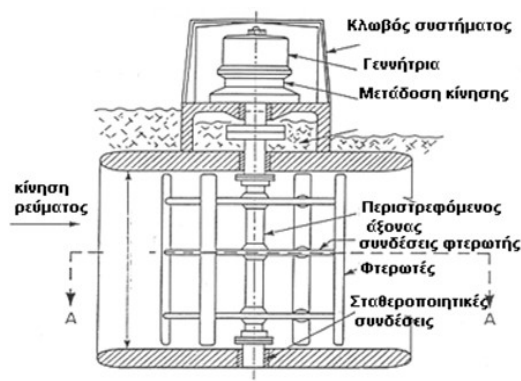
Οι ωκεανοί μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας

- α) από τα κύματα
- β) από τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες)
- γ) από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού
- δ) Ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων

α) Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στα σχήματα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας, ενός φάρου, κ.λ.π.

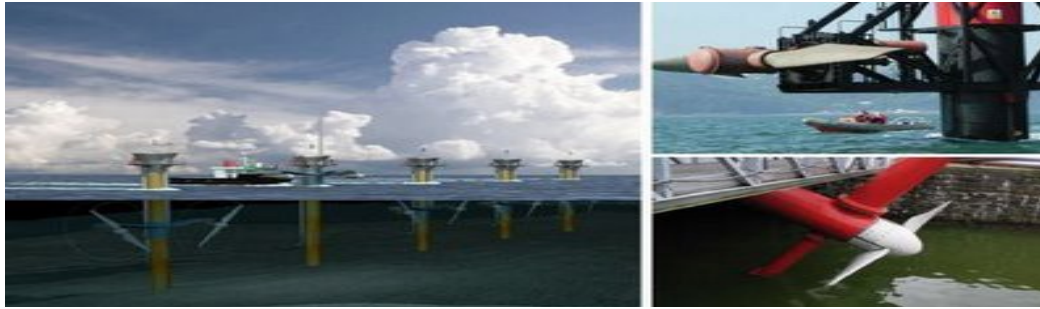


Σχηματική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τον κυματισμό της θάλασσας



Υποθαλάσσια τουρμπίνα

β) Η παλίρροια έχει περίοδο 12 ώρες και 20 λεπτά και ρέει με ταχύτητα 8.2 πόδια/sec, με μια διακοπή ανάμεσα στην πλημμυρίδα και την άμπωτη αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας.

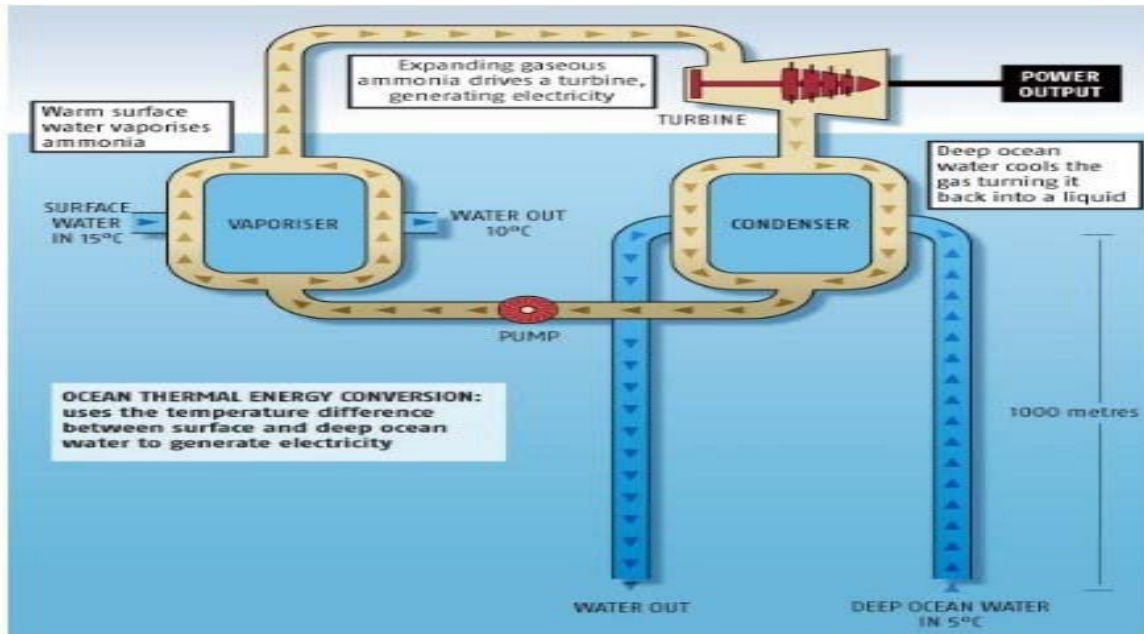


Παλιρροϊκοί Στρόβιλοι

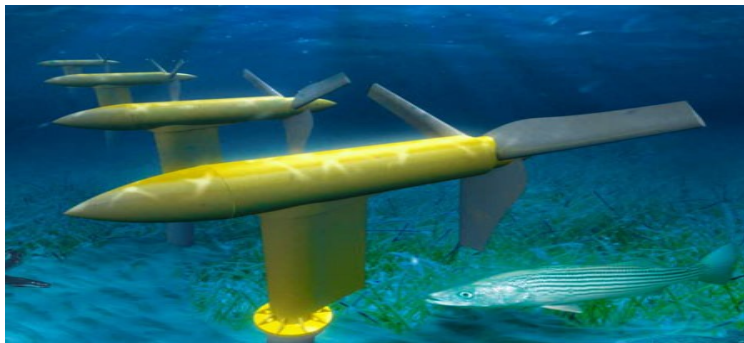
Οι παλίρροιες οφείλονται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από το πεδίο βαρύτητας, καθώς και από την περιστροφή της γης

Σήμερα, αν και το ενδιαφέρον γι' αυτή τη μορφή ενέργειας είναι ιδιαίτερα έντονο, το κόστος των εγκαταστάσεων παραμένει αρκετά υψηλό. Εντούτοις, μακροπρόθεσμα θεωρείται μια ενδιαφέρουσα επένδυση λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης τέτοιων εγκαταστάσεων.

γ) Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Χρησιμοποιεί σε πρώτη φάση το θερμό επιφανειακό νερό για να ζεστάνει σε έναν ειδικό θάλαμο μια ποσότητα υγρού που έχει χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία ή ένα μείγμα αμμωνίας και νερού. Όταν το μείγμα αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί αρκετή πίεση ώστε να οδηγήσει έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια το αέριο αυτό παγώνει καθώς διέρχεται μέσα από το ψυχρό νερό του πυθμένα του ωκεανού, το οποίο αντλείται με τη βοήθεια ενός τεράστιου αγωγού από fiberglass που έχει μήκος τουλάχιστον 1.000 m και διάμετρο 27m. Ο αγωγός αυτός μάλιστα είναι σε θέση να ρουφά το παγωμένο νερό με ρυθμό 1.000 tn/s. Όταν το αέριο μετά την ψύξη του συμπυκνωθεί ξανά σε ρευστή μορφή για να επαναχρησιμοποιηθεί (ως μείγμα αμμωνίας- νερού), τότε το ψυχρό νερό διοχετεύεται πάλι στα βάθη του ωκεανού.



δ) Τα θαλάσσια ρεύματα αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο όμως για να αξιοποιηθεί απαιτεί εξελιγμένη τεχνολογία, έρευνα και μελέτη. Προς το παρόν έχουν εκπονηθεί πειραματικά σχέδια για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας με την τοποθέτηση γιγαντιαίων, χαμηλής ταχύτητας τουρμπίνων.



Τα πλεονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας , είναι τα εξής:

- 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.

- 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.
- 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
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

1.5 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

1.5.1 Παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Το 2004, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα άγγιξε τα 32,7 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΟΕ). Τη μερίδα του λέοντος στο ενεργειακό μείγμα απέσπασε το πετρέλαιο με περίπου 20 εκατ. ΤΟΕ (61,2%) και ακολούθησαν ο λιγνίτης (9,3 εκατ. ΤΟΕ ή 28,5%), το φυσικό αέριο (2,2 εκατ. ΤΟΕ ή 6,8%) και τέλος τα υδροηλεκτρικά και οι λοιπές ΑΠΕ (1,1 εκατ. ΤΟΕ ή 3,5%). Η εικόνα αυτή παραμένει λίγο πολύ διαχρονικά σταθερή με τα ορυκτά καύσιμα να κυριαρχούν καλύπτοντας ένα μερίδιο κοντά στο 93% της πρωτογενούς ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο λοιπόν που οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) έχουν εκτιναχτεί τα τελευταία χρόνια ξεπερνώντας ήδη τον δεσμευτικό στόχο που έχει θέσει η χώρα για αύξηση των θερμοσκοπικών αερίων κατά 25% την περίοδο 1990-2011.

1.5.2 Αναπτυξη ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στη χώρα μας, τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ υποστηρίζονται και προωθούνται από πλευράς επίσημης πολιτείας, από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ερευνητικός φορέας εποπτευόμενος από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) του Υπουργείου Ανάπτυξης, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Γραφεία, τη ΔΕΗ, τα Ιδρύματα Τεχνολογίας και Έρευνας, τα Πανεπιστήμια, τα Τεχνολογικά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (ΤΕΙ), την Τοπική

Αυτοδιοίκηση κ.α. Εκτός αυτών, έντονη είναι ήδη η δραστηριότητα του ιδιωτικού τομέα, σ' όλο το φάσμα των εφαρμογών των ΑΠΕ. Η ανάπτυξη τους ενισχύεται από σχετικά προγράμματα της ΕΕ, η οποία επιχορηγεί όχι μόνο την έρευνα αλλά στηρίζει, ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα, εφαρμογές μεγάλης ισχύος, σε βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία κ.α.. Σημαντικό βήμα προώθησης των ΑΠΕ στη χώρα μας, μέσα στην τελευταία δεκαετία, απετέλεσε η χάραξη πιο συγκεκριμένης ενεργειακής πολιτικής και η θεσμοθέτηση νομοθετικού πλαισίου εγκατάστασης και αξιοποίησής τους. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κυρίως της αιολικής και της ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας, προωθείται και ενισχύεται, με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς, σ' όλο τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Αιτία: τα συσσωρευμένα οικολογικά προβλήματα που δημιούργησε η αλόγιστη χρήση, αφενός των συμβατικών καυσίμων (Ρύπανση περιβάλλοντος), αφετέρου της πυρηνικής ενέργειας (πυρηνικά ατυχήματα). Η κύρια δυσκολία που αντιμετωπίζουν σήμερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προκειμένου να ενσωματωθούν στην καθημερινή ζωή, είναι το σχετικά υψηλό κόστος της παραγόμενης kWh τους, σε σχέση με το κόστος της kWh πετρελαίου. Μεταξύ των δύο κύριων τρόπων παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, αιολικής και φωτοβολταϊκής, η αιολική εμφανίζεται σήμερα οικονομικότερη και άρα περισσότερο προσιτή, κυρίως με τη μορφή αιολικών πάρκων, συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους, όπως το ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, είναι αθόρυβα και μπορούν να εγκατασταθούν παντού όπου δε σκιάζει, παρουσιάζουν ακόμα υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Η διαφορά κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής κιλοβατώρας από ΑΠΕ και από πετρέλαιο μειώνεται σταδιακά, ώστε σύντομα, μέσα στην επόμενη δεκαετία, να μπορεί να προβλεφθεί μια απ' ευθείας σύγκριση κόστους ενέργειας. Ήδη το κόστος εγκατάστασής τους εμφανίζεται ανταγωνιστικό απέναντι στη συμβατική παραγωγή ενέργειας, σε περιπτώσεις μη συνδεδεμένων με το δίκτυο περιοχών (Απομονωμένοι οικισμοί, νησιά κ.α.). Τον Ιούνιο του 2006 ψηφίστηκε ο νέος νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ν. 3468/06), με ιδιαίτερως ευνοϊκά κίνητρα σε ιδιώτες, αλλά κυρίως σε επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας. Τα βασικά σημεία - κίνητρα του νέου νόμου είναι:

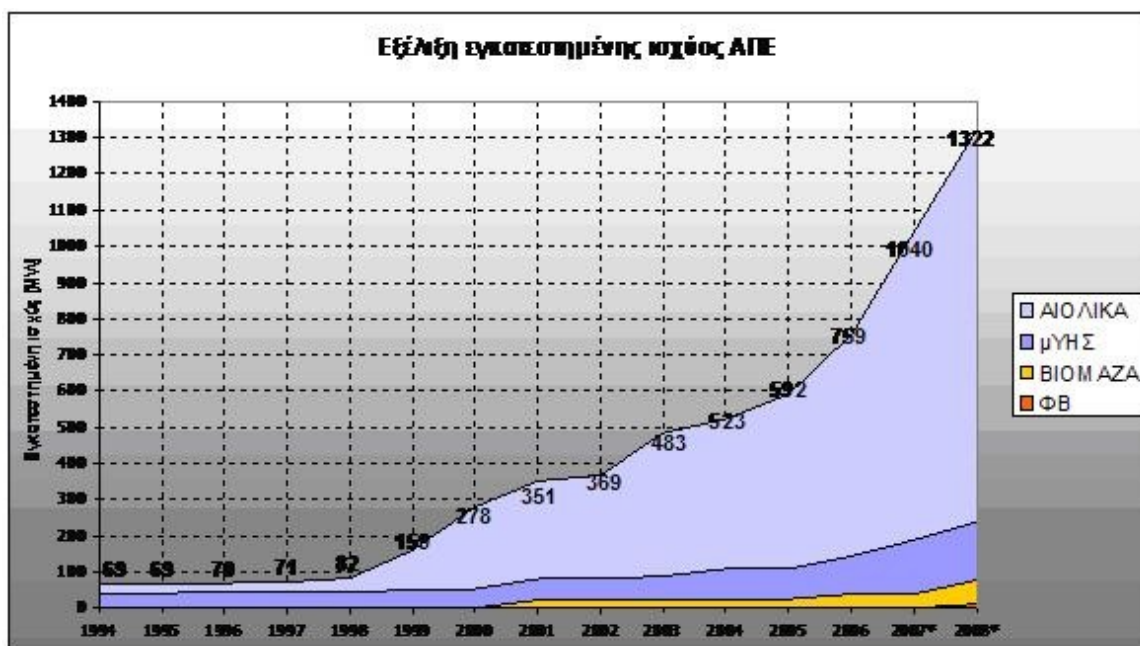
– Επιδοτείται η αρχική εγκατάσταση σε ποσοστό από 30% έως 55% της αξίας του συστήματος, ενώ επιδοτούμενο είναι και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού (Αναπτυξιακός νόμος 3299/04).

– η τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας είναι 0,40-0,50 ευρώ ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Η τιμή είναι μεγαλύτερη στα νησιά και μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα.

– Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μία 20ετία, σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

Τον Ιανουάριο του 2009 ψηφίστηκε νέος νόμος για τα φωτοβολταϊκά (ν.3734/2009), όπου κυρίως τροποποιούνται άρθρα του προηγούμενου νόμου. Ρυθμίζονται θέματα αδειοδότησης και τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής

ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Η σύμβαση εγγυημένης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας συνάπτεται για είκοσι (20) έτη, με τιμή αναφοράς από σχετικό πίνακα σταδιακά αποκλιμακούμενης τιμής της κιλοβατώρας μέχρι το 2014, που αντιστοιχεί στο μήνα και το έτος υπογραφής της σύμβασης. Δίδεται, επίσης, η δυνατότητα, μετά από κοινή υπουργική απόφαση, εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια, με συμψηφισμό της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο και της καταναλισκόμενης απ' αυτό. Οι προτάσεις για αδειοδότηση υποβάλλονται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και έχει κυρίως γνωμοδοτικές και εισηγητικές αρμοδιότητες στον τομέα της ενέργειας. Παρατηρείται, σήμερα, σε παγκόσμια κλίμακα, μια αυξημένη δραστηριότητα στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ, που προοιωνίζει την αλματώδη ανάπτυξη και ενσωμάτωσή τους στην ενεργειακή παραγωγή, μέσα στην πρώτη εικοσαετία του νέου αιώνα.



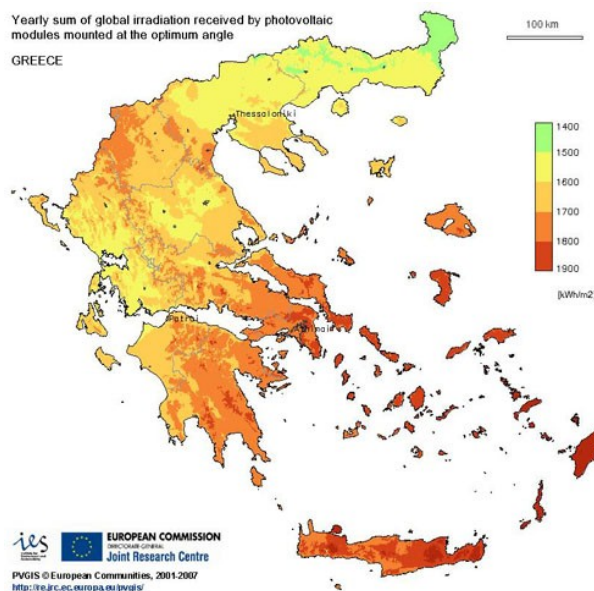
Αθροιστικά εγκαθιστάμενη ισχύς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Η αύξηση της ποσοστιαίας συμμετοχής των ΑΠΕ στην παγκόσμια ενεργειακή παραγωγή, θα επιφέρει δραστικό περιορισμό στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, που θα εκλύονταν από την καύση ενεργειακά ισοδύναμης ποσότητας συμβατικών καυσίμων. Κατά συνέπεια, η αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό δυναμικό παγκοσμίως, σε συνέργεια με άλλα παράλληλα διορθωτικά μέτρα που έχουν ληφθεί και ήδη εφαρμόζονται, αναμένεται να συμβάλλουν καταλυτικά στην αποκατάσταση της διαταραγμένης θερμοκρασιακής ισορροπίας του πλανήτη μας, στα φυσιολογικά επίπεδα.

1.5.3 Εξέλιξη ΑΠΕ στην Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αναλάβει έναν πρωτοποριακό ρόλο στην προσπάθεια άμβλυσης της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει ασκήσει μεγάλη πίεση για την υιοθέτηση συγκεκριμένων και φιλόδοξων στόχων. Ήδη, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο έχει θέσει τη νέα Ευρωπαϊκή στρατηγική για τη βιώσιμη

ανάπτυξη (το λεγόμενο “πακέτο 20-20-20” που σημαίνει παραγωγή του 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, 20% μείωση των ρύπων και 20% εξοικονόμηση ενέργειας) έως το έτος 2020 για την Ευρώπη. Χωρίς ουσιαστικά μέτρα, η Ελλάδα προβλέπεται ότι θα αυξήσει τις εκπομπές της κατά 39,2% έως το 2010 και κατά 57,6% έως το 2020. Σημειωτέον ότι οι δραστηριότητες που έχουν σχέση με την ενέργεια αποτελούν την μεγαλύτερη πηγή (78% περίπου) των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτές περιλαμβάνουν κυρίως εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων (95%) περίπου του συνόλου των εκπομπών από τον τομέα της ενέργειας) και μικρότερα ποσοστά μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου (1,5% και 3,5% αντίστοιχα). Έτσι, σε ότι αφορά ειδικότερα τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι προβλεπόμενες αυξήσεις είναι 47,6% και 67,8% για τα έτη 2010 και 2020 αντίστοιχα, σε σχέση με το 1990 που είναι το έτος βάσης. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας, που λόγω των ετήσιων μέσων τιμών του, ευνοεί την εγκατάσταση των ΑΠΕ στον ελλαδικό χώρο.



Ηλιακό Δυναμικό της Ελλάδας

2 Ηλιακή Ενέργεια

2.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος είναι μια πύρινη σφαίρα με ακτίνα 700.000km, είναι δηλαδή 300 φορές βαρύτερος από τη γη. Από τον ήλιο ακτινοβολείται συνεχώς προς το διάστημα τεράστια ενέργεια, διαφόρων μηκών κύματος, αποτελούμενη από φως και θερμότητα. Η ισχύς της ενέργειας αυτής φθάνει τα εκατοντάδες χιλιάδες

δισεκατομμύρια kW, οφείλεται στην πυρηνική διάσπαση του υδρογόνου, καθώς σε χρόνο ενός δευτερολέπτου 600 εκατομμύρια τόνοι του στοιχείου αυτού μετατρέπονται σε 596 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Τα υπόλοιπα 4 εκατομμύρια μετατρέπονται στην ακτινοβολούμενη ενέργεια. Η καύση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε τετραγωνικό μέτρο του ήλιου να εκπέμπει 70.000 Hp. Για να παραχθεί ενέργεια σε τέτοια κλίμακα θα πρέπει να καίγεται κάθε δευτερόλεπτο 11 δισεκατομμύρια φορές η ετήσια παραγωγή της γης σε κάρβουνο.

Στη γη φτάνει μόλις το μισό του δισεκατομμυριοστού αυτής της ακτινοβολίας και επιπλέον η ιονόσφαιρα και ορισμένα τμήματα της ατμόσφαιρας απορροφούν ένα μέρος της. Το αποτέλεσμα είναι η ηλιακή ακτινοβολία να δρα ενεργητικά στη ζωή του πλανήτη, εκτός από κάποιες ανεπιθύμητες διαταραχές στις τηλεπικοινωνίες, στις κλιματολογικές συνθήκες και σε ορισμένους οργανισμούς. Έχει υπολογιστεί ότι από τα 4000Q (1Q = ενεργειακό ισοδύναμο με 25.000 τόνους πετρελαίου) της ηλιακής ενέργειας που φτάνει κάθε χρόνο στη γη, 1000 ανακλώνται στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας, 1000 απορροφούνται από την ατμόσφαιρα, ενώ τα υπόλοιπα θερμαίνουν την επιφάνεια της γης.

Η μέση τιμή της έντασης της ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε κάθετο επίπεδο στις ακτίνες του ήλιου, στα όρια της ατμόσφαιρας είναι 1353 W/m^2 (ηλιακή σταθερά). Η μεταβολή της απόστασης ηλίου-γης προκαλεί μεταβολή της έντασης κατά $\pm 3\%$ και η δράση των ηλιακών κηλίδων κατά $\pm 2\%$. Το ποσοστό της ελάττωσης της ακτινοβολίας, εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα και από την κατάσταση της τελευταίας (συννεφιά, αιωρούμενα σωματίδια). Η ελάττωση αυτή οφείλεται στη σκέδαση από τα μόρια του αέρα, τους υδρατμούς και της σκόνης και την απορρόφηση από το O_3 , το H_2O και το CO_2 . Η απορρόφηση δε γίνεται ομοιόμορφα, αλλά επιλεκτικά κατά ζώνες φάσματος.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας ισοδυναμεί με την εκπομπή μελανός σώματος 5762°K . Το φάσμα αυτό είναι συνεχές από 200 περίπου nm μέχρι 3000 nm με αιχμή γύρω στα 4800 nm. Η ατμόσφαιρα δεν μειώνει μόνο την ποσότητα, αλλά αλλάζει και τη φασματική σύνθεση της ακτινοβολίας.

Το μεσημέρι μιας τυπικής μέρας, όταν δηλαδή ο ήλιος είναι στο ζενίθ, η ένταση της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο είναι 1 kW/m^2 , τα 20% με 25% του οποίου οφείλονται στη διάχυτη. Η ένταση δεν είναι σταθερή, αλλά λόγω της περιστροφής της γης παρουσιάζει μεγάλη χρονική διακύμανση αφενός μεταξύ της μέγιστης τιμής την ημέρα και της μηδενικής τη νύχτα και αφετέρου διακύμανση ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και την εποχή του έτους

2.2. Μέτρηση και υπολογισμός ακτινοβολίας

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο και το πυρηλιόμετρο. Το πυρανόμετρο (ακρίβεια: $\sim 1\%$) μετρά την ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη ή με φωτοβολταϊκό στοιχείο που σκεπάζεται από ημισφαίριο με γυάλινα τοιχώματα. Το πυρηλιόμετρο (ακρίβεια: από 0,2% έως 2%) μετρά την ακτινοβολία επίσης με θερμοηλεκτρική στήλη, που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός κυλίνδρου, του οποίου ο άξονας διατηρείται παράλληλος με τις ηλιακές ακτίνες με βοήθεια αστροστάτη. Με το όργανο αυτό μπορεί να μετρηθεί και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Ωστόσο το πυρηλιόμετρο είναι σημαντικά ακριβότερο από το πυρανόμετρο. Εκτός από τα δύο αυτά όργανα χρήσιμες

πληροφορίες παρέχουν οι ηλιογράφοι, που μετρούν τη διάρκεια της ηλιοφάνειας με ακρίβεια της τάξης των 10 λεπτών της ώρας.

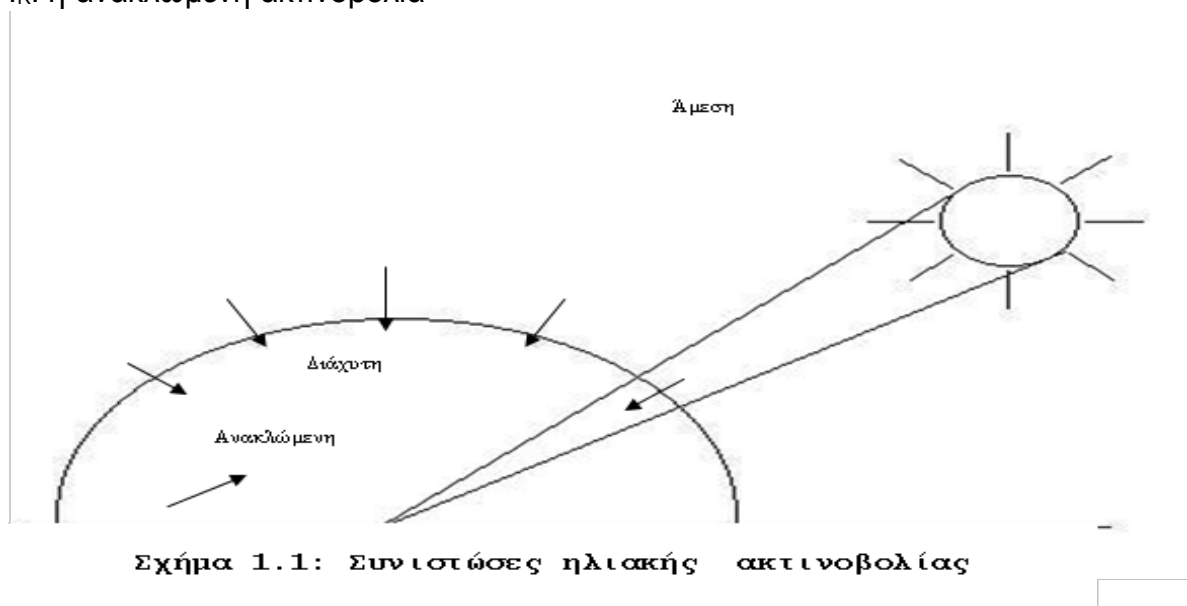
Παρακάτω θα συμβολίζουμε με G τις στιγμιαίες τιμές της ακτινοβολίας, με I τις ωριαίες τιμές και με H τις μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα της ακτινοβολίας. Οι μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα είναι επαρκείς για τις προσεγγιστικές μεθόδους υπολογισμού των ηλιακών εγκαταστάσεων.

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρεις συνιστώσες: την άμεση που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο, την διάχυτη που προέρχεται από τον θόλο της ατμόσφαιρας, εξαιτίας της σκέδασης της άμεσης από άτομα, μόρια και αιρούμενα σωματίδια και την ανακλώμενη, που προκαλείται από διάφορες κοντινές επιφάνειες, όταν η συλλεκτική επιφάνεια είναι κοντά σε κτίρια ή είναι κεκλιμένη, οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.

$$I = I_B + I_D + I_R \quad (2.1)$$

όπου,

I_B : η άμεση ακτινοβολία
 I_D : η διάχυτη ακτινοβολία
 I_R : η ανακλώμενη ακτινοβολία



Η εξίσωση (2.1) απλουστεύεται αν η επιφάνεια είναι επίπεδη και δεν υπάρχουν κτίρια ή άλλα υψώματα, οπότε $I_R = 0$. Τότε αρκεί κανείς να μετρήσει δύο από τα τρία μεγέθη, για να μπορεί μέσω της (2.1) να υπολογίσει το τρίτο.

Εάν ξέρουμε την ολική I_H και την άμεση I_{BH} σε οριζόντια επιφάνεια ($I_R = 0$) μπορούμε να υπολογίσουμε την διάχυτη I_{DH} από τη σχέση:

$$I_{DH} = I_H - I_{BH}$$

Η άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο I_{BH} δίνεται από τη σχέση:

$$I_{BH} = I_N \sin \beta \quad (2.2)$$

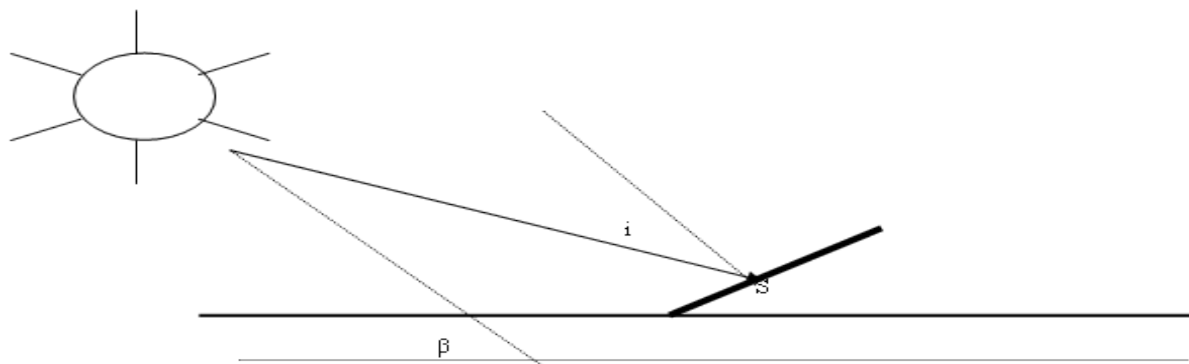
όπου,

I_N : η ενέργεια που προσπίπτει σε επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου

β : η γωνία ύψους του ήλιου, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και από την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο

Οι συνηθέστερες μονάδες της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή της ενέργειας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου είναι τα $W/m^2, kcal/m^2 \cdot day, kJ/m^2 \cdot day, MJ/m^2 \cdot mo, langley/day (ly/day = calorie/cm^2 \cdot day), Btu/ft^2 \cdot ho$ u_f

Υπολογισμός της ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια



Σχήμα 1.3: Σχέση μεταξύ οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας

Δεδομένης της διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο από τη σχέση (1.2) μπορεί να υπολογιστεί το ποσό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια I_C από τη σχέση:

$$I_C = I_N \cos i + I_{DH} \cos^2(S/2) + I_R \quad (2.3)$$

όπου,

$$i = 90^\circ - \beta - S \quad (\text{σχήμα 1.3})$$

S : η γωνία κλίσης της συλλεκτικής επιφάνειας

Η ανακλώμενη ακτινοβολία I_R , που προέρχεται μόνο από το έδαφος, θεωρούμε δηλαδή ότι δεν υπάρχουν κτίρια ή άλλα υψώματα κοντά στη συλλεκτική επιφάνεια, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$I_R = I_H \rho \sin^2(S/2) \quad (2.4)$$

όπου,

ρ : ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους, η τιμή του οποίου κυμαίνεται μεταξύ 0,2 για χορτάρι και 0,75 για χιονισμένο έδαφος

Τελικά η σχέση (1.4) γίνεται:

$$I_C = I_{NC} \cos i + I_{DH} \cos^2(S/2) + I_H \rho \sin^2(S/2) \quad (2.5)$$

Το πρόβλημα που υπάρχει συνήθως είναι ότι για πολλές περιοχές υπάρχουν τιμές μόνο της ολικής ακτινοβολίας -είτε από μετρήσεις είτε από προσεγγιστικές μεθόδους και όχι της άμεσης, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της διάχυτης. Τυχόν λάθος στη διάχυτη μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις στον καθορισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Η βασική προσεγγιστική μέθοδος για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας, χωρίς μετρήσεις της άμεσης είναι αυτή των Liu και Jordan.

Οι Liu και Jordan παρατήρησαν ότι ο λόγος μέσης ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας για κάθε μήνα H_{DH} προς τη μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα H_H συσχετίζεται ικανοποιητικά με το δείκτη αιθριότητας K_T , που ορίζεται ως το πηλίκο της H_{DH} με την μέση ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα H_0 .

Δηλαδή:

$$K_T = H_H/H_0 \quad (2.6)$$

Κατέληξαν στην παραπάνω διαπίστωση βασιζόμενοι στο γεγονός ότι η μείωση του ποσοστού της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα οφείλεται σε απορροφήσεις και ανακλάσεις που με τη σειρά τους είναι οι αιτίες της διάχυτης ακτινοβολίας. Επομένως, όσο μικρότερος είναι ο δείκτης αιθριότητας, τόσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες σωματιδίων και υδρατμών στην ατμόσφαιρα, οι οποίες προκαλούν αυξημένη διάχυτη ακτινοβολία. Η εμπειρική σχέση του λόγου H_{DH}/H_H με τον δείκτη αιθριότητας είναι:

$$H_{DH}/H_H = f(K_T) = 1,390 - 4,027K_T + 5,531K_T^2 - 3,108K_T^3 \quad (2.7)$$

Επομένως από τις μετρήσεις ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και τις τιμές της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας H_0 μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης αιθριότητας και μέσω αυτού ο λόγος H_{DH}/H_H . Από το λόγο αυτό προκύπτουν οι τιμές της ακτινοβολίας H_{DH} .

Η ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας υπολογίζεται από τον αστρονομικό τύπο:

$$G_0 = G_s [1,0 + 0,033 \cos(360n/365)] (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \omega) \quad (2.8)$$

όπου,

$$G_s: \text{η ηλιακή σταθερά} = 1353 \text{ W/m}^2$$

n : η μέρα του έτους ($n = 1$ για την 1^η Ιανουαρίου)

L : το γεωγραφικό πλάτος

δ : η ηλιακή απόκλιση, δηλαδή η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης των ακτινών του ήλιου και του ζηνίθ το μεσημέρι στον ισημερινό, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360(284 + n)/365] \quad (1.9)$$

ω : ωριαία γωνία ήλιου, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = 15^\circ \times h \quad (1.10)$$

όπου h : αριθμός των ωρών από την τοπική ηλιακή μεσημβρία (θετικές τιμές πριν το μεσημέρι και αρνητικές μετά)

Η ημερήσια τιμή της ολικής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας υπολογίζεται ολοκληρώνοντας τη σχέση (8) για μια μέρα και ισούται με:

$$(24 \cdot 3600 / \pi) G_s [1,0 + 0,033 \cos(360n/365)] [\cos L \cos \delta \cos \omega_s + (2\pi \omega_s / 360) \sin L \sin \delta]$$

όπου,

ω_s : η ωριαία γωνία δύσης του ήλιου, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\omega_s = \arccos(-\tan L \tan \delta) \quad (1.11)$$

Η μέση ημερήσια τιμή της ολικής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα H_0 υπολογίζεται τελικά από την παραπάνω ισότητα, θέτοντας τα η και δ της μέσης ημέρας. Μέση ημέρα κάθε μήνα είναι αυτή που έχει ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μηνός.

Η εξίσωση (2.7) με την αντικατάσταση: $I_N = I_{BH}/\sin\beta = (I_H - I_{DH})/\sin\beta$ γίνεται:

$$I_C = (I_H - I_{DH})(\cos i / \sin\beta) + I_{DH}\cos^2(S/2) + I_H\rho\sin^2(S/2) \quad (2.12)$$

Για να υπολογίσουμε τη μέση τιμή του όρου $(I_H - I_{DH})\cos i / \sin\beta$ πρέπει να ξέρουμε τις ωριαίες τιμές των δυο παραγόντων $(I_H - I_{DH})$ και $\cos i / \sin\beta$. Μπορούμε όμως να έχουμε μόνο τις τιμές ανά ώρα του πρώτου παράγοντα. Γι' αυτό το λόγο οι Liu και Jordan χρησιμοποίησαν ακόμα μια προσέγγιση, υποθέτοντας ότι ο μέσος όρος του γινομένου ισούται με το μέσο όρο των παραγόντων. Ο παράγοντας $\cos i / \sin\beta$ ονομάζεται συντελεστής κλίσεως R_B και είναι ίσος με το λόγο της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια προς την άμεση ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια.

Δηλαδή:

$$R_B = I_{BC} / I_{BH} \quad (2.13)$$

Η μέση μηνιαία τιμή του παραπάνω λόγου συμβολίζεται με R_{BM} για επιφάνειες του βόρειου ημισφαιρίου, προσανατολισμένες κατά το νότο ισούται με:

(2.14)

όπου,

$$\omega_0 = \min\{\arccos[-\tan L \tan \delta], \arccos[-\tan(L - \delta) \tan \delta]\} \quad (2.15)$$

Η σχέση (2.12) για μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα και με την αντικατάσταση: $(I_H - I_{DH})/\sin\beta = H_{TH}(1 - H_{DH}/H_{TH})/\sin\beta$ και χρησιμοποιώντας την εμπειρική σχέση (1.7) μετατρέπεται στην:

$$H_C = H_H[(1 - f(K_T)R_{BM} + f(K_T)\cos^2(S/2) + \rho\sin^2(S/2))] \quad (2.16)$$

Αν υπάρχει λοιπόν η μέση ημερήσια τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα H_H μπορεί να υπολογιστεί η μέση ημερήσια ακτινοβολία για

κάθε μήνα H_C σε κεκλιμένη επιφάνεια, με κλίση S , προσανατολισμένη κατά το νότο, αφού έχουν υπολογιστεί η μέση ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα H_0 και ο δείκτης αιθριότητας K_T .

Η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο H_H και η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο H_C σχετίζονται με το λόγο R_M , που είναι αντίστοιχος του λόγου R_{BM} , αλλά αφορά ολική ακτινοβολία:

$$R_M = H_C/H_H \quad (2.17)$$

Από τις σχέσεις (2.6) και (2.17) προκύπτει ότι η μέση ημερήσια ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο μπορεί να υπολογιστεί εναλλακτικά από την παρακάτω σχέση:

$$H_C = R_M K_T H_0 \quad (2.18)$$

Η εξίσωση (2.18) εφαρμόζεται με βάσει τους πίνακες που καταγράφεται η μέση ημερήσια ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας για κάθε μήνα και για διάφορα πλάτη καθώς και ο συντελεστής R_M για γεωγραφικά πλάτη για κάθε μήνα και για διάφορες κλίσεις συλλέκτη καθώς και για κάθετη επιφάνεια. Οι τιμές του R_M αφορούν δείκτες αιθριότητας K_T από 0,3 έως 0,7.

2.3 Υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η Γη

Η ενέργεια F_s , που εκπέμπεται από τον ήλιο ανά μονάδα επιφάνειας του και ανά μονάδα χρόνου (ροή ενέργειας) μπορεί να υπολογιστεί αν θεωρήσουμε ότι ο ήλιος εκπέμπει ακτινοβολία σαν ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας T_{eff} περίπου $5800 \text{ }^\circ\text{K}$, δηλαδή:

Όπου σ είναι η σταθερά των Stefan – Boltzmann ($5.6697 \cdot 10^{-12} \text{ W cm}^{-2} \text{ deg}^{-4}$) Αν R_s είναι η μέση ακτίνα του ηλίου (περίπου $696 \cdot 10^3 \text{ km}$), τότε η ακτινοβόλουμένη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (δηλαδή η ισχύς) από όλη την επιφάνειά του και σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα θα είναι:

Η ενέργεια αυτή διαδίδεται σφαιρικά προς όλες τις διευθύνσεις, σχεδόν ισότροπα, και έτσι σε κάποια απόσταση από τον ήλιο κατανέμεται σε μία σφαιρική επιφάνεια, ακτίνας ίσης με την απόσταση αυτή, εφόσον βέβαια δεν συμβαίνει καμία απορρόφηση στο μεσοαστρικό διάστημα. Συνεπώς σε κάποια χρονική στιγμή που η γη βρίσκεται σε απόσταση a από τον ήλιο η ροή ενέργειας στη θέση αυτή θα είναι:

Η απόσταση όμως της γης από τον ήλιο δεν είναι σταθερή. Αν θεωρήσουμε ότι η μέση απόσταση ηλίου γης είναι $d_m = 1.496 \cdot 10^8 \text{ km}$, τότε στην απόσταση αυτή η ροή της ηλιακής ενέργειας θα είναι :

Η S ονομάζεται ηλιακή σταθερά και η μέση τιμή της μέσα σε ένα χρόνο ισούται με περίπου 1367 W m^{-2} , όπως προέκυψε από πειραματικές μετρήσεις από το έδαφος και από δορυφόρους. Η διακύμανση της ηλιακής σταθεράς μέσα σε ένα έτος που οφείλεται στη διακύμανση της εκπεμπόμενης από τον Ήλιο ενέργειας είναι της τάξης του $\pm 1.5\%$. τελικά η μέση ολική ενέργεια $E_{\text{ολ}}$ που δέχεται η Γη στη μονάδα του χρόνου είναι ανάλογη της επιφάνειας που προβάλλει η γη στη δέσμη των ηλιακών ακτινών:

Όπου $R_{\text{Γ}} = 6378 \text{ km}$, είναι η μέση ακτίνα της γης, και τελικά:

Είναι φανερό λοιπόν από την σχέση (6) ότι η ενέργεια που δέχεται η Γη από τον ήλιο εξαρτάται από την θερμοκρασία του ήλιου, τις ακτίνες των δύο σωμάτων και από την απόσταση ήλιου – Γης. Λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της Γης, η απόσταση αυτή μεταβάλλεται μέσα σε ένα έτος και έχει σαν αποτέλεσμα την διακύμανση της ενέργειας που δέχεται η γη κατά περίπου $\pm 4\%$. Ο Ήλιος βρίσκεται στην πλησιέστερη θέση προς τη γη κοντά (4 Ιανουαρίου) στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου) και στην πλέον απομακρυσμένη κατά το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου). Συνεπώς κατά τον Δεκέμβριο η γη δέχεται περισσότερη ενέργεια από τον ήλιο από ότι τον Ιούνιο, αλλά για λόγους που θα δούμε στα επόμενα δεν γίνεται αυτή η διαφορά εύκολα αντιληπτή από τις ανθρώπινες αισθήσεις.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάδοση της μέσα από την ατμόσφαιρα εξασθενίζει και τελικά η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας που φτάνει στο έδαφος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι της τάξης των 1000 W m^{-2} . Φυσικά αυτή είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να συναντήσουμε, είναι δηλαδή η ενέργεια για κάθετη πρόσπτωση και κατά το θερινό ηλιοστάσιο. Στην πραγματικότητα η ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους είναι πολύ μικρότερη.

2.4 Ζενίθια γωνία του Ήλιου (θ)

Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ότι η ροή της ενέργειας που δέχεται η Γη από τον Ήλιο δίδεται από τη σχέση (3). Αυτή αντιπροσωπεύει και τη μέγιστη δυνατή ροή ενέργειας - κατά τη διεύθυνση διάδοσής της- που θα μπορούσαμε να συναντήσουμε της σε έναν τόπο πάνω στην επιφάνεια της Γης κατά τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό βέβαια θα συνέβαινε μόνον αν δεν υπήρχε καμία εξασθένιση της ακτινοβολίας όταν αυτή διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα της γης. Ας θεωρήσουμε μία επιφάνεια τοποθετημένη οριζόντια σε έναν τόπο, και ότι η ατμόσφαιρα δεν αλληλεπιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία. Γενικά οι ακτίνες του Ήλιου δεν προσπίπτουν στην επιφάνεια κάθετα, αλλά σχηματίζουν με την κατακόρυφο του τόπου (ζενίθ) μία γωνία θ , την οποία και ονομάζουμε ζενίθια γωνία .

Εικόνα 2: Απεικόνιση της ζενίθιας γωνίας του Ήλιου

Τότε αν F α η ροή της ενέργειας κάθετα στη διεύθυνση διάδοσής της, τότε η ροή της ενέργειας F στο οριζόντιο επίπεδο δίδεται από τη σχέση:

Για να υπολογιστεί λοιπόν η ροή ενέργειας F που δέχεται ένας τόπος σε κάποια χρονική στιγμή, θα πρέπει να είναι γνωστή η ζενίθια γωνία θ του ήλιου στη χρονική αυτή στιγμή. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται μέθοδοι της σφαιρικής αστρονομίας (σφαιρικό τρίγωνο) από τις οποίες προκύπτει ότι η ζενίθια γωνία δίδεται από τη σχέση:

Προκύπτει λοιπόν ότι η ζενίθια γωνία θ είναι γενικά συνάρτηση τριών παραμέτρων, της απόκλισης δ , της ωριαίας γωνίας του Ήλιου H και του γεωγραφικού πλάτους ϕ .

2.5 Γωνία απόκλισης του Ήλιου (δ)

Το επίπεδο της τροχιάς της Γης ονομάζεται επίπεδο της εκλειπτικής. Ο άξονας περιστροφής της Γης δεν είναι κάθετος προς την εκλειπτική, αλλά σχηματίζει γωνία 23.5° περίπου, που ονομάζεται λόξωση της εκλειπτικής. Εξαιτίας της λόξωσης της εκλειπτικής, κατά την ενός έτους η γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του ισημερινού

της Γης με τον άξονα που συνδέει τα κέντρα της Γης και του Ήλιου μεταβάλλεται μεταξύ $+23.5^\circ$ και -23.5° . Η γωνία αυτή ονομάζεται επίπεδο της εκλειπτικής.

Ο άξονας περιστροφής της Γης δεν είναι κάθετος προς την εκλειπτική, αλλά σχηματίζει γωνία 23.5° περίπου, που ονομάζεται λόξωση της εκλειπτικής. Εξαιτίας της λόξωσης της εκλειπτικής, κατά την διάρκεια ενός έτους η γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του ισημερινού της Γης με τον άξονα που συνδέει τα κέντρα της Γης και του Ήλιου μεταβάλλεται με $+23.5^\circ$ και -23.5° . Η γωνία αυτή ονομάζεται απόκλιση και συμβολίζεται με δ .

Όταν η γωνία δ είναι θετική, τότε στο βόρειο ημισφαίριο της Γης έχουμε άνοιξη ή καλοκαίρι, ενώ όταν η γωνία δ είναι αρνητική τότε έχουμε φθινόπωρο ή χειμώνα.

Η απόκλιση δ μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση

Θεωρούμενη σταθερή κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης ημέρας του έτους.

2.6 Γεωγραφικές συντεταγμένες

Γεωγραφικό μήκος ψ ενός τόπου, ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από τον μεσημβρινό του τόπου και τον μεσημβρινό του Greenwich. Μετρείται πάνω στον ισημερινό και παίρνει τιμές από -180° δυτικά έως $+180^\circ$ ανατολικά του Greenwich.

Γεωγραφικό πλάτος φ ενός τόπου ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της κατακόρυφου του τόπου και ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της κατακόρυφου του τόπου και τον ισημερινό. Μετράται πάνω στον μεσημβρινό του τόπου και παίρνει τιμές από 90° βόρεια έως 90° νότια του ισημερινού.

Γραφική απεικόνιση του γεωγραφικού πλάτους φ και μήκους ψ ενός τόπου

Όταν το μεσημβρινό επίπεδο ενός τόπου περιέχει και τον Ήλιο, τότε στον τόπο αυτό έχουμε μεσημέρι (ο Ήλιος μεσουρανάει). Πάνω σε ένα τέτοιο μεσημβρινό επίπεδο, απεικονίζονται στο **σχήμα** η απόκλιση δ , η ζενίθια γωνία θ και το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου Σ .

Γραφική απεικόνιση της γεωμετρίας που χαρακτηρίζει τον τρόπο με τον οποίο οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν σε ένα τόπο στην επιφάνεια της Γης, ο οποίος βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο

Παρατηρείστε ότι όταν στο σημείο Σ κινηθεί προς τον Ισημερινό, η γωνία θ μικραίνει, με αποτέλεσμα (λόγω της σχέσης 7) να μεγαλώνει η ροή της ενέργειας που δέχεται ο τόπος. Επίσης παρατηρείται ότι όταν η απόκλιση δ γίνει αρνητική, τότε ο Ήλιος βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του Ισημερινού (χειμερινή περίοδος), με αποτέλεσμα η γωνία θ για τον ίδιο τόπο Σ να γίνεται μεγαλύτερη, άρα και η ροή της ηλιακής ενέργειας μικρότερη. Τα αντίθετα φυσικά ισχύουν για έναν τόπο που βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο.

2.7 Ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία

Εφόσον η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας F εκφράζει την μεταβολή της ενέργειας E στην μονάδα του χρόνου, σε ένα διάστημα $t = t_2 - t_1$ η συνολικά διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας μπορεί να προκύψει από την:

2.8 Η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται μέσα από την ατμοσφαιρική μάζα, εξασθενίζει σαν αποτέλεσμα των μηχανισμών απορρόφησης και σκέδασης στα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας. Το μέγεθος της απορρόφησης εξαρτάται από την φασματική περιοχή της ακτινοβολίας και από το μήκος της διαδρομής που αυτή διανύει. Είναι φυσικό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία με την οποία εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα (ζενίθια γωνία) τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η διαδρομή που θα διανύσει.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος (αφού διασχίσει την ατμόσφαιρα) γίνεται αισθητή με δύο μορφές: την άμεση και τη διάχυτη. Η πρώτη αναφέρεται στην ακτινοβολία η οποία φτάνει στο έδαφος απευθείας από τον Ήλιο, έχοντας χάσει ένα μέρος της αρχικής της έντασης κυρίως λόγω απορρόφησης και λιγότερο λόγω σκέδασης στα συστατικά της ατμόσφαιρας. Η διάχυτη συνιστώσα προέρχεται από πολλαπλή σκέδαση στα συστατικά της ατμόσφαιρας, και αντιπροσωπεύει στην ουσία ένα μέρος της ηλιακής ενέργειας που αποσύρθηκε από την άμεση. Η διάχυτη συνιστώσα φτάνει στην επιφάνεια της Γης από διάφορες διευθύνσεις χωρίς να είναι συνδεδεμένη με κάποια συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης.

Σε μία ανέφελη ημέρα, η άμεση συνιστώσα είναι αυτή που δημιουργεί σκιά, και για την ηλιακή ακτινοβολία αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής, διαθέσιμης ενέργειας, κυρίως όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρή (π.χ <60). Όσο μεγαλώνει γωνία πρόσπτωσης, αρχίζει να ελαττώνεται το ποσοστό της άμεσης συνιστώσας υπέρ του ποσοστού της διάχυτης. Αντίθετα η διάχυτη δεν δημιουργεί σκιά και σε συνθήκες πλήρους νεφοκάλυψης αντιπροσωπεύει το 100% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος.

Ο ρόλος των δύο αυτών συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ σημαντικός για την συνολικά συλλεγόμενη ενέργεια και καθοριστικός για την επιλογή του τρόπου και των διατάξεων συλλογής που θα χρησιμοποιηθούν σε κάποια περιοχή.

2.9 Σφαίρα ακτινοβολίας και στερεά γωνία

Ας υποθέσουμε ότι στο κέντρο μιας σφαίρας ακτινοβολεί ιστροπικά ένα απειροστό σώμα. Τότε η ακτινοβολία που διέρχεται από ένα στοιχείο επιφάνειας dA πάνω στη σφαίρα, είναι το κλάσμα dA/A της ολικής ακτινοβολίας.

Σφαίρα ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από μικρές κωνικές δέσμες ακτινών. Το εμβαδό της βάσης του κωνικού στοιχείου είναι dA . Η κωνική δέσμη ακτινών είναι εντός στερεάς γωνίας

ενώ το θ είναι το ζενίθ και το ϕ είναι το αζιμούθιο. Το στοιχείο επιφάνειας

όπου $r = R \sin \theta$

Οπότε

Η ολική επιφάνεια της σφαίρας είναι

Κάθε στοιχείο επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολλαπλάσιο του $1/4$ Η

επιφάνεια της σφαίρας διαιρείται σε μονάδες στερακτινίων (sr), και όλη η επιφάνεια είναι 4π (sr).

2.10 Ένταση και ροή της ηλιακής ακτινοβολίας

Ας θεωρήσουμε μία δέσμη ακτίνων που συναντά μία στοιχειώδη επιφάνεια da και περιορίζεται στη στερεά γωνία $d\omega$, σχηματίζει δε γωνία θ με την κάθετη στη στοιχειώδη επιφάνεια. Η ενέργεια dE_v , που περιέχεται σε ένα εύρος συχνοτήτων $d\nu$ και διαπερνά την da σε χρονικό διάστημα dt είναι:

Η σχέση αυτή εισάγει τον ορισμό της έντασης της μονοχρωματικής ακτινοβολίας στη γενική της μορφή.

3.1 Ημιαγωγοί

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή.

Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης.

Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομά του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη

αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια $h\nu$ μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ($E_g > h\nu$), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ($E_g < h\nu$), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να διεγερθεί προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν τώρα στον τετρασθενή ημιαγωγό Si, γίνει πρόσμιξη με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε παράγεται ημιαγωγός προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα. Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινηθεί σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν (P^+) που μένει ακίνητο στο πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (τύπος-n ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς. Με την απορρόφηση ενός μικρού ποσού ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατιόν (B^-). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας) ή δότης οπών (τύπος-p ημιαγωγός).

Όταν σε μια περιοχή του ημιαγωγού υπάρχει δημιουργία ή έκχυση φορέων σε περίσσεια, αυτοί διαχέονται προς τις άλλες περιοχές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των αντίστοιχων φορέων είναι μικρότερη. Επίσης όταν ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p έλθει σε στενή επαφή με ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου n, δηλαδή σχηματιστεί μια ένωση p-n (διάταξη διόδου ημιαγωγού), τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα. Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια (περιοχή αραίωσης) των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την ισορροπία που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών. Η συγκέντρωση των κατιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και n, παραμένουν αμετάβλητες αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή, αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η διάδος που περιέχει την ένωση p-n, παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά

του. Στο Σχήμα φαίνεται η υλοποίηση διόδου σε ένα κρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο πυριτίου.

Σχηματική διάταξη ενός Φ/Β στοιχείου. Ηλιακή ακτινοβολία (φωτόνια) προσπίπτει στην εμπρόσθια επιφάνεια της δι-επαφής p-n όπως δείχνει το σχήμα. Το πάχος του στοιχείου μερικά μm. 16

3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Είναι γνωστό ότι τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου, (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντιθέτου πρόσημου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου.

Το φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Τα φωτόνια της ακτινοβολίας, που δέχεται το στοιχείο στην εμπρός του όψη, τύπου n στο παράδειγμα του σχήματος, παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, e-) ή προς τα πίσω (οι οπές, h+), δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου. Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και εξαφανίζονται. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου, ενώ ένα άλλος μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο.

Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων. π.χ. από διόδους Σότκυ που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.

3.3 Φ/B Πλαίσια (Συστοιχία)

Ο όρος "συστοιχία " αναφέρεται συνήθως στις συνιστώσες που εξετάζονται σε αυτό το χωρίο, συγκεκριμένα αφορά όλα τα πλαίσια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, την καλωδίωση και τις διόδους τους, καθώς και τη βάση της συστοιχίας.

3.3.1 Συνιστώσες μιας Φ/B συστοιχίας

Οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε πλαίσια και τα πλαίσια συναθροίζονται για να διαμορφώσουν μια συστοιχία, όπως αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα. Ανάλογα με την εφαρμογή, η συστοιχία μπορεί να αποτελείται από μία κυψέλη, ένα πλαίσιο, ή πολλά πλαίσια.

Συνιστώσε.ς μιας Φ/B συστοιχίας

3.3.2 Η κυψέλη

Μια τυπική ηλιακή κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχει βαθύ μπλε χρώμα και ζυγίζει λιγότερο από 10 gr. Το μήκος και το πλάτος της είναι περίπου 10cm, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Η μεμονωμένη κυψέλη παράγει, υπό βέλτιστες συνθήκες, κατά προσέγγιση 1,5 Watts στα 0,5 Volts. Από μόνο του αυτό δεν είναι πολύ χρήσιμο για τις περισσότερες ηλεκτρικές εφαρμογές Προκειμένου να παραχθεί ωφέλιμη ισχύς, οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα , ενώ μερικές φορές κόβονται σε μικρότερα τεμάχια.

Η κοπή των κυψελών γίνεται για δύο κυρίως λόγους Ο πρώτος είναι για την αύξηση της τάσης. Εάν απαιτείται μόνο λίγο ρεύμα σε υψηλή τάση, τότε κόβοντας τις κυψέλες στη μέση και με την καλωδίωσή τους σε σειρά μπορεί να δημιουργηθεί ένα μικρό πλαίσιο. Κάθε κομμάτι θα παράγει την ίδια τάση με ολόκληρη την κυψέλη, αλλά με λιγότερο ρεύμα (για παράδειγμα, εάν μια κυψέλη κοπεί στη μέση, το κάθε ήμισυ θα παράγει περίπου 0,5 Volts και 1,5 Amps). Ο άλλος λόγος για την κοπή των κυψελών είναι για την αύξηση της πυκνότητας συσκευασίας τους.

Οι κυψέλες με εγκοπές δημιουργούν μη ωφέλιμη επιφάνεια στις γωνίες τους και αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί κόβοντας τις κυψέλες σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα. Το ίδιο γίνεται μερικές φορές και σε εφαρμογές όπου είναι κρίσιμες οι επιδόσεις και ο χώρος περιορισμένος. Τα μειονεκτήματα της κοπής των κυψελών είναι ότι με αυτή τη διεργασία συχνά σπταλούνται τμήματα της κυψέλης, ενώ είναι ιδιαίτερα πιθανό ένα ποσοστό κυψελών να υποστεί βλάβη κατά την κοπή . Ο κατασκευαστής μπορεί να παρέχει δεδομένα για τις ακριβείς διαστάσεις και ανοχές συγκεκριμένων κυψελών του. Κατά τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού της κυψέλης είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι μερικές κυψέλες έχουν γωνίες με εγκοπές.

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 " 1000 W/m^2 ,
- 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 τους κυψελών υπό ορισμένες συνθήκες. Στο σχήμα 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 βραχυκυκλώματος) = $3,36\text{ A}$,
- V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος) = $0,6\text{ v}$,
- P_{max} (σημείο μέγιστης ισχύος) = $1,5\text{ W}$,
- I_{max} (ρεύμα στο P_{max}) = 3 A ,
- V_{max} (τάση στο P_{max}) = $0,5\text{ v}$

Η καμπύλη I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου σε ΠΣΔ

Η παραγόμενη ισχύς από την κυψέλη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του ηλιακού φωτός (για παράδειγμα, εάν υποδιπλασιαστεί η ένταση του ηλιακού φωτός θα υποδιπλασιαστεί και η παραγόμενη ισχύς). Ένα σημαντικό γνώρισμα των Φ/Β κυψελών είναι ότι η τάση της κυψέλης δεν εξαρτάται από το μέγεθός της, και παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της έντασης του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογο προς την ένταση του φωτός και το μέγεθός της. Αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα

Παραγωγή ρεύματος και τάσης μιας ηλιακής κυψέλης υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός

Η παραγόμενη από μια ηλιακή κυψέλη ισχύς μπορεί να αυξηθεί αρκετά με τη χρήση ενός μηχανισμού παρακολούθησης της τροχιάς που να διατηρεί τη Φ/Β διάταξη απ'ευθείας κάθετη προς τις ακτίνες του ήλιου, ή συγκεντρώνοντας το φως του ήλιου με τη βοήθεια φακών ή κατόπτρων. Εντούτοις, υπάρχουν όρια στη διαδικασία αυτή, λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών και της αναγκαίας ψύξης των κυψελών. Η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή σε υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά η τάση μειώνεται (κατά 0,0023 Volts περίπου για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου), προκαλώντας έτσι τη μείωση της ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το σχήμα απεικονίζει τα χαρακτηριστικά μιας κυψέλης σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (οι άλλες συνθήκες παραμένουν ίδιες).

Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου

3.3.3. Συνδεσμολογία

Οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να συστήσουν μια συνδεσμολογία, όπως συχνά ονομάζεται αυτή η διάταξη. Οι κυψέλες διασυνδέονται με συγκόλληση των ακροδεκτών τους από την κορυφή της μίας στη βάση της επόμενης. Αυτό γίνεται εν γένει εργοστασιακά με ειδικές μηχανές. Είναι σημαντικό να μην υφίστανται φθορές οι κυψέλες κατά τη διεργασία, να είναι ανθεκτικές οι συνδέσεις, και να διατηρείται το κατάλληλο διάστημα μεταξύ των κυψελών. Εάν οι κυψέλες ακουμπούν μεταξύ τους μπορεί να προκύψουν προβλήματα ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων καθώς επίσης και προβλήματα σκίασης, ενώ αυξάνεται η πιθανότητα ραγίσματος τους. Τα υπερβολικά μεγάλα κενά μεταξύ των κυψελών σπαταλούν πολύτιμη επιφάνεια.

3.3.4. Πλαίσιο

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται συνήθως σε σειρά, διαμορφώνοντας ένα σύνολο που ονομάζεται πλαίσιο. Το Φ/Β πλαίσιο εν γένει αποτελεί τη μικρότερη αυτοτελή μονάδα σε μια συστοιχία, καθώς είναι μία ομάδα κυψελών που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και στη συνέχεια τοποθετηθεί σε ένα κέλυφος ως αυτόνομη μονάδα. Ο αριθμός των κυψελών ενός πλαισίου καθορίζεται συνήθως από τις ανάγκες τάσης του συστήματος και οι περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλαίσια τα οποία διαστασιοποιούνται σύμφωνα με τις τάσεις των χρησιμοποιούμενων μπαταριών. Ένα τυπικό πλαίσιο για φόρτιση μιας μπαταρίας 12 Volt έχει 33 έως 36 κυψέλες (πρέπει να παρέχει πάνω από 12 Volt για να φορτίσει τη μπαταρία), Σημειώνεται ότι η λέξη πλαίσιο μπορεί να αναφέρεται είτε σε ένα μόνο πλαίσιο είτε σε ένα σύνολο πλαισίων.

3.3.5 Ενθυλάκωση

Οι ηλιακές κυψέλες χρειάζονται προστασία και υποστήριξη. Για το λόγο αυτό σχεδόν πάντα τοποθετούνται σε κέλυφος, με κάποιο τρόπο που να τις προστατεύει και να τις μονώνει ηλεκτρικά. Στο σχήμα 3,4 παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός τυπικού πλαισίου που χρησιμοποιείται σε οικιακές ή απομονωμένες εφαρμογές, ή σε Φ/Β σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Τα περισσότερα πλαίσια ενθυλακώνονται σε κάποιο πολυμερές υλικό, όπως ο οξικός εστέρας αιθυλενίου-βινυλίου (EVA), το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται μεταξύ γυαλιού στην επάνω επιφάνεια και Mylar ή Tedlar στην κάτω. Οι ακμές σφραγίζονται με ένα στεγανωτικό παρέμβυσμα και υποστηρίζονται από ένα πλαίσιο, Έχουν γίνει επίσης κατασκευές από εύκαμπτα ελάσματα.

Τομή ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πλαισίου

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες που εξετάζονται κατά την επιλογή των υλικών για την ενθυλάκωση, με τη σημασία τους να εξαρτάται από την εφαρμογή. Τα πιο σημαντικά από τα χαρακτηριστικά της ενθυλάκωσης είναι τα εξής :

- Ηλεκτρική ειδική αντίσταση

Το υλικό πρέπει να είναι ηλεκτρικός μονωτής. Είναι σημαντικό να απομονωθεί η τάση της συστοιχίας και να προστατεύεται η συστοιχία από οιοσδήποτε εξωτερικές τάσεις.

- Μετάδοση του φωτός

Ιδανικά, η ενθυλάκωση δεν πρέπει να εμποδίζει το φως να προσεγγίσει τις κυψέλες.

- Μετάδοση της θερμότητας

Οι ηλιακές κυψέλες είναι αποδοτικότερες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι χρήσιμο να υπάρχει, εάν είναι δυνατό, ένα υλικό ενθυλάκωσης με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση της θερμότητας από τις κυψέλες.

- Θερμική διαστολή

Σε μερικές θέσεις η θερμοκρασία του πλαισίου είναι αρκετά χαμηλότερη του σημείου πήξης το χειμώνα και αρκετά επάνω από τους 40°C το καλοκαίρι. Είναι, επομένως, σημαντικό η ενθυλάκωση να μην συστέλλεται ή διαστέλλεται σημαντικά λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών.

- Βάρος

Για μερικές εφαρμογές, το βάρος αποτελεί έναν από τους παράγοντες επιλογής του υλικού ενθυλάκωσης.

- Ανθεκτικότητα

Πολλά πλαίσια τοποθετούνται σε εξωτερικό χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και υπόκεινται σε ανέμους, βροχές, ήλιο, χαλάζι, και χιόνια. Αυτά όμως αναμένεται να λειτουργήσουν για είκοσι τουλάχιστον έτη, οπότε το υλικό ενθυλάκωσης πρέπει να είναι ικανό να αντεπεξέλθει σε αυτές τις συνθήκες χωρίς σημαντικό βαθμό φθοράς.

3.3.6 Λειτουργία των Φ/Β συστοιχιών

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.

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

- 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:

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

- 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):

Ρσειράς = Ισειράς Χ Νσειράς =>

Ρσειράς = (I_{max} μίας κυψέλης) * (Αριθμός κυψελών) * (ν_{max} μίας κυψέλης) (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 παρουσιάζει το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη i-v της εν σειρά συνδεσμολογίας.

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

Τέσσερις ηλιακές κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά

Σύνδεση εν παράλληλω

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

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

Ιπαράλληλα = (Αριθμός κυψελών) * (I_{max} μίας κυψέλης) (3.4)

• Τάση

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

Νπαράλληλα = (V_{max} μίας κυψέλης) (3.5)

• Ισχύς

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

$$P_{\text{παραλλήλα}} = I_{\text{παραλλήλα}} * V_{\text{παραλλήλα}} \Rightarrow$$

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

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 παρουσιάζεται το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της ομάδας των κυψελών εν παραλλήλω.

Καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα

Μία, δύο, και τρεις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα

3.3.7 Δίοδοι

- Δίοδοι παράκαμψης

Οι δίοδοι παράκαμψης χρησιμοποιούνται για την προστασία των συνδεσμολογιών εν σειρά των κυψελών. Εν γένει, ένα πλαίσιο προσφέρεται από τον κατασκευαστή με ενσωματωμένη μια δίοδο παράκαμψης, η οποία συνδέεται παράλληλα με ολόκληρο το πλαίσιο. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, η δίοδος δεν κάνει τίποτα εκτός από το να καταναλώνει μία ελάχιστη ποσότητα ισχύος. Εάν σκιαστεί ή υποστεί βλάβη μέρος του πλαισίου, η δίοδος παράκαμψης εκτρέπει το ρεύμα μέσω αυτής και γύρω από το πλαίσιο. Χωρίς τη δίοδο, το πλαίσιο που σκιάζεται ή έχει υποστεί βλάβη διαχέει το ρεύμα υπό μορφή θερμότητας και τελικά καταστρέφεται.

- Δίοδοι φραγής

Οι δίοδοι φραγής εγκαθίστανται για να αποτρέψουν την αντιστροφή της ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια. Μια δίοδος φραγής συνδέεται συνήθως εν σειρά μεταξύ της συστοιχίας και των μπαταριών. Αντ' αυτού, εάν ένας αριθμός συνδεσμολογιών συνδέονται εν σειρά, οι δίοδοι φραγής μπορούν να συνδεθούν εν σειρά με κάθε μία συνδεσμολογία. Ενίστε ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στα Φ/Β συστήματα για τη ρύθμιση της ισχύος εξαλείφει την ανάγκη προσθήκης μιας δίοδου φραγής.

3.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, ανάλογα με το υλικό παρασκευής, τη δομή του βασικού υλικού καθώς και τον τρόπο παρασκευής. Έτσι, έχουμε την παρακάτω κατηγοριοποίηση:

A. Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si)

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%, το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά.

Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής

Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, έχει απόδοση πλαισίου 18,5%.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si)

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12%. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification) , η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon-Si)

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη

αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθινό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο ταινίας πυριτίου

B. Φωτοβολταϊκα υλικά λεπτών επιστρώσεων,(thin film)

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτω φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%

(πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο τύπου CIS

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν

εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου

3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό χάσμα γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελούριου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό, κατάλληλο για ενσωμάτωση στα κτίρια (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

Φωτοβολταϊκό στοιχείο τύπου CdTe

4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό χάσμα 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο Αρσενικού Γαλλίου

Γ. Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Μια άλλη κατηγορία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. - HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού τα φωτοβολταϊκά αυτά έχουν τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Δ. Άλλες Τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

-Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)

-Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

4.1 Αρχή λειτουργίας και δομή συσσωρευτών

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι ουσιαστικά μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2 Σχεδιαστική δομή και αρχή λειτουργίας συσσωρευτών

Κυψελίδα συσσωρευτή

Δομική μονάδα του συσσωρευτή είναι η κυψελίδα (cell), και μία εποπτική παρουσίαση της μονάδας αυτής δίνεται στο σχήμα. Η κυψελίδα είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα της μπαταρίας, συνίσταται από μία θετική και μία αρνητική πλάκα που είναι βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περικλείονται σε ένα δοχείο. Με τη βοήθεια του παραπάνω σχήματος θα γίνει μία περιγραφή των συστατικών μερών της κυψελίδας ώστε να γίνεται στη συνέχεια, πιο εύκολα και κατανοητά η αναφορά σε σχετικά θέματα.

Ενεργό Υλικό (ActiveMaterial): Το ενεργό υλικό είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία από τη θετική και την αρνητική πλάκα, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού σε μία μπαταρία είναι ανάλογη της χωρητικότητας της. Σε μία τυπική μπαταρία μολύβδου, όπως είναι και η περίπτωση της μπαταρίας που χρησιμοποιούμε, το ενεργό υλικό είναι συνδυασμός διοξειδίου του μολύβδου (PbO_2) στη θετική πλάκα με μεταλλικό πορώδη μόλυβδο (Pb) στην αρνητική, που αντιδρούν σε διάλυμα θειικού οξέος (H_2SO_4) κατά τη λειτουργία της μπαταρίας.

Ηλεκτρολύτης: Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγώγιμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας. Στις μπαταρίες μολύβδου είναι διάλυμα θειικού οξέος (H_2SO_4) σε υγρή μορφή ή σε μορφή gel, ενώ στις μπαταρίες νικελίου (Ni) είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH). Σε περιπτώσεις σαν τη δική μας, που ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό διάλυμα, συχνά, απαιτείται η αναπλήρωση νερού λόγω του φαινομένου της εξαέρωσης.

Πλέγμα (Grid): Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος. Υλικά κράματος όπως το αντιμόνιο (Sb) ή το ασβέστιο (Ca) συχνά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν τη μηχανική αντοχή των πλακών και έχουν χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις της μπαταρίας. Οι συσσωρευτές του συστήματος έχουν μικρή πρόσμιξη αντιμονίου ($Sb < 3\%$) στα θετικά ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα να μπορούν να λειτουργούν διατηρούμενοι σε άριστη κατάσταση συνεχώς για 3 χρόνια σε παράλληλη, standby λειτουργία όταν τις διαπερνάει ρεύμα 2,23 V/cell και βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C.

Πλάκες (Plates): Οι πλάκες, που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και συνήθως αναφέρονται ως ηλεκτρόδια. Γενικά, υπάρχει ένα πλήθος αρνητικών και θετικών πλακών, συνδεδεμένων παράλληλα, μέσα σε μία κυψελίδα. Το πάχος τους και η σχέσεις των επιφανειών μεταξύ των αρνητικών και των θετικών πλακών, έχουν καθοριστική επίδραση στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας.

Διαχωριστής (Separator): Ο διαχωριστής είναι ένα πορώδες απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών της μπαταρίας που εμποδίζει την αγωγή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου. Σε πολλές περιπτώσεις ο διαχωριστής εφαρμόζεται σαν φάκελος και περικλείει ολόκληρο το ηλεκτρόδιο, εμποδίζοντας τη δημιουργία βραχυκυκλώματος, λόγω των διαχεόμενων υλικών στο κάτω μέρος των πλακών.

Πόλοι ή Τερματικοί Πόλοι (Terminal Poles): Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις της μπαταρίας. Ένα φορτίο ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με τη μπαταρία μέσω των πόλων.

Ο τύπος των δευτερευόντων συσσωρευτών μπορεί να αναφέρεται ως Μολύβδου-Οξειδίου (lead-acid ή απλά Pb), Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd), Αργύρου-Ψευδαργύρου κτλ, ανάλογα με το υλικό κατασκευής των ηλεκτροδίων τους. Ειδικότερα, όσο αφορά τους συσσωρευτές μολύβδου, το κράμα του πλέγματος των ηλεκτροδίων τους, τους κατατάσσει σε υποκατηγορίες (Μολύβδου-Ασβεστίου Pb-Ca, Μολύβδου-Αντιμονίου Pb-Sb) και το κράμα αυτό μαζί με τον τρόπο κατασκευής του συσσωρευτή, καθορίζει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του και τις χρήσεις για τις οποίες αυτός προορίζεται. Σε όποιον τύπο και αν ανήκουν οι συσσωρευτές, ο μηχανισμός της λειτουργίας τους στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία η οποία, για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την αντίδραση:

Οι κυψελίδες των συσσωρευτών Pb αποτελούνται από ζεύγη μονωμένων πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θειικού οξέος (H_2SO_4). Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θειικό μόλυβδο $PbSO_4$ (ή ακριβέστερα $Pb^{2+}SO_4^{2-}$). Κατά το στάδιο της φόρτισης, διασπάται ο θειικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου PbO_2 (ή ακριβέστερα $Pb^{4+}O_2^{2-}$) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα, κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και κατά την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb^{2+} και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα

ενώ στις θετικές πλάκες ο ανάγεται προς , παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα :

Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα ενώνονται με θειικά ιόντα (SO_4) από το διάλυμα και επανασχηματίζουν θειικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες. Έτσι, καταναλώνεται θειικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες. Με τη διαδικασία της φόρτισης, τα θειικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα και η περιεκτικότητά του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από μία συνάρθρωση κυψελίδων και η ονομαστική του τάση είναι το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων των κυψελίδων του. Έτσι, ο συσσωρευτής που χρησιμοποιούμε, με ονομαστική τιμή 60Volt αποτελείται από 30 κυψελίδες ονομαστικής τιμής 2Volt η καθεμία.

4.4 Προσαρμογή της λειτουργίας του συσσωρευτή σε φωτοβολταϊκό σύστημα

Από όσα έχουν ήδη αναφερθεί και θα αναφερθούν στα επόμενα κεφαλαία, οι συσσωρευτές είναι αναπόσπαστο μέρος των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για να βελτιστοποιηθεί η συνεργασία τους με τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες και για να γίνει ο σχεδιασμός των συσκευών που θα επιληφθούν αυτής της συνεργασίας, όπως ο ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών, υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης ενός ισοδύναμου ηλεκτρικού μοντέλου, που θα συμπεριληφθεί στο συνολικό μοντέλο του συστήματος. Το ισοδύναμο μοντέλο του σχήματος που ακολουθεί είναι μία βελτίωση του κοινώς χρησιμοποιούμενου ισοδύναμου μοντέλου Thevenin.

Ισοδύναμο κύκλωμα συσσωρευτή μολύβδου.

Η εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή αντιπροσωπεύεται από τις αντιστάσεις R_{bs} , R_{b1} και R_{bp} . Η R_{bs} είναι η αντίσταση που οφείλεται στις πλάκες και στη μάζα του ηλεκτρολύτη και η R_{b1} μαζί με τον πυκνωτή C_{b1} αντιπροσωπεύει την αντίσταση που οφείλεται στη διάχυση του ηλεκτρολύτη. Με τη χρήση αυτών των στοιχείων μοντελοποιείται το φαινόμενο της διαφοροποίησης της τάσης του συσσωρευτή όταν αυτός διαρρέεται από ρεύμα (φόρτισης ή εκφόρτισης) από την τάση ανοικτοκυκλώματος (V_{oc}). Η R_{bp} είναι η αντίσταση απωλειών λόγω αυτοεκφόρτισης και ο πυκνωτής C_{bp} σχετίζεται με τη χωρητικότητα του συσσωρευτή σε ηλεκτροχημική ενέργεια.

Η εσωτερική αντίσταση που παρουσιάζει ο συσσωρευτής, ως απαραίτητη απομονωτική βαθμίδα μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Στις συνήθεις τάσεις και στις συνήθεις εντάσεις ρεύματος φόρτισης, η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας παρουσιάζει τη συμπεριφορά που αποδίδεται προσεγγιστικά από την ακόλουθη χαρακτηριστική I-V

I-V χαρακτηριστική συσσωρευτή σε τρία διαφορετικά SOC.

Όπως προδίδεται και από τις τάσεις που αντιστοιχούν σε κάθε Καμπύλη, το SOC (stateofcharge) της πρώτης από αριστερά καμπύλης είναι μικρότερο από το SOC της δεύτερης και το SOC της δεύτερης από αυτό της τρίτης. Φαίνεται, από την μεγάλη κλίση των καμπυλών, ότι η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας είναι πολύ χαμηλής τιμής. Για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, ο άμεσος αποδέκτης της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε είναι μόνο η μπαταρία (συστήματα νυκτερινού φωτισμού, φάροι κτλ), είτε η μπαταρία σε συνδυασμό με κάποια άλλη παράλληλη κατανάλωση. Και στις δύο περιπτώσεις, σκοπός του σχεδιασμού είναι η μεγιστοποίηση της μεταφοράς ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς την κατανάλωση, αναλόγως της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Ειδικά στη δεύτερη περίπτωση, όταν το φορτίο είναι εξαιρετικά υψηλό (η αντίσταση που παρουσιάζει είναι μικρή σε σχέση με αυτή της μπαταρίας) απαιτείται ειδικός σχεδιασμός ώστε το σημείο ισορροπίας του συστήματος να βρίσκεται κοντά στα σημεία μέγιστης ισχύος (MPP) της I-V χαρακτηριστικής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Στην πρώτη όμως περίπτωση, όπου η κατανάλωση λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους από αυτές που λαμβάνει η παροχή ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια ή που η κατανάλωση είναι σχετικά μικρή, ο σχεδιασμός μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά και η μεταφορά ισχύος να είναι ικανοποιητική.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων που επιλαμβάνονται την αναζήτηση του ακριβούς σημείου μέγιστης ισχύος ονομάζεται MaximumPowerPointtracking (MPPTtracking). Από το σχήμα φαίνεται ότι καθώς το SOC της μπαταρίας αυξάνεται κατά τη διάρκεια της φόρτισης, η καμπύλη μετατοπίζεται προς τα δεξιά ενώ όταν η μπαταρία βρεθεί σε μειωμένο SOC η καμπύλη έχει μετατοπιστεί προς τα αριστερά. Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε λόγος για τον έλεγχο και καθορισμό του SOC της μπαταρίας, για την αποδοτικότερη αξιοποίηση της χωρητικότητας και για λόγους προστασίας της μπαταρίας, μέσω χαρακτηριστικών τάσεων λειτουργίας της. Αν οι χαρακτηριστικές I-V κατάλληλης μπαταρίας και φωτοβολταϊκής συστοιχία παρατεθούν στο ίδιο διάγραμμα, δίνεται μία οπτική παρουσίαση ενός ακόμα πολύ σημαντικού κριτηρίου για τον καθορισμό και τον έλεγχο του SOC της μπαταρίας.

Κοινό διάγραμμα των χαρακτηριστικών I-V του φωτοβολταϊκού πλαισίου για διάφορες εντάσεις ακτινοβολίας και της μπαταρίας για τρία διαφορετικά SOC.

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η δυνατότητα να λειτουργεί το σύστημα μπαταρίας φωτοβολταϊκού πλαισίου κοντά στα σημεία μέγιστης ισχύος (MP) φροντίζοντας το SOC της μπαταρίας. Η γραμμή φορτίου βρίσκεται λίγο δεξιά από την καμπύλη των σημείων MP όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη (SOC_{FC}: SOCatfullcharge) και μετατοπίζεται προς τα αριστερά καθώς αυξάνεται το βάθος εκφόρτισης (DOD: depthofdischarge). Η λειτουργία του συστήματος σε σημεία κοντά σε σημεία μέγιστης ισχύος, επιτυγχάνεται επιβάλλοντας έναν κατάλληλο αλγόριθμο φόρτισης ο οποίος συντηρεί την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μεταξύ αυτών που αντιστοιχούν σε καμπύλες μεταξύ του SOC_{FC} και ενός SOC_{DOD1}, με DOD1 το οποίο εκτός των

άλλων πρακτικών περιορισμών που σχετίζονται με τη μπαταρία, τώρα επιλέγεται και με βάση το επίπεδο προσαρμογής που επιθυμεί να επιτύχει ο σχεδιαστής του συστήματος. Όταν το φορτίο δεν υπάρχει ή είναι σχετικά μικρό σε σχέση με τη μπαταρία (και συνήθως αυτό ισχύει αφού υφίσταται περιορισμούς λόγω του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος εκφόρτισης του συσσωρευτή), ο σχεδιαστής μπορεί να βασίζεται μόνο στη χαρακτηριστική I-V της μπαταρίας για να προσαρμόσει τη συνολική κατανάλωση (μπαταρία ή/και φορτίο) με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ώστε να επιτύχει ικανοποιητικά επίπεδα μεταφοράς ισχύος.

4.5 **Αναγκαιότητα αποθηκευτικής διάταξης σε συστήματα με ανανεώσιμες πηγές**

Επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από φυσικά φαινόμενα (π.χ. αιολική και ηλιακή ενέργεια) υπάρχει ενδεχόμενο, αρκετές φορές η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να μη συμπίπτει χρονικά με τη ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και η μετέπειτα χρήση της σε διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση, θα βοηθούσε ώστε να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα που παρέχουν οι ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας αφού πλέον σχεδόν εκμηδενίζεται η πιθανότητα να μην υπάρχει ενέργεια τη στιγμή που θα ζητηθεί και έτσι επιτρέπεται η δημιουργία περισσότερο μακροπρόθεσμων σχεδίων διαχείρισης. Η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου λοιπόν δίνει στις ΑΠΕ την αξιοπιστία ενός συμβατικού συστήματος παραγωγής ενέργειας (π.χ. γεννήτριες ντίζελ) και ανοίγει το δρόμο για τη δημιουργία συστημάτων παραγωγής ενέργειας που βασίζονται αποκλειστικά και μόνο σε ανανεώσιμες πηγές.

Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιούνται οι ΑΠΕ χρειάζεται και μία αποθηκευτική διάταξη με κατάλληλες ιδιότητες. Προκειμένου να αποφασιστεί ποιο αποθηκευτικό μέσο είναι κατάλληλο για κάθε περίπτωση εφαρμογής χρειάζεται να εξεταστεί μια ευρεία γκάμα αποθηκευτικών διατάξεων.

Ιδιαίτερη είναι λοιπόν, η χρησιμότητα των ανανεώσιμων πηγών στα συστήματα τροφοδοσίας ενέργειας. Στα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποθηκευτικά μέσα βραχείας ή μακράς διάρκειας αποθήκευσης, ανάλογα με τη χρήση του συστήματος και τις ιδιότητες του αποθηκευτικού μέσου. Ανάλογα με το μέγεθος του αποθηκευτικού μέσου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατάξεις για σχετικά μικρής διάρκειας αποθήκευση, π.χ. μία μέρα ή βδομάδα, ή για μεγάλης διάρκειας που είναι ικανές να τροφοδοτήσουν με ενέργεια κατά τη διάρκεια σχεδόν όλου του χειμώνα, για παράδειγμα σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, χωρίς να υπάρχει υποστήριξη συμβατικών γεννητριών. Σαν αποθηκευτικές διατάξεις βραχείας διάρκειας χρησιμοποιούνται κυρίως μπαταρίες μολύβδου λόγω του χαμηλού τους κόστους σε σχέση με τα άλλα μέσα, ενώ για μεγάλη διάρκεια ενδείκνυνται κυρίως αποθηκευτές υδρογόνου. Με τη βοήθεια του αποθηκευτικού μέσου λοιπόν, μπορούν να υπάρξουν εγκαταστάσεις αμιγώς ανανεώσιμων πηγών (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια) χωρίς την εφεδρεία συμβατικής γεννήτριας.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επιλογή της αποθηκευτικής διάταξης είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες πρόκειται να

εκτεθεί η διάταξη. Έτσι ανάλογα με την περίπτωση και τις εγκαταστάσεις μπορεί να επιλεγεί διάταξη που μπορεί να εκτεθεί σε θερμοκρασίες από -10 ως 45°C , δηλαδή πρακτικά να τοποθετηθεί σε εξωτερικούς χώρους σχεδόν χωρίς καμία προστασία, διάταξη που πρέπει να τοποθετηθεί μέσα σε κτίριο (5 ως 20°C) ή διάταξη που χρειάζεται να τοποθετηθεί σε μονωμένους χώρους ή χώρους με ενεργό έλεγχο θερμοκρασίας ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται στους 15 ως 25°C .

Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι αν οι ανανεώσιμες πηγές καλύπτουν ένα μικρό μέρος από τη ζήτηση σε ενέργεια, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να μην είναι απαραίτητη καθώς η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από τα άλλα στοιχεία (π.χ. γεννήτριες ντίζελ). Ωστόσο όμως όσο αυξάνει η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στην εξυπηρέτηση του ζητούμενου φορτίου, γεγονός που είναι αναμενόμενο για τα επόμενα χρόνια, τόσο γίνεται απαραίτητη η διάταξη αποθήκευσης. Αυτό γίνεται εμφανές σε εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επειδή τη νύχτα δεν υπάρχει ηλιοφάνεια είναι πιθανό η ζήτηση σε φορτίο να αυξηθεί νωρίς το απόγευμα, γιατί οι καταναλωτές θα προνοήσουν για τη νύχτα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία αιχμή στο φορτίο εκείνη την ώρα, η οποία θα πρέπει να καλυφθεί από συμβατικές πηγές. Η εγκατάσταση ενός αποθηκευτικού συστήματος θα βοηθούσε να εξομαλυνθούν αυτές οι κορυφές στη ζήτηση ενέργειας και να δημιουργηθεί στο βαθμό που είναι εφικτό ένα σταθερό φορτίο βάσης. Επίσης η αποθήκευση βοηθάει στο να εξισορροπηθεί η υψηλή παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά το καλοκαίρι με τη χαμηλή κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπως προαναφέρθηκε.

Πολλά υποσχόμενη είναι επίσης η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου σε εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών για την τροφοδοσία απομακρυσμένων περιοχών. Το κόστος δημιουργίας μίας γραμμής μεταφοράς προκείμενου να μεταφερθεί ηλεκτρική ενέργεια από τον πλησιέστερο υποσταθμό και το κόστος παραγωγής αυτής της ενέργειας με συμβατικούς τρόπους (π.χ. το κόστος του καυσίμου της συμβατικής γεννήτριας) είναι ασύγκριτα μεγαλύτερο, από ότι η τροφοδοσία ενέργειας από ΑΠΕ με τη συνεισφορά κατάλληλης αποθηκευτικής διάταξης.

Τέλος οι αποθηκευτικές διατάξεις βοηθούν στο να ξεπεραστεί το γεγονός ότι η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ δεν μπορεί να είναι πλήρως προβλέψιμη. Έτσι είναι δυνατή η διαχείριση ενέργειας και ισχύος. Ένα μέρος από την παραγόμενη ενέργεια των ΑΠΕ καταναλώνεται αμέσως ώστε να αντικαταστήσει συμβατικές πηγές και το υπόλοιπο πρέπει να αποθηκεύεται για μετέπειτα χρήση.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αυτόνομες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν ίσως τις πληρέστερες εφαρμογές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την περίσσεια της παραγόμενης. Αποτελούν την ιδανικότερη λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο και στις οποίες η διασύνδεσή τους με αυτό θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια. Ειδικότερα για τον ελλαδικό χώρο, ο οποίος έχει πολυάριθμα μικρά νησιά και μικρούς οικισμούς, τα αυτόνομα φ/β συστήματα έχουν βρει πολλές εφαρμογές, ενώ υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες ανάπτυξης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος. Αποτελείται καταρχήν από τη φ/β γεννήτρια, η οποία είναι και το βασικότερο συστατικό του συστήματος, αφού εκεί γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έπειτα περιλαμβάνει συσσωρευτές για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, σε περιόδους που η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζει περίσσεια και για την χρησιμοποίησή της, όταν η παραγωγή είναι ανεπαρκής. Όπως είναι κατανοητό η χωρητικότητα των μπαταριών είναι δεδομένη και υπάρχει το ενδεχόμενο να μην καλύπτουν τις ανάγκες του φορτίου σε παρατεταμένες περιόδους συννεφιάς ή κάποιας βλάβης του συστήματος. Από την άλλη η επιλογή συσσωρευτών πολύ μεγάλης χωρητικότητας κρίνεται οικονομικά ασύμφορη. Η ιδανικότερη λύση είναι μια βοηθητική γεννήτρια (συνήθως νηζελογεννήτρια), η οποία τίθεται σε λειτουργία όταν είναι αναγκαίο. Συχνά τα συστήματα αυτά καλούνται υβριδικά φ/β συστήματα και μπορεί να περιέχουν και άλλες εναλλακτικές βοηθητικές πηγές ενέργειας (π.χ. ανεμογεννήτρια). Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης. Τέλος αναπόσπαστα συστατικά ενός αυτόνομου συστήματος είναι οι διατάξεις για την μετατροπή της παραγόμενης ενέργειας από τα φ/β στοιχεία σε μορφή κατάλληλη για την τροφοδότηση των φορτίων, οι οποίες περιέχουν έναν DC/DC μετατροπέα σε συνδυασμό με έναν ανιχνευτή μέγιστης ισχύος (MPPT) και έναν DC/AC αντιστροφή.

5.2 Μετατροπείας συνεχούς τάσης DC/DC

Σε ένα φ/β σύστημα η παραγόμενη τάση από τα φ/β στοιχεία δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή. Για να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας και να καταστεί κατάλληλη για την είσοδο της στον αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μετατροπείες συνεχούς ρεύματος. Οι μετατροπείες μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η τάση εξόδου που βγάζουν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τάση εισόδου και ακόμα ανάλογα με την περιοχή

Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου φ/β συστήματος .

Εάν χρησιμοποιηθεί μια βοηθητική πηγή ενέργειας, όπως φαίνεται στο σχήμα με την διακεκομμένη γραμμή, τότε το σύστημα καλείται υβριδικό φ/β σύστημα.

Η ανάλυση που ακολουθεί αφορά τη μόνιμη κατάσταση των μετατροπέων και τα στοιχεία θεωρούνται ιδανικά.

Μετατροπέας Υποβιβασμού (Step-Down Converter ή Buck Converter)

(a) Κύκλωμα μετατροπέα υποβιβασμού, (b) Διακόπτης κλειστός, (c) Διακόπτης ανοιχτός, (d) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου.

Το κύκλωμα ενός μετατροπέα υποβιβασμού φαίνεται στο σχήμα (a). Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η δίοδος πολώνεται ανάστροφα και η είσοδος παρέχει ενέργεια τόσο στο φορτίο όσο και στο πηνίο (b). Όταν ο διακόπτης ανοίξει, το ρεύμα του πηνίου ρέει μέσω της διόδου προς το φορτίο, μεταφέροντας έτσι μέρος της αποθηκευμένης του ενέργειας προς αυτό (c).

Ο μετατροπέας αυτός δέχεται στην είσοδό του μια συνεχή τάση V_{in} και δίνει στην έξοδό του συνεχή τάση μικρότερης τιμής V_o . Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$V_o = V_a = D V_{in} \quad (5.1)$$

όπου το D δείχνει τη σχετική διάρκεια αγωγής του διακόπτη και δίνεται από τη σχέση:

$$(5.2)$$

όπου t_{on} η διάρκεια κατά την οποία άγει ο διακόπτης για μια περίοδο, t_{off} η διάρκεια κατά την οποία δεν άγει και T_s η περίοδος. Η μέση τιμή της τάσης εξόδου V_o προκύπτει ίση με την τάση στα άκρα της διόδου V_a , καθώς η μέση τιμή της τάσης του πηνίου για χρόνο μιας περιόδου είναι μηδέν. Το ρεύμα εξόδου μπορεί να είναι είτε συνεχές είτε διακοπτόμενο, γεγονός που εξαρτάται από το φορτίο και τη χρονική διάρκεια t_{on} . Οι κυματομορφές για την κατάσταση συνεχούς ρεύματος εξόδου (Continuous Conduction Mode - CCM) φαίνονται στο σχήμα (d). Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τη γραφική παράσταση του σχήματος (b), υπάρχει μια κρίσιμη μέση τιμή του ρεύματος του πηνίου, κάτω από την οποία το ρεύμα γίνεται ασυνεχές. Η μέση τιμή αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$(5.3)$$

Τέλος επειδή τόσο η τάση όσο και το ρεύμα είναι θετικά κατά τη λειτουργία του μετατροπέα, για αυτό και ονομάζεται μετατροπέας πρώτου τεταρτημορίου.

Μετατροπέας υποβιβασμού στη κατάσταση διακοπτόμενου ρεύματος (DCM).

Έλεγχος με την τεχνική PWM

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου μπορεί να ρυθμιστεί με τη μέθοδο της διαμόρφωσης πλάτους (PWM). Όπως φαίνεται και από τη σχέση 5.1, η τάση αυτή εξαρτάται από το χρόνο τον οποίο άγει ο διακόπτης σε χρόνο μιας περιόδου. Σύμφωνα με την τεχνική της PWM, η μέση τιμή της τάσης εξόδου ελέγχεται ρυθμίζοντας τη σχετική διάρκεια αγωγής του διακοπτικού στοιχείου. Η περίοδος καθώς και η συχνότητα μετάβασης του διακόπτη είναι σταθερά, ενώ αυτό που μεταβάλλεται είναι η σχετική διάρκεια αγωγής αυτού, δηλαδή ο λόγος D .

Η τάση εξόδου του μετατροπέα μετράται και συγκρίνεται με την επιθυμητή τάση και έπειτα το σήμα λάθους ενισχύεται από έναν ενισχυτή, του οποίου η έξοδος είναι το σήμα ελέγχου $v_c(t)$. Έπειτα το σήμα ελέγχου $v_c(t)$ συγκρίνεται με μια πριονωτή τάση $v_r(t)$ η οποία έχει πλάτος V_r και σταθερή συχνότητα f_s . Παράγεται έτσι το διακοπτικό σήμα το οποίο έχει τιμή 1 όταν $v_c(t) > v_r(t)$, και 0 όταν $v_c(t) < v_r(t)$. Έτσι η σχετική διάρκεια αγωγής μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει των δύο αυτών τάσεων ως εξής:

$$(5.4)$$

Με αυτόν τον τρόπο το σήμα ελέγχου που μπορεί να κυμαίνεται από 0 μέχρι V_r , και να ελέγχει γραμμικά και δυναμικά τον λόγο D.

Έλεγχος της τάσης εξόδου με την τεχνική PWM.

5.3 Ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος MPPT – MAXIMUM POWER POINT TRACKERS

Η τεχνολογία της ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος, άρχισε να χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών και αποτελεί πλέον χαρακτηριστικό κάθε καλού αντιστροφέα για σύνδεση με το δίκτυο ή φορτιστή συσσωρευτών. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολυάριθμες τεχνικές και αλγόριθμοι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος. Όλες αυτές οι τεχνικές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες.

Έμμεσοι ανιχνευτές MPP

Αυτοί οι ανιχνευτές προσεγγίζουν το σημείο μέγιστης λειτουργίας με βάση απλές υποθέσεις και έμμεσες μετρήσεις. Σύμφωνα με μία μέθοδο η τάση λειτουργίας ρυθμίζεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Μεγαλύτερες τιμές τάσης στο σημείο μέγιστης λειτουργίας αναμένονται τον χειμώνα, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ενώ το καλοκαίρι οι τιμές της τάσης είναι σαφώς μικρότερες. Μια άλλη μέθοδος ρυθμίζει την τάση ανάλογα με την θερμοκρασία που αναπτύσσει το πλαίσιο. Τέλος μια τρίτη κάνει χρήση του γεγονότος ότι στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία ο λόγος τάσης στη μέγιστη ισχύ προς την τάση ανοιχτοκύκλωσης είναι σταθερός, δηλαδή:

$$(5.5)$$

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο τοποθετείται δίπλα από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες για να μετράται συνεχώς η τάση ανοιχτοκύκλωσης αυτού. Η τάση τότε των παραγωγικών ϕ/β στοιχείων ρυθμίζεται κάθε στιγμή στο σημείο $K \cdot V_{oc}$, που εξασφαλίζει τη μέγιστη ισχύ.

Άμεσοι ανιχνευτές MPP.

Η λειτουργία τους βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση των τιμών της τάσης και έντασης εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προκαλώντας ανά τακτά χρονικά διαστήματα μια διαταραχή της τάσης εξόδου αυτής. Αν διαπιστωθεί ότι με την ανύψωση της τάσης, αυξάνεται η ισχύς που παρέχει η γεννήτρια τότε αυξάνουν την τάση προς τα πάνω ώσπου να έρθει μια ισορροπία. Αυτό είναι και το σημείο μέγιστης λειτουργίας.

Η ένταση που παράγεται από ένα ϕ/β στοιχείο, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται αντίστροφα απ' ότι μεταβάλλεται η τάση. Για κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος τάσης –έντασης, το στοιχείο δίνει τη μέγιστη ισχύ του. Ωστόσο επειδή κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο στοιχείο δεν είναι σταθερή, ομοίως σταθερή δεν είναι και η τάση εξόδου του. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του, αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης – έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του. Στο σχήμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές τάσης- έντασης και ισχύος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Η συνεχής καμπύλη δείχνει την μεταβολή της τάσης σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος ενός ϕ/β στοιχείου πυριτίου, σε συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται.

Για να επιτευχθεί η λειτουργία στο σημείο μέγιστης ισχύος χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα DC/DC μετατροπέα, ανύψωσης-υποβιβασμού τάσης, στα άκρα της ηλεκτρονικής συσκευής στην οποία εισέρχεται η ισχύς του φωτοβολταϊκού. Ένα απλοϊκό σχεδιάγραμμα DC/DC μετατροπέα που

χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της μέγιστης ισχύς εξόδου της φ/β γεννήτριας φαίνεται παρακάτω.

Απλοποιημένη διάταξη MPPT

Ανά πάσα στιγμή η ισχύς που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι

$$P = V \cdot I \quad (5.6)$$

Εάν λόγω μεταβολής στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ή μεταβολή του φορτίου, αλλάξει η παραγόμενη ισχύς, μετατοπιστεί δηλαδή σε διαφορετικό σημείο λειτουργίας πάνω στη καμπύλη V-I, τότε θα υπάρξει μεταβολή της τάσης και μεταβολή της έντασης κατά dV και dI αντίστοιχα. Η ισχύς στο καινούργιο σημείο λειτουργίας θα είναι τώρα.

(5.7)

όπου αγνοήθηκαν οι όροι δεύτερης τάξης. Συνεπώς η μεταβολή στην ισχύ προκύπτει:

(5.8)

Στο σημείο της μέγιστης ισχύος η κλίση της καμπύλης ισχύος του φ/β στοιχείου μηδενίζεται, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.5. Δηλαδή ισχύει:

(5.9)

όπου ο πρώτος όρος εκφράζει την δυναμική αντίσταση της πηγής (Z_d) ενώ ο δεύτερος την στατική αντίσταση (Z_s).

Με βάση αυτή την εξίσωση υπάρχουν δυο διαφορετικοί τρόποι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος:

- Μία διαταραχή ρεύματος εισάγεται περιοδικά στην φωτοβολταϊκή πηγή ενώ μετρούνται η δυναμική αντίσταση αυτής Z_d και η στατική αντίσταση Z_s . Η τάση λειτουργίας αυξάνεται ή μειώνεται μέχρι να ικανοποιηθεί η εξίσωση του σημείου μέγιστης ισχύος, δηλαδή:

(5.10)

Σύμφωνα με μια δεύτερη μέθοδο ελέγχου, η τάση αυξάνεται όσο ισχύει η συνθήκη:

(5.11)

που συνεπάγεται και ταυτόχρονη αύξηση της ισχύος. Σε αντίθετη περίπτωση η τάση μειώνεται, ενώ όταν ο ρυθμός μεταβολής είναι πολύ κοντά στο μηδέν η τάση σταθεροποιείται. Το λογικό κύκλωμα ελέγχου μετρά την τάση και την ένταση εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, η οποία βέβαια εξαρτάται κάθε στιγμή από την ακτινοβολία που προσπίπτει, τη θερμοκρασία της γεννήτριας και φυσικά από την αντίσταση που συναντά η γεννήτρια στα άκρα της. Εφαρμόζοντας μία από τις παραπάνω μεθόδους, στέλνει σήμα στον DC/DC μετατροπέα να ανυψώσει ή να μειώσει την τάση μέχρι να εντοπιστεί το σημείο μέγιστης ισχύος. Ανάλογα με την περίπτωση λοιπόν το συγκεκριμένο κύκλωμα λειτουργεί είτε ως μετατροπέας ανύψωσης είτε ως μετατροπέας υποβιβασμού τάσης.

Εναλλακτικές μορφές ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος χρησιμοποιούν κυκλώματα με μνήμη ώστε να συγκρίνουν τις τρέχουσες μετρούμενες τιμές ισχύος, τάσης, έντασης με προηγούμενες οπότε προσαρμόζουν ανάλογα τη στάθμη της τάσης που θα απορροφήσει ο αντιστροφέας. Το διάγραμμα ροής ενός απλού αλγορίθμου που συγκρίνει δύο διαδοχικές μετρήσεις της ισχύος φαίνεται στο σχήμα

Διάγραμμα ροής ενός απλού αλγορίθμου εύρεσης mppt.

Σύμφωνα με αυτό εισάγεται μια περιοδική διαταραχή της τάσης και ελέγχεται αν αυτή προκαλεί αύξηση ή μείωση της παραγόμενης ισχύος. Αν το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της ισχύος τότε

εισάγεται εκ νέου η ίδια διαταραχή (αν εισήχθηκε αύξηση της τάσης τότε εισάγεται και πάλι αύξηση και το αντίστοιχο αν είχε εισαχθεί μείωση) ενώ αν το αποτέλεσμα είναι η μείωση της ισχύος τότε εισάγεται η αντίθετη διαταραχή (αν εισήχθηκε αύξηση της τάσης τότε εισάγεται μείωση και το αντίστοιχο αν είχε εισαχθεί μείωση της τάσης). Ο παραπάνω αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο σημεία της καμπύλης ισχύος και ταλαντεύεται γύρω από το σημείο μέγιστης ισχύος. Το κύριο μειονέκτημά του είναι ότι εμφανίζει απώλειες ισχύος ιδίως στη περίπτωση που η ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει απότομα. Μια καλύτερη υλοποίηση μπορεί να προσφέρει ένας αλγόριθμος που εκμεταλλεύεται τρία σημεία της καμπύλης ισχύος.

5.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ DC/AC

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο για να μπορεί να διοχετεύει την ισχύ του σε αυτό, είναι απαραίτητο να μπορεί να μετατρέπει την συνεχή τάση εξόδου του σε εναλλασσόμενη με χαρακτηριστικά ίδια με αυτά του δικτύου, ώστε να μη δημιουργεί πρόβλημα στη λειτουργία του δικτύου και στη ποιότητα ισχύος που αυτό παρέχει. Την μετατροπή αυτή επιτυγχάνουμε μέσω του αντιστροφέα (Inverter) ή DC to AC Converter, η θέση του οποίου σε ένα σύστημα φαίνεται στο σχήμα .

Διάταξη Φ/Β συστήματος με αντιστροφέα.

Τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να επιτύχουμε στην έξοδο του αντιστροφέα είναι ημιτονοειδής ισχύς εξόδου σταθερού πλάτους, σταθερής συχνότητας και χωρίς απώλειες. Συνήθως για τη μετατροπή αυτή χρησιμοποιούμε ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος σαν διακόπτες όπως τρανζίστορ ή θυρίστορ και η γενική τοπολογία του κυκλώματος του αντιστροφέα φαίνεται στο σχήμα

Διάταξη μονοφασικού αντιστροφέα.

Τα ημιαγωγικά στοιχεία που χρησιμοποιούμε έχουν την ιδιότητα να άγουν ή όχι ανάλογα με το αν τους δίνεται παλμός έναυσης από κάποιο ανεξάρτητο λογικό κύκλωμα ενώ η σβέση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με παλμούς (τρανζίστορ) είτε κάτω από ειδικές συνθήκες όπου το ρεύμα που διαρρέει το διακόπτη μηδενίζεται για κάποιο χρονικό διάστημα (θυρίστορ). Τα στοιχεία αυτά ανοιγοκλείνουν ανά ομάδες (1,2) και (3,4) για χρόνο μιας ημιπεριόδου, με μια συχνότητα ίση με την διπλάσια της συχνότητας του δικτύου ($f=50\text{Hz}$) ή περίοδο $T=1/2f=0.01$ sec και παράγουν στην έξοδο της διάταξης μια τάση της μορφής του σχήματος:

Έξοδος μονοφασικού αντιστροφέα.

Το πηνίο στην είσοδο του αντιστροφέα χρειάζεται για να εξομαλύνει τις μεταβολές της τάσης που δημιουργούν οι διακόπτες, ενώ στην έξοδο υπάρχει συνήθως ένας μετασχηματιστής.

5.5 ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ

Η συχνότητα στην έξοδο του αντιστροφέα καθορίζεται από το ρυθμό έναυσης και σβέσης των διακοπτικών στοιχείων και επομένως δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης αυτής μέσω του κυκλώματος παλμοδότησης του αντιστροφέα. Ωστόσο η διακοπτική λειτουργία του αντιστροφέα έχει συνήθως ως αποτέλεσμα μη ημιτονοειδείς κυματομορφές ρεύματος και τάσης στην έξοδο του, που σημαίνει ύπαρξη ανώτερων αρμονικών. Το φιλτράρισμα των αρμονικών δεν είναι εύκολο, ειδικά στην περίπτωση όπου η συχνότητα των ανώτερων αρμονικών μεταβάλλεται και βρίσκεται κοντά στην

συχνότητα της βασικής αρμονικής της τάσης εξόδου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αύξηση του βάρους, όγκου και κόστους του αντιστροφέα. Συνεπώς η δημιουργία κυματομορφών με το μικρότερο δυνατό αρμονικό περιεχόμενο και αρμονικές που να εντοπίζονται σε όσο δυνατό υψηλότερες συχνότητες (για ευκολότερο και οικονομικότερο φιλτράρισμα) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους στόχους των κατασκευαστών αντιστροφέων. Ταυτόχρονα θα μπορούσαμε να πούμε ότι για τον παραπάνω λόγο θα μπορούσαμε να έχουμε αντιστροφείς με πολύ μεγάλο συντελεστή διαμόρφωσης συχνότητας. Όμως κάτι τέτοιο δεν γίνεται στην πράξη διότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα λειτουργίας του αντιστροφέα τόσο μεγαλύτερες είναι οι διακοπτικές του απώλειες. Συνεπώς πρέπει να βρεθεί ένας συμβιβασμός μεταξύ των διακοπτικών απωλειών στα διακοπτικά στοιχεία του αντιστροφέα και του όγκου- κόστους των φίλτρων που θα τοποθετήσουμε στην έξοδο του.

Αν γίνει ανάλυση κατά Fourier στην κυματομορφή εξόδου διαπιστώνεται ότι η βασική της αρμονική έχει συχνότητα F_{sin} και πλάτος ανάλογο του MA. Οι ανώτερες αρμονικές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ζώνες συχνοτήτων γύρω από τα ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας του φορέα F_r (ονομάζεται m_f στο σχήμα). Γενικά οι ανώτερες αρμονικές εμφανίζονται σε συχνότητες που ακολουθούν τη σχέση (5.12), όπως φαίνεται ενδεικτικά από το φάσμα αρμονικών στο σχήμα

$$\eta * F_r(+/-) \kappa * F_{sin} \quad (5.12)$$

όπου $\eta=1,2,3$ και $\kappa=1,3,5\dots$ Εάν η =άρτιος ή
 $\kappa=2,4,6\dots$ Εάν η =περιττός

Φάσμα αρμονικών τάσης εξόδου

αντιστροφέα.

Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα επιθυμούμε ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης (totalharmonicdistortion-THD) να είναι μικρότερος του 5% και η μεγαλύτερη αρμονική να είναι μικρότερη του 3% της βασικής αρμονικής.

5.6 Αυτόνομα συστήματα

Για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, όπου το ηλεκτρικό δίκτυο κατά μεγάλο μέρος περιορίζεται στις κύριες αστικές περιοχές και ένα σημαντικό ποσοστό του αγροτικού πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση στις πλέον βασικές ενεργειακές υπηρεσίες, τα Φ/Β σήμερα θεωρούνται ευρέως ως το καλύτερο και πιο οικονομικό μέσο παροχής ενός μεγάλου μέρους των στερούμενων υπηρεσιών. Με βάση τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για παροχή των βασικών ενεργειακών υπηρεσιών σε κάθε κάτοικο του αναπτυσσόμενου κόσμου, το αντίστοιχο δυναμικό των Φ/Β εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 16 GW_p (περίπου 15 W_p ανά κάτοικο).

Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ακόλουθες εφαρμογές :

- Συστήματα άντλησης για παροχή νερού σε χωριά, για άρδευση του εδάφους ή πότισμα εκτρεφόμενων ζώων.
- Συστήματα ψύξης ιδιαίτερα για τη συντήρηση εμβολίων, αίματος και άλλων αναλώσιμων ζωτικής σημασίας σε προγράμματα υγειονομικής περίθαλψης.
- Φωτισμός για κατοικίες και κοινοτικά κτίρια, όπως σχολεία και κέντρα υγείας, ώστε να επιτραπεί και μετά τη δύση του ηλίου η συνέχιση των εκπαιδευτικών και παραγωγικών δραστηριοτήτων.
- Σταθμοί φόρτισης μπαταριών: για την επαναφόρτιση των μπαταριών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών, από φακούς και ραδιόφωνα έως τηλεοράσεις και συστήματα φωτισμού.

- Ηλιακά συστήματα κατοικιών: για παροχή ενέργειας στον οικιακό φωτισμό και σε άλλες συσκευές ΣΡ, όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, ραπτομηχανές, κλπ.

5.6.1 Συνιστώσες και συντήρηση

Τα Φ/Β συστήματα είναι πολυσυναρτησιακά, το οποίο δεν σημαίνει μόνο εύκολη μεταφορά και γρήγορη εγκατάσταση, αλλά επιτρέπει επίσης την εύκολη επέκτασή τους εάν αυξηθούν οι απαιτήσεις ισχύος. Τα συστήματα για αυτόνομες εφαρμογές μπορεί να περιλαμβάνουν όλες ή μερικές από τις ακόλουθες βασικές συνιστώσες :

- Μία Φ/Β γεννήτρια (ένα μόνο πλαίσιο ή μία συστοιχία αρκετών πλαισίων) και ένα σύστημα υποστήριξης.
- Εξοπλισμό ρύθμισης της ισχύος (προαιρετικά - συνήθως περιέχονται μετατροπείς ΣΡ/ΕΡ και εξοπλισμός ελέγχου και προστασίας).
- Αποθήκευση ενέργειας (προαιρετικά - συνήθως παρέχεται από μπαταρίες).
- Καλωδιώσεις.
- Ένα φορτίο (π.χ. φωτιστικά, αντλίες, ψυγεία, ραδιόφωνο, τηλεόραση).

Σχηματική παράσταση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Ο εξοπλισμός ηλεκτροπαραγωγής των Φ/Β δεν διαθέτει κινούμενα μέρη, το οποίο γενικά περιορίζει τις απαιτήσεις για συντήρηση στο ελάχιστο και οδηγεί σε μακρούς χρόνους λειτουργίας. Καθαυτά τα πλαίσια συνήθως λειτουργούν για είκοσι περίπου έτη και οι απαιτήσεις τους περιορίζονται στον περιστασιακό καθαρισμό τους ώστε να αφαιρούνται οι επικαθίσεις ρύπων. Η πλειοψηφία των άλλων συνιστωσών, συχνά καλούμενες και εξοπλισμός εξισορρόπησης (ΒΟΣ), χρήζουν συντήρησης κάθε δέκα ή περισσότερα έτη, εάν ακολουθούνται απλά μέτρα προληπτικής συντήρησης.

Οι μπαταρίες που απαιτούνται συνήθως στις περισσότερες εκτός δικτύου εφαρμογές, εκτός από την άντληση ύδατος, αποτελούν την περίοδο αυτή το αδύνατο σημείο των Φ/Β συστημάτων και εν γένει χρειάζονται αντικατάσταση κάθε πέντε περίπου χρόνια.

Είναι σημαντικό οι μπαταρίες, αλλά και όλες οι συνιστώσες του συστήματος, να είναι αποδεκτής ποιότητας. Όπου έχουν αποτύχει κατά το παρελθόν τα Φ/Β συστήματα για τεχνικούς λόγους, αυτό γενικά οφειλόταν σε ελλιπή σχεδιασμό του συστήματος ή σε ανεπιτυχή επιλογή των συνιστωσών ΒΟΣ, παρά σε αστοχία ενός Φ/Β πλαισίου. Ως εκ τούτου, αξιολογες ερευνητικές προσπάθειες διεθνώς στοχεύουν αυτή τη στιγμή στη βελτίωση της απόδοσης των συνιστωσών ΒΟΣ.

5.6.2 Υβριδικά Φ/Β συστήματα

Αν και τα Φ/Β συστήματα γενικά διαθέτουν μέσα αποθήκευσης της ενέργειας για να καλύψουν μια καθορισμένη περίοδο ανεπαρκούς ηλιοφάνειας, μπορεί να υπάρξουν παρατεταμένες περιόδους κακοκαιρίας οπότε απαιτείται μια εναλλακτική πηγή ώστε να εξασφαλιστεί η παραγωγή ισχύος. Τα υβριδικά Φ/Β συστήματα συνδυάζουν μια Φ/Β γεννήτρια με μια άλλη πηγή ισχύος, συνήθως μια ντιζελογεννήτρια, ή και με κάποια άλλη ανανεώσιμη πηγή, πχ μια ανεμογεννήτρια. Η Φ/Β γεννήτρια διαστασιοποιείται συνήθως ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση φορτίου βάσης, ενώ η εναλλακτική παροχή τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν είναι αναγκαίο. Αυτή η ρύθμιση παρέχει όλα τα οφέλη των Φ/Β όσον αφορά το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, αλλά επιπλέον εξασφαλίζει μια εγγυημένη τροφοδοσία.

Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης. Δεν έχει νόημα να διαστασιοποιείται ένα σύστημα ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τη ζήτηση αποκλειστικά με Φ/Β εάν, για παράδειγμα, το κανονικό φορτίο είναι μόνο το 10% του μέγιστου. Αντίστοιχα, μια ντιζελογεννήτρια διαστασιοποιημένη έτσι ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση αιχμής θα λειτουργούσε υπό μερικό φορτίο μη αποδοτικά τον περισσότερο χρόνο. Σε μια τέτοια κατάσταση, ένα υβριδικό σύστημα Φ/Β-ντιζελ θα ήταν ο ιδανικός συνδυασμός.

5.6.3. Διασυνδεδεμένα συστήματα

Μια διαφορετική προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο διαφορετικούς τύπους συστημάτων:

- Οι αυτοπαραγωγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν για την ίδια κατανάλωσή τους μικρά διαδραστικά Φ/Β συστήματα. Το πλεόνασμα της ενέργειας τροφοδοτείται στο δίκτυο, ενώ σε περιόδους έλλειψης (π.χ. τη νύχτα) καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο.
- Στους εμπορικής κλίμακας κεντρικούς σταθμούς με πεδία Φ/Β συστοιχιών, τους οποίους διαχειρίζονται οι εταιρίες ηλεκτρισμού όπως και τις άλλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, όλη η παραγωγή ΣΡ του πεδίου των συστοιχιών, που γενικά είναι της τάξης των MW, μετατρέπεται σε ΕΡ και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, απ' όπου κατόπιν διανέμεται στους πελάτες.

Σ' ένα διασυνδεδεμένο σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μία μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος αφού, λαμβάνοντας υπόψη ότι πρακτικά δεν υπάρχει όριο στη ικανότητα αποθήκευσης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται, ενώ στις αυτόνομες εφαρμογές οι μπαταρίες θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένες οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αποβληθεί.

Σχηματική παράσταση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

5.6.4 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διακρίνουν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας , ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων Watt.
- Είναι εύχρηστα. Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες .
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών.
- Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία.
- Υψηλό κόστος επένδυσης.
- Τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων
- Υψηλή Αξιοπιστία – μεγάλη διάρκεια ζωής: Η αρχική τους κατασκευή ήταν για χρήση στο διάστημα όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές έως ακατόρθωτες. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες σήμερα τροφοδοτούν με ρεύμα σχεδόν όλους τους δορυφόρους.
- Μηδενικό κόστος λειτουργίας: Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες.
- Δεν απαιτείται συντήρηση: Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν απαιτούν κινούμενα μέρη έτσι δεν χρειάζονται καθόλου συντήρηση κατά την λειτουργία τους.
- Δεν μολύνουν το περιβάλλον: Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης δεν προκαλούν ηχορύπανση αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη. Επίσης κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο) συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.
- Ευελιξία: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά την νέα ζήτηση.
- Αυτονομία: Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη, όπου και να βρίσκεται αυτός είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων. Το κόστος των Φ/Β πλαισίων είναι σήμερα το μεγαλύτερο μειονέκτημα των Φ/Β συστημάτων. Όμως πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν σήμερα αρκετοί χρήστες για τους οποίους το Φ/Β σύστημα είναι η πλέον ενδεδειγμένη οικονομική λύση. Πρέπει να τονιστεί ότι η Φ/Β τεχνολογία, όπως άλλωστε και οι περισσότερες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που κάνουν δύσκολη τη σύγκριση της με τις συμβατικές τεχνολογίες, για παράδειγμα δεν υπάρχει σαφής τρόπος αποτίμησης του περιβαλλοντικού κόστους των συμβατικών τεχνολογιών. Το κόστος της ενέργειας από Φ/Β συστήματα εξαρτάται πάρα πολύ από το κόστος του χρήματος.

6.1 ΣΕΝΑΡΙΟ

Σκοπός της μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα έχει ονομαστική ισχύ περί τα 105.6kWp, στην Κω.

Θα αποτελείται από 480 φωτοβολταϊκά πλαίσια ονομαστικής ισχύος 220 W έκαστο. Τα πλαίσια συνδέονται ανά 16 και δημιουργούν ένα Φωτοβολταϊκή συστοιχεία. Θα εγκατασταθούν συνολικά 30 φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Οι συστοιχίες αυτές αφού συνδεθούν ανα δύο παράλληλα, καταλήγουν στους αντιστροφείς, που τροφοδοτούν με την σειρά τους μέσω καταλλήλων ηλεκτρικών πινάκων το δίκτυο. Ο κεντρικός πίνακας καθώς και οι λοιπές απαιτούμενες βοηθητικές διατάξεις θα στεγαστούν εντός οικίσκου ελέγχου.

Τρόπος Υπολογισμού Διάταξης Αυτονόμου Φ/β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για να υπολογιστεί η τοπογραφική διάταξη και η έκταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που θα καθορίσουν και την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Όπως φαίνεται και στο σχήμα τα κυρίαρχα μεγέθη που το καθορίζουν είναι ο προσανατολισμός και η κλίση των συλλεκτών, η μορφολογία του εδάφους και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας, που με τη σειρά τους καθορίζονται από την επιλογή πλαισίου, αντιστροφή και φυσικά την ισχύ της εγκατάστασης.

Τρόπος Υπολογισμού Διάταξης Αυτονόμου Φ/β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τρόπος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/β Πάρκου

Το ζητούμενο σε κάθε εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για να γίνει αυτό πρέπει να είναι κατανοητό από ποιούς παράγοντες εξαρτάται. Σε μία φ/β εγκατάσταση προφανώς τον πρωταρχικό ρόλο παίζει το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό της περιοχής. Έπειτα σημαντικότερη είναι η συνεισφορά της φ/β γεννήτριας στην καλή απόδοση του συστήματος. Επομένως λαμβάνονται υπόψη οι αποδόσεις των πλαισίων των αντιστροφέων, οι απώλειες των καλωδίων κτλ. Τέλος δεν πρέπει να παραληφθούν διάφοροι διορθωτικοί συντελεστές όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος και η ρύπανση.

Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας φ/β

6.2 Περιγραφή του περιβάλλοντος

Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία

Όσον αφορά τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του έργου παραθέτονται στοιχεία τα οποία πάρθηκαν από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό. Συγκεκριμένα, τα μετεωρολογικά στοιχεία για τις συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ηλιοφάνειας που επικρατούν στην περιοχή.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με ήπιους βροχερούς χειμώνες και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι. Οι ψυχρότεροι μήνες του έτους είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, ενώ οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η ξηροθερμική περίοδος ξεκινά από τα μέσα του Μαρτίου και διαρκεί περίπου μέχρι και τα μέσα Οκτωβρίου. Η μεγάλη ηλιοφάνεια είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος της περιοχής και είναι αυτό το χαρακτηριστικό το οποίο αξιοποιείται από το προτεινόμενο έργο.

Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το υψόμετρο του χώρου εγκατάστασης του προτεινόμενου Φ/Β Πάρκου είναι περίπου 180 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Γενικά το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής είναι επίπεδο με κλίσεις που δεν ξεπερνούν το 1 %. Η περιοχή σε ακτίνα 3 - 4 χιλιομέτρων γύρω από τον χώρο εγκατάστασης του προτεινόμενου Φ/Β Πάρκου είναι επίπεδη χωρίς κανένα άλλο ιδιαίτερο μορφολογικό χαρακτηριστικό.

6.3 Ηλιακό δυναμικό για την Κω

Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία περιοχής σύμφωνα με τα δεδομένα της PVGIS

Location: 36°53'27" North, 27°17'4" East, Elevation: 12 m a.s.l,
Nearest city: Kos, Greece (1413963 km away)

Nominal power of the PV system: 105.6 kW (crystalline silicon)

Inclination of modules: 30.0°

Orientation (azimuth) of modules: 0.0°

Estimated losses due to temperature: 9.7% (using local ambient temperature data)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%

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

Combined PV system losses: 26.3%

Αυτό το γράφημα και πίνακας δείχνουν το (κατ'εκτίμηση) το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούμε να περιμένετε κάθε μήνα από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με τις ιδιότητες που εισάγαμε (χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό). Δείχνει επίσης την αναμενόμενη μέση ημερήσια και ετήσια παραγωγή

Αυτό το διάγραμμα δείχνει τη δύναμη 2-αξόνων

Αυτό το διάγραμμα δείχνει τη μηνιαία ακτινοβολία στο επίπεδο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Για λόγους αρτιότερης προσέγγισης της πραγματικά παραγόμενης ισχύος δεχόμαστε ότι ορθότερη ανάλυση είναι αυτή που μας δίνει την μικρότερη ισχύ οπότε καταλήγουμε ότι η ετήσια παραγωγική δυνατότητα του παρόντος συστήματος είναι: **KWh/έτος**

Στόχος είναι η εύρεση της βέλτιστης κλίσης των φ/β συστοιχιών ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε ετήσια βάση με μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Τελικά επιλέγεται η εκδοχή των αμετακίνητων στηριγμάτων σε γωνία 30° για όλη την διάρκεια του έτους

H_h : ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (Wh/m²/day)

H_{opt} : ακτινοβολία σε επίπεδο με ιδανική κλίση (Wh/m²/day)

$H(30)$: ακτινοβολία σε επίπεδο με ιδανική κλίση 30deg. (Wh/m²/day)

I_{opt} : ιδανική κλίση

T_D : μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C)

Ακόμα παραθέτονται τα παρακάτω γραφήματα για την ευκολότερη παρατήρηση του ηλιακού δυναμικού στην K_w

6.4 Προδιαγραφές Έργου

6.4.1 Γενικά στοιχεία έργου-φορτία

Το Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) Πάρκο, ισχύος 105.6 KWp, θα αποτελείται από παράλληλες Φωτοβολταϊκές Συστοιχίες τοποθετημένες σε βάσεις και με σταθερή κλίση προς νότο. Ειδικότερα, το προτεινόμενο Φ/Β Πάρκο θα αποτελείται από 480 Φ/Β Πλαίσια ομαδοποιημένα σε 30 Φ/Β Συστοιχίες από 16 Φ/Β Πλαίσια

Η εγκατεστημένη ισχύς του κάθε Φ/Β Πλαισίου είναι
220 Wp

Και η ολική εγκατεστημένη ισχύς του Φ/Β Πάρκου είναι
480 x 220 Wp ή 105.6 KWp

Οι Φ/Β Συστοιχίες θα είναι συνδεδεμένες με Μετατροπείς Τάσης ή Αντιστροφείς Τάσης DC/AC (Inverters) και διαμέσου ηλεκτρολογικών πινάκων θα καταλήγουν στο Μετρητή και απ' εκεί στο δίκτυο χαμηλής τάσης της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ).

Οι ηλεκτρολογικοί πίνακες ηλεκτρικής ενέργειας και τα όργανα ένδειξης θα στεγάζονται μέσα σε ειδικά κατασκευασμένο δωμάτιο.

Για την αποφυγή οποιασδήποτε σκίασης από την γεινιάζουσα οικία ή άλλα εμπόδια στην τοποθέτηση των Φ/Β Πλαισίων λαμβάνεται υπόψη ο πρακτικός κανόνας «η απόσταση των Φ/Β

Πλαισίων από πιθανό εμπόδιο (στην ακτινοβολία του ήλιου) να είναι τουλάχιστο διπλάσια του ύψος του εμποδίου»

Η χρονική περίοδος

Είναι φανερό ότι το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα σε όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες των μονίμων και των προσωρινών κατοίκων του οικισμού, να αποφεύγονται οι ζημιές στην αλιευτική, κτηνοτροφική και γεωργική παραγωγή και να εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία του αναμεταδότη.

Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

α. Κατοικίες

Θεωρούμε ότι η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση, ανά κατοικία, είναι 4kWh. Η τιμή αυτή μπορεί να αιτιολογηθεί θεωρώντας πως μια μέση οικογένεια αγροτών, ψαράδων ή κτηνοτρόφων, ανεξάρτητα από το ύψος του εισοδήματός της, έχει τη μισή κατανάλωση σε σχέση με μια αστική οικογένεια, που έχει συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια νυχτερινής δραστηριότητας και χρησιμοποιεί περισσότερο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Ως προς τις καταναλώσεις, ισχύει επίσης η προϋπόθεση ότι δεν θα χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια για το μαγείρεμα, τη θέρμανση νερού και τη θέρμανση χώρων.

β. Κοινοτικός Φωτισμός

Θεωρούμε ότι οι 20 λάμπες των 50W του κοινοτικού φωτισμού, συνολικής ισχύος $20 \times 50W = 1000W = 1kW$, θα λειτουργούν επί 14 ώρες τις νύχτες του χειμώνα και επί 10 ώρες τις νύχτες του καλοκαιριού.

γ. Αντλίες

Θεωρούμε ότι οι 2 ηλεκτρικές αντλίες νερού, συνολικής ισχύος $2 \times 2,5kW = 5kW$, θα λειτουργούν 2 ώρες τις ημέρες του χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι, λόγω των μεγαλύτερων καταναλώσεων νερού από τον αυξημένο πληθυσμό και τα ποτίσματα στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, θα λειτουργούν 12 ώρες την ημέρα.

δ. Ψυκτική Εγκατάσταση

Θεωρούμε ότι για τη διατήρηση της ψύξης του ψυκτικού θαλάμου (και για την ενδεχόμενη ψύξη των φ/β γεννητριών), τα μηχανήματα ισχύος 5kW θα λειτουργούν το 10% του χρόνου (24ώρου) τους χειμερινούς μήνες και το 50% τους θερινούς.

ε. Αναμεταδότης

Θεωρούμε ότι η ενίσχυση και αναμετάδοση των τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων με απορρόφηση ισχύος 0,25kW θα γίνεται στη διάρκεια ολόκληρου του 24ώρου, των ραδιοφωνικών προγραμμάτων FM με απορρόφηση ισχύος 0,5kW επί 16 ώρες την ημέρα και των τηλεοπτικών με απορρόφηση ισχύος 0,75kW επί 8 ώρες την ημέρα.

Οι εκτιμήσεις των παραπάνω ημερήσιων χειμερινών και θερινών καταναλώσεων έχουν μεταφερθεί στον παρακάτω πίνακα όπου και αθροίστηκαν, βρίσκοντας έτσι τη συνολική μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση για τον χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Κατανάλωση	Χειμώνας	Καλοκαίρι
α. Κατοικίες	13 x 4kWh = 52kWh	26 x 4kWh = 104kWh
β. Κοινοτικός φωτισμός	14h x 1kW = 14kWh	10h x 1kW = 10kWh
γ. Αντλίες	2h x 5kW = 10kWh	12h x 5kW = 60kWh
δ. Ψυκτική Εγκατάσταση	0,1 x 24h x 5kW = 12kWh	0,5 x 24h x 5kW = 60kWh
ε. Αναμεταδότης	24h x 0,25kW+16h x 0,5kW+	24h x 0,25kW+16h x 0,5kW+
	8h x 0,75kW = 20kWh	8h x 0,75kW = 20kWh
Σύνολο	108kWh	254kWh

Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος που πρέπει να προσδιορίσουμε για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να απαιτηθεί από το σύστημά μας. Για την εκτίμηση της μέγιστης ισχύος, όπως και για την κατανάλωση, θεωρούμε ότι οι αγροτικές κατοικίες έχουν ηλεκτρικό εξοπλισμό με τη μισή ισχύ σε σχέση με της αστικής κατοικίας, δηλαδή συνολική ισχύ 3,75kW. Χωρίς να έχει ληφθεί υπόψη ο ετεροχρονισμός των φορτίων, στον πίνακα που ακολουθεί έχουμε συγκεντρώσει και αθροίσει τις επιμέρους ισχύεις βρίσκοντας έτσι τη συνολική μέγιστη ισχύ.

Κατανάλωση	Μέγιστη Ισχύς
α. Κατοικίες	26 x 3,75kW = 97.5kW
β. Κοινοτικός Φωτισμός	20 x 0,05kW = 1,0kW
γ. Αντλίες	2 x 2,5kW = 5kW

δ. Ψυκτική Εγκατάσταση	5,0kW
ε. Αναμεταδότης	1,5kW
Σύνολο	110kW

Από τα παραπάνω προκύπτει συνολική μέγιστη ισχύς 110kW. Προτεραιότητα θεωρείται ότι έχει ο αναμεταδότης, διότι εξυπηρετεί την ευρύτερη θαλάσσια και νησιωτική περιοχή, και ακολουθούν κατά σειρά η ψυκτική εγκατάσταση, οι κατοικίες, οι αντλίες και ο κοινοτικός φωτισμός. Λόγω της χαμηλής προτεραιότητας των αντλιών, υποτίθεται ότι θα γίνει ενημέρωση των κατοίκων ώστε να διατηρούν σε δεξαμενές την αναγκαία ποσότητα νερού της ημερήσιας κατανάλωσης.

6.4.2 Μπαταρίες

Δίνεται ότι οι συσσωρευτές του συστήματος είναι ονομαστικής τάσης 12 V. Το βάθος εκφόρτισης τους είναι $\beta=60\%$ και ο μέσος συντελεστής απόδοσής τους είναι $\alpha=80\%$. Θα πρέπει επίσης να αποθηκεύουν επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις μέσες καταναλώσεις τουλάχιστον 4 διαδοχικών θερινών ημερών μιας και τότε έχει τις μεγαλύτερες καταναλώσεις. Δηλαδή δυνατότητα αποθήκευσης $E = 4 \times 254 = 1016 \text{ kWh}$.

Υπολογίζουμε την ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών σύμφωνα με τη σχέση:

Στη συνέχεια, βρίσκουμε ότι η ισχύς που μπορούν να δίνουν οι συσσωρευτές μας επί το παραπάνω μέγιστο διάστημα των 4 διαδοχικών ημερών, δίνεται από τον τύπο που ακολουθεί:

Σύμφωνα με τον πίνακα φορτίων, σε περίπτωση ταυτόχρονης ζήτησης, η διαθέσιμη ισχύς των 13,04kW επαρκεί για την τροφοδότηση του αναμεταδότη και της ψυκτικής εγκατάστασης, που χαρακτηρίστηκαν ως καταναλώσεις πρώτης προτεραιότητας.

6.4.3 Γεννήτρια Diesel

Το σύστημα διαθέτει επίσης μια γεννήτρια diesel 45Kw CATERPILLAR GEP 44-5 ώστε να λειτουργεί συμπληρωματικά με τις μπαταρίες όταν πεφτει ο ηλιος για τις ανάγκες των καταναλωτων ή για να φορτιζει τις μπαταρίες ή τις μέρες με παρατεταμένη συννεφιά ή όταν υπάρχει βλάβη στο σύστημα.

Στα σχήματα που ακλουθούν φαίνεται η σύνδεση του κεντρικού πινάκα με τους αντιστροφείς , μπαταρίες , γεννήτρια και τους καταναλωτές

Οι μπαταρίες συνδέονται στον πινάκα μέσω του **SUNNY ISLAND 5048** ο οποίος διαχειρίζεται την φορτίσει των μπαταριων και ριθμιζει την ταση προς καταναλωση όταν λειτουργουν οι μπαταριες

6.5 Φωτοβολταϊκές συστοιχίες

Για την επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου υπάρχουν αρκετοι παραμετροι.Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες έγινε η επιλογή των πλαισίων ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοσή τους και φυσικά το κόστος.

Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών γεννητριών είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξεως του 10-15% ακριβότερες. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τις πολυκρυσταλλικές. Όμως εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους.

Τα Φ/Β πλαίσια θα τοποθετηθούν επί μεταλλικών προκατασκευασμένων τυποποιημένων βάσεων της γερμανικής εταιρείας τα Schott Solar Poly 220 . Οι εν λόγω μεταλλικές κατασκευές είναι ειδικά σχεδιασμένες για Φ/Β πάρκα ανάλογης κλίμακας και δοκιμασμένες σε αρκετά Φ/Β έργα στην Ευρώπη. Οι βάσεις αυτές είναι ρυθμιζόμενες, έχουν εύκολη πρόσβαση για συντήρηση από το έδαφος, σχετικά μεγάλη ζωή και γρήγορη εγκατάσταση. Η αζιμουθιακή γωνία τοποθέτησης των βάσεων στο χώρο εγκατάστασης του Φ/Β Πάρκου θα είναι 0 ως προς τον Νότο και η σταθερή γωνία στήριξη των Φ/Β Πλαισίων θα είναι περίπου 30 ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η επιλογή του παραπάνω προσανατολισμού, γίνεται προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση των Φ/Β Συστοιχιών στην τοποθεσία που πρόκειται να εγκατασταθούν.

Το ύψος τοποθέτησης των Φ/Β Συστοιχιών στις βάσεις, θα είναι περίπου 30 – 50 εκατοστόμετρα πάνω από το έδαφος, προκειμένου να δίδεται διέξοδος διαφυγής στα ρεύματα ανέμου που θα προσβάλλουν τις Φ/Β Συστοιχίες από την μια, και από την άλλη να είναι εύκολη η συντήρηση και καθαρισμός των Φ/Β Πλαισίων από το έδαφος καθώς επίσης να επιτρέπεται η ανάπτυξη χαμηλής βλάστησης για περιβαλλοντικούς λόγους.

Κάθε Φ/Β Συστοιχία θα είναι τοποθετημένη σε μεταλλική βάση στήριξης η οποία 6 πασσάλους. Το Φ/Β πάρκο θα αποτελείται από 90 τέτοιες βάσεις.

Οι βάσεις θα είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο και εν θερμώ γαλβανισμένο χάλυβα ώστε να επιτυγχάνεται η αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες για τον σχετικά μεγάλο χρονικό ορίζοντα ζωής του έργου.

Η εγκατάσταση των βάσεων στο έδαφος θα γίνει σε σχετικά πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και με μηχανοποιημένο τρόπο. Προς το σκοπό αυτό θα γίνει χρήση ειδικού μηχανήματος το οποίο καρφώνει πασσάλους στο έδαφος.

Φωτογραφίες βάσεων στήριξης δείχνονται παρακάτω

Σχέδιο γενικής κάτοψης του προτεινόμενου Φ/Β Πάρκου δείχνεται παρακάτω

Τα Φ/Β Πλαίσια των Φ/Β Συστοιχιών είναι τύπου Schott Solar Poly 220 της γερμανικής εταιρείας , αποτελούνται από μονοκρυσταλλικές κυψέλες και είναι εξοπλισμένα με σύνδεση που διαθέτουν προστατευόμενα σημεία επαφής και ασφάλεια πολικότητας για εύκολη ηλεκτρική διασύνδεση του συστήματος. Κάθε Φ/Β Πλαίσιο είναι ονομαστικής ισχύος 220 Wp.

Τα βασικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά των Φ/Β Πλαισίων που έχουν επιλεχθεί για το συγκεκριμένο έργο παραθέτονται

Τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/Β Πλαισίου Schott Solar Poly 220

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τύπους φ/β πλαισίων.

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή του φ/β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Ακόμα οι διατάξεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του, ρόλο κλειδί έχουν τα μεγέθη της τάσης και έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνυφασμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

6.6 Μετατροπείς τάσης

Οι Μετατροπείς Τάσης ή Αντιστροφείς Τάσης DC/AC (Inverters) που θα χρησιμοποιηθούν στο προτεινόμενο Φ/Β Πάρκο θα είναι τριφασικοί, τύπου Mini Central 700TL και 7000HV, κατασκευής της γερμανικής εταιρείας SMA Solar Technology AG . Απεικόνιση τυπικού μετατροπέα τάσης δείχνεται παρακάτω

Μετατροπέας Τάσης

Οι Μετατροπείς Τάσης θα διαθέτουν όλες τις αναγκαίες διατάξεις προστασίας έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η κυκλοφορία ρεύματος μεταξύ των Φ/Β Συστοιχιών σε περίπτωση που παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές τάσης

Η επιλογή των αντιστροφέων είναι το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης. Αν η προσέγγιση γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε αναμφισβήτητα θα καταλήξουμε στην επιλογή αντιστροφέων μεγάλης ισχύος, γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του φ/β συστήματος μικρή.

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική ισχύς εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να ταυτίζεται σε καμία περίπτωση με την ισχύ αιχμής των φ/β πλαισίων στην είσοδό του. Μια τέτοια επιλογή θα ήταν λανθασμένη, καθώς τα φ/β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής τους υπό ιδανικές συνθήκες, οι οποίες δεν συναντώνται στην πράξη και αν συμβεί ποτέ αυτό διαρκεί για ένα πολύ μικρό διάστημα. Επιπλέον και οι εταιρίες, οι οποίες παράγουν αντιστροφείς προτείνουν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν επιλεγεί μικρότερη τιμή, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα μη αποδοτική χρήση των αντιστροφέων και ακόμα

μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνται περισσότεροι αντιστροφείς για την υλοποίηση της ίδιας φ/β εγκατάστασης.

Κόστος αντιστροφών σε σχέση με την μέγιστη ισχύ εξόδου. Οι τιμές αφορούν αντιστροφείς της εταιρίας SMA (σειρές Sunny Boy και Sunny MiniCentral) και προέκυψαν από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο. Σκοπός είναι να φανεί ότι το κόστος ανά Watt μειώνεται με την αύξηση της ισχύος του αντιστροφέα.

Η ισχύς του αντιστροφέα πρέπει να συμβιβάζει πολλούς παραμέτρους. Για το συγκεκριμένο φ/β πάρκο εξετάστηκαν τα προϊόντα μιας εκ των μεγαλύτερων εταιριών στον χώρο, της SMA. Η εταιρία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στο χώρο των αντιστροφών για φ/β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία όσον αφορά την αξιοπιστία και την απόδοση.

Η προσέγγιση που ακολουθείται για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα έχει πρώτα από όλα να κάνει με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συμβιβάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Θεωρούμε ότι όλοι οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν είναι όμοιοι, γεγονός που εξασφαλίζει ότι και τα string των φ/β πλαισίων, καθώς και οι συστοιχίες θα προκύψουν ίδιες. Αυτό θα έχει με τη σειρά του σαν αποτέλεσμα να απλοποιηθεί η τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης και να γίνει ευκολότερη η κυκλωματική σύνδεση. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 100kWp, η ισχύς των αντιστροφών πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των εν λόγω Μετατροπέων Τάσης παρουσιάζονται παρακάτω

SUNNY MINI CENTRAL της εταιρίας SMA.

Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του Μετατροπέα Τάσης 7000HV

Μέγιστος βαθμός απόδοσης 98 % και μια ευνοϊκή ειδική τιμή ισχύος: οι **Sunny Mini Central** 6000TL, 7000TL και 8000TL χωρίς μετασχηματιστή παρέχουν στους φορείς αξιοποίησης του φωτοβολταϊκού συστήματος, υψηλή απόδοση. Με τους μετατροπείς **Sunny Mini Central** χωρίς μετασχηματιστή, ο σχεδιασμός μεγάλων εγκαταστάσεων από 18 kWp έως κλίμακας Megawatt απλοποιείται ακόμα περισσότερο. Οι λεπτομερώς διαβαθμισμένες κατηγορίες απόδοσης ενδείκνυνται για τον ακριβή σχεδιασμό μεγάλων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Χάρη στην ευελιξία κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης και την καλύτερη σχέση τιμής-απόδοσης, οι αποτελούν τους ιδανικούς μετατροπείς για τις μεσαίες και μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

6.7 Συνδυασμός πλαισίου αντιστροφεία

Η κάθε συστοιχία του φ/β πάρκου αποτελείται από 32 φ/β πλαίσια , με την συνδεολογία τους όπως στο σχήμα. Για την επιλογή της κυκλωματικής διάταξης έγινε έλεγχος του συνδυασμού των φ/β πλαισίων αντιστροφεία . Συγκεκριμένα : (πληροφορίες από το πρόγραμμα SMC)

6.7.2 Προσομοίωση με το λογισμικό PVSYST

Το λογισμικό PVSYST, είναι ένα, από τα πιο αξιόλογα και αξιόπιστα, σύγχρονα λογισμικά διαστασιολόγησης και μελέτης. Πρόκειται για ένα λογισμικό το οποίο είναι ικανό για τη μελέτη, τον υπολογισμό, την προσομοίωση και την ανάλυση των δεδομένων για ολοκληρωμένα συστήματα PV. Αυτό το λογισμικό είναι προσαρμοσμένο για διάφορες επιστημονικές ομάδες όπως, αρχιτέκτονες, μηχανικούς, ηλεκτρολόγους και ερευνητές. Περιλαμβάνει ένα εκτεταμένο πρόγραμμα εξειδικευμένης βοήθειας, το οποίο εξηγεί λεπτομερώς τις διαδικασίες και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν. Προσφέρει μια εργονομική προσέγγιση, με ένα "Green Line" οδηγό, και αναλύει πολλά επίπεδα του έργου.

Το PVSYST, δημιουργήθηκε μετά από τις απαιτήσεις των χρηστών για εξειδικευμένες ανάγκες μοντελοποίησης παραμέτρων, όπως συστήματα διαχείρισης ενέργειας, υπολογισμού αναγκών, και προσομοίωσης δικτύου. Το PVSYST έχει την δυνατότητα, να υπολογίσει, τις απώλειες φορτίου, και μπορεί να εκτελεί μια προκαταρκτική αξιολόγηση της παραγωγικότητας, και της δυναμικής του φωτοβολταϊκού συστήματος. Πρόκειται για λογισμικό, το οποίο ασκεί λεπτομερή προσομοίωση των ωριαίων/μηνιαίων/ετήσιων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας επίσης, παράγει μια πλήρη εκτυπώσιμη έκθεση με όλες τις παραμέτρους και τα κύρια αποτελέσματα

Ανάλυση και επεξήγηση

Ξεκινώντας το interface , του προγράμματος αρχικά, μας δίνει την επιλογή του φωτοβολταϊκού συστήματος που επιθυμούμε να εγκαταστήσουμε, μεταξύ αυτόνομων και διασυνδεδεμένων συστημάτων και στην συνέχεια το δικαίωμα της επιλογής ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό εκβάθυνσης της μελέτης. Οι επιλογές σε αυτό το επίπεδο είναι δύο , για τις οποίες ο χρήστης καλείται να επιλέξει μεταξύ πρώιμης μελέτης επιδερμικού χαρακτήρα, και ενεργειακής μελέτη πραγματικών συνθηκών (σχεδιασμός έργου).

Η επιλογή του Project design που χρησιμοποιούμε μας παρέχει τη δυνατότητα να προσομοιώσουμε με αρκετά μεγάλη ακρίβεια το έργο μας. Μπορούμε να υπολογίσουμε πόση ενέργεια θα παράγεται από τα Φ/Β πλαίσια σύμφωνα με τα ακριβέστερα στατιστικά μοντέλα για την περιοχή της εγκατάστασης, να λάβουμε υπ' όψη τον πολύ σημαντικό παράγοντα της σκίασης

μέσω εργαλείων τρισδιάστατης σχεδίασης και να κάνουμε ακριβή οικονομική αξιολόγηση για το έργο, λαμβάνοντας υπ' όψη πληθώρα οικονομικών παραγόντων.

Αφού επιλέξουμε, για το, σύστημα ενδιαφέροντος, των 105.6 kWp , τις επιλογές «Project design» και « Grid connected» , ακολουθεί το κεντρικό interface, το οποίο λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ των υπολογιστικών φύλλων , που μελετούν , την διαστασιολόγηση, με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους.

(Project) Η γεωγραφική θέση του έργου και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής.

(Orientation) Προσανατολισμός του συστήματος ως προς, το αζιμούθιο και την κλίση ως προς τον οριζόντιο επίπεδο.

(Horizon) Σχηματική απεικόνιση του ορίζοντα από την γεωγραφική θέση του συστήματος.

(Near shading) Κοντινές σκιάσεις. Πρόκειται για υπολογιστικό και σχεδιαστικό φύλλο εργασιών στο οποίο , μπορεί να συγκριθεί η σχηματική απεικόνιση του ορίζοντα με την σχεδίαση του μοντέλου 3D, από τον μελετητή, που περιγράφει τις σκιάσεις.

(System) Διαστασιολόγηση του συστήματος.

(Simulation) Προσομοίωση του συστήματος.

Στην επόμενη απεικόνιση ο χρήστης προσθέτει τα στοιχεία του έργου καθώς επίσης και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής, είτε από την βάση δεδομένων του προγράμματος είτε από κάποια ιστοσελίδα επιστημονικώς αποδεκτή. Εμείς έχουμε επιλέξει τα μετεωρολογικά στοιχεία που αφορούν την Κω.

Στην επόμενη του απεικόνιση, PVSYST ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, επί μέρους χαρακτηριστικά του συστήματος. Στο σύστημα ενδιαφέροντος επιλέγονται τα ακόλουθα.

- Είδος βάσης στήριξης του συστήματος - (σταθερές)
- Γωνία κλίσης ως προς το επίπεδο και το αζιμούθιο.

Επίσης από την επόμενη απεικόνιση, λαμβάνουμε, σύμφωνα με τις πρώτες επιλογές του συστήματος ενδιαφέροντος τις ακόλουθες πληροφορίες,

- Οι απώλειες της απόδοσης του συστήματος ως προς την βέλτιστη γωνία κλίσης είναι 9,7 %
- Ο Συντελεστής μεταφοράς ισούται με 1
- Την τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά m^2

Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνουμε το επίπεδο του ορίζοντα του συστήματος. Για τον οποίο μπορούν να τοποθετηθούν με ακρίβεια φυσικά εμπόδια τα οποία μπορούν να προκύπτουν και από την γεωγραφική θέση και γεωμορφία του συστήματος. Στο σύστημα ενδιαφέροντος δεν γίνεται κάποια παρέμβαση στον συγκεκριμένο υπολογιστικό φύλο μοντελοποίησης λόγω του ότι δεν υπάρχει ορατό εμπόδιο

Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί με βάση, τις πραγματικές συνθήκες, συνθήκες ακρίβειας, η χωροθέτηση του συστήματος και η τοποθέτηση εμποδίων στον χώρο. Κατόπιν να γίνει η σύγκριση μεταξύ του τρισδιάστατου μοντέλου και των αποτελεσμάτων της προηγούμενης απεικόνισης. Στο σύστημα ενδιαφέροντος δεν επιλέγεται κανένα εμπόδιο.

Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνεται η δυνατότητα επιλογής του εξοπλισμού και τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται και οι επιλογές για το σύστημα ενδιαφέροντος που αναλύονται ως εξής,

- Ισχύς συστήματος
- Τύπος πλαισίου
- Τύπο αντιστροφέα
- Σχεδιασμός διάταξης.

Από τα ανωτέρω οι βασικές ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες που προκύπτουν είναι οι ακόλουθες,

- Πρόκειται για ένα string, των 30 πλαισίων
- Ο Inverter, είναι ελάχιστα υπερ-διαστασιολογημένος
- Το σύστημα με την εισαγωγή του αντιστροφέα έχει τιμή ισχύος 93.6 kWp στο AC
- Το εμβαδόν της διάταξης είναι 803 m²
- Εναρμόνιση Inverter - πλαισίων, των χαρακτηριστικών που επιλέχθηκαν
- Η τάση Vmp, ισούται με 24.8 V.

Στην επόμενη απεικόνιση επιβεβαιώνονται από τον χρήστη, τα στοιχεία του συστήματος και προσομοιώνεται το σύστημα.

Στην επόμενη απεικόνιση διαφαίνονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης και τα γενικά και ειδικά ποσοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος ενδιαφέροντος αναφορικά με τις παραγόμενες kWh, σε ετήσιες και ημερήσιες τιμές. Καθώς επίσης και το σχετικό γράφημα που περιγράφει την ποσοτική έγχυση στο δίκτυο της παραγόμενης ισχύος συναρτήσει της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος ενδιαφέροντος ανέρχεται σε 163 MWh ετησίως, και αφορά μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος

6.8 Καλωδιώσεις και ηλεκτρολογικοί πίνακες

Οι διατομές των καλωδίων θα είναι κατάλληλα επιλεγμένες ώστε οι ωμικές απώλειες λόγω αντίστασης να είναι πολύ περιορισμένες. Στους ηλεκτρολογικούς πίνακες χαμηλής τάσεως θα υπάρχει πρόνοια για την

τροφοδότηση φωτισμού και ρευματοδοτών γενικής χρήσης. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης θα είναι βαθμού προστασίας IP65.

Όλες οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις θα γίνουν σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και όπου αυτοί δεν υπάρχουν σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα IEC, VDE και DIN.

Καλώδια
Το εσωτερικό δίκτυο Μ.Τ. του φωτοβολταϊκού σταθμού θα υλοποιηθεί με την εγκατάσταση τριφασικού συστήματος υπόγειων καλωδίων διατομής 120mm² Cu για τους αγωγούς φάσεων, με αγωγό γης ή συγκεντρικά περιπλεγμένα συρματίδια Cu, μονώσεως XLPE με εξωτερικό μανδύα PVC, κατασκευασμένο σύμφωνα με την Τεχνική Περιγραφή ΔΜΚΛΔ-182/15.11.94. Η εγκατάσταση του καλωδίου θα γίνει σύμφωνα με τις διατάξεις U της ΔΕΗ. Τα καλώδια των φωτοβολταϊκών συστοιχιών θα πληρούν τις προδιαγραφές του κατασκευαστή για την χαμηλή τάση αυτών (συνεχής τάση)

6.9 Σύστημα τηλεμετρίας και ελέγχου

Για τον αποτελεσματικό έλεγχο της λειτουργίας του Φ/Β Πάρκου προβλέπεται η εγκατάσταση συστήματος Τηλεμετρίας και Ελέγχου. Το σύστημα αυτό θα ελέγχει:

- Την θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- Την θερμοκρασία των Φ/Β Πλαισίων
- Την ολική ακτινοβολία
- Την παραγόμενη ενέργεια συνεχούς ρεύματος, η οποία θα εισέρχεται στους Μετατροπείς Τάσης
- Την ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος που θα εξέρχεται από τους Μετατροπείς Τάσης
- Την ολική παραγόμενη ενέργεια

Τα δεδομένα τα οποία θα καταγράφονται θα αποστέλλονται μέσω modem σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση και αποθήκευση.

6.10 Εξοπλισμός προστασίας

6.10.1 Γείωση

Στις συνήθεις κτιριακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις διακρίνει κανείς τρεις κατηγορίες γειώσεων:

1. Γείωση λειτουργίας. Ονομάζεται η γείωση που γίνεται για λειτουργικούς λόγους (π.χ. γείωση του κόμβου του μετασχηματιστή). Αυτή διακρίνεται σε:

•Άμεση, εφόσον δεν περιλαμβάνει άλλη αντίσταση πλην της αντίστασης γείωσης.

•Έμμεση, εφόσον εκτός από την αντίσταση γείωσης περιλαμβάνει και ωμικές, επαγωγικές και χωρητικές αντιστάσεις.

2. Γείωση προστασίας. Ονομάζεται η αγωγίμη σύνδεση των μεταλλικών μερών μιας εγκατάστασης, που δεν ανήκουν στο κύκλωμα λειτουργίας, και εξασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων που μπορεί να έρθουν σε επαφή με αυτά.

3. Γείωση ασφαλείας ή αντικεραυνικής προστασίας. Η γείωση ασφαλείας χρησιμεύει για την ασφάλεια των παρευρισκόμενων στο περιβάλλον που έχει κατασκευαστεί. Ενδεικτικά παραδείγματα του είδους αυτού είναι οι γειώσεις των αλεξικέραυνων, οι γειώσεις των αντιστατικών δαπέδων των χώρων επείγουσας

ιατρικής και των χώρων με μηχανήματα προηγμένης τεχνολογίας.

Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι παρακάτω:

- Η ουδετέρωση, δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση με τον ουδέτερο αγωγό ή άλλο γειωμένο αγωγό φάσης δικτύου.
- Η άμεση γείωση, με απευθείας αγώγιμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης το οποίο μπορεί να είναι μια πλάκα γείωσης, ένα ηλεκτρόδιο, ένα τρίγωνο κλπ.
- Η γείωση μέσω διακόπτη διαφυγής, για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης. Υπάρχουν δυο ειδών διακόπτες διαφυγής, τάσης (ΔΔΤ) και έντασης (ΔΔΕ). Ο διακόπτης διαφυγής τάσης παρακολουθεί την τάση ως προς γη των μεταλλικών περιβλημάτων όπου είναι συνδεδεμένος και αν αυτή υπερβεί τα 50 V τότε αποσυνδέει το κύκλωμα. Το γειωμένο άκρο του ΔΔΤ συνδέεται με ιδιαίτερο ηλεκτρόδιο γείωσης. Ο διακόπτης διαφυγής έντασης παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη. Αν αυτό υπερβεί μία τιμή, συνήθως 30 mA, τότε αποξεύει το κύκλωμα. Σε αντιδιαστολή με τους ΔΔΤ, έχουμε εδώ και μία προστασία κατά της πυρκαγιάς, γιατί περιορίζεται άμεσα το ρεύμα διαρροής προς γη.

Για την εγκατάσταση που μελετάται επιλέγεται ο συνδυασμός άμεσης θεμελιακής γείωσης με διακόπτες διαφυγής έντασης. Η θεμελιακή γείωση αποτελείται από ταινία ή κυλινδρικό αγωγό, που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Στην φ/β εγκατάσταση που μελετάται η θεμελιακή γείωση συνδέεται με τα βάρη των συστοιχιών, τα οποία είναι χυτά από Ο/Σ (οπλισμένο σκυρόδεμα) και θεμελιωμένα σε βάθος περίπου 1m. Η θεμελιακή γείωση καθώς συνδέεται ηλεκτρικά με τον οπλισμό της εγκατάστασης αποκτά εντυπωσιακά χαμηλές τιμές αντίστασης, διότι σχηματίζει ένα πολύ μεγάλο ηλεκτρόδιο γείωσης.

Σε εγκαταστάσεις μεγάλων διαστάσεων (με τη μία τουλάχιστον διάσταση μεγαλύτερη από 25m) επιλέγεται η από τη θεμελιακή γείωση περικλειόμενη επιφάνεια να κατανέμεται σε μικρότερα τμήματα – βρόχους, μέγιστων διαστάσεων (20 m x 20 m). Στην περίπτωση του φ/β πάρκου που εξετάζεται, αυτό έχει ληφθεί υπόψη και η θεμελιακή γείωση αποτελείται από έξι βρόχους

Ως ηλεκτρόδια θεμελιακής γείωσης χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ταινίες με ελάχιστες διαστάσεις διατομής 30 mm x 3.5 mm ή χαλύβδινοι αγωγοί κυκλικής διατομής με ελάχιστη διάμετρο 10 mm. Όμως χαμηλότερη αντίσταση γείωσης επιτυγχάνεται με την χρήση ταινίας. Αν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο γείωσης σε μορφή ταινίας, αυτή πρέπει να τοποθετηθεί με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής της κατακόρυφα.

Τα εξαρτήματα για τη σύνδεση των αγωγών ή των ταινιών μεταξύ τους καθώς και με το σιδηρό οπλισμό πρέπει να είναι κατασκευασμένα από θερμά γαλβανισμένο ή ανοξειδωτο χάλυβα, να έχουν αντοχή σε διάβρωση και ικανότητα να άγουν το αναμενόμενο ρεύμα σφάλματος.

Για τη σύνδεση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, των ισοδυναμικών συνδέσεων κλπ. Με τη θεμελιακή γείωση κατασκευάζονται λήψεις όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις θέσεις εγκατάστασης πινάκων διανομής που προβλέπεται η άμεση σύνδεσή τους στη γείωση καθώς και όπου θα πραγματοποιηθούν οι κύριες και συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις. Οι λήψεις θεμελιακής γείωσης είναι κατασκευασμένες από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση (γαλβανισμένο ή ανοξειδωτο χάλυβα). Μπορεί να είναι σε μορφή ακροδέκτη γείωσης ή ζυγού γείωσης ή σε μορφή στρογγυλού αγωγού ή ταινίας. Πρέπει να επισημαίνονται (π.χ. με επικάλυψη ταινίας, χρωματισμό κλπ.) και να προστατεύονται κατάλληλα από φθορά κατά τη φάση κατασκευής του κτιρίου. Τα εξαρτήματα σύνδεσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης και των ισοδυναμικών συνδέσεων με τις λήψεις της θεμελιακής γείωσης, καθώς και τα σημεία σύνδεσης των εξαρτημάτων διαστολής με τις λήψεις της θεμελιακής γείωσης πρέπει να έχουν αντοχή σε διάβρωση στο περιβάλλον που εγκαθίστανται, ικανότητα

να άγουν το αναμενόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και επαρκή μηχανική αντοχή ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της ηλεκτρικής συνέχειας.

Εάν η θεμελιακή γείωση χρησιμοποιείται και ως γείωση αντικεραυνικής προστασίας, όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση που μελετάται, θα πρέπει οι συνδετήρες – σφιγκτήρες να έχουν υποστεί τις προβλεπόμενες εργαστηριακές δοκιμές των Προτύπων της σειράς ΕΛΟΤ EN 50164.

6.10.2 Αντικεραυνική προστασία

Αν και η πιθανότητα να χτυπήσει κεραυνός την φ/β εγκατάσταση είναι αρκετά μικρή εντούτοις η ζημιά που μπορεί να προκαλέσει ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι πολύ μεγάλη στα φ/β πλαίσια και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (inverters, καλώδια, συστήματα ελέγχου κλπ.). Στόχος είναι να προστατευτούν οι φ/β συστοιχίες από μια ενδεχόμενη φωτιά εξαιτίας ενός άμεσου χτυπήματος από κεραυνό και η προστασία του ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό που μπορεί να προκληθεί από τον κεραυνό. Για να προστατευτεί η εγκατάσταση στον χώρο που καταλαμβάνουν τα φ/β πλαίσια πρέπει να εγκατασταθεί ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Ανάλογα με τον τύπο της αντικεραυνικής προστασίας και το ύψος των απαιτούμενων ράβδων – αλεξικέραυνων, καθορίζεται η ποσότητά τους καθώς και η απόστασή τους.

Όσον αφορά την αντικεραυνική προστασία του Φ/Β Πάρκου, θα μελετηθεί η εγκατάσταση εντός του χώρου εγκατάστασης του έργου αλεξικέραυνων τύπου ακίδας (**Αλεξικέραυνο TESLA-S**) σε σημεία που δεν θα σκιάζουν την εγκατάσταση και θα παρέχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προστασία από κεραυνικά πλήγματα. Το σύνολο των μεταλλικών μερών, δηλαδή τα μεταλλικά μέρη των βάσεων, των Φ/Β Συστοιχιών, της μεταλλικής περιφράξης κλπ, θα συνδεθούν με το σύστημα γείωσης του Φ/Β Πάρκου.

Η σχεδίαση, η εγκατάσταση και τα υλικά θα είναι σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα

Αλεξικέραυνο TESLA-S, παλμικής διέγερσης, με ενισχυμένο σύστημα ιονισμού

Η κεφαλή του αλεξικεραύνου TESLA-S φέρει διμερή ακίδα σύλληψης του κεραυνού από ειδικό κράμα ορειχάλκου, με διάκενο ασφαλείας. Διαθέτει μεταλλικό δίσκο συλλογής, αγωγίμο προς την ακίδα και προς το περίβλημα της κεφαλής, ο οποίος ζευγνύετε χωρητικά προς το ηλεκτρικό πεδίο κακοκαιρίας και φορτίζεται επαγωγικά με την αύξηση του ανωτέρω πεδίου. Η κεφαλή περιλαμβάνει ειδικό μεταλλάκτη παραγωγής υψηλής τάσης ιονισμού, μέσω της φυσικής αστάθειας τόξου (πλάσματος) και με την βοήθεια μαγνητικού πεδίου, με χαρακτηριστικό γνώρισμα την εν σειρά σύνδεση σπινθηριστή με πηνίο και πυκνωτή. Στον χώρο γύρω από την ακίδα του αλεξικεραύνου, δημιουργείται ισχυρότατος ιονισμός. Το TESLA-S λειτουργεί όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες κεραυνοφόρου πεδίου, φαινόμενο που τυπικά διαρκεί μερικά λεπτά της ώρας. Η κεφαλή TESLA-S φέρει διάταξη ασφαλείας για την προστασία των κυκλωμάτων της κατά την στιγμή της πτώσης και σύλληψης του κεραυνού. Όλος ο μηχανισμός του διακένου, του εξωτερικού σπινθηριστή και των κυκλωμάτων της κεφαλής, ευρίσκεται εντός υδατοστεγούς περιβλήματος,

(με αυτοφερόμενο τον δίσκο συλλογής), το οποίο είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του φορτίου προς την κάθοδο του αλεξικεραύνου. Ταυτόχρονα, η διαμόρφωση της βάσης του περιβλήματος (σφαίρα) της κεφαλής, παίζει το ρόλο (εξωτερικού) σπινθηριστή ασφαλείας, μεταξύ κεφαλής και καθόδου. Το αλεξικέραυνο TESLA-S είναι φιλικό στο περιβάλλον εργαστηριακά δοκιμασμένο κατά ΕΛΟΤ EN 50164-1.

ΑΚΤΙΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ TESLA-S

Ανάλογα με το μέγεθος και την διασπορά του παραγόμενου ιονισμού από την κεφαλή του αλεξικεραύνου, διατίθενται:

- Τύποι TESLA - S1, TESLA - S2 και TESLA - S3 με ακτίνες προστασίας 50, 100, και 150 μέτρων αντίστοιχα.
- Τύποι TESLA - SP1 και TESLA - SP2 με ακτίνες προστασίας 200 και 250 μέτρων αντίστοιχα

Ιστός στήριξης κεφαλής

Χρησιμοποιείται ιστός τηλεσκοπικός, ανακλινόμενος ή μη, από σωλήνες βαρέως τύπου, με ή χωρίς ραφή (Mannesmann), με συγκολλήσεις βαθιάς διείσδυσης (MIG-MAG). Διατίθεται θερμά επιψευδαργυρωμένος, ανοξειδωτος ή με αντιοξειδωτική βαφή για προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται ύψη ιστών, από 1 έως και 23 μέτρα. Ιστοί ύψους άνω των 8 μέτρων, φέρουν αυτοφερόμενα επίτονα με εντατήρες.

Αγωγός καθόδου

Χρησιμοποιείται γυμνός χάλκινος πολύκλωνος ηλεκτρολυτικός αγωγός, διατομής τουλάχιστον 50 mm². Ο αγωγός καθόδου πρέπει να είναι κατά το δυνατόν κατακόρυφος, με αποφυγή οριζοντίων τμημάτων, για την ομαλότερη διέλευση του κεραυνικού φορτίου.

Γείωση

Εγκαθίσταται συνήθως τρίγωνο γείωσης, από ηλεκτρόδια χαλύβδινα επιχαλκωμένα με ορειχάλκινους σφιγκτήρες αγωγού - ηλεκτροδίου. Λαμβάνεται μέριμνα για την επίτευξη χαμηλής ωμικής αντίστασης. Σε περίπτωση σκληρού ή βραχώδους εδάφους χρησιμοποιείται ειδικός τύπος γειωτή (π.χ. πλάκες χαλκού με βελτιωτικό EARTHPLUS®).

Λοιπά εξαρτήματα

Για την στήριξη και την διέλευση του αγωγού καθόδου επί του ιστού, επί τοίχων κλπ., χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα για κάθε περίπτωση στηρίγματα απόστασης.

Στον αγωγό καθόδου, παρεμβάλλεται λυόμενος σύνδεσμος ελέγχου γείωσης, κάρτα μαγνητικής καταγραφής κεραυνικού ρεύματος OBO - BETTERMANN ή και κατά περίπτωση απαριθμητής κεραυνικού ρεύματος. Ο αγωγός καθόδου περιβάλλεται από προστατευτικό σωλήνα σε ύψος 2 μέτρων από το έδαφος. Για εύκολη πρόσβαση και μέτρηση της γείωσης εγκαθίσταται φρεάτιο γείωσης διαστάσεων 25x25x25 cm. Η καλή λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος της κεφαλής ελέγχεται με όργανο δοκιμής TESLA-S TESTER

6.10.3 Περίφραξη έργου

Περιμετρικά του χώρου εγκατάστασης του Φ/Β Πάρκου θα κατασκευαστεί κατάλληλη περίφραξη, προκειμένου αφενός να αποτρέπεται η είσοδος σε αναρμόδια άτομα στον χώρο του πάρκου και αφετέρου να παρέχεται ένας υψηλός βαθμός ασφαλείας των εγκαταστάσεων. Η περίφραξη θα αποτελείται από βάση κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα, ύψους περίπου 0,20 μέτρα (πάνω από το έδαφος), επί της οποίας θα είναι τοποθετημένοι μεταλλικοί πάσσαλοι και πλέγμα έως συνολικού ύψους 2,10 μέτρα. Περιμετρικά του Φ/Β Πάρκου και εσωτερικά της περίφραξης θα φυτευτούν θάμνοι για την δημιουργία αισθητικά αποδεκτού τοπίου. Η περίφραξη θα περιλαμβάνει διπλή πόρτα εισόδου στον χώρο του Φ/Β Πάρκου πλάτους περίπου 4,15 μέτρα

6.10.4 Σύστημα ασφαλείας (συναγερμός)

Περιμετρικά του χώρου εγκατάστασης του Φ/Β Πάρκου θα τοποθετηθούν κάμερες κεντρικού συστήματος ασφαλείας (CCTV) για την παρακολούθηση του χώρου καθώς επίσης και ειδικός συναγερμός περιμετρικής φύλαξης του χώρου.

6.11 Οικονομική μελέτη

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ 1 ΜΟΝΑΔΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ PV/T (5kWp)

A/A	Περιγραφή Είδους	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Υλικό	Σύνολο
	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ				
1	Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Θα χρειαστούν 480)	480	400	,	192.000

ΣΥΝΟΛΟ

192.000

ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

1	Αντιστροφέας(Inverter) (Θα χρειαστούν 15)	15	2,040,662	30.609,3	30.609
	Βαταρίες. SUNNY ISLAND 5048				50.000
	Γεννήτρια Diesel	2	4.600		9.200
	Καλωδιώσεις και ηλεκτρολογικοί πίνακες				16000
	Γείωση				3.000
	Αντικεραυνική προστασία				2.000
	Περίφραξη έργου				2.000
	Σύστημα ασφαλείας (συναγερμός)				500
	Σύστημα τηλεμετρίας και ελέγχου				2.000
	Σταθερή βάση στήριξης (90 πλαίσίων)				500

2**3****4****ΛΟΙΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ**

1	Υδραυλικές εγκαταστάσεις				500,00
2	Γενικές εργασίες και μεταφορά εξοπλισμού		3000	3000	3000

ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ

Κόστη φωτοβολταϊκού έργου

4.5.2 Συμπεράσματα και προοπτικές

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Όντας ευέλικτα, αποκεντρωμένα, με δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτίρια και με την τεχνολογία να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς, τα ΦΒ συστήματα φαίνεται ότι θα παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο τόσο σε εγχώριο όσο και σε διεθνές επίπεδο. Ήδη στην Ελλάδα το 2010 η νέα εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά τριπλασιάστηκε καθότι με το νέο νομικό πλαίσιο ενισχύθηκε η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας και απλοποιήθηκαν σε κάποιο βαθμό οι αδειοδοτικές και λοιπές διαδικασίες. Άλλωστε προβλέπεται ότι οι τιμές των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μειώνονται σταδιακά ενώ αντίθετα προσπάθειες καταβάλλονται συνεχώς για την βελτίωση του βαθμού απόδοσής τους.

Σχετικά με το κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, δηλαδή την εγκατάσταση αυτονομου φωτοβολταϊκού πάρκου στην Κω, κάναμε αρχικά ενεργειακή ανάλυση και έπειτα προχωρήσαμε σε οικονομική αξιολόγηση.

Είναι φανερό ότι τα κίνητρα που το κράτος προσδίδει στους επενδυτές μέσα από το νομικό πλαίσιο που προωθεί καθώς και η άρτια εκπαίδευση και τεχνικές γνώσεις των μηχανικών και εγκαταστατών κατά τα στάδια της σχεδίασης και υλοποίησης των φωτοβολταϊκών μελετών παίζουν και θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην περαιτέρω άνθιση και ανάπτυξη του πολλά υποσχόμενου τομέα της «καθαρής» ηλιακής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

1. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών** (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά»
2. **Εφημερίς της κυβέρνησης - ΝΟΜΟΣ 3851/2010**: “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος , Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, Φ.Ε.Κ. Α’
3. **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.** (ΔΕΗ – www.dei.gr/)
4. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών** (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Ηλιακές Στέγες – Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό – κτιριακό τομέα» and Installing» (Second Edition)
5. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας** (ΚΑΠΕ – <http://www.cres.gr/>): «Οδηγός για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις
6. **SMA Solar Technology** (SMA – <http://www.sma-hellas.com/el.html>)
7. **ABB Sace** (ABB – <http://www.abb.com/>): “Technical Application Papers No.10 – Photovoltaic Plants”
8. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών** (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός»
9. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών** (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>): «Στατιστικά ελληνικής αγοράς 2010»
10. **Silcio Solar Technologies** (Silcio – <http://www.silcio.gr/>)
11. **Schletter GmbH** (Schletter – <http://www.schletter.de/>)
12. **Αθανάσιος Σταράμος**: «Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Θερμικά (ΦΒ/Θ) Συστήματα Νερού: Μελέτη Εφαρμογής Σε Κατοικία Στην Περιοχή Της Αττικής»
13. **Σ.Δ. Περδίδος**: «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις», Αθήνα 2007
14. **Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής**: «<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=555&language=el-GR>»
15. <http://www.φωτοβολταϊκά.com>
16. **Ι.Ε. Φραγκιαδάκης**: «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις Ζήτη (2007)
17. **Αντωνόπουλος Κ.**: «ΘΕΡΜΙΚΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», Πολυτεχνειακές Εκδόσεις, Μέρος Πρώτο (2004)
18. **Ήπιες μορφές ενέργειας** : ‘Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας’ Του Σ.Ν.Καπλάνη(εκδόσεις ΙΩΝ)
19. **[Μ.Χόνδρος, Δ. Γκιώνης. Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ) εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100kWp, στην Ν. Λέρο. Λέρος 2009**
20. **Institute of Environmental Sciences (ISE). PVSYST - Manual.** University of Geneva 2009.
21. **Ι.Ε. Φραγκιαδάκης.** Φωτοβολταϊκά συστήματα. ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη. 2004.
22. **Ινστιτούτο Τεχνολογίας και εφαρμογών Στερεών Καυσίμων.** Ηλιακή Ενέργεια. ΙΤΕΣΚ2009 On line available at : <http://www.itesk.gr>
23. **DGS (German Energy Society).** Planning & Installing Photovoltaics Systems. Earthscan. Berlin. 2009

24. **Contribution of lignite in the Greek electricity generation:** Review and future prospects. Elsevier 2008 J.K. Kaldellis, D. Zafeirakis, E. Kondili.
25. **Energy Information Administration. World Energy Outlook 2008.** On line available at: <http://www.eia.doe.gov>