



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος - Χριστόφορος Μ. Χατζηγεωργίου

Επιβλέπουσα : Μ. Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2018

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος- Χριστόφορος Μ. Χατζηγεωργίου

Επιβλέπουσα : Μ. Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Μ. Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Ν. ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2018

.....

Αντώνιος- Χριστόφορος Μ. Χατζηγεωργίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Χατζηγεωργίου Αντώνιος-Χριστόφορος, Απρίλιος 2018

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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με τη τεχνικοοικονομική μελέτη ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση κατοικίας 200 τ.μ. Το φωτοβολταϊκό αυτό σύστημα διαθέτει επίσης συσσωρευτές για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και εφεδρική πηγή ενέργειας. Την εφεδρική πηγή ενέργειας θα αποτελέσει μια ντιζελογεννήτρια, η οποία και θα αναλάβει να καλύπτει πιθανές αιχμές φορτίου όταν αυτές εμφανίζονται στο σύστημα αλλά και να φορτίζει τους συσσωρευτές. Πιο συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά σε όλες τις πηγές ενέργειας, συμβατικές και ανανεώσιμες, προκειμένου να καταλήξουμε στην ηλιακή ενέργεια την οποία και εκμεταλλεύονται τα φ/β συστήματα. Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, κατηγορίες και εφαρμογές φ/β συστημάτων περιλαμβάνονται στο κεφάλαιο αυτό. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται λόγος για την ηλιακή ακτινοβολία, τη διακύμανσή της αλλά και για τους ηλιακούς συλλέκτες. Ο προσανατολισμός και η βέλτιστη κλίση των ηλιακών συλλεκτών θα μας απασχολήσει στο κεφάλαιο αυτό. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 3 περιλαμβάνεται η θεωρία για το φ/β φαινόμενο και τα φ/β στοιχεία. Υλικά και τεχνολογίες φ/β στοιχείων αλλά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τόσο των στοιχείων όσο και των πλαισίων αναφέρονται εδώ.

Ακολουθεί το κεφάλαιο 4 με τα ηλεκτρονικά των φ/β συστημάτων δηλαδή τον ανιχνευτή μέγιστου σημείου ισχύος, το μετατροπέα DC-AC και τον ελεγκτή φόρτισης.

Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται τους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικά εδώ θα δούμε τη δομή, την αρχή λειτουργίας, τις κατηγορίες, τους τύπους και όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη που περιγράφουν ένα συσσωρευτή.

Το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας τελειώνει με το κεφάλαιο 6 στο οποίο γίνεται μια σύντομη αναφορά στη ντιζελογεννήτρια και τη λειτουργία αυτής κατά την ενσωμάτωση της στο φ/β σύστημα που μελετάμε.

Η μελέτη του υβριδικού φ/β συστήματος με H/Z δηλαδή με ντιζελογεννήτρια για την τροφοδότηση κατοικίας 200 τ.μ. γίνεται στο κεφάλαιο 7. Η μελέτη χωρίζεται σε τέσσερα κύρια κομμάτια, στον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της κατοικίας, στον υπολογισμό του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί, στον τρόπο με τον οποίο θα καταμερισθεί η ισχύς ζήτησης και η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φωτοβολταϊκά συστήματα, συσσωρευτής, αυτόνομο, ανάλυση κόστους

ABSTRACT

The aim of this project is the study of a standalone photovoltaic system which is used in order to supply a 200 square meters house. This photovoltaic system includes also batteries which store electrical energy and an additional energy source. As an additional energy source will be used a diesel generator which will both covers possible peaks of storage and loads batteries. To be more specific: In chapter 1 are reported all sources of energy both conventional and renewable in order to result in solar energy which is be exploited by the PV systems. Advantages, disadvantages, categories and applications of PV systems are included in this chapter. In chapter 2 solar radiation, distribution of solar radiation, solar cells, their optional inclination and orientation are presented. Chapter 3 that follows includes theory about PV phenomenon and PV cells. Material and technologies of PV cells in addition to electrical characteristics of cells and modules are also referred here.

Chapter 4 follows with the electronics of PV systems, shunt controllers, series controllers, MPP charge controller and inverter DC- AC.

Chapter 5 is referred to batteries which are used to store electrical energy. Structure, function, categories, types and all characteristics that describe batteries are also presented.

Theory ends with chapter 6 in which there is a reference to diesel generator and its function in PV systems.

The study of a hybrid PV diesel system in order to supply a 200 square meters house is presented in chapter 7. This study is separated to 4 parts, estimation of energy consumption, estimation of the system that will be finally used, the way that the demand of electrical energy will be apportioned and an economic evaluation of the investment.

KEY WORDS

Renewable energy sources, photovoltaic systems, storage systems, autonomous, cost analysis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου σε όσους βοήθησαν για την εκπόνησή της.

Πρώτη από όλους θέλω να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου και επιβλέπουσα κα Μ.Π.

Ιωαννίδου για την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε και για την πολύτιμη καθοδήγηση κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τις πιο θερμές μου ευχαριστίες οφείλω, επίσης, στην οικογένειά μου για τη βοήθεια και τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	5
ABSTRACT	6
KEY WORDS.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	11
1.2 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).....	11
1.2.1 Μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	12
1.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	13
1.2.3 Ηλιακή Ενέργεια	14
1.2.4 Η υδροηλεκτρική ενέργεια	17
1.2.5 Η Γεωθερμική Ενέργεια	21
1.2.6 Ενέργεια από Βιομάζα.....	24
1.2.7 Ενέργεια από θάλασσες	27
1.2.8 Αιολική Ενέργεια.....	31
Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	36
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	36
2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	37
2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ ΓΗ	38
2.4 ΗΛΙΑΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ	40
2.5 ΗΛΙΑΚΗ ΩΡΑ	41
2.6 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ-ΡΟΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	43
2.7 ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ	44
ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	45
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	45
3.2 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ.....	45
3.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....	46
3.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	47
3.4.1 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου	48
3.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	50
3.5.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου και Χαρακτηριστική Εξίσωση .	50
3.5.2 $I - V$ Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού στοιχείου	53
3.5.3 Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc}	54
3.5.4 Σημείο μέγιστης ισχύος P_m	54
3.5.5 Ο συντελεστής πλήρωσης ff (Fill Factor).....	54
3.5.6 Μεταβολή της θερμοκρασίας	56
3.5.7 Ο Βαθμός Απόδοσης.....	57

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

3.5.8 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης.....	58
3.6 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	60
3.6.1 Το Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο	61
3.6.2 Η Απόδοση του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου	62
3.6.3 Η Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης	63
3.6.4 Η Ισχύς Αιχμής του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου	64
3.7 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HOT SPOT	65
3.7.1 Εξήγηση του φαινομένου.....	65
3.7.2 Προσδιορισμός των κυττάρων με την υψηλότερη και τη χαμηλότερη RSH.....	66
3.7.3 Καθορισμός της χειρότερης περίπτωσης hot spot των κυττάρων που επιλέχθηκαν λόγω συνθηκών σκίασης.....	68
3.7.4 Δίοδοι παράκαμψης.....	69
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	71
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	71
4.2 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	71
4.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	72
4.4 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	73
4.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....	74
4.5.1 Πρωτεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές	74
4.5.2 Δευτερεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές	74
4.6 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	75
4.6.1 Συσσωρευτές Μολύβδου	76
4.6.2 Συσσωρευτές Μολύβδου-Αντιμονίου (Pb-Sd)	76
4.6.3 Συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte LeadAcid Batteries)	76
4.6.4 Άλλοι Τύποι Συσσωρευτών	77
4.7 ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (DUTY CYCLE).....	78
4.7.1 Συσσωρευτές Εκκίνησης (SLI και DIESEL).....	78
4.7.2 Συσσωρευτές Έλξης (MOTIVE POWER, TRACTION)	79
4.7.3 Στάσιμοι Συσσωρευτές (STATIONARY FLOAT)	79
4.7.4 Συσσωρευτές Κλειστού Τύπου (SEALED)	79
4.7.5 Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μικρού Ρυθμού Εκφόρτισης	79
4.7.6 Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μέσου Ρυθμού Εκφόρτισης	79
4.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ	80
4.8.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά.....	80
4.8.2 Χωρητικότητα.....	80
4.8.3 Εκφόρτιση και Επιτρεπόμενο Βάθος Εκφόρτισης	81
4.8.4 Αυτοεκφόρτιση.....	81
4.8.5 Φόρτιση	82
4.8.6 Χρόνος Ζωής Συσσωρευτή	82
4.8.7 Συντελεστής Γήρανσης Συσσωρευτή.....	83
4.8.8 Συντελεστής Φόρτισης και Απόδοση.....	83

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

4.9 ΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	84
4.9.1 Κύκλος Λειτουργίας σε Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα με Εφεδρική Πηγή	85
4.9.2 Αυτόνομα συστήματα με εφεδρική πηγή ενέργειας.....	85
4.9.3 Ονομαστική Χωρητικότητα και Παρεχόμενη Ισχύς από τους Συσσωρευτές κατά τη Λειτουργία τους σε Φωτοβολταϊκό Σύστημα	85
ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ	87
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	87
5.2 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	87
5.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ (INVERTER) DC-AC.....	89
5.4 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΟΣ DC-AC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	91
5.4.1 Πλευρά Εισόδου του Μετατροπέα (Input side)	91
5.4.2 Πλευρά Εξόδου του Μετατροπέα	93
5.5 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	94
5.5.1 Παράλληλος Ρυθμιστής Φόρτισης (Shunt controller)	95
5.5.2 Ρυθμιστής φόρτισης σε σειρά (Series controller)	95
ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ.....	96
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	96
6.2 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	96
6.3 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	98
6.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ Η/Ζ	99
6.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ	99
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΑΓΡΟΙΚΙΑΣ	102
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	102
7.2 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ.....	102
7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	105
7.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	115
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα συνειδητοποιήθηκε όταν εμφανίστηκε η ενεργειακή κρίση του 1973. Η ουσία του ενεργειακού προβλήματος έγκειται στη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας σε αντιδιαστολή με τα συμβατικά ενεργειακά αποθέματα τα οποία μειώνονται. Η σπατάλη των ενεργειακών πόρων τις τελευταίες δεκαετίες και η υπερκαταναλωτική νοοτροπία των ανεπτυγμένων χωρών οδήγησαν στα σημερινά οικονομικά και ενεργειακά αδιέξοδα. Οι απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχώς αυξάνονται όπως επίσης και η ποιότητα της παρεχόμενης ενέργειας. Είναι πλέον κοινώς αποδεκτός ο παραλληλισμός του βιοτικού επιπέδου μιας χώρας με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλές φορές όμως, η εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων αποβαίνει σε βάρος της κοινωνίας λόγω των δυσμενών περιβαλλοντολογικών συνεπειών που αυτή συνεπάγεται με κυρίαρχο το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται σε ορισμένα αέρια τα οποία περιβάλλουν την ατμόσφαιρα της Γης. Τα αέρια αυτά απορροφούν μέρος της επανεκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας από την Γη προς το διάστημα με αποτέλεσμα να θερμαίνουν την επιφάνεια της Γης και τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Μ' αυτόν τον τρόπο, δεν επιτρέπουν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης να φτάσει σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Η ανθρώπινη παρέμβαση τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησε στην υπερβολική αύξηση κάποιων αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα, με συνέπεια την αφύσικη αύξηση της θερμοκρασίας.

Προς αποφυγή της επέκτασης των δυσάρεστων συνεπειών τέτοιων ή ανάλογων φαινομένων εμφανίζεται μια ροπή προς την πράσινη ανάπτυξη και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Με τον όρο **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας** ή **Ήπιες** ή **Εναλλακτικές Πηγές Ενέργειας** εννοούμε τις μορφές εκείνες της ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες και συνιστούν μια φιλική προς το περιβάλλον εκμετάλλευση ενέργειας. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και επηρεάζονται μόνο από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε 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.

1.2.1 Μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας διακρίνονται στις εξής μορφές:

- Ο Ήλιος - Ηλιακή ενέργεια, με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή
- Ο Άνεμος - Αιολική ενέργεια
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια
- Η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια: υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας
- Η βιομάζα : θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων
- Οι θάλασσες : ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.

1.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ :

- + Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- + Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- + Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- + Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- + Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- + Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- + Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).
- + Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

1.2.3 Ηλιακή Ενέργεια

Ο Ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας. Εκτιμάται ότι η ισχύς που φθάνει στην επιφάνεια της γης από τον Ήλιο είναι $P = 174 \text{ PW}$ ($P=10^{15}$). Η εκμετάλλευση της γίνεται με δύο κυρίως τρόπους:

(α.) **με φωτοβολταϊκά συστήματα**, που μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και

(β.) **με ηλιακά θερμικά συστήματα**, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική μέσω συγκεντρωτικών κατόπτρων ή κάποιας άλλης μεθόδου και από εκεί μετατρέπεται σε άλλες μορφές.

1.2.3.1 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Η "καρδιά" ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο **ηλιακός συλλέκτης**. Ο συλλέκτης αυτός περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως, επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου). Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο **ηλιακός θερμοσίφωνας**.

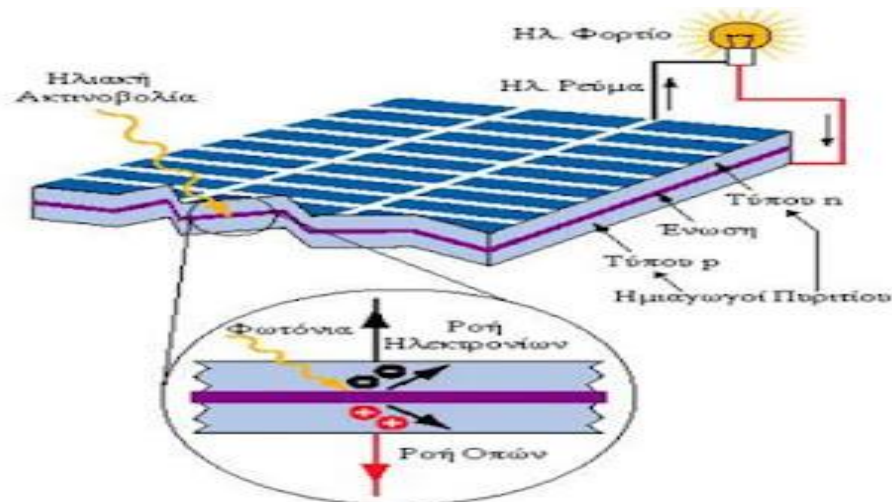
1.2.3.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τέτοια συστήματα είναι τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που βοηθούν την καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή το δροσισμό του κτιρίου. Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του έτσι ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες. Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο **"φαινόμενο του θερμοκηπίου"** ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην **προστασία του κτιρίου από τον ήλιο**, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτινών του ήλιου στο κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται **"βιοκλιματικό κτήριο"** και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

1.2.3.3 Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα

Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών ηλιακών συστημάτων στηρίζεται στο **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Μερικά υλικά, όπως το πυρίτιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων, γίνονται ημιαγωγοί (άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο διεύθυνση), έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να δημιουργούν διαφορά δυναμικού όταν φωτίζονται και κατά συνέπεια να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης



Εικόνα 1.1 : Τρόπος λειτουργίας φωτοβολταϊκών

Συνδέοντας μεταξύ τους πολλά μικρά κομμάτια τέτοιων υλικών (φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία), τοποθετώντας τα σε μία επίπεδη επιφάνεια (φωτοβολταϊκό σύστημα) και στρέφοντάς τα προς τον ήλιο, γίνεται δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο μπορεί να καλύψει ανάγκες όπως: λειτουργία επιστημονικών συσκευών (δορυφόρων), κίνηση ελαφρών αυτοκινήτων (ηλιακά αυτοκίνητα), λειτουργία φάρων, ή την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών μικρών κατοικιών όπως φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη κτλ. Η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Φ/B), ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-15% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Το σημαντικό είναι ότι η ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να αποθηκευτεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) με αποτέλεσμα να υπάρχει ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, φθηνή και κυρίως "καθαρή" ενέργεια.

1.2.3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ηλιακής Ενέργειας

Τα βασικά πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- + Μηδενική Ρύπανση
- + Αθόρυβη λειτουργία
- + Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής
- + Απεξάρτηση από τροφοδοσία καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας (μπαταρίες)

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- + Δυνατότητα αυτονομίας από τα κεντρικά δίκτυα διανομής
- + Δυνατότητα επέκτασης
- + Μηδενικό κόστος παραγωγής ενέργειας και ελάχιστη συντήρηση

Στα μειονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας συγκαταλέγονται:

- Υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων
- Δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας λόγω διακύμανσης ηλιακής ακτινοβολίας
- Χρήση σχετικά μεγάλων επιφανειών λόγω μικρής πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας

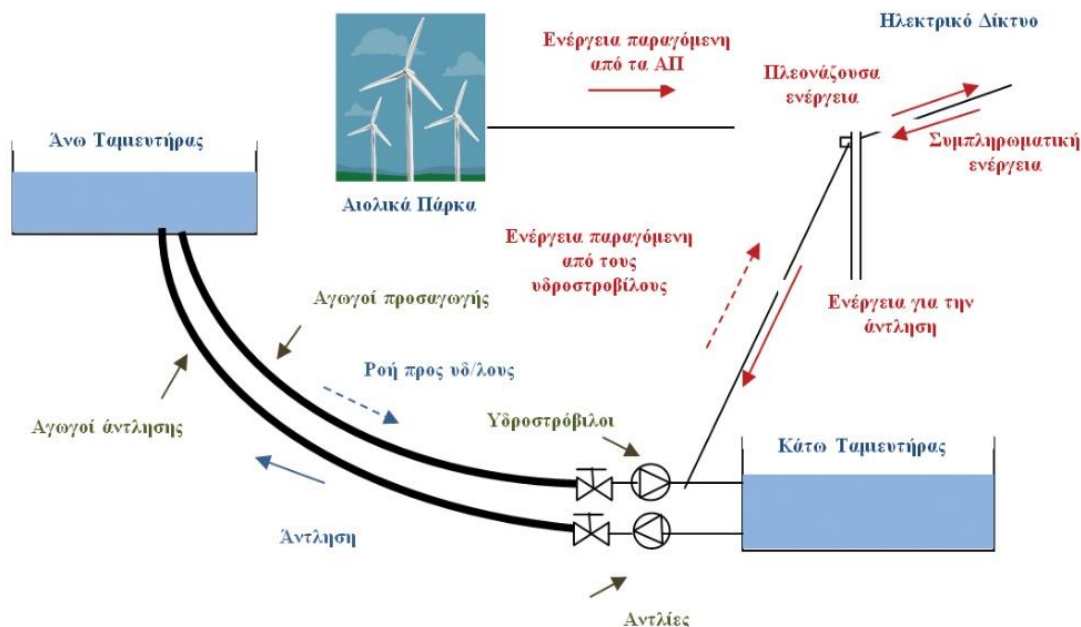
1.2.4 Η υδροηλεκτρική ενέργεια

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει την **υδροηλεκτρική ενέργεια**.

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται τη φυσική διαδικασία του **κύκλου του νερού**. Κάθε μέρα ο πλανήτης μας αποβάλλει μια μικρή ποσότητα νερού καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία διασπά τα μόρια του νερού σε ιόντα. Ταυτόχρονα νέες ποσότητες νερού εμφανίζονται λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, έτσι ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να διατηρείται περίπου σταθερή. Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς **μανομετρικού ύψους** μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Μία τουρμπίνα που είναι εγκατεστημένη σε μεγάλη μονάδα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90 rpm. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στρόβιλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Συνήθως η ενέργεια

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής.



Εικόνα 1.2 : Σύνδεση Σταθμών Παραγωγής στο Δίκτυο

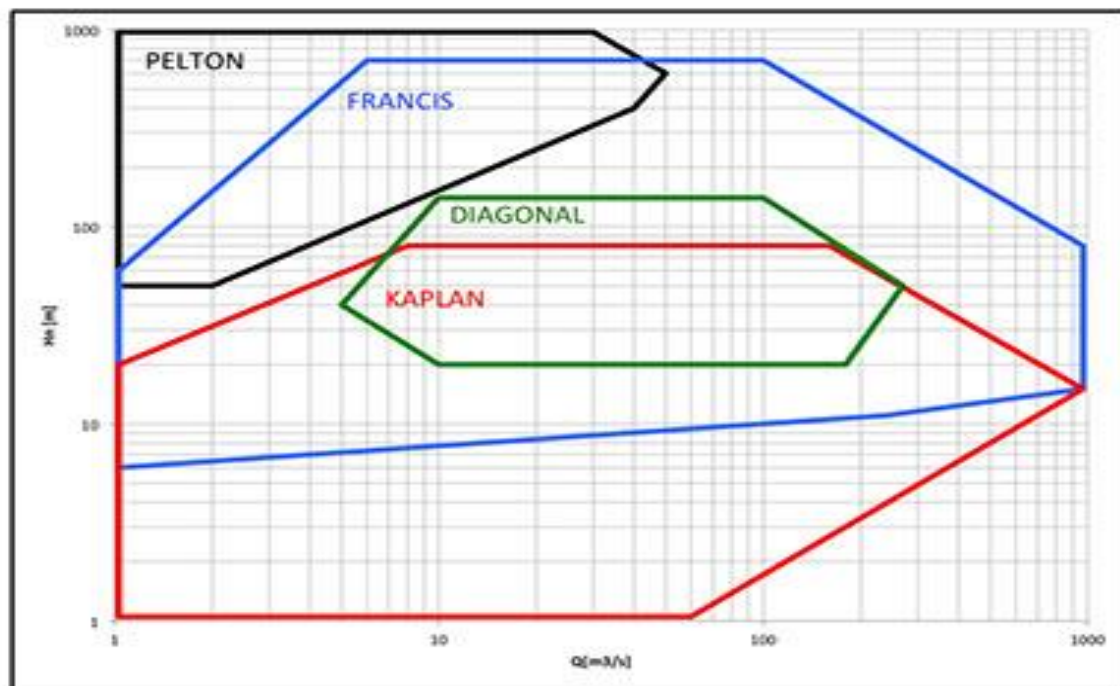
Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

1.2.4.1 Τύποι Υδροστροβίλων

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι υδροστροβίλων: Οι υδροστρόβιλοι **Pelton**, **Francis** και **Kaplan**. Αυτός ο διαχωρισμός έχει γίνει βάσει της περιοχής λειτουργίας κάθε στροβίλου, όπως φαίνεται στο κάτωθι διάγραμμα:



Εικόνα 1.3 : Περιοχές λειτουργίας διαφόρων τύπων Υδροστροβίλων

Μια άλλη κατηγορία των υδροστροβίλων είναι οι στρόβιλοι **ώσης** και **αντίδρασης**. Ο στρόβιλος ώσης μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια μιας δέσμης νερού η οποία εκρέει από ένα ακροφύσιο και προσπίπτει επάνω στους κάδους ή τα πτερύγια του δρομέα. Ο στρόβιλος αντίδρασης χρησιμοποιεί την πίεση αλλά και την ταχύτητα του νερού για να αναπτύξει μηχανική ισχύ. Ο δρομέας κατακλύζεται πλήρως και τόσο η πίεση όσο και η ταχύτητα μειώνονται από την είσοδο προς την έξοδο.

Ο στρόβιλος Pelton είναι στρόβιλος ώσης με μία ή πολλαπλές δέσμες καθεμία από τις οποίες εκρέει μέσα από ένα ακροφύσιο με μια βελονοβαλβίδα για τον έλεγχο της ροής. Χρησιμοποιείται για μεγάλα και μεσαία ύψη πτώσης.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Ο στρόβιλος Francis είναι στρόβιλος αντίδρασης ακτινικής ροής με σταθερά πτερύγια δρομέα και ρυθμιζόμενα οδηγά πτερύγια, που χρησιμοποιούνται για μεσαία ύψη πτώσης. Ο δρομέας αποτελείται από κάδους που διαμορφώνονται από σύνθετες καμπύλες. Ένας στρόβιλος Francis περιλαμβάνει συνήθως ένα χυτοσιδηρό ή χαλύβδινο σπειροειδές περίβλημα για τη διανομή του νερού γύρω από ολόκληρη την περίμετρο του δρομέα και αρκετές σειρές πτερυγίων που καθοδηγούν και ρυθμίζουν τη ροή του νερού προς το δρομέα.

Ο στρόβιλος Kaplan είναι αξονικής ροής υδροστρόβιλος αντίδρασης που γενικά χρησιμοποιείται για μικρά ύψη πτώσης. Έχει ρυθμιζόμενα πτερύγια δρομέα και μπορεί να διαθέτει ή όχι ρυθμιζόμενα οδηγά πτερύγια. Εάν είναι ρυθμιζόμενα και τα πτερύγια του δρομέα και τα οδηγά πτερύγια, ο στρόβιλος περιγράφεται ως «διπλής ρύθμισης», ενώ αν είναι σταθερά τα οδηγά πτερύγια αναφέρεται ως «απλής ρύθμισης». Στη συμβατική του έκδοση ο στρόβιλος αυτός έχει ένα σπειροειδές περίβλημα (είτε από χάλυβα είτε από σιδηροπαγές σκυρόδεμα). Η ροή εισάγεται ακτινικά προς το εσωτερικό και εκτελεί μια στροφή ορθής γωνίας προτού εισέλθει στο δρομέα με αξονική κατεύθυνση. Όταν ο δρομέας έχει σταθερά πτερύγια, ο στρόβιλος είναι γνωστός ως τύπου έλικας. Οι στρόβιλοι έλικας μπορεί να έχουν σταθερά ή κινητά οδηγά πτερύγια. Οι μη ρυθμιζόμενοι στρόβιλοι τύπου έλικας χρησιμοποιούνται μόνο όταν, τόσο η παροχή όσο και το ύψος πτώσης παραμένουν σταθερά.

1.2.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

Τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι:

- + Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας.
- + Είναι μία "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα προαναφερθέντα συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος).

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- + Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.

Ως μειονεκτήματα αναφέρονται μόνο αποτελέσματα που σχετίζονται με τη δημιουργία έργων μεγάλης κλίμακας, όπως:

- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εγκατάστασης εξοπλισμού, καθώς και ο συνήθως μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής του έργου (συμπεριλαμβανομένων της γεωμορφολογίας, της πανίδας και της χλωρίδας), καθώς και η ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, η υποβάθμιση περιοχών, οι απαιτούμενες αλλαγές χρήσης γης. Επιπλέον, σε περιοχές δημιουργίας μεγάλων έργων παρατηρήθηκαν αλλαγές του μικροκλίματος, αλλά και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους.

Για τους λόγους αυτούς, η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή έργων μικρότερης κλίμακας, όπως η δημιουργία μικρότερων φραγμάτων, οι συστοιχίες μικρών υδροηλεκτρικών έργων και οι μονάδες μικρής κλίμακας.

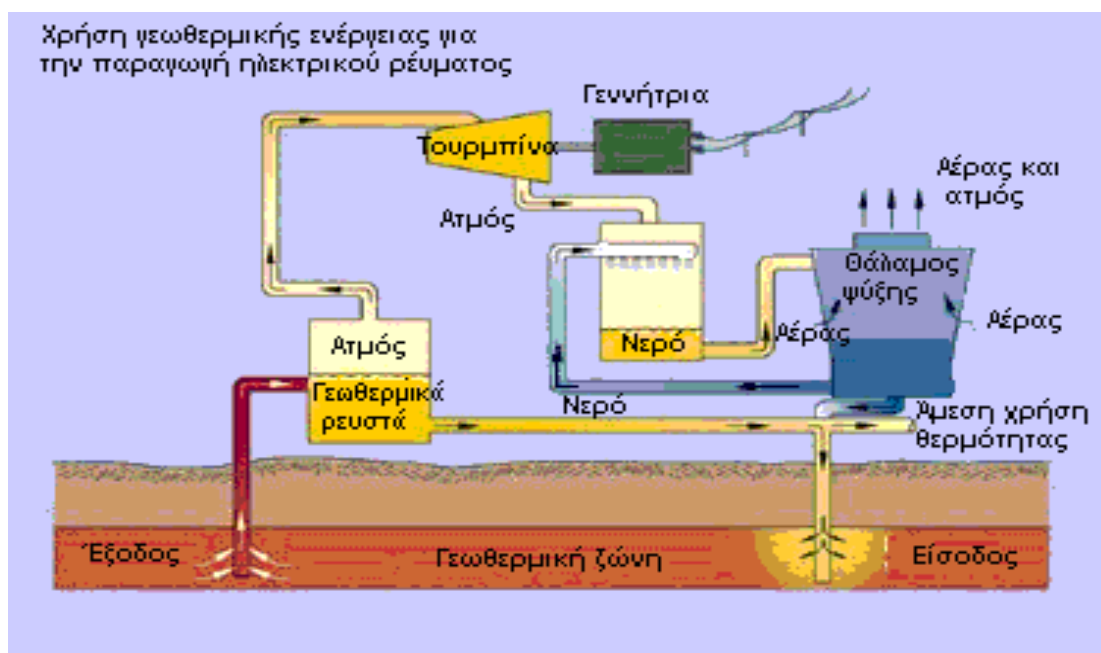
1.2.5 Η Γεωθερμική Ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης, μεταφέρεται στην επιφάνεια με αγωγή θερμότητας και με την είσοδο στο φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της, και γίνεται αντιληπτή με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Το γεωθερμικό δυναμικό κάθε περιοχής σχετίζεται με τις γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της. Αποτελεί ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.

Η κύρια κατάταξη των γεωθερμικών πεδίων γίνεται με βάση τη θερμοκρασία τους. Πεδία χαμηλής ή μέσης θερμοκρασίας (50 – 150°C) αξιοποιούνται στη μεταφορά θερμότητας σε οικισμούς, θερμοκήπια, αλλά και μικρές βιομηχανικές μονάδες. Πεδία υψηλής θερμοκρασίας (άνω των 150°C) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι ιδιαίτερα οικονομικές και η λειτουργία τους έχει μικρή περιβαλλοντική επίδραση. Παράγουν μόνο το 1/6 του CO₂ από ότι θα παρήγαγε μια μονάδα ίσης δυναμικότητας που λειτουργεί με φυσικό αέριο, ενώ το κόστος της παραγόμενης ενέργειας κυμαίνεται περίπου μεταξύ \$0.015/kW και \$0.35/kW.



Εικόνα 1.4 : Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, κάθε ρευστό που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και έχει θερμοκρασία πάνω από 25°C χαρακτηρίζεται ως «**γεωθερμικό ρευστό**». Εφόσον σε μία περιοχή αναβλύζει θερμό νερό ή ατμός, πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας του οποίου το νερό έχει διεισδύσει σε βαθύτερα στρώματα του φλοιού της γης και θερμαινόμενο ανέρχεται στην επιφάνεια δημιουργώντας το «γεωθερμικό κοίτασμα». Τα γεωθερμικά ρευστά είτε συλλέγονται καθώς εξέρχονται με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια της γης είτε αντλούνται με γεώτρηση από γεωθερμικά κοιτάσματα που βρίσκονται σε βάθος από μερικές εκατοντάδες μέχρι 3000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Μετά την ενεργειακή αξιοποίηση μέρους της αισθητής θερμότητάς τους, πρέπει να επανεγχύονται στο υπέδαφος μέσω γεώτρησης. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμιευτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο, η θερμική ενέργεια μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις :

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Η Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10⁶ kWh/yr.

Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).

Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

1.2.5.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Γεωθερμικής Ενέργειας

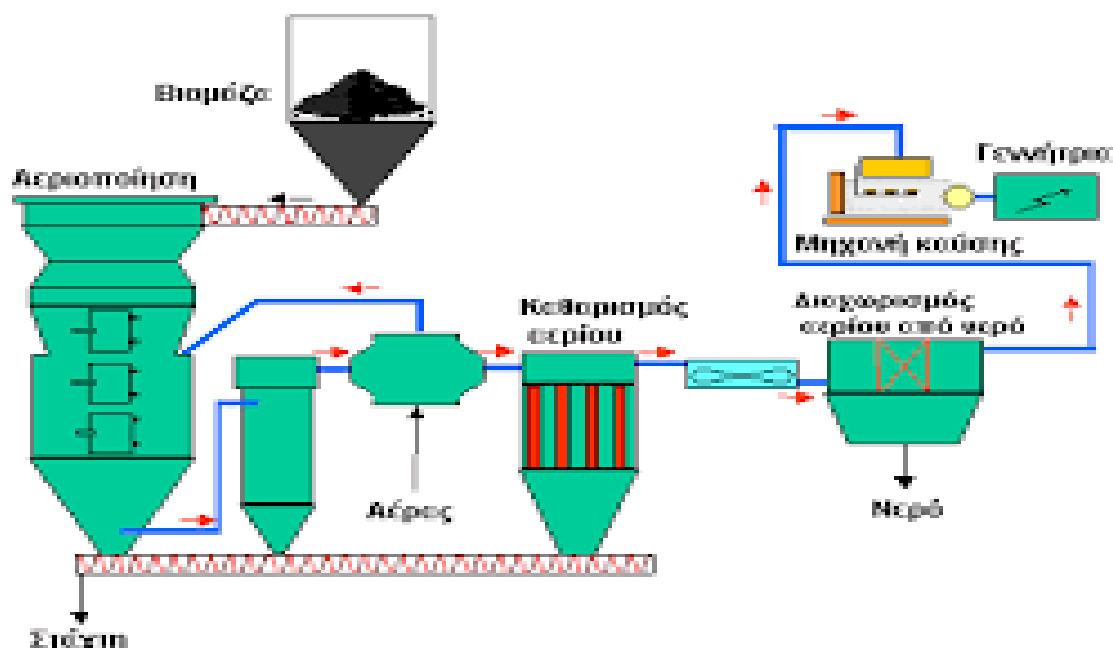
- Τα περιβαλλοντικά οφέλη της Γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:
- Συνεχής παροχή ενέργειας με υψηλό συντελεστή λειτουργίας (μεγαλύτερο του 90%)
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας
- Μηδενικές ή μικρές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον
- Μικρή απαίτηση γης
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο
- Αποτελεί τοπική μορφή ενέργειας με συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη της γεωθερμικής περιοχής
- Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων

Γενικά, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας. Οι τύποι αυτοί των προβλημάτων είναι ο σχηματισμός επικαθίσεων (ή όπως συχνά λέγεται οι καθαλατώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, καθώς και ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδρόθειου).

1.2.6 Ενέργεια από Βιομάζα

Με τον όρο **βιομάζα** χαρακτηρίζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν αυτή την ενέργεια με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα μετά την επεξεργασία και τη χρήση της, ενώ αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια.



Εικόνα 1.5 : Χρήση ενέργειας από βιομάζα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.
- Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι **δευτερογενής ηλιακή ενέργεια**. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας τα οποία βρίσκονται άφθονα στη φύση. Όπως έχει αναφερθεί η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μία σύντομη περίοδος για να αναπληρωθεί ότι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας.

Για τις διάφορες τελικές χρήσεις της βιομάζας υιοθετούνται διαφορετικοί όροι, όπως "βιοισχύς" ο οποίος περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ή όπως "βιοκαύσιμα" ο οποίος αναφέρεται κυρίως στα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα όπως βενζίνη ή ντίζελ. Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό.

1.2.6.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- + Η αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα γιατί, ενώ κατά την καύση της παράγεται CO_2 , κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου.
- + Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO_2) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της **“όξινης βροχής”**. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.
- + Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.
- + Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές.

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρησιμοποίηση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

- Ο μεγάλος όγκος της ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία.
- Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της.

Εξ αιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων και για την πλειοψηφία των εφαρμογών της, το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά προς το πετρέλαιο, υψηλό. Ήδη, όμως, υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό βαθμιαία εξαλείφεται, αφ' ενός λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, αφ' ετέρου και σημαντικότερο, λόγω της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη, εντούτοις είναι ουσιαστικής σημασίας για την ποιότητα της ζωής και το μέλλον της ανθρωπότητας.

1.2.7 Ενέργεια από θάλασσες

Οι ωκεανοί, που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη μας, είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Υπάρχει μηχανική μηχανική ενέργεια στα παλιρροιακά κύματα, στα κύματα και στα θαλάσσια ρεύματα. Υπάρχει επίσης τεράστιο απόθεμα θερμικής ενέργειας, στη θερμότητα του νερού των ωκεανών. Το πρόβλημα είναι ότι αυτές οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας είναι αρκετά διασκορπισμένες. Η ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων, των κυμάτων και των ωκεανών προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια των παλιρροιακών κυμάτων όμως προέρχεται από την έλξη που ασκούν το φεγγάρι και ο ήλιος στα νερά των ωκεανών.

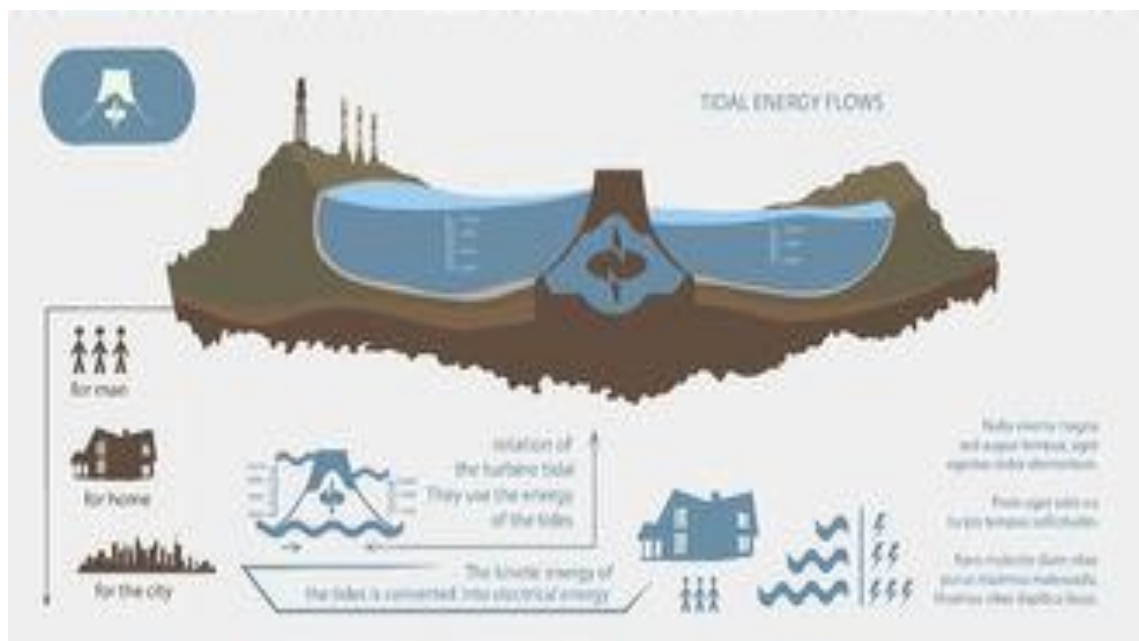
Διακρίνεται στην **παλιρροϊκή ενέργεια** και την **ενέργεια των κυμάτων**.

1.2.7.1 Παλιρροϊκή ενέργεια

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων σαράντα ετών, έχει υπάρξει σταθερό ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της παλιρροιακής δύναμης. Αρχικά, αυτό το ενδιαφέρον εστιάστηκε στις εκβολές, όπου οι μεγάλοι όγκοι του ύδατος περνούν μέσω των στενών καναλιών που παράγουν τις υψηλές τρέχουσες ταχύτητες. Οι μηχανικοί θεώρησαν ότι εμποδίζοντας τις εκβολές με ένα φράγμα και οδηγώντας το νερό μέσω των στροβίλων θα ήταν ένας αποτελεσματικός τρόπος να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό αποδείχθηκε

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

από την κατασκευή ενός παλιρροιακού φράγματος στο ST Malo στη Γαλλία στο ποταμό La Rance στα μέσα της δεκαετίας του '60. Παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής είναι ένας ηλεκτρικός σταθμός ισχύος που μετατρέπει την ενέργεια των παλιρροιών της θάλασσας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής εκμεταλλεύεται τη διαφορά στάθμης του ύδατος κατά τη πλημμυρίδα και την άμπωτη. Όταν ένα φράγμα κλείσει τον κόλπο ή τις εκβολές ενός ποταμού που ρέει στη θάλασσα ή στον ωκεανό, σχηματίζεται υδατοδεξαμενή, που καλείται **λεκάνη παλιρροϊκού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής**. Αν η πλημμυρίδα προκαλεί αρκετή διαφορά ύψους (πάνω από 4 μέτρα) μπορεί να δημιουργηθεί αρκετή πίεση για να περιστρέψει υδροστρόβιλους συνδεδεμένους με ηλεκτρογεννήτριες που έχουν εγκατασταθεί στο φράγμα. Παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με λεκάνη, που λειτουργεί σε κανονικό παλιρροϊκό κύκλο 12 ωρών, μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια αδιάκοπα για 4 ή 5 ώρες, τέσσερις φορές την ημέρα, με αντίστοιχα διαλείμματα μιας ή δύο ωρών. (Ο παλιρροϊκός αυτός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής καλείται σταθμός μιας λεκάνης και δύο κύκλων).



Εικόνα 1.6 : Παλιρροϊκός σταθμός παραγωγής

Για να αποφευχθεί η ανομοιόμορφη παραγωγή ηλεκτρισμού η λεκάνη του παλιρροϊκού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να χωριστεί με φράγματα σε δύο ή τρεις μικρότερες. Στην πρώτη λεκάνη η στάθμη ύδατος διατηρείται στη στάθμη της άμπωτης και στη δεύτερη στη στάθμη πλημμυρίδας ενώ η τρίτη λεκάνη είναι εφεδρική. Η γεννήτρια υδραυλικού κινητήρα εγκαθίσταται στα διαχωριστικά φράγματα. Αλλά ακόμα και αυτή η

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

διάταξη δεν αποτρέπει εντελώς τις διακυμάνσεις της ηλεκτρικής ισχύος που προκαλούνται από την περιοδική υφή των παλιρροιών σε περίοδο μισού μήνα.

Όταν ο παλιρροιακός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής περιληφθεί στο αυτό σύστημα ηλεκτρικής ισχύος με άλλους, μεγάλης ισχύος θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, περιλαμβανομένων και πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει μπορεί να βοηθήσει για την κάλυψη των αναγκών αιχμής του συστήματος.

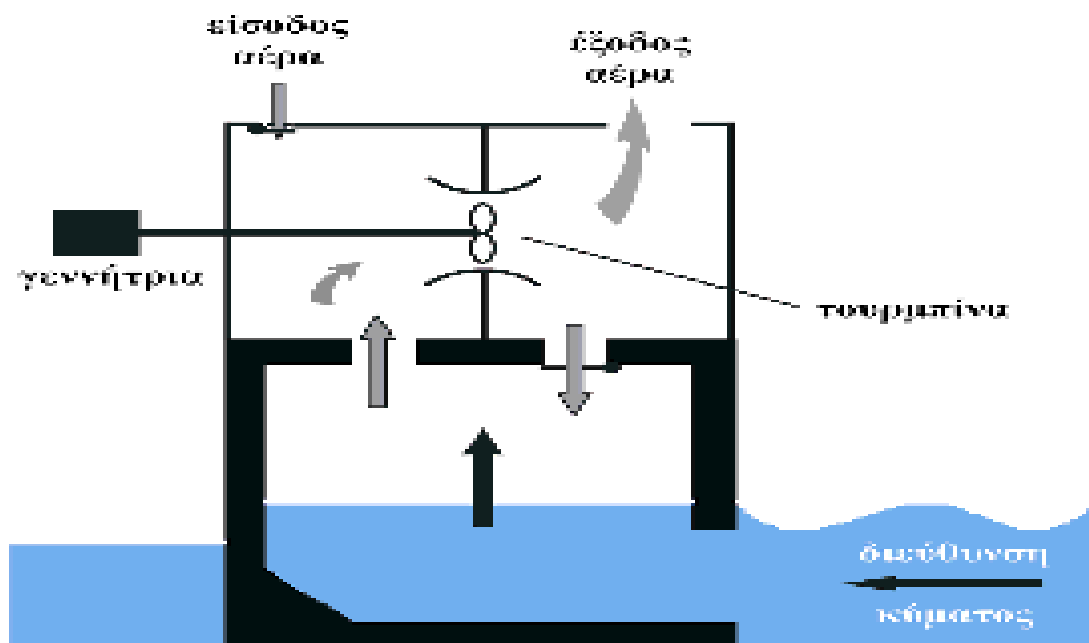
Αν το σύστημα περιλαμβάνει υδροηλεκτρικούς σταθμούς με υδατοδεξαμενές για εποχιακή ρύθμιση, ο παλιρροϊκός σταθμός μπορεί να αντισταθμίσει τις διακυμάνσεις της παλιρροϊκής ενέργειας, που παρουσιάζονται κατά την περίοδο ενός μηνός. Οι γεννήτριες τυμπάνου διυδραυλικών κινητήρων που εγκαθίστανται στους παλιρροϊκούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, μπορούν να λειτουργούν με σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε άμεσα ή ανάστροφα συστήματα γεννήτριας και αντλίας και σαν ανοίγματα για τη ροή ύδατος. Κατά τις ώρες που η περίοδος χαμηλού φορτίου του συστήματος συμπίπτει με την άμπωτη ή την πλημμυρίδα οι γεννήτριες διυδραυλικών κινητήρων κλείνουν ή λειτουργούν σαν αντλίες κατευθύνοντας το νερό από τη λεκάνη κάτω της στάθμης της άμπωτης στη λεκάνη πάνω από τη στάθμη της πλημμυρίδας. Έτσι συσσωρεύεται ενέργεια μέχρι τη στιγμή της ζήτησης αιχμής. Όταν η πλημμυρίδα ή η άμπωτη συμπίπτουν χρονικά με το μέγιστο φορτίο του συστήματος ο παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής λειτουργεί σαν γεννήτρια. Κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής. Ο παλιρροϊκός σταθμός των 240 MW στο στόμιο του ποταμού Ρανς στη Γαλλία που κατασκευάστηκε το 1966 λειτουργεί με αυτό τον τρόπο.

1.2.7.2 Ενέργεια κυμάτων

Τα θαλάσσια κύματα προκαλούνται από τον αέρα όπως φυσά πέρα από τη θάλασσα. Τα κύματα είναι μια ισχυρή πηγή ενέργειας. Το πρόβλημα είναι ότι δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενέργεια για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλα ποσά. κατά συνέπεια, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων είναι σπάνιοι. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, αλλά μια από τις αποτελεσματικότερες λειτουργεί όπως μια μηχανή κυμάτων πισινών. Έτσι, σε μια πισίνα, ο αέρας φυσιέται μέσα και έξω από μια μηχανή εκτός από τη λίμνη, η οποία κάνει το νερό να μετακινείται πάνω-κάτω, προκαλώντας τα κύματα. Παρόμοια, σε έναν σταθμό

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων, η άφιξη των κυμάτων προκαλεί άνοδο και πτώση του νερού εντός του θαλάμου του σταθμού, το οποίο προκαλεί τον αέρα να κινείται μέσα και έξω από μια τρύπα στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτή τη τρύπα τοποθετούμαι μία τουρμπίνη, η οποία γυρίζει με την κίνηση του αέρα μέσα-έξω, με αποτέλεσμα η τουρμπίνη να λειτουργεί ως γεννήτρια. Ένα πρόβλημα σε αυτό το σχέδιο είναι ότι ο κινούμενος αέρας μπορεί να είναι πολύ θορυβώδης, εκτός και εάν εγκατασταθεί στο στρόβιλο σιγαστήρας. Ο θόρυβος δεν είναι τεράστιο πρόβλημα, δεδομένου ότι τα κύματα κάνουν αρκετό θόρυβο από μόνα τους. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την ταχύτητα του κύματος, το ύψος, το βάθος και τη ροή κάτω από το πλησιάζον κύμα, παράγοντας κατά συνέπεια την ενέργεια αποτελεσματικότερα και φτηνότερα από άλλα θαλάσσια κύματα και τις υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες.



Εικόνα 1.7 : Διαδικασία μετατροπής ενέργειας των κυμάτων σε ηλεκτρική

1.2.7.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ενέργειας από Θάλασσες

Τα πλεονεκτήματα από την εκμετάλλευση των κυμάτων είναι τα εξής:

- + Η ενέργεια είναι δωρεάν καθώς δεν χρησιμοποιείται κανένα είδος καύσιμης ύλης.
- + Δεν είναι ακριβή η λειτουργία και η συντήρηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας μέσω των θαλάσσιων κυμάτων.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- + Είναι φιλικά προς το περιβάλλον καθώς κατά τη λειτουργία της μονάδας δεν παράγονται απόβλητα.
- + Δίνεται η δυνατότητα παράγωγης ενός μεγάλου ποσού ενέργειας.
- + Αποθέματα της πρώτης ύλης (νερό) υπάρχουν σε αφθονία σε παγκόσμια κλίμακα μιας και υδάτινο είναι το 75% της επιφάνειας του πλανήτη μας.
- + Μικρό χρονικό διάστημα ανάμεσα στην έρευνα, την εγκατάσταση και τη λειτουργία μίας τέτοιας μονάδας.
- + Προστατεύουν την ακτή στην οποία βρίσκονται, πράγμα πολύ χρήσιμο σε λιμάνια.
 - Δεν δημιουργούν προβλήματα στις μετακινήσεις των ψαριών (εκτός από τα παλιρροϊκά φράγματα).
- + Η κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία προστατευμένων υδάτινων περιοχών οι οποίες είναι ελκυστικές για διάφορα είδη ψαριών και υδρόβιων πουλιών.

Εκτός από τα παραπάνω όμως, η εκμετάλλευση των κυμάτων συνεπάγεται και ορισμένα προβλήματα, όπως:

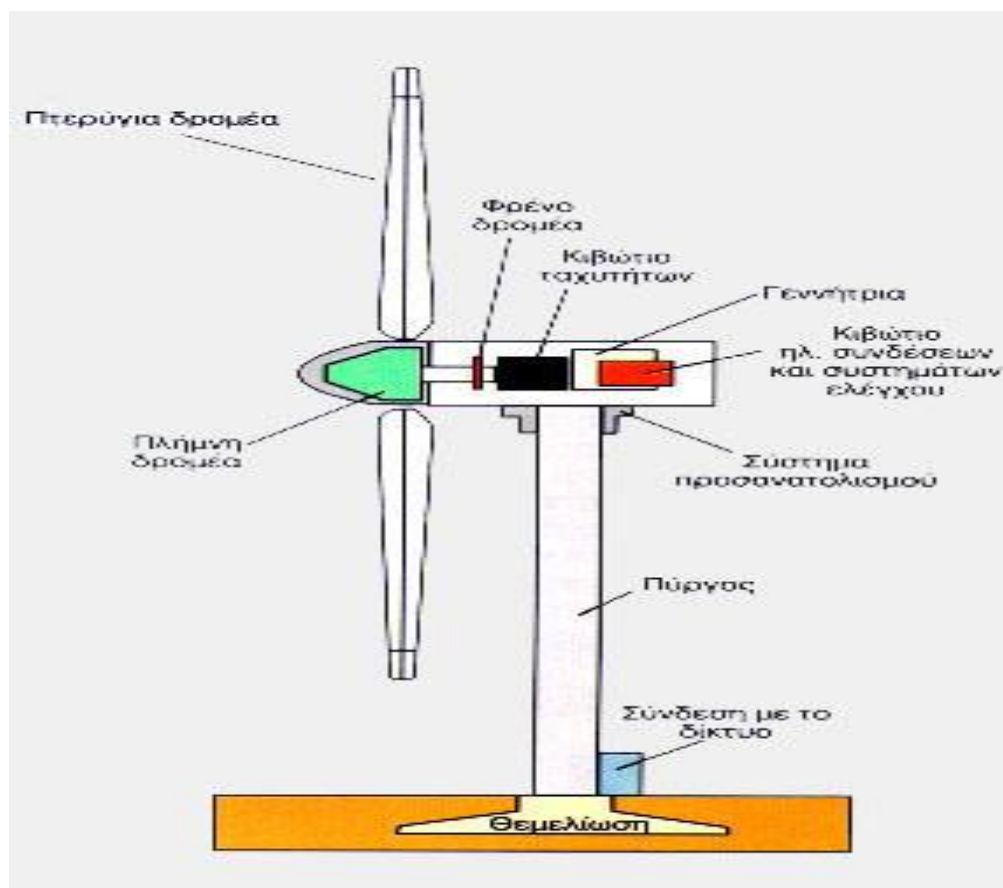
- Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από τη δύναμη των κυμάτων, όπου άλλες φορές παίρνουμε μεγάλα πόσα ενέργειας και άλλες φορές μηδενικά. Αντίστοιχα στη παλίρροια εξαρτάται από την κίνηση των υδάτων.
- Απαιτείται προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης της μονάδας καθώς θα πρέπει στη πρώτη περίπτωση να έχουμε δυνατά κύματα ενώ στη δεύτερη θα πρέπει να εμφανίζονται τα φαινόμενα της παλίρροιας και της άμπωτης.
- Πολλές από τις εγκαταστάσεις είναι θορυβώδεις.
- Οι εγκαταστάσεις πρέπει να κατασκευάζονται με ειδικό τρόπο ώστε να αντέχουν στις δύσκολες καιρικές συνθήκες που θα αντιμετωπίσουν.
- Το κόστος μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας στη στεριά είναι πολύ υψηλό.

1.2.8 Αιολική Ενέργεια

Η δύναμη του ανέμου εκτιμήθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τους ανθρώπους από πολύ νωρίς. Υπάρχουν αναφορές για τη χρήση ανεμοκινητήρων στην Περσία ακόμα και από το 200 π.Χ. Ωστόσο οι πρώτοι ανεμοκινητήρες που είχαν πρακτικές εφαρμογές κατασκευάστηκαν στο Σίσταν, μια περιοχή ανάμεσα στο σημερινό Αφγανιστάν και Ιράν, κατά τον 7ο αιώνα. Οι ανεμόμυλοι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για την άλεση του

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

καλαμποκιού και για την άντληση νερού. Κατά τον 14ο αιώνα στην Ολλανδία, ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την αποξήρανση περιοχών στον ποταμό Ρήνο. Ήδη το 1900 στη Δανία υπήρχαν περισσότεροι από 2500 ανεμοκινητήρες για μηχανικά φορτία, όπως αντλίες και μύλοι. Με την πάροδο των χρόνων όμως περάσαμε από την εποχή των απλών ανεμοκινητήρων στην εποχή των ανεμοκινητήρων – ανεμογεννητριών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές. Η πρώτη γνωστή ανεμογεννήτρια που λειτούργησε, ήταν μια μηχανή φόρτισης μπαταρίας, που εγκαταστάθηκε το 1887 από τον James Blyth στη Σκωτία. Η πρώτη ανεμογεννήτρια για την παραγωγή ενέργειας λειτούργησε το 1888 στο Κλήβελαντ του Οχάιο από τον Charles F. Brush. Ήδη το 1908 υπήρχαν εγκατεστημένες 72 ανεμογεννήτριες από 5 ως 25 KW. Οι μεγαλύτερες από αυτές τις μηχανές είχαν 24 μέτρα πύργο και είχαν 4 πτερύγια των οποίων η διάμετρος ήταν 23 μέτρα. Στη δεκαετία του 1930 οι ανεμογεννήτριες σε φάρμες ήταν μια πολύ συνηθισμένη εικόνα για τις Ηνωμένες Πολιτείες στις οποίες το ηλεκτρικό δίκτυο δεν ήταν ακόμα αρκετά εξαπλωμένο. Οι ανεμογεννήτριες αυτές είχαν κάθετο άξονα. Ένας από τους πρώτους πρόγονους των μοντέρνων ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα που χρησιμοποιούνται σήμερα μπήκε σε λειτουργία στη Γιάλτα της πρώην Σοβιετικής Ένωσης το 1931. Η ανεμογεννήτρια αυτή ήταν 100 KW και συνδέθηκε με το τοπικό δίκτυο των 6.3 KV. Η πρώτη ανεμογεννήτρια της τάξης του μεγαβάτ εγκαταστάθηκε στο Βέρμοντ το 1941, αν και μπόρεσε να δουλέψει μόνο για 1100 ώρες.



Εικόνα 1.8 : Ανεμογεννήτρια

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Αν υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο χρονικό διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης και σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας που ξεπερνά τα 5.1 m/sec. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, όταν η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά αυτήν την τιμή το αιολικό δυναμικό ενός τόπου θεωρείται **ενεργειακά εκμεταλλεύσιμο** και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες.

1.2.8.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αιολικής Ενέργειας

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Τα κυριότερα οφέλη, τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά, που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

- + Είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας διότι προέρχεται από τον ήλιο και επιπλέον υπάρχει αρκετό αιολικό δυναμικό στον πλανήτη, το οποίο δύναται να υπερκαλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις. Υπολογίζεται ότι λιγότερο από το 1% του παγκόσμιου αιολικού δυναμικού αξιοποιείται αυτή τη στιγμή.
- + Είναι μια καθαρή, ήπια μορφή ενέργειας, η οποία δεν μολύνει το περιβάλλον με απόβλητα όπως η πυρηνική ενέργεια και δεν συμβάλει, όπως τα ορυκτά καύσιμα, με καυσαέρια όπως το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και τα οξείδια του θείου.
- + Οι ανεμογεννήτριες δεν απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας για την συνολική κατασκευή και λειτουργία τους αλλά και την λειτουργία των αιολικών πάρκων. Σε ένα μέσο αιολικό πάρκο η ανεμογεννήτρια θα αποσβέσει όλη την ενέργειά που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία της σε διάστημα μικρότερο των 3 μηνών. Έτσι, με μέσο χρόνο ζωής γύρω στα 20 χρόνια, αυτό μας δίνει μία απόδοση κοντά στο 8000%, οπότε αποδίδει περίπου 80 φορές την ενέργεια η οποία δαπανήθηκε για αυτή.
- + Συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι στο μέλλον θα εξαντληθούν.
- + Τα αιολικά πάρκα αυξάνουν την αξιοπιστία του υπάρχοντος ισχυρού δικτύου και μπορούν να βοηθήσουν επαρκώς στην κάλυψη αιχμών.
- + Με την χρήση ανεμογεννητριών το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να πάει παντού, ακόμα και σε ορεινές και δύσβατες περιοχές, κάτι που στο παρελθόν ήταν οικονομικά ασύμφορο.
- + Ο άνεμος, που αποτελεί το βασικό καύσιμο, παρέχεται δωρεάν από τη φύση και έτοιμο προς εκμετάλλευση χωρίς επιπλέον έξοδα επεξεργασίας. Το πετρέλαιο για παράδειγμα απαιτεί εξόρυξη, μεταφορά, επεξεργασία κτλ.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα που συνεπάγεται η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Η αβεβαιότητα στην εμφάνιση του ανέμου, καθώς πρόκειται για ένα καθαρά στοχαστικό μέγεθος. Οπότε, το πρόβλημα που εισάγουν οι ανεμογεννήτριες είναι ότι δεν μπορούμε να αναμένουμε σταθερή παραγωγή ενέργειας από αυτές.
- Οι ανεμογεννήτριες εισάγουν διακυμάνσεις στο δίκτυο. Βέβαια, αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι όσο περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουμε στο

δίκτυο, τόσο μικρότερες είναι αυτές οι διακυμάνσεις και τόσο πιο σταθερή είναι η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας.

- Οι ανεμογεννήτριες παράγουν μηχανικό και αεροδυναμικό θόρυβο κυρίως για ταχύτητες ανέμου κάτω από 7-8m/s. Ωστόσο, αφενός μεν το γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριες ενσωματώνουν όλες τις τελευταίες τεχνολογίες μείωσης του θορύβου (μηχανικού και αεροδυναμικού), αφετέρου δε το γεγονός ότι τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται σε απόσταση λίγων εκατοντάδων μέτρων (τουλάχιστον) από τους γύρω οικισμούς, εξασφαλίζουν ότι το αιολικό πάρκο δεν θα προκαλέσει σημαντική αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου εκτός των ορίων του.
- Υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις κατά την φάση της κατασκευής στα είδη της χλωρίδας στην περιοχή κατάληψης του έργου αλλά οι επιπτώσεις αυτές κρίνονται ως ασθενείς ως προς την ένταση, τοπικού χαρακτήρα και μπορούν να χαρακτηριστούν σχεδόν ολικά αντιστρεπτές μετά το πέρας της φάσης της κατασκευής. Επιπλέον, από το σύνολο της πανίδας μόνο τα πτηνά μπορούν να επηρεασθούν από το αιολικό πάρκο κυρίως με θανάτωση (ή τραυματισμό) μετά από προσκρούσεις στους ανεμοκινητήρες. Ωστόσο, μακροχρόνιες έρευνες για τα πτηνά έχουν δείξει ότι οι θάνατοι (ή τραυματισμοί) από προσκρούσεις σε ανεμογεννήτριες είναι πολύ λιγότερες από τους θανάτους που προέρχονται από συγκρούσεις πτηνών με διάφορες κατασκευές των ανθρώπων όπως εναέριες ηλεκτρικές γραμμές, πυλώνες, ιστοί, κινούμενα οχήματα, παράθυρα κτιρίων κλπ. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι επιπτώσεις αυτές συγκριτικά θεωρούνται από πολύ μικρές έως αμελητέες από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές οργανώσεις του πλανήτη (Greenpeace, WWF, RSPM, κλπ.).

1.2.8.2 Τρέχουσα Κατάσταση της Αιολικής Ενέργειας

Πολλές χώρες παγκοσμίως παράγουν μέρος της αναγκαίας ενέργειάς τους με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Σύμφωνα με κανονισμούς, μέχρι το 2020, πρέπει να έχουμε αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην τελική κατανάλωση στο επίπεδο του 20% για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Γενικότερα στις μέρες μας, υπάρχει μια στροφή προς την πράσινη ενέργεια από όλες τις χώρες

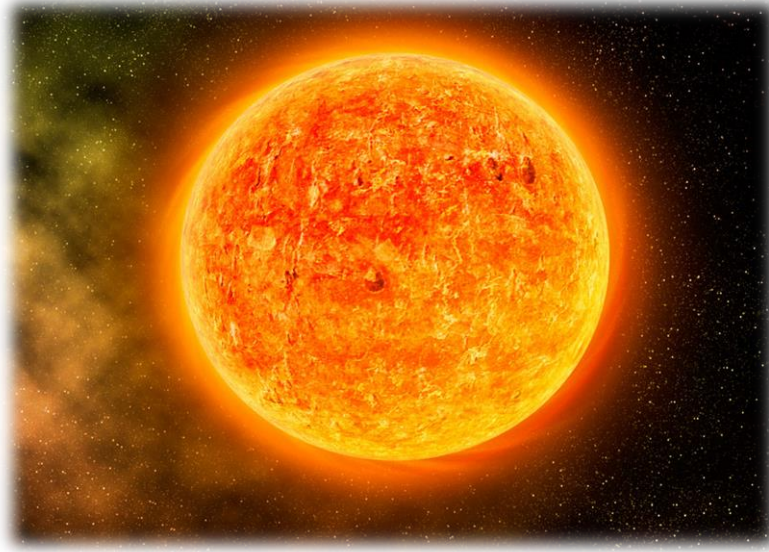
παγκοσμίως, λόγω της ασύμφορης εξάρτησης από το πετρέλαιο. Λόγω της ενθάρρυνσης τέτοιων πολιτικών, έχουν αρχίσει να εγκαθίστανται μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

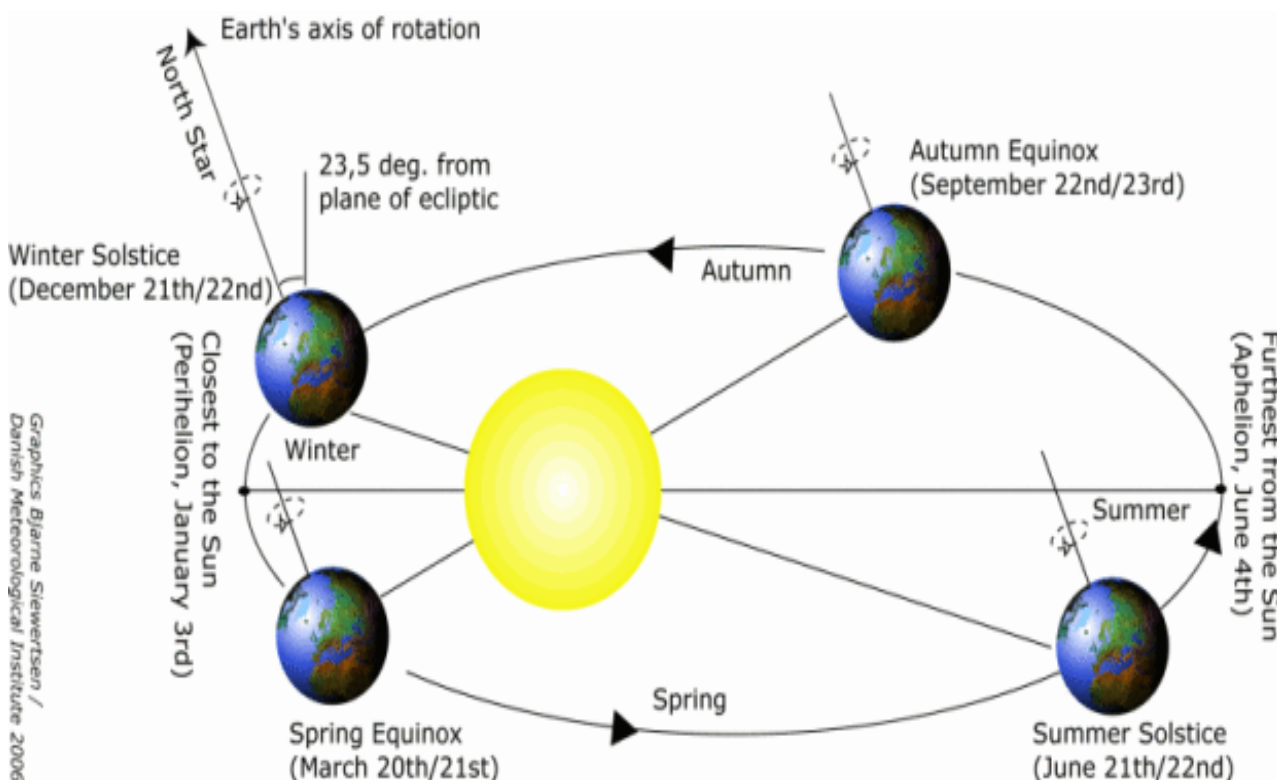
2.1 Εισαγωγή

Ο ήλιος είναι μία σφαίρα αερίων διαμέτρου 142×10^6 χιλιόμετρα και θερμοκρασίας 5777°K στην επιφάνεια του και 15000000°K στο εσωτερικό του. Περίπου το 74% της μάζας του είναι υδρογόνο, το 25% είναι ήλιο ενώ το υπόλοιπο 1% άλλα στοιχεία. Είναι το κοντινότερο άστρο στην γη, σε μέση απόσταση $149.504.312$ χιλιομέτρων, και για τον λόγο αυτό είναι η πηγή ζωής για τον πλανήτη μας. Στο εσωτερικό του εκτυλίσσονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις από τις οποίες προέρχεται και η ηλιακή ενέργεια. Από την σύντηξη τεσσάρων πυρήνων υδρογόνου σχηματίζεται ένας πυρήνας ηλίου, η μικρή ελάττωση μάζας που λαμβάνει χώρα κατά την αντίδραση αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια, η οποία μεταφέρεται από το εσωτερικό του ηλίου στην επιφάνεια του, από όπου και εκπέμπεται και ως ηλεκτρομαγνητική και σωματιδιακή ακτινοβολία στο διάστημα. Η εκπομπή αυτή είναι ομοιόμορφη προς όλες τις κατευθύνσεις, ωστόσο η γη συλλέγει μόνο ένα μέρος της ενέργειας αυτής. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο διάστημα με την ταχύτητα του φωτός και διανύουν την απόσταση ήλιος-γη σε $8,3$ λεπτά. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μήκη κύματος από 10^{-14} έως 10^{10} m, το σύνολο αυτό των μηκών κύματος αποτελούν το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**.



2.2 Ηλιακή Γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ώρα, η εποχή, οι καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες, η υγρασία, η κ.α. Ο πιο σημαντικός από αυτούς τους παράγοντες είναι η ηλιακή γεωμετρία. Η ηλιακή γεωμετρία αναφέρεται στην μελέτη της θέσης του ήλιου σε σχέση με δεδομένο σημείο κατά ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ηλιακή γεωμετρία εξαρτάται από δύο κινήσεις. Οι κινήσεις αυτές είναι η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο και η περιστροφή της γύρω από τον εαυτό της. Η Γη κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Ήλιο, με τον ήλιο στην θέση της μίας εστίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. Η τροχιά αυτή αναπτύσσεται στο εκλειπτικό επίπεδο (ecliptic plane). Η ολοκλήρωση της κίνησης της γης, στο εκλειπτικό επίπεδο, απαιτεί ένα ημερολογιακό έτος (365 ημέρες). Η απόσταση που μεσολαβεί μεταξύ του κέντρου του Ήλιου και του κέντρου της Γης μεταβάλλεται κατά τη μεταφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια του έτους. Η κοντινότερη απόσταση της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο σηματοδοτεί το περιήλιο, ενώ η μακρινότερη απόσταση σηματοδοτεί το αφήλιο της τροχιάς.



Εικόνα 2.1 : Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο

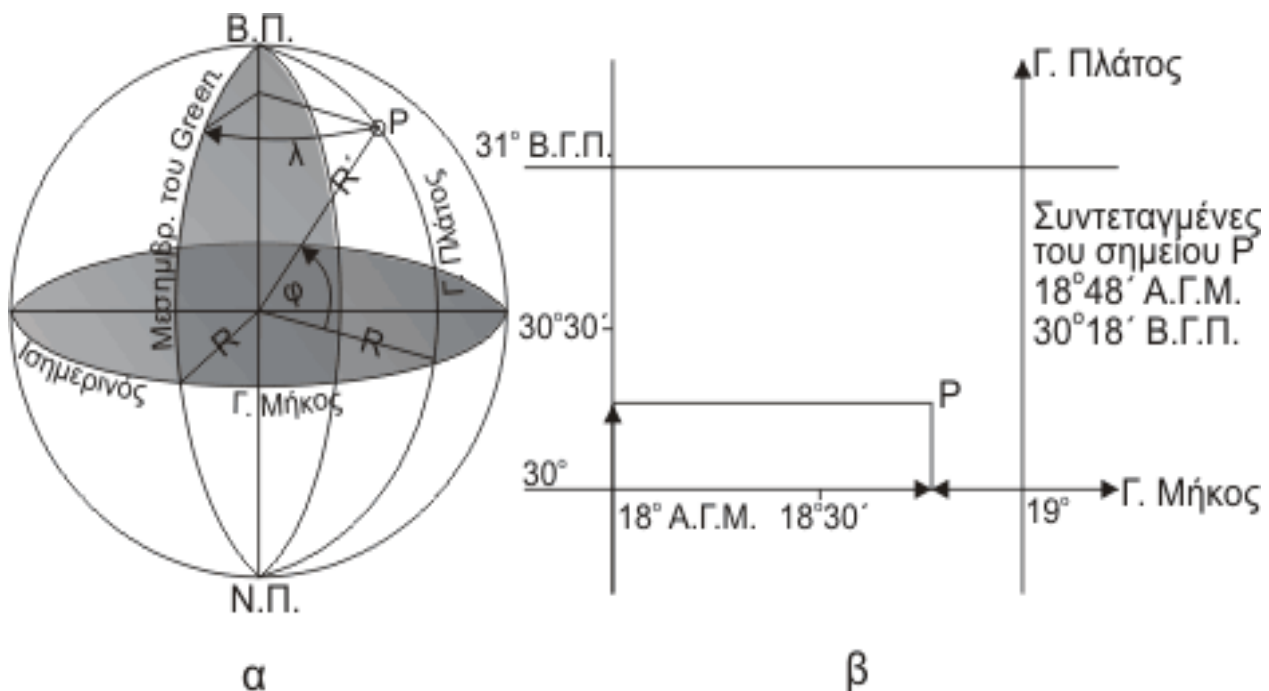
Ακόμη η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της, ο οποίος είναι ο νοητός άξονας που ενώνει τους 2 πόλους της γης, και ονομάζεται πολικός άξονας. Η περιστροφή γύρω από τον πολικό άξονα απαιτεί 24 ώρες και η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο εκλειπτικό πεδίο και στον πολικό άξονα διατηρείται σταθερή και είναι ίση με 23.45° . Κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο διατηρείται σταθερός ο προσανατολισμός του πολικού άξονα ως προς το εκλειπτικό επίπεδο. Για τους περισσότερους πρακτικούς υπολογισμούς που συνδέονται με την ηλιακή ενέργεια την οποία δέχεται ένας ηλιακός συλλέκτης, είναι χρήσιμο να υποθέτουμε ότι η Γη είναι σταθερή και ότι ο Ήλιος κινείται γύρω της, διαγράφοντας τροχιά πάνω στο εκλειπτικό πεδίο. Στην περίπτωση αυτή, ο πολικός άξονας της Γης είναι κάθετος στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού.

2.3 Προσδιορισμός τοποθεσίας πάνω στην Γη

Κάθε τοποθεσία πάνω στη Γη προσδιορίζεται μονοσήμαντα από δύο σφαιρικές συντεταγμένες: το **γεωγραφικό μήκος** και το **γεωγραφικό πλάτος**. Οι γωνίες μετρούνται από το κέντρο της Γης. Το επίπεδο αναφοράς είναι το επίπεδο του Ισημερινού, το οποίο τέμνει κάθετα τον πολικό άξονα της Γης, και συναντά την επιφάνεια

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

της Γης κατά μήκος του Ισημερινού. Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται από τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του Ισημερινού και τη νοητή γραμμή που ενώνει το κέντρο της Γης με την τοποθεσία που πρόκειται να προσδιοριστεί πάνω στην επιφάνεια της Γης. Οι κύκλοι που τέμνουν την επιφάνεια της Γης παράλληλα με τον Ισημερινό καθορίζουν τις θέσεις πάνω στην επιφάνεια της Γης με κοινό γεωγραφικό πλάτος. Εξ ορισμού το γεωγραφικό πλάτος λαμβάνεται θετικό στο Βόρειο ημισφαίριο και αρνητικό στο Νότιο.



Εικόνα 2.2 : Σύστημα Συντεταγμένων

Για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους απαιτείται ένα επίπεδο αναφοράς το οποίο θα τέμνει κάθετα το επίπεδο του Ισημερινού και θα περιλαμβάνει τον πολικό άξονα της Γης. Αυτό το επίπεδο δημιουργεί δύο ημικύκλια από τον έναν πόλο έως τον άλλο, που ονομάζονται μεσημβρινοί. Στο γεωγραφικό μήκος μηδέν βρίσκεται εξ ορισμού ο μεσημβρινός που διέρχεται από το Greenwich στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το γεωγραφικό μήκος οποιασδήποτε τοποθεσίας καθορίζεται από τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο μεσημβρινό αναφοράς και το μεσημβρινό ο οποίος περνάει από την τοποθεσία της θέσης που πρόκειται να προσδιοριστεί. Εξ ορισμού το γεωγραφικό μήκος λαμβάνεται θετικό για τα γεωγραφικά μήκη που βρίσκονται δυτικά του Greenwich.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Και προκύπτει από το γεγονός ότι η πρώτη ημέρα του ημερολογιακού έτους υπολείπεται κατά 81 ημέρες από την επερχόμενη εαρινή ισημερία. Πέρα από τις βασικές γωνίες που αναφέρθηκαν παραπάνω υπάρχουν και 2 γωνίες οι οποίες μας βοηθούν να προσδιορίσουμε την θέση του Ηλίου. Αυτές είναι το **ύψος** και το **αζιμούθιο**. Ύψος β είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ μιας γωνίας και της οριζόντιας προβολής της και υπολογίζεται από την σχέση

$$\sin\beta = \sin\delta \cdot \sin L + \cos\delta \cdot \cos L \cdot \cos h$$

όπου L το γεωγραφικό πλάτος. Αντί για το ύψος συχνά χρησιμοποιείται η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, η οποία ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση ή ζενιθιακή γωνία του ηλίου.

Αζιμούθιο Z είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της οριζόντιας προβολής της ακτίνας και της διεύθυνσης που λαμβάνεται ως αφετηρία. Μετράται στο οριζόντιο επίπεδο δεξιόστροφα, με αφετηρία τον Βορρά ή τον Νότο. Η σχέση που δίνει το αζιμούθιο είναι :

$$\cos Z = \sin\beta * \sin L - \sin\delta \cos\beta * \cos L$$

Ο τύπος προσδιορισμού του αζιμούθιου ισχύει ως έχει μόνο όταν $h \leq 0$. Στην αντίθετη περίπτωση ($h > 0$) ο τύπος παρέχει το $-\cos Z$. Διευκρινίζεται επίσης πως όλες οι γωνίες είναι σε μοίρες.

2.5 Ηλιακή ώρα

Η ηλιακή ώρα έχει ως αναφορά τον ήλιο και δεν ταυτίζεται με την τοπική ώρα. Ο τύπος υπολογισμού της είναι

$$LST = CT + (Lstd - Lloc) 15 + E - DT$$

Όπου

LST : Local solar time – Τοπική ηλιακή ώρα για δεδομένη ημέρα, σε συγκεκριμένη ηλιακή θέση

CT : Clock time – Τοπική ώρα

Lstd : Ο κεντρικός μεσημβρινός για την ώρα τοπικής ζώνης

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Lloc : Το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας για την οποία υπολογίζεται η ηλιακή ώρα

E : Εξίσωση χρόνου

DT: Daylight savings time correction-

Διόρθωση θερινής ώρας (για θερινή ώρα έχουμε $DT = 0$)

$$Lst = 15^{\circ}/h * \Delta T_{GMT}$$

Όπου Lst : Ο μεσημβρινός αναφοράς για τον καθορισμό της τοπικής ώρας

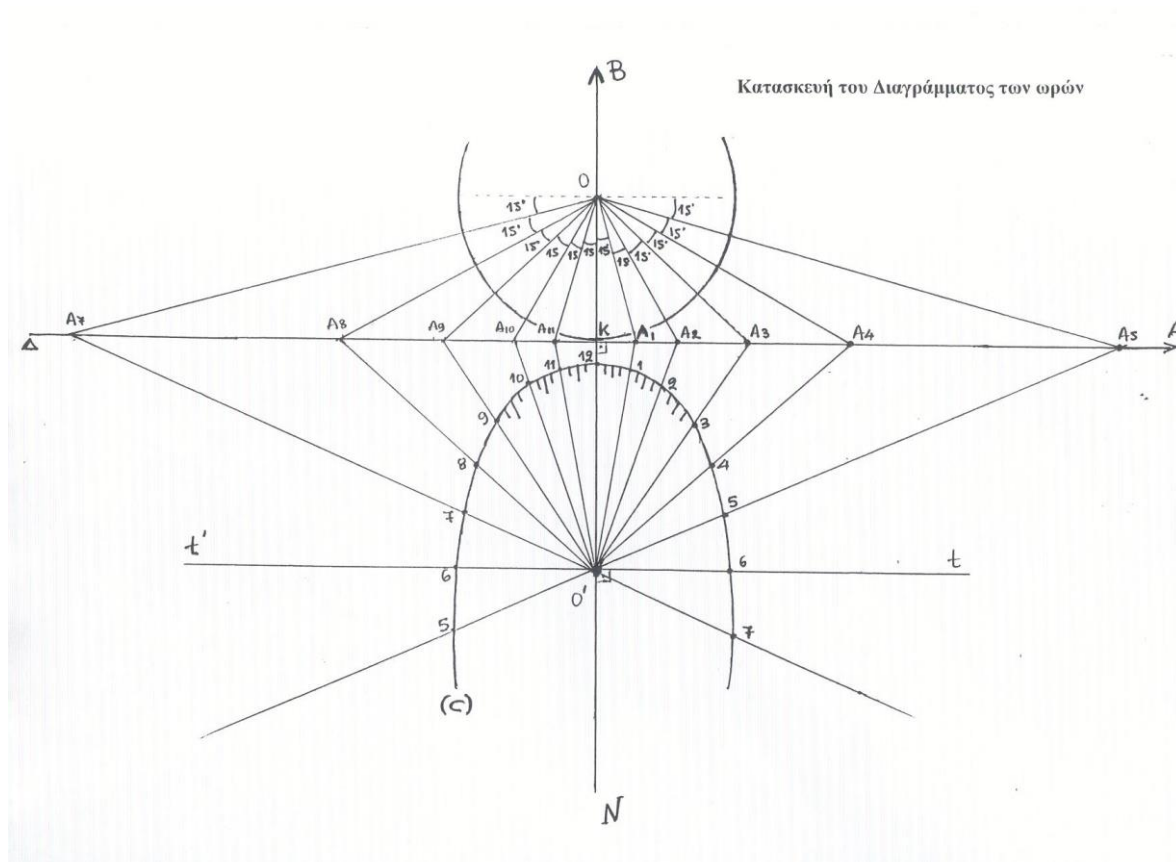
ΔTGMT : Η διαφορά μεταξύ της τοπικής ώρας και της ώρας Greenwich

15°/h : 360°/ 24 ώρες

Εξίσωση χρόνου : $E = 0,165 * \sin 2B - 0,126 * \cos B - 0,025 * \sin B$

B : γωνία ημέρας $B = 360 * (n - 81) / 364$

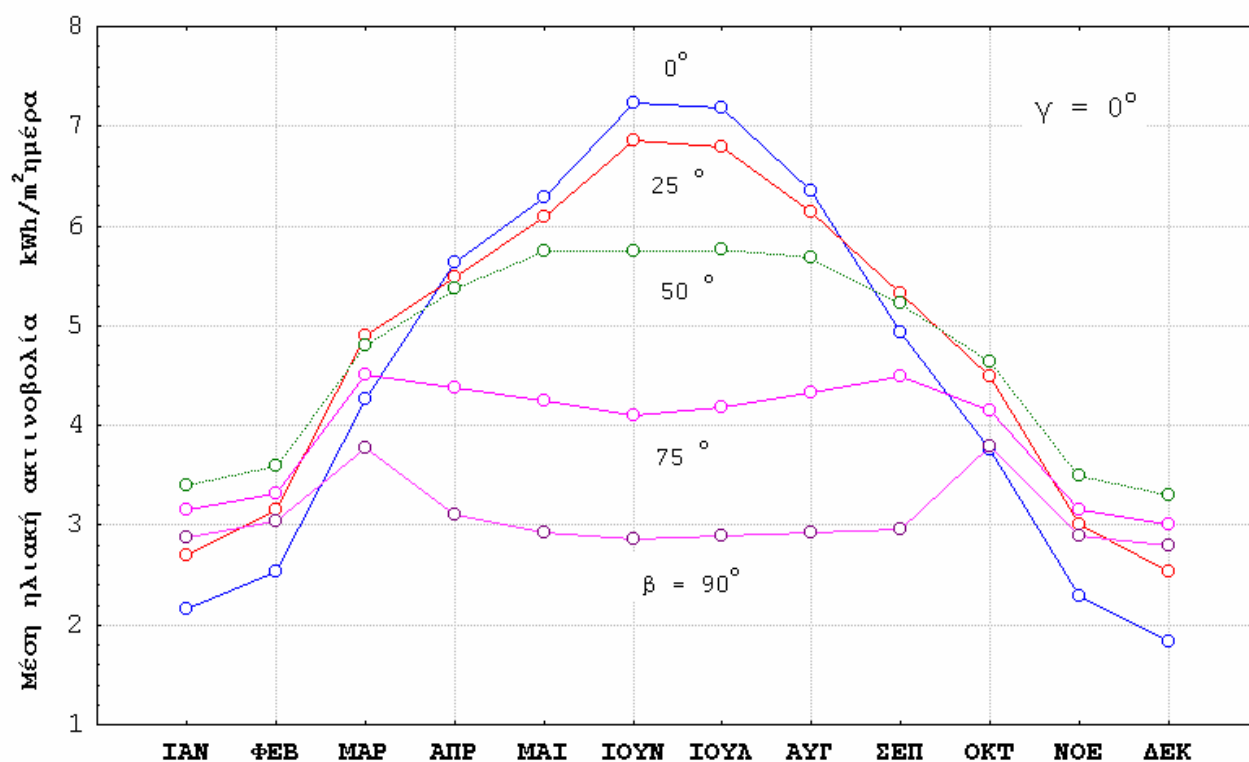
n : Η ημέρα του ημερολογιακού έτους ([3] [4] [5])



Εικόνα 2.4 : Ηλιακό ρολόι

2.6 Ηλιακή ακτινοβολία-Ροή και διακύμανση

Ροή της ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας, τοποθετημένης κάθετα στην διεύθυνση της ακτινοβολίας. Μετριέται σε kWh/m^2 . Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία σκόνη και άλλα αιωρούμενα σωματίδια. Στο σχήμα φαίνεται η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο μέρος για τους διάφορους μήνες ενός έτους.



Εικόνα 2.5 : Μέση ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του έτους για διάφορες γωνίες γ

Χαρακτηριστικό μέγεθος για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας μιας περιοχής είναι η αιχμή της που μετράται κατά το ηλιακό μεσημέρι και δείχνει την μέγιστη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια γίνεται μέγιστη όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι όσο το δυνατόν περισσότερο κάθετα. Επίσης στην διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλει η καθαρότητα του

ουρανού, δηλαδή αν έχει ή όχι σύννεφα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρατηρούμε απότομες πτώσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που οφείλονται σε κάποιο νέφος ή κάποιο σμήνος πουλιών που πέρασε πάνω από την περιοχή μέτρησης. Σημειώνεται ότι οι εξάρσεις που παρατηρούμε πάνω από την κανονική τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας (διακεκομμένη γραμμή) οφείλονται στο άθροισμα της άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας και την ανακλώμενη από τα σύννεφα. Στο βόρειο ημισφαίριο για οριζόντιες επιφάνειες η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται κατά το θερινό ηλιοστάσιο στις 21 Ιουνίου και η ελάχιστη κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο στις 21 Δεκεμβρίου. Όμως για επιφάνειες οι οποίες είναι τοποθετημένες σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής η μέγιστη τιμή της ακτινοβολίας δεν παρατηρείται κατά το θερινό ηλιοστάσιο, όπως στις οριζόντιες επιφάνειες αλλά κατά τα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών δηλαδή στις 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου. Αυτό συμβαίνει επειδή τις ημέρες αυτές οι επιφάνειες δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ηλίου.

2.7 Ηλιακή σταθερά

Ως **ηλιακή σταθερά** ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στην διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, σε απόσταση μιας αστρολογικής μονάδας στο όριο της ατμόσφαιρας.

$$I_{sc'} = 367 \text{ W/m}^2 .$$

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς

$$I_{sc} = I_{sc'} * (1 + 0.033 * \cos 360 * n / 365)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών και η καρδιά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες. Αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου, που καθώς δέχονται στην επιφάνειά τους την ηλιακή ακτινοβολία εκδηλώνουν μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την ένταση ακτινοβολίας που δέχονται, ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει τάση μέχρι 0,5- 1,0 Volt και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40 mA ανά cm^2 της επιφανείας του. Το είδος του ημιαγωγού που επιλέγεται ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων καθορίζεται με κυριότερο κριτήριο όπως θα δούμε και στη συνέχεια, την τιμή του ενεργειακού διακένου του η οποία καθορίζει και την απόδοση του στοιχείου. Ως συντελεστής απόδοσης ή απλούστερα ως απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του. Οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου 25% και μπορούν να πραγματοποιηθούν με φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1,5 eV.

3.2 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.

Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς (Σχήμα 3.2). 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-η ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς (Σχήμα 3.2). 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).

3.3 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 διάκενο 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 αντίθετου πρόσημου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου.

Τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο στην εμπρός όψη του, 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 χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο. Έτσι, τα

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

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 μια 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 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. Συμπερασματικά, η συνεργασία των δύο προαναφερθέντων παραγόντων, του ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου των δύο σε επαφή φωτοαγώγιμων υλικών και του φωτός, παράγει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο:

$$\text{Επαφή υλικών} + \text{φως} = \text{Φωτοβολταϊκό φαινόμενο}$$

3.4 Υλικά και Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β στοιχείων είναι:

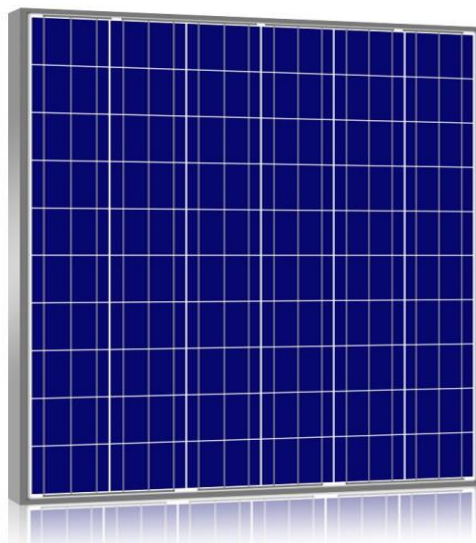
- Τεχνολογία παραγωγής ημιαγώγιμων υλικών με κρυσταλλική δομή, την πλειοψηφία των οποίων αποτελεί το πυρίτιο.
- Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), η οποία ονομάζεται έτσι επειδή το πάχος των στοιχείων είναι πολύ μικρό (μερικά μόνο μm).
- Άλλες τεχνολογίες που σκοπό έχουν να γίνει λιγότερο ενεργοβόρα η παραγωγή του καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge defined film fed growth και μέθοδος String Process). Οι κρύσταλλοι και η μορφή λεπτού φιλμ διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την απόδοση απορρόφησης του φωτός, την απόδοση μετατροπής της μια μορφής ενέργειας στην άλλη, την τεχνολογία κατασκευής και το κόστος κατασκευής

3.4.1 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου

Το υλικό, που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των Φ/Β κυψελίδων, είναι το πυρίτιο (Si). Στην άμμο, το πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO₂). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή καθαρότητα (99,99999%). Τα Φ/Β στοιχεία Πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

A) Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (Single-crystal Silicon)

Το βασικό υλικό είναι μονο-κρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (Wafer ~ 300μm). Η απόδοσή τους, με τη μορφή κυψελίδας, κυμαίνεται από ~ 21% έως ~24%, ενώ με τη μορφή των Φ/Β πλαισίων μεταξύ 13 έως 16%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Χρώμα: Σκούρο μπλε.



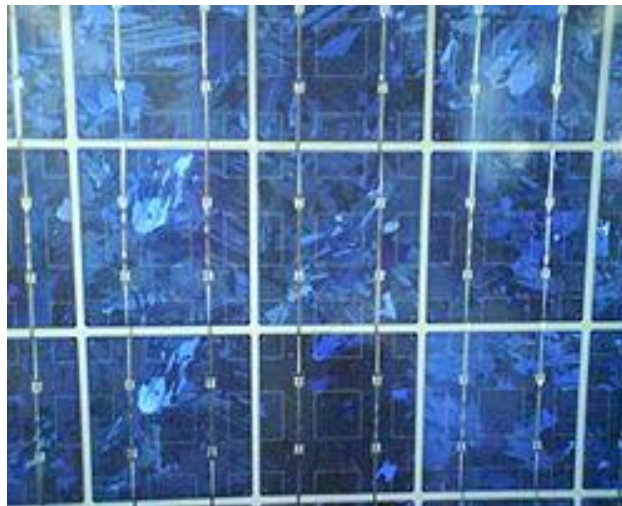
Εικόνα 3.1 : Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (Single-crystal Silicon)

B) Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)

Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους 10 έως 50 μm. Στην

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

επιφάνεια της κυψελίδας διακρίνονται σε διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όριά τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Άρα, όσο μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχείο, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού Φ/Β στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοση του, η οποία κυμαίνεται από 17% έως ~20%, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως και 14% σε βιομηχανική μορφή Φ/Β πλαισίου. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα.. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο.



Εικόνα 3.2 : Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)

Γ) Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)

Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους. Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6% έως 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος

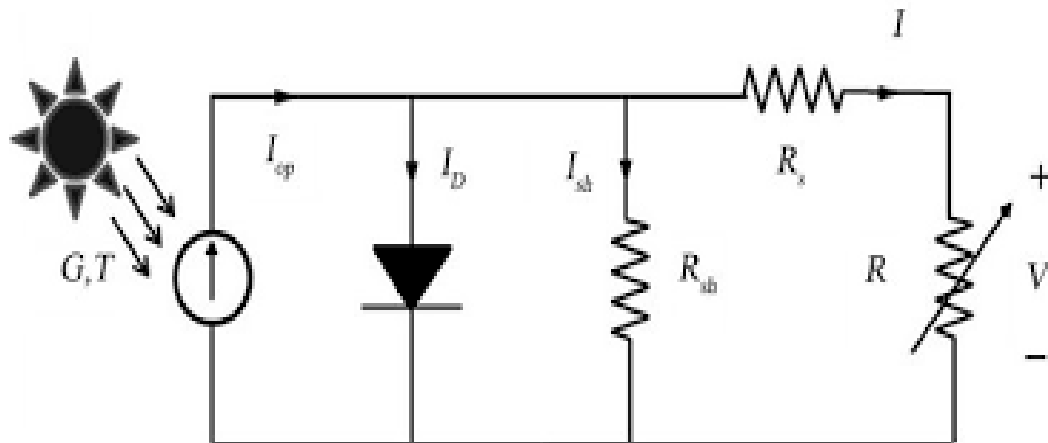


Εικόνα 3.3 : Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)

3.5 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

3.5.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου και Χαρακτηριστική Εξίσωση

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχήματος 3.7 παρακάτω. Στο ισοδύναμο αυτό δε συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.



Εικόνα 3.4 : Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Η βασική εξίσωση του ιδανικού ηλιακού κυττάρου είναι η εξής:

$$I = I_0(e^{\frac{qV}{kT}} - 1)I_L$$

όπου I = το ρεύμα του κυττάρου.

V = η τάση του κυττάρου.

I_L =το φωτόρευμα.

I_0 =το ρεύμα κόρου της διόδου που δίνεται από τη σχέση

$$I_0 = A\left(\frac{qD_e N_i^2}{L_e N_A} + \frac{qD_h N_i^2}{L_h N_D}\right)$$

Όπου

A = διατομή του κυττάρου.

$n_i = n = p$ = ενδογενής συγκέντρωση ηλεκτρονίων (οπών) σε καθαρό κρύσταλλο πυριτίου.

L_e =μήκος διάχυσης ηλεκτρονίων

τ_e = διάρκεια ζωής ηλεκτρονίων σαν φορέων μειονότητας = ο χρόνος μεταξύ της δημιουργίας ενός φορέα σε υλικό που αποτελεί φορέα μειονότητας και της επανασύνδεσης του με φορέα πλειονότητας.

L_h = μήκος διάχυσης οπών

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

τ_h = διάρκεια ζωής οπών σαν φορέων μειονότητας.

Ωστόσο στην πράξη κανένα ηλιακό κύτταρο δεν είναι ιδανικό γι' αυτό τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει, αφενός την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του φωτοβολταϊκού στοιχείου, που είναι παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της διόδου, αφετέρου την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο.

Η χαρακτηριστική εξίσωση για το παραπάνω ηλιακό κύτταρο είναι η εξής:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{AKT}} - 1 \right) - \frac{V}{R_{sh}}$$

όπου I = το ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου.

I_L = φωτόρευμα.

I_0 = ρεύμα κόρου διόδου.

q = φορτίο ηλεκτρονίου.

V = τάση στην έξοδο του κυττάρου.

R = σε σειρά αντίσταση του κυττάρου. Παριστάνει σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα κατανεμημένα στοιχεία αντίστασης κατά τη ροή των φορέων στον κυρίως ημιαγωγό, την επιφανειακή ροή στον ημιαγωγό (συνήθως τύπου-n) που βρίσκεται στην πλευρά που προσπίπτει το φως και αποτελείται από πολύ λεπτό στρώμα, την ενδοεπιφάνεια μεταξύ ημιαγωγού-ωμικής επαφής και την ωμική επαφή. Τυπικές τιμές της R_s , για καλής ποιότητας Φ/Β στοιχεία: 0,1 Ω έως 0,3 Ω .

$V + IR_s = V_D =$ τάση της διόδου επαφής μέσα στο κύτταρο.

A = σταθερά με τιμές 1 και 2. Οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης που συμβαίνουν στην περιοχή της επαφής.

K = Σταθερά Boltzmann.

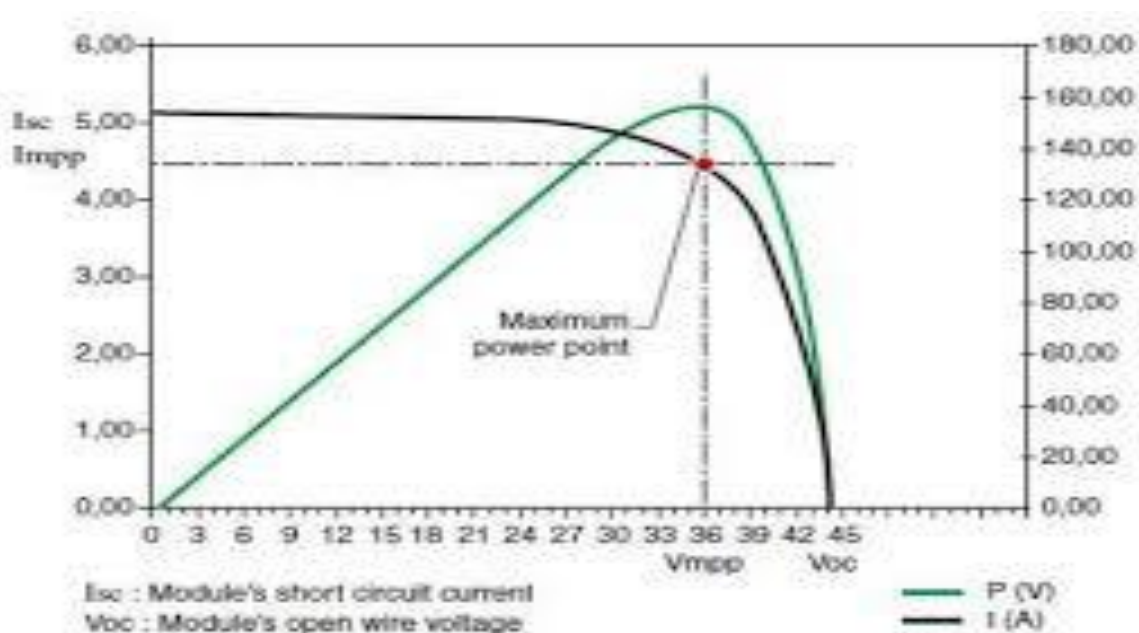
T = απόλυτη θερμοκρασία.

R_{sh} = παράλληλη αντίσταση του κυττάρου. Σχετίζεται με τη διαρροή του ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n. Αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα

άκρα της διόδου. Η τιμή της R_{sh} σε πολύ καλής απόδοσης Φ/Β στοιχεία είναι μεγαλύτερη των 103 Ω.

3.5.2 I – V Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το Φ/Β στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά συναρτήσει της έντασης του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Η γραφική παράσταση μεταξύ ρεύματος στην έξοδο (I) και τάσεως στην έξοδο (V) ενός ηλιακού κυττάρου καλείται I –V χαρακτηριστική και έχει επικρατήσει να παριστάνεται στο πρώτο τεταρτημόριο.



Εικόνα 3.5 : I – V Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος, I_{sc} και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης, V_{oc}). Συνεπώς οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την καμπύλη είναι: Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} είναι το ρεύμα για $V = 0$ και αν θεωρήσουμε την R_s πολύ μικρή είναι ίσο με το φωτόρευμα I_L .

3.5.3 Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc}

Είναι η τάση για $I = 0$ και αν θεωρήσουμε τη R_{sh} πολύ μεγάλη τότε από την εξίσωση (3.4) προκύπτει:

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right)$$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος **V_{oc}** καθορίζεται, αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n, όπως το βασικό υλικό, τη συγκέντρωση των προσμείξεων και τη θερμοκρασία και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

3.5.4 Σημείο μέγιστης ισχύος P_m

Στο σημείο αυτό αντιστοιχεί ρεύμα I_m και τάση V_m και βρίσκεται στο σημείο από το οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε το ορθογώνιο με την μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στη $I - V$ καμπύλη. Μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και το σημείο P_m παριστάνει τη βέλτιστη αντίσταση φορτίου R_{Lopt} , που έχει κλίση $1/R_{Lopt} = I_m / V_m$. Επίσης, η $I - V$ χαρακτηριστική είναι εφαπτόμενη σε κάποια καμπύλη σταθερής ισχύος στο σημείο μέγιστης ισχύος, όπου $dP / dV = 0$ και επειδή το σημείο επαφής δε μπορεί να καθορισθεί επακριβώς για καμπύλες που κατασκευάζονται με βάση πειραματικά δεδομένα είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μια $P - V$ καμπύλη και να εντοπιστεί το μέγιστο αυτής.

3.5.5 Ο συντελεστής πλήρωσης ff (Fill Factor)

Ο συντελεστής ποιότητας (παράγοντας πληρότητας ή πλήρωσης) ff (fill factor) είναι ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος $P_m = V_m * I_m$ ενός Φ/B στοιχείου ή Φ/B πλαισίου γενικότερα, προς το γινόμενο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος V_{oc} επί το ρεύμα

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

βραχυκύκλωσης I_{sc} , αντίστοιχα, για τη δεδομένη πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και είναι ένα μέτρο του πόσο “τετράγωνη” είναι η $I - V$ καμπύλη.

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

Είναι ουσιαστικά συνάρτηση μόνο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος V_{oc} επειδή εξαρτάται κυρίως απ' αυτήν. Αν ορίσουμε μια κανονικοποιημένη τάση

($U_{oc} = V_{oc}/(AKT/q)$) η ιδανική (μέγιστη) τιμή του δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

$$ff_o = \frac{U_{oc} - \ln(U_{oc} + 0,72)}{U_{oc} + 1} \text{ για } U_{oc} > 10$$

Οι τιμές του, που καθορίζονται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τις συνθήκες, είναι μεταξύ 0 και 1 και πιο συγκεκριμένα τυπικές τιμές του είναι μεταξύ 0,7 και 0,85. Η τιμή αναφοράς του δίδεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του ff , τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή τάσεων $0 - V_{oc}$. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά, αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης. Τυπικές τιμές 0,7 με 0,9 χαρακτηρίζουν Φ/Β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση αντίστοιχα. Έχοντας δει τη μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{oc} και του ρεύματος βραχυκυκλώσεως I_{sc} συναρτήσει της ακτινοβολίας, μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλεται και η $I - V$ χαρακτηριστική του κυττάρου όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του καθώς και ποιες μεταβολές στις παραμέτρους της $I - V$ χαρακτηριστικής θα προκληθούν με μεταβολή της θερμοκρασίας. Μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας Όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του κυττάρου και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας), μεταβάλλεται και η $I - V$ χαρακτηριστική του κυττάρου και μάλιστα η απόκριση είναι πολύ γρήγορη (σταθερά χρόνου της τάξεως των μsec). Για τους περισσότερους τύπους ηλιακών κυττάρων που έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία σε ένταση ακτινοβολίας μιας περίπου ηλιακής σταθεράς, η μορφή της $I - V$ καμπύλης δε μεταβάλλεται ουσιαστικά με την ένταση στην περιοχή 0,5-2 ηλιακές σταθερές, το ρεύμα I_{sc} πρακτικά μεταβάλλεται αναλογικά με την ένταση, η τάση V_{oc} μεταβάλλεται λιγότερο (λογαριθμική εξάρτηση).

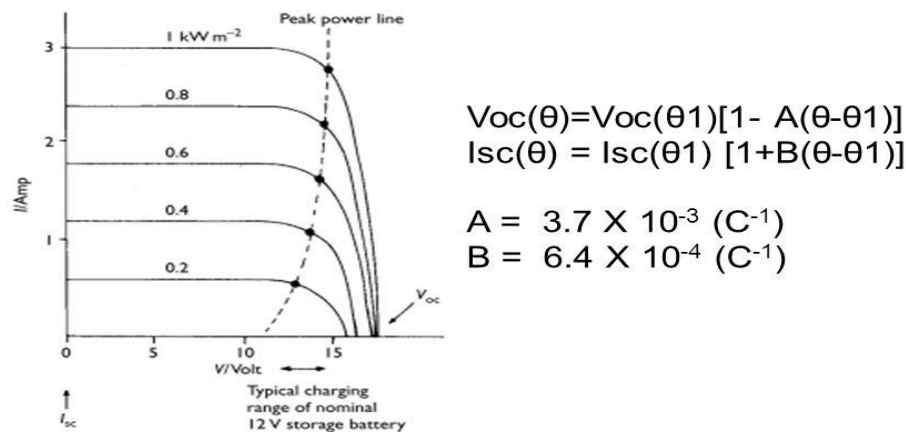


Figure 7.25 I-V characteristic of a typical 36-cell Si module used for battery charging or other loads for various irradiances. Note that even without maximum power load control, the peak power line, of maximum IV product, is a good match with the charging voltage range of the nominally 12 V battery.

Εικόνα 3.6 : I – V Χαρακτηριστική πυριτίου που χρησιμοποιείται για φόρτιση μπαταριών

3.5.6 Μεταβολή της θερμοκρασίας

Όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του κυττάρου προκαλούνται οι παρακάτω μεταβολές στις παραμέτρους της $I - V$ χαρακτηριστικής. Με αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του κυττάρου:

- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} αυξάνεται ελαφρά (εξαρτάται βέβαια και από την ένταση της ακτινοβολίας και οφείλεται σε μεταβολή της δυνατότητας συλλογής των φορέων, αφού και το ενεργειακό χάσμα μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας).

Τυπικές τιμές:

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = 0,01 \frac{mAcm^{-2}}{^{\circ}C}$$

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} μειώνεται (οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου). Τυπικές τιμές:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2,2 \text{ mV}/^{\circ}C$$

- Η ισχύς P_m (P_{mpp} ή P_{max}) μειώνεται, ενώ μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης (το σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης γίνεται πιο στρογγυλεμένο με αύξηση της θερμοκρασίας). Τυπικές τιμές:

$$\frac{dP_m}{dT} = -0,4 \text{ έως } -0,5 \% / ^\circ\text{C}$$

3.5.7 Ο Βαθμός Απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτρικού κυττάρου δίνεται από την εξής σχέση :

$$n = \frac{V_{oc} I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} ff}{P_{in}}$$

Όπου

P_{in} είναι η ολική ισχύς της προσπίπτουσας στο κύτταρο ακτινοβολίας.

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών κυττάρων του εμπορίου βρίσκεται στην περιοχή 12 μέχρι 14%, ενώ σε πειραματικά μοντέλα έχουν επιτευχθεί μεγαλύτερες τιμές. Ο θεωρητικά μέγιστος δυνατός βαθμός απόδοσης, με βάση τη σχέση, εξαρτάται από τις μέγιστες τιμές των I_{sc} , V_{oc} και ff , κυρίως όμως από τα δύο πρώτα, διότι όπως έχει αναφερθεί η μέγιστη τιμή του ff είναι συνάρτηση του V_{oc} . Έτσι προκύπτει για το πυρίτιο η μέγιστη τιμή της V_{oc} περίπου 100 mV. Η αντίστοιχη μέγιστη τιμή του ff είναι 0,84 οπότε μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης. Μια λογική εκτίμηση της ελάχιστης τιμής του I_0 που προκύπτει συναρτήσει του ενεργειακού χάσματος είναι:

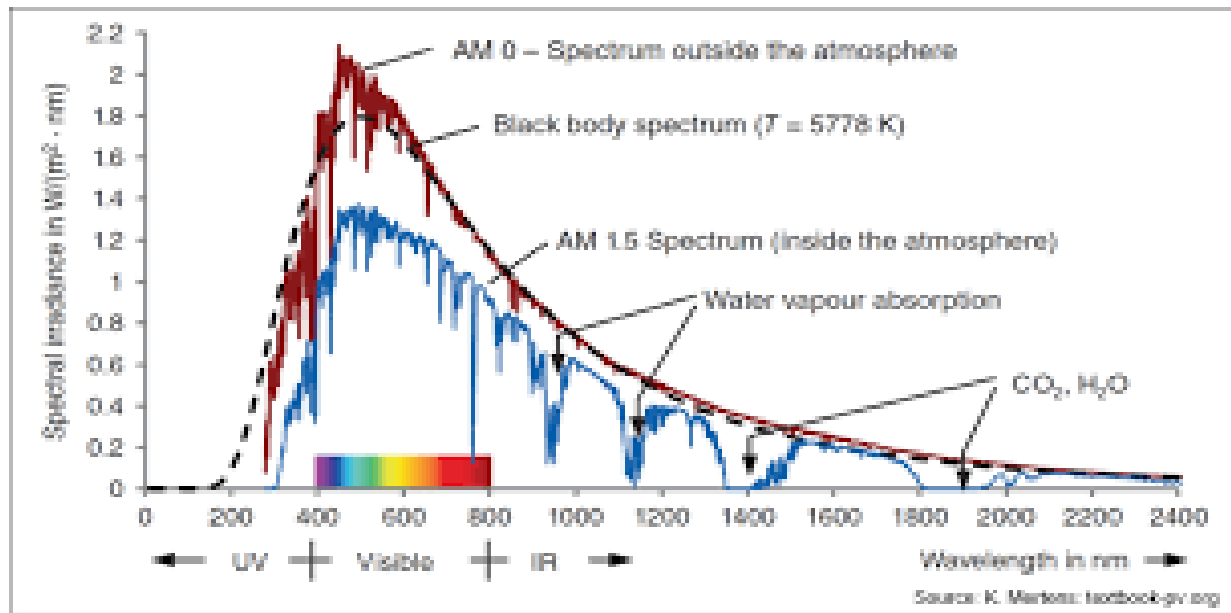
$$I_0 = 1,5 * 10^5 e^{\frac{-E_g}{kT}}$$

Αυτή η σχέση δείχνει ότι η μέγιστη τιμή του V_{oc} ελαττώνεται, όταν ελαττώνεται το ενεργειακό χάσμα, τάση που είναι αντίθετα από εκείνη που ισχύει για το I_{sc} . Κατά συνέπεια θα υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του ενεργειακού χάσματος που θα δίνει το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης όπως φαίνεται στο σχήμα όπου η μέγιστη απόδοση συμβαίνει για ενεργειακό χάσμα στην περιοχή (1,4-1,6 eV). Το ενεργειακό χάσμα του πυριτίου (1,1 eV) είναι μικρότερο από το βέλτιστο αλλά η θεωρητικά μέγιστη απόδοση είναι ακόμα πολύ υψηλή, ενώ το GaAs έχει ένα σχεδόν βέλτιστο ενεργειακό χάσμα (1,4 eV).

3.5.8 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης

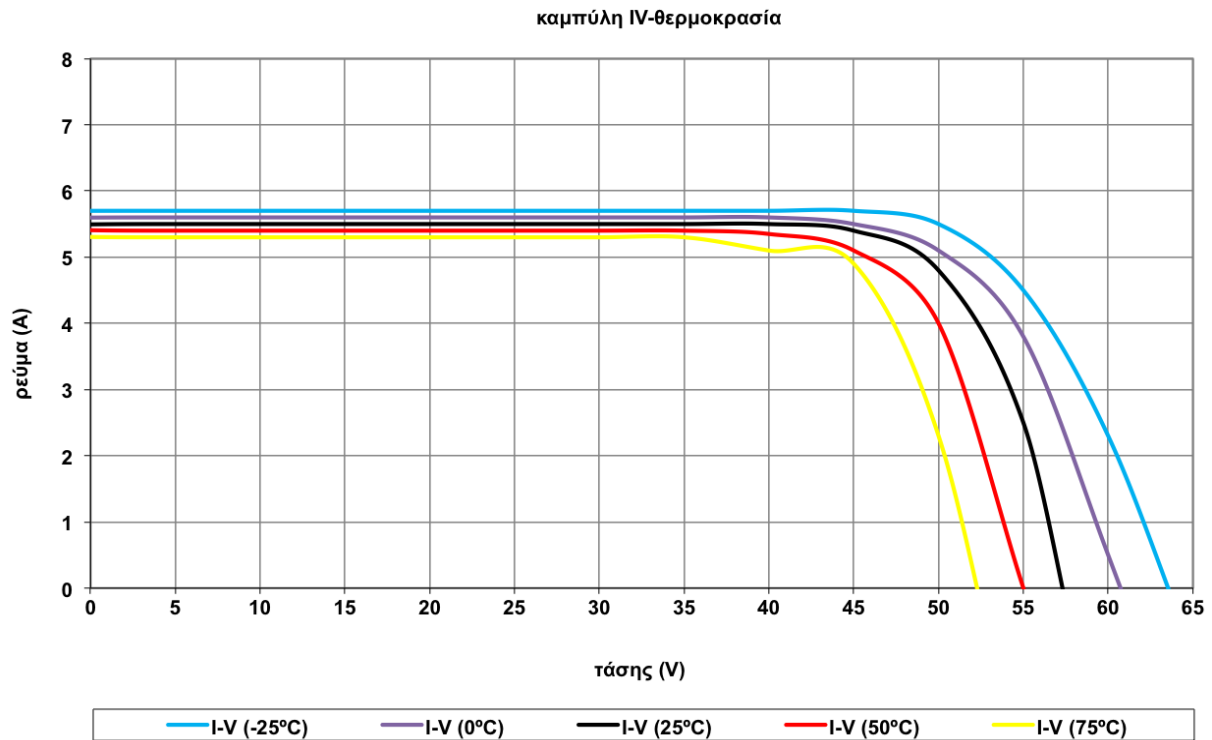
Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη σχετικά χαμηλή τιμή, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική, του βαθμού απόδοσης είναι:

- **Ανάκλαση:** Μη επεξεργασμένη επιφάνεια πυριτίου ανακλά ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%. Επεξεργασία της επιφάνειας με χημικά μέσα και/ή επίστρωση με αντανάκλαστικά υλικά περιορίζει δραστικά τις ανακλάσεις μέχρι την τάξη του 3%.
- **Σκίαση από τις επαφές:** Η ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων τόσο στην επιφάνεια του υλικού τύπου-p όσο και του υλικού τύπου-n συνεπάγεται τη δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του κυττάρου που εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό συμβαίνει επειδή η αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στο πάνω επιφανειακό στρώμα του κυττάρου είναι μεγάλη και πρέπει να υπάρχουν πολλά σημεία απαγωγής των φορέων (ηλεκτρικές επαφές) με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα ωμικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα για τα ηλεκτρόδια είναι μια γεωμετρία μεταλλικού πλέγματος στην πάνω επιφάνεια του κυττάρου, που έχει σαν συνέπεια ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.
- **Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων:** Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος έχει διαφορετικές εντάσεις σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Δηλαδή στον κρύσταλλο, προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας τα οποία είναι δυνατόν ή να διαπεράσουν το κύτταρο, ή να απορροφηθούν παράγοντας μόνο θερμότητα υπό μορφή ταλαντώσεων των ατόμων, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών και η επιπλέον ενέργεια τους να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτός ο παράγοντας με τους τέσσερις μηχανισμούς του και μόνο περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόδοση στο 44%.



Εικόνα 3.7 : Χαρακτηριστική διαφόρων ακτινοβολιών ανά μήκος κύματος

- Επανασύνδεση: Αυτή μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς στον κυρίως όγκο του ημιαγωγού στις επιφάνειες και στις ατέλειες του υλικού.
- Αντίσταση: Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της εν σειρά αντίστασης R_s όσο και της παράλληλης R_{sh} τείνουν να ελαττώσουν το συντελεστή ff , ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα I_{sc} , V_{oc} με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης.
- Θερμοκρασία: Οι φυσικοί μηχανισμοί που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και βαθμού απόδοσης είναι αρκετά πολύπλοκοι. Πάντως τόσο οι αρκετά υψηλές και οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες τείνουν να μειώσουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης.



- **Γήρανση:** Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενσωματωμένου τμήματος του Φ/Β πλαισίου. Οι αιτίες της γήρανσης είναι πολλές όπως αποχρωματισμός των κυττάρων, ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς, και κακή λειτουργία των καλωδιώσεων και του κιβωτίου συνδέσεων. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες ~ 1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης).

3.6 Η Φωτοβολταϊκή Γεννήτρια

3.6.1 Το Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Το βασικό χαρακτηριστικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η Φ/Β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα Φ/Β ηλιακά στοιχεία. Και εδώ, όπως είδαμε ότι συμβαίνει γενικότερα στη Φ/Β ορολογία, χρησιμοποιούνται και άλλες ονομασίες, όπως, ηλιακή μπαταρία, ηλιακή ηλεκτρογεννήτρια κλπ.

Η τάση και η ισχύς των Φ/Β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο Φ/Β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5 V περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4 W περίπου. Γι' αυτό, τα Φ/Β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών τοποθετούνται ανά 10 ως 50 περίπου σε ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει περίπου 15-20 V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες για τη φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μόλυβδου. Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα με μορφή σάντουιτς. Δηλαδή, τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με την βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το Φ/Β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των Φ/Β γεννητριών.

- **Φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel):** Ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση
- **Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array):** Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

3.6.2 Η Απόδοση του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κλπ), που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, όμοια με την σχέση που ορίζει το συντελεστή πλήρωσης, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου (n_{π}) εκφράζει το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο (P_{π}) προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του S . Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E που παράγει το Φ/Β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή:

$$n_{\pi} = \frac{P_{\pi}}{HS} \left(\frac{W}{(W/m^2)m^2} \right)$$

$$n_{\pi} = \frac{E}{\Pi S} \left(\frac{kW}{(kW/m^2)m^2} \right)$$

όπου Π είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.

Η τιμή του n_{π} είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (n), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_{κ}), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας προς την συνολική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Βρίσκουμε εύκολα ότι θα ισχύει η σχέση:

$$n_{\pi} = n\sigma_{\kappa}$$

Η τιμή του σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο Φ/Β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες στοιχισμένες σειρές και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00

(πρακτικά μέχρι 0,98) για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία.

3.6.3 Η Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης

Όπως είδαμε η απόδοση των Φ/Β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα Φ/Β πλαίσια αντιστοιχεί σε μία συμβατική θερμοκρασία 20° C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι αφενός και κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30° C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο στους υπολογισμούς μας παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30° C. Για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_θ με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα Φ/Β πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο:

$$n_{\pi\sigma_\theta}$$

Σε συμβατική θερμοκρασία ο σ_θ είναι ίσος με την μονάδα και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των Φ/Β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας του από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνει περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές σε συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη. Όταν η Φ/Β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας (σ_p), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ όταν η επιφάνεια του είναι τελείως καθαρή. Η τιμή του σ_p είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του Φ/Β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κτλ. Έτσι, όποτε είναι απαραίτητο, ως συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων για τους υπολογισμούς μας, παίρνουμε το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης η_π , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία σ_θ και για τη ρύπανση σ_p . Δηλαδή, η προηγούμενη σχέση παίρνει τη γενικότερη μορφή:

$$E = \Pi S \eta_\pi \sigma_\theta \sigma_p$$

3.6.4 Η Ισχύς Αιχμής του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Συχνά, δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων κλπ), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής (P_a), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ήλιου, δηλαδή 1 kW/m^2 .

Οι μονάδες ισχύος που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός Φ/Β πλαισίου μιας ολόκληρης Φ/Β εγκατάστασης ή ενός ηλιακού στοιχείου ονομάζονται συχνά βατ αιχμής (W_p , Watt peak) και κιλοβάτ αιχμής (kW_p). Δηλαδή χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός (άλλωστε ουσιαστικά είναι και το ίδιο πράγμα) όπως για το μέτρο της επιφάνειας των Φ/Β στοιχείων που γνωρίσαμε προηγουμένως. Από την σχέση που δίνει την απόδοση η_π είναι φανερό ότι:

$$P_a(kW_p) = 1 \left(kW/m^2 \right) S (m^2) n_{\pi}$$

3.7 Φαινόμενο Hot Spot

3.7.1 Εξήγηση του φαινομένου

Για διάφορες αιτίες τα κύτταρα ενός πλαισίου ή μιας συστοιχίας δεν έχουν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, αλλά παρουσιάζουν μια στατιστική κατανομή των παραμέτρων τους. Οι αιτίες της μη προσαρμογής των χαρακτηριστικών των κυττάρων είτε ενυπάρχουν και οφείλονται σε κατασκευαστικούς λόγους κατά τη μαζική παραγωγή τους, είτε προκύπτουν κατά τη λειτουργία τους. Ολική ή μερική σκίαση ενός ή περισσότερων κυττάρων μπορεί να οφείλεται σε δένδρα, κτίρια, πουλιά κ.λπ. Άλλη αιτία είναι η θραύση ενός ή περισσότερων κυττάρων και μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική διαστολή μεταξύ του κυττάρου και του υλικού πάνω στο οποίο στηρίζεται, σε χαλάζι ή σε ελαττωμένη αντοχή που προέκυψε κατά τη διάρκεια της κατασκευής του ή της ενσωμάτωσής του στο πλαίσιο. Η μη προσαρμογή των χαρακτηριστικών των κυττάρων μίας συστοιχίας εκτός από μείωση της ισχύος εξόδου όπως αναφέρθηκε, είναι δυνατόν να προκαλέσει και το φαινόμενο hot spot το οποίο οφείλεται σε ανάστροφη πόλωση ενός ή περισσότερων κυττάρων και συνεπάγεται την υπερθέρμανσή τους, η οποία πολλές φορές μπορεί να είναι καταστροφική. Το φαινόμενο hot spot λαμβάνει χώρα όταν ένα (ή περισσότερα) ηλιακό κύτταρο ενός πλαισίου παράγει μικρότερο ρεύμα από το ρεύμα της αλυσίδας στην οποία βρίσκεται. Αυτό οφείλεται σε ολική ή μερική σκίαση του κυττάρου, σε πιθανή ζημιά που μπορεί να έχει υποστεί ή σε μη προσαρμογή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των ηλιακών κυττάρων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Επομένως το φαινόμενο hot spot συμβαίνει όταν το ρεύμα της αλυσίδας, δηλαδή το ρεύμα βραχυκύκλωσης των υπολοίπων κυττάρων υπερβαίνει το ρεύμα βραχυκύκλωσης του σκιασμένου ή ελαττωματικού κυττάρου (ή ομάδας κυττάρων) εντός του πλαισίου. Όταν π.χ. μία αλυσίδα από κύτταρα βραχυκυκλωθεί, τα καλά κύτταρα προσπαθούν να επιβάλλουν στο χειρότερο από άποψη χαρακτηριστικών ή σκιασμένο κύτταρο μεγαλύτερο ρεύμα απ' ό,τι αυτό μπορεί να δώσει. 34 Τότε, το ελαττωματικό κύτταρο (ή κύτταρα) πολώνεται ανάστροφα με αποτέλεσμα να η τάση στα άκρα του να είναι ίση και αντίθετη με το άθροισμα των τάσεων των υπολοίπων κυττάρων της αλυσίδας, σύμφωνα με τον κανόνα τάσεων του Kirchhoff. Έτσι, είναι δυνατόν στο κύτταρο αυτό να καταναλώνεται ισχύς ίση

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

με αυτήν που μπορούν να παράγουν τα υπόλοιπα κύτταρα της αλυσίδας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά στο ελαττωματικό κύτταρο με πιθανό αποτέλεσμα τη θραύση του πλαισίου ή ακόμα και την πλήρη καταστροφή του. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να φανεί μελετώντας την τυπική I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κυττάρου σε όλο το εύρος τάσης. Όπως προκύπτει, για ορθή πόλωση η χαρακτηριστική εκτείνεται έως την τιμή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, δηλαδή έως τα 0.6 V περίπου, ενώ στην περιοχή ανάστροφης πόλωση είναι πολύ πιο εκτενής, περιορίζεται δε από την "τάση κατάρρευσης". Ειδικότερα, αν P_s : η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε ένα κύτταρο, P_E : η ηλεκτρική ισχύς που δίνεται στη έξοδο του κυττάρου, που προκύπτει σαν το γινόμενο του ρεύματος επί την τάση στην έξοδο και P_R : ισχύς που συνεισφέρει στη θέρμανση του κυττάρου, διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

→ Για θετική τάση στην έξοδο του κυττάρου , το ρεύμα και η ισχύς στην έξοδο μεταβάλλονται σε συνάρτηση της τάσης, ενώ για το ενεργειακό ισοζύγιο ισχύει η εξίσωση $P_R = P_s - P_E$ όταν το κύτταρο λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος, η καμπύλη P_R (V) παρουσιάζει ελάχιστο.

→ Για αρνητική τάση στην έξοδο του κυττάρου (κύτταρο ανάστροφα πολωμένο) , η ισχύς στην έξοδο του κυττάρου είναι αρνητική, που σημαίνει πως το κύτταρο καταναλώνει ισχύ. Για το ενεργειακό ισοζύγιο ισχύει η εξίσωση $P_R = P_s - (-P_E) = P_s + P_E$ η P_R αυξάνεται όσο η ανάστροφη πόλωση αυξάνεται. Στην περίπτωση πλήρως σκιασμένου κυττάρου ισχύει $P_s = 0$, επομένως $P_R = P_E$ και κατά συνέπεια η καμπύλη P_R (V) υφίσταται μόνο στα αριστερά της αρχής των αξόνων. Για μικρές τιμές ανάστροφης τάσης , το ρεύμα είναι προσεγγιστικά γραμμική συνάρτηση της τάσης (Ωμική συμπεριφορά). Καθώς η τιμή της ανάστροφης τάσης αυξάνεται και η επαφή καταρρέει και άγει μεγάλο ρεύμα το οποίο συγκεντρώνεται τοπικά με αποτέλεσμα μεγάλη κατανάλωση ισχύος και εστιακή αύξηση της θερμοκρασίας. Αν η τιμή του ρεύματος ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή, τότε προκαλείται στο κύτταρο μη αναστρέψιμη ζημιά. Η αύξηση της έντασης του ρεύματος τοπικά σε ένα κύτταρο προκαλεί υπερθέρμανση με θερμοκρασίες άνω των 150 °C οι οποίες υπερβαίνουν την κρίσιμη θερμοκρασία κυττάρων των εμπορικά διαθέσιμων πλαισίων.

3.7.2 Προσδιορισμός των κυττάρων με την υψηλότερη και τη χαμηλότερη R_{SH}

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Τα ανάστροφα χαρακτηριστικά των ηλιακών κυττάρων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Ορισμένα κύτταρα μπορεί να έχουν υψηλή RSH, περίπτωση κατά την οποία η επίδοση σε ανάστροφη πόλωση περιορίζεται από την τάση, ενώ άλλα κύτταρα έχουν χαμηλή RSH, όπου η επίδοση σε συνθήκες ανάστροφης πόλωσης περιορίζεται από το ρεύμα. Έντονα προβλήματα **hot spot** δύναται να παρουσιαστούν σε αυτούς τους δύο τύπους κυττάρων, με διαφορετικό όμως τρόπο στον καθένα.

Συγκεκριμένα: Για τα κύτταρα με χαμηλή RSH:

- Στα κύτταρα αυτά το φαινόμενο hot spot είναι τοπικό, καθώς η υπερθέρμανση οφείλεται στο ότι μεγάλη ποσότητα ρεύματος ρέει σε μία μικρή περιοχή. Τα κύτταρα με τη χαμηλότερη RSH έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να παρουσιάσουν υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες σε περιορισμένες περιοχές, όταν βρεθούν σε συνθήκες ανάστροφης πόλωσης.

- Η χειρότερη κατάσταση σκίασης είναι συμβαίνει όταν ολόκληρο το κύτταρο (ή ένα πολύ μεγάλο τμήμα του) σκιάζεται.

- Εφ' όσον το φαινόμενο είναι τοπικό, η υπερθέρμανση σε αυτόν τον τύπο κυττάρων λαμβάνει χώρα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για τα κύτταρα με υψηλή RSH:

- Τα κύτταρα αυτά περιορίζουν τη ροή του ανάστροφου ρεύματος, με αποτέλεσμα την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος (μετατροπή μεγάλου μέρους της ηλεκτρικής ισχύος σε θερμική) και επομένως την έκλυση θερμότητας. Προφανώς τα κύτταρα με την υψηλότερη RSH θα παρουσιάζουν και τη μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος.

- Η χειρότερη κατάσταση σκίασης συμβαίνει όταν ένα μικρό μόνο τμήμα του κυττάρου σκιάζεται, καθώς τότε το κύτταρο θερμαίνεται περισσότερο. Η εμπειρία έχει δείξει πως όταν σκιάζεται ένα μικρό ποσοστό της επιφάνειας του κυττάρου, τότε αυξάνεται το ρεύμα του σε ανάστροφη πόλωση και επομένως και η θερμοκρασία του. Αντιθέτως, σε περίπτωση πλήρους σκίασης ή σκίασης σε μεγάλο ποσοστό σε ένα κύτταρο με υψηλή RSH, το μεγαλύτερο μέρος του ανάστροφου ρεύματος ρέει μέσω της διόδου παράκαμψης κι έτσι το κύτταρο καταναλώνει ελάχιστη ισχύ.

- Καθώς η εξάπλωση της θερμότητας θα είναι ομοιόμορφη σε όλη την περιοχή του κυττάρου, θα περάσει κάποιος χρόνος μέχρι το κύτταρο να θερμανθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να πάθει κάποια βλάβη. Το σημαντικότερο τεχνικό ζήτημα για τον κατασκευαστή είναι να εντοπιστούν τα κύτταρα τα οποία έχουν είτε τις υψηλότερες είτε τις χαμηλότερες RSH και έπειτα να καθοριστούν οι χειρότερες συνθήκες σκίασης για τα κύτταρα αυτά.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τον καθορισμό των κυττάρων με την υψηλότερη και τη χαμηλότερη RSH. Σε περίπτωση που οι δίοδοι παράκαμψης μπορούν να αφαιρεθούν από τα πάνελ, τα κύτταρα με χαμηλή RSH μπορούν να εντοπιστούν, πολώνοντας αντίστροφα κάθε αλυσίδα και χρησιμοποιώντας μία κάμερα με υπέρυθρες, ώστε να παρατηρηθούν τα σημεία στα οποία υπάρχει μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας. Εάν επίσης το κύκλωμα των κυττάρων είναι προσβάσιμο, τότε μπορεί να μετρηθεί άμεσα το ρεύμα σε ένα σκιασμένο κύτταρο. Ωστόσο στα περισσότερα πάνελ οι δίοδοι παράκαμψης είναι μη μεταθετές και επιπρόσθετα το κύκλωμα των κυττάρων δεν είναι πάντα προσβάσιμο. Ως εκ τούτου απαιτείται μία μη παρεμβατική μέθοδος η οποία να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα πάνελ. Η επιλεγθείσα μέθοδος βασίζεται στη μελέτη της I-V καμπύλης του εξεταζόμενου πάνελ, στο οποίο σκιάζεται σε ίδιο ποσοστό, ξεχωριστά κάθε κύτταρο στη σειρά. Για κάθε σκιασμένο κύτταρο λαμβάνεται και η αντίστοιχη I-V καμπύλη του πάνελ. Το σύνολο των καμπυλών που λαμβάνονται, απεικονίζεται σε κοινούς άξονες V-I, συγκρινόμενο με τη χαρακτηριστική I-V του πάνελ υπό συνθήκες μηδενικής σκίασης. Ορίζουμε ως I_{mp} το ρεύμα του μελετώμενου πάνελ, όταν το πλαίσιο δε σκιάζεται και παράγει τη μέγιστη ισχύ. Τότε στο κύτταρο με τη χαμηλότερη RSH αντιστοιχεί η καμπύλη η οποία “σπάει” σε τιμή ρεύματος η οποία είναι η πλησιέστερη στο I_{mp} . Αντίστοιχα η καμπύλη που “σπάει” σε τιμή ρεύματος που είναι η πιο μακρινή στο I_{mp} προκύπτει από τη σκίαση του κυττάρου με την υψηλότερη RSH. Η διαδικασία που μόλις περιγράφηκε έχει το πλεονέκτημα πως μπορεί να εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο σε κάθε πλαίσιο, οποιαδήποτε συνδεσμολογία και αν έχει χρησιμοποιηθεί για τα κύτταρά του (πόσα είναι συνδεδεμένα παράλληλα και πόσα σε σειρά). Επιπλέον, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μεθόδου αυτής είναι ανεξάρτητη από το κύκλωμα των κυττάρων σε κάθε πλαίσιο και από το πώς είναι διευθετημένες οι δίοδοι παράκαμψης.

3.7.3 Καθορισμός της χειρότερης περίπτωσης hot spot των κυττάρων που επιλέχθηκαν λόγω συνθηκών σκίασης

Εκτός από το επίπεδο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, η καταναλισκόμενη ισχύς σε ένα σκιασμένο κύτταρο εξαρτάται άμεσα και από το βαθμό σκίασής του. Το επόμενο βήμα που πρέπει να ακολουθηθεί, είναι ο προσδιορισμός η χειρότερη περίπτωση σκίασης για τα κύτταρα με τις υψηλότερες και χαμηλότερες RSH, τα οποία έχουν

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

εντοπισθεί από την προηγούμενη διαδικασία. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τον καθορισμό των χειρότερων συνθηκών σκίασης.

1) Εάν το κύκλωμα των κυττάρων ενός πλαισίου είναι προσβάσιμο, τότε το ρεύμα που διαρρέει ένα σκιασμένο κύτταρο μπορεί να μετρηθεί απευθείας. Ανάλογα με το ποσοστό σκίασης, λαμβάνεται και μία διαφορετική τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{SC} του κυττάρου που εξετάζεται. Αρχικά το κύτταρο σκιάζεται πλήρως (100%) και σταδιακά το ποσοστό σκίασης μειώνεται. σκιάζεται Το χειρότερο ποσοστό σκίασης του κυττάρου, είναι εκείνο για το οποίο η τιμή του I_{SC} συμπίπτει όσο δυνατόν περισσότερο με την τιμή του I_{mp} (όπως αυτό ορίστηκε στην προηγούμενη ενότητα).

2) Εάν το κύκλωμα των κυττάρων του πλαισίου δεν είναι προσβάσιμο, δεν μπορούν να γίνουν απευθείας μετρήσεις στο ρεύμα βραχυκύκλωσής του, καθώς σε περίπτωση που το κύτταρο σκιάζεται, το ανάστροφο ρεύμα θα ρέει μέσω των διόδων παράκαμψης όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

Η προτεινόμενη διαδικασία έχει ως εξής: Σκιάζεται ξεχωριστά καθένα από τα κύτταρα που έχουν επιλεχτεί να εξεταστούν με βάση την προηγούμενη ενότητα, σε διαφορετικά ποσοστά σκίασης, για παράδειγμα 100%, 75%, 50%, 25%, 10% και λαμβάνεται η αντίστοιχη I-V καμπύλη του πλαισίου για κάθε ποσοστό σκίασης, σε κοινούς άξονες V,I. Με βάση αυτήν την απεικόνιση, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη χειρότερη περίπτωση σκίασης με παρόμοια αρχή με αυτήν που ακολουθείται και στην Περίπτωση 1), δηλαδή: η χειρότερη περίπτωση σκίασης αντιστοιχεί στην καμπύλη I-V για την οποία το ρεύμα του σκιασμένου πλαισίου στο σημείο που η διόδος αρχίζει να άγει, συμπίπτει περισσότερο με το ρεύμα I_{mp} που θα έχει το πλαίσιο στο σημείο μέγιστης ισχύος του όταν δε σκιάζεται καθόλου.

3.7.4 Δίοδοι παράκαμψης

Αν ένα κύτταρο ή ένα block μίας αλυσίδας αποτελούμενης από κύτταρα ή blocks σκιάζεται, μπορούμε να μειώσουμε την απώλεια ισχύος αν χρησιμοποιήσουμε κύτταρα με μικρή τάση κατάρρευσης στην ανάστροφη πόλωση. Το συμπέρασμα αυτό οδήγησε στην ιδέα να δημιουργηθεί τεχνητά αυτή η επιθυμούμενη μικρή τάση κατάρρευσης με τη βοήθεια διόδων παράκαμψης. Στην ουσία η παρουσία της διόδου παράκαμψης περιορίζει την τάση στα άκρα ενός κυττάρου ανάστροφα πολωμένου στα 0.7 V, ώστε να καταναλώνεται λιγότερη ισχύς. Οι δίοδοι παράκαμψης συνδέονται, παράλληλα σε ηλιακά

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

κύτταρα, ή σε Blocks από ηλιακά κύτταρα, ή σε αλυσίδες από Blocks. Θεωρούμε ότι το κύτταρο φωτίζεται πλήρως, άρα η δίοδος παράκαμψής του η οποία είναι ανάστροφα πολωμένη, δεν έχει καμία επίδραση. Θεωρούμε ωστόσο ότι ξαφνικά το κάτω κύτταρο σκιάζεται (ή για οποιονδήποτε λόγο έχει ανοιχτοκυκλωθεί), άρα πολώνεται ανάστροφα και αυτόματα η δίοδος παράκαμψης που είναι συνδεδεμένη παράλληλα σε αυτό, πολώνεται ορθά. Έτσι μέσω αυτής, επιτρέπεται η ροή του ρεύματος από το φωτιζόμενο κύτταρο προς τους ζυγούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι ανάγκη να αποθηκευτεί, ώστε να χρησιμοποιηθεί μετά τη δύση του ήλιου, τη νύχτα, πριν την ανατολή του ήλιου, όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία ή κατά τη διάρκεια συνεχών ημερών με νεφελώδη ουρανό. Η στατιστική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου και η δυνατότητα μετατροπής μέρους αυτής σε καθαρή για το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου του τρέχοντος επιπέδου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, καθιστά όλο και πιο συχνά επιτακτική τη χρήση των ηλιακών κυττάρων ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλιοφάνειας ενός τόπου αντιπαρατιθέμενα στην ίδια τη φύση του φαινομένου, που χαρακτηρίζεται από τις έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, θα περιόριζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα περισσότερα από τα συστήματα αποθήκευσης που υπάρχουν δεν προσφέρονται για το σκοπό αυτό είτε λόγω μεγάλου αρχικού κόστους, είτε λόγω μη προσαρμογής των δυνατοτήτων αποθήκευσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η άντληση και η αποθήκευση νερού, ο συμπιεσμένος αέρας, η θερμική αποθήκευση, η παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου, η αποθήκευση σε σφονδύλους κτλ.

4.2 Ηλιακοί Συσσωρευτές

Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Η χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια συσσωρευτών φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα πλεονεκτήματα ενός Φ/Β συστήματος με συσσωρευτές είναι η δυνατότητα να παρέχουν ενέργεια σε περιόδους που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η δυνατότητα να καλύπτουν στιγμιαίες αιχμές ζήτησης φορτίου, η ύπαρξη σταθερής τάσης στο σύστημα, η ικανότητα αποθήκευσης της επί πλέον της ενεργειακής ζήτησης ενέργειας ώστε να μειώνονται οι απώλειες κτλ. Από την άλλη μεριά, η αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος, το αυξημένο κόστος, ο αυξημένος χρόνος και το κόστος συντήρησης και πολλές φορές η μειωμένη αξιοπιστία μπορούν να καταγραφούν στα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 4.1 : Συσσωρευτής

4.3 Δομή Συσσωρευτών

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή/και παράλληλα και ο τρόπος σύνδεσής τους εξαρτάται από την επιθυμητή τάση εξόδου και τη χωρητικότητα της συστοιχίας. Το στοιχείο αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

Την άνοδο, η οποία δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.

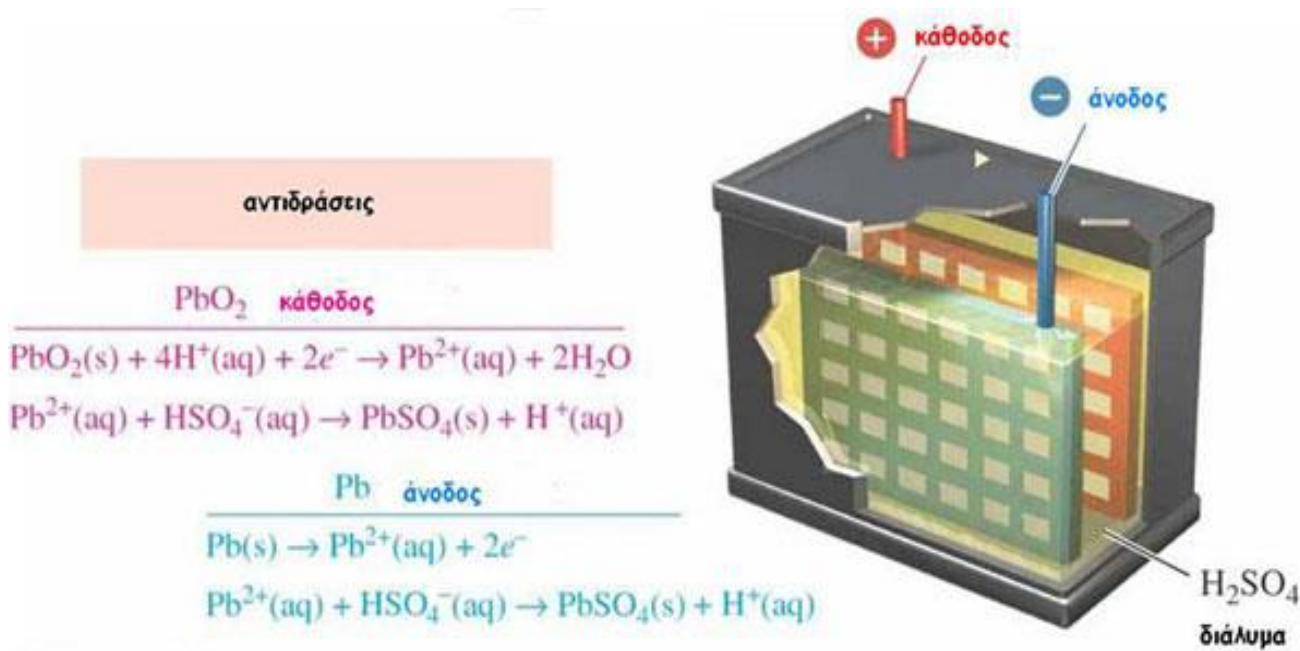
Την κάθοδο, η οποία δέχεται τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και ανάγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.

Τον ηλεκτρολύτη (ιονικός αγωγός) ο οποίος αποτελεί το μέσο για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του στοιχείου μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως κάποιο διάλυμα που συμβάλλει στην ιονική αγωγιμότητα της διάταξης. Σε ένα πρακτικό σύστημα, η άνοδος επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω: καλή αγωγιμότητα, σταθερότητα, ευκολία κατασκευής και μικρό

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

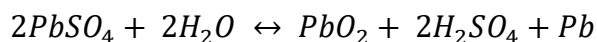
κόστος. Συνήθως τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή ανόδων είναι τα μέταλλα. Η κάθοδος πρέπει να είναι ένας καλός οξειδωτικός παράγοντας και να μην αλληλεπιδρά χημικά με τον ηλεκτρολύτη. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή καθόδων είναι τα οξείδια μετάλλων. Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει καλή ιονική αγωγιμότητα. Η άνοδος και η κάθοδος είναι ηλεκτρικά απομονωμένες μέσα στο στοιχείο για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Στις κατασκευές των στοιχείων χρησιμοποιείται ένα υλικό διαχωρισμού για να διαχωρίσει τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου. Το υλικό διαχωρισμού είναι διαπερατό από τον ηλεκτρολύτη, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ιονική αγωγιμότητα του στοιχείου. Κατάλληλα υλικά μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για τη μείωση της εσωτερικής τους αντίστασης. Το στοιχείο μπορεί να κατασκευαστεί σε πολλά σχήματα: κυλινδρικό, επίπεδο ή πρισματικό. Τα στοιχεία σφραγίζονται με διάφορους τρόπους για να αποφευχθεί η διαρροή του ηλεκτρολύτη. Μερικά στοιχεία διαθέτουν βαλβίδες για να επιτρέπουν τη διαφυγή των αερίων που παράγονται κατά τη λειτουργία τους. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η δομή ενός συσσωρευτή όπου διακρίνονται τα δομικά χαρακτηριστικά που έχουν περιγραφεί παραπάνω.



Εικόνα 4.2 : Δομή ενός συσσωρευτή

4.4 Αρχή Λειτουργίας Συσσωρευτών

Ο μηχανισμός της λειτουργίας των συσσωρευτών στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, η οποία για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την αντίδραση:



Η κατεύθυνση προς τα δεξιά αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη στη φόρτιση του συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αρχική επαφή των μολύβδινων πλακών με το ηλεκτρολυτικό διάλυμα H_2SO_4 , λεπτό επιφανειακό στρώμα των ηλεκτροδίων μετατρέπεται από Pb σε $PbSO_4$. Κατά τη φόρτιση υπό τάση λίγο μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης της διάταξης, το ηλεκτρόδιο που είναι συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο της πηγής φόρτισης, ανάγεται σε μεταλλικό μόλυβδο (Pb), με σπογγώδη μορφή και το άλλο που είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο της πηγής, οξειδώνεται προς PbO_2 , φαιού χρώματος. Ένας συσσωρευτής αποτελείται από μία συνάθροιση 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.

4.5 Κατηγορίες Στοιχείων και Συσσωρευτών

4.5.1 Πρωτεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές

Τα πρωτεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) δε γίνεται να επαναφορτιστούν, γι' αυτό εκφορτίζονται μία φορά και στη συνέχεια αποσύρονται. Ο πρωτεύων συσσωρευτής είναι μία ικανοποιητική και συνήθως φθηνή πηγή ενέργειας. Τα γενικά πλεονεκτήματά τους είναι η γενικά μεγάλη ζωή τους όταν βρίσκονται αποθηκευμένοι, η μεγάλη πυκνότητα ενέργειας για μικρούς ή μεσαίους ρυθμούς εκφόρτισης, η μικρή ή έως καθόλου ανάγκη για συντήρηση, η ευκολία χρήσης και το μικρό αρχικό κόστος. Διάφορες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός, φωτογραφικός εξοπλισμός, παιχνίδια κ.α. Οι πιο συνηθισμένοι πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι κυλινδρικοί ή επίπεδοι.

4.5.2 Δευτερεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές

Τα δευτερεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά μετά την εκφόρτιση, μέχρι να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση πριν τη εκφόρτιση. Αυτό γίνεται με την εφαρμογή ρεύματος με την αντίθετη φορά από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ισχείς. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής εκφορτίζεται μόνο όταν είναι απαραίτητο και φορτίζεται από μία πηγή τάσης ή ρεύματος. Τέτοιες εφαρμογές είναι τα συστήματα αεροπλάνων, συστήματα έκτακτης ανάγκης και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.
2. Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής χρησιμοποιείται ως κύρια πηγή ενέργειας και επαναφορτίζεται μετά τη χρήση αντί να αποσύρεται. Τέτοιες εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν τις φορητές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρικά οχήματα και γενικά εφαρμογές τις οποίες δε μπορούν να καλύψουν οι πρωτεύοντες συσσωρευτές.

Οι δευτερεύοντες συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης και καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Μερικοί συσσωρευτές, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως μηχανικά επαναφορτιζόμενοι, φορτίζονται με την αντικατάσταση ενός από τα ηλεκτρόδια, συνήθως της μεταλλικής δίοδου. Τους βασικότερους εκπροσώπους αυτής της κατηγορίας, που είναι και πλέον κατάλληλοι για φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελούν οι συσσωρευτές μολύβδου (LEAD-ACID) και οι συσσωρευτές νικελίου- καδμίου (NICKEL-CADMIUM).

4.6 Τύποι Συσσωρευτών

Έχει ήδη αναφερθεί ότι τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου και νικελίου σε υποκατηγορίες. Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι.

4.6.1 Συσσωρευτές Μολύβδου

Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

- Οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb).
- Οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca), οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης.
- Οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου / μολύβδου-ασβεστίου.
- Οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM)

4.6.2 Συσσωρευτές Μολύβδου-Αντιμονίου (Pb-Sd)

Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

4.6.3 Συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte LeadAcid Batteries)

Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead-Acid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση τους καθιστά ιδανικούς για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα

μέρη. Πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

4.6.4 Άλλοι Τύποι Συσσωρευτών

Εκτός από τους συσσωρευτές μολύβδου έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς και έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο ή βρίσκονται ακόμα υπό μελέτη διάφοροι άλλοι τύποι συσσωρευτών όπως οι συσσωρευτές νικελίου. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών νικελίου είναι:

- Οι συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου.
- Οι συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου.
- Οι συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου.
- Οι συσσωρευτές REDOX.

4.6.4.1 Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου

Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου σε νερό. Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών περιλαμβάνονται η δυνατότητα μεγάλων ρυθμών, μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα υπερφόρτισης, σχετικά σταθερή τάση λειτουργίας συναρτήσει της στάθμης φόρτισης, ικανότητα παραμονής σε μέτρια στάθμη φόρτισης χωρίς πολλές φθορές. Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές, φορητά εργαλεία, σαν εφεδρικές πηγές και σε διαστημικές εφαρμογές. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος και η μικρή χωρητικότητα.

4.6.4.2 Συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου

Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου σε νερό. Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής και η δυνατότητα να υπερφορτίζονται και να υπερεκφορτίζονται με ελάχιστη μόνιμη βλάβη, ενώ στα μειονεκτήματα το σχετικά υψηλό κόστος και ο μικρός βαθμός απόδοσης.

4.6.4.3 Συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου

Η χημική αντίδραση είναι όμοια με τους προηγούμενους με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου στη θέση του σιδήρου. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ενέργειας που τους κάνει κατάλληλους για συσσωρευτές έλξης, ενώ σαν μειονεκτήματα έχουν τη μικρή διάρκεια ζωής, σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης και το υψηλό κόστος.

4.6.4.4 Συσσωρευτές REDOX

Τα ενεργά υλικά είναι διάλυμα CrCl_2 σε νερό για το θετικό ηλεκτρόδιο και διάλυμα FeCl_3 σε νερό για το αρνητικό ηλεκτρόδιο και αποθηκεύονται σε χωριστά δοχεία εκτός του στοιχείου, όπου βρίσκονται τα δυο ηλεκτρόδια και κυκλοφορούν με τη βοήθεια αντλιών. Στα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής, η δυνατότητα υπερφόρτωσης χωρίς μόνιμη βλάβη, η δυνατότητα ρύθμισης της τάσης με την πρόθεση επί πλέον στοιχείων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, ενώ στα μειονεκτήματα οι ενεργειακές (παρασιτικές) απαιτήσεις για τη λειτουργία των βοηθητικών συσκευών κ.α. Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι βρίσκονται υπό μελέτη και άλλοι τύποι συσσωρευτών που καθένας παρουσιάζει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

4.7 Κύκλος Λειτουργίας (DUTY CYCLE)

Μια πλήρης φόρτιση μαζί με την επόμενη επαναφόρτιση αναφέρεται σαν ένας κύκλος (CYCLE). Οι συσσωρευτές ανάλογα με τον τρόπο χρησιμοποίησης χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες, που καθεμιά παρουσιάζει ιδιαίτερα κρίσιμα χαρακτηριστικά.

4.7 1 Συσσωρευτές Εκκίνησης (SLI και DIESEL)

Χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση (STARTING), φωτισμό (LIGHTING) και ανάφλεξη (IGNITION) αυτοκινήτων και ντιζελομηχανών. Έχουν μεγάλους ρυθμούς εκφόρτισης και αποδίδουν μεγάλα ποσά ενέργειας σε μικρές χρονικές περιόδους με μικρό βάθος εκφόρτισης, σχετικά χαμηλό κόστος, μεγάλη ταχύτητα αυτοεκφόρτισης, διάρκεια ζωής 2-5 χρόνια για αυτοκίνητα και μέχρι 8 χρόνια για ντιζελομηχανές και μικρή διάρκεια ζωής σε κύκλους (200 κύκλους για 50% DOD και 3-5 κύκλους για 80-100% DOD).

4.7.2 Συσσωρευτές Έλξης (MOTIVE POWER, TRACTION)

Χρησιμοποιούνται σε ανυψωτικά μηχανήματα, ηλεκτρικούς συρμούς ορυχείων, υποβρύχια και εν γένει ηλεκτροκίνητα οχήματα. Έχουν μεγάλη ταχύτητα αυτοεκφόρτισης και όταν δεν εκφορτίζονται σε βάθος μπορεί να διαρκέσουν 5-15 χρόνια.

4.7.3 Στάσιμοι Συσσωρευτές (STATIONARY FLOAT)

Χρησιμοποιούνται σε τηλεφωνικά συστήματα, συστήματα αδιάλειπτου παροχής και εν γένει εφεδρικά συστήματα. Αρχίζουν να παρέχουν ενέργεια μόνο όταν η κύρια τροφοδοσία πάθει κάποια βλάβη με ρυθμούς εκφόρτισης $C/8$ μέχρι $2C$ ανάλογα με την εφαρμογή. Έχουν διάρκεια ζωής 15-30 χρόνια

4.7.4 Συσσωρευτές Κλειστού Τύπου (SEALED)

Δε χρειάζονται συνήθως συντήρηση (πρόσθεση νερού) διότι χρησιμοποιούν πλάκες ενισχυμένες με ασβέστιο που ελαχιστοποιούν την έκλυση αερίων, καταλύτη για επανασύνδεση των αερίων και βαλβίδες ασφαλείας.

4.7.5 Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μικρού Ρυθμού Εκφόρτισης

Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που σχεδιάζονται για ελάχιστη συντήρηση με μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης ($C/500$), να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες, με μεγάλη διάρκεια ζωής (5-15 χρόνια) και μικρή ταχύτητα αυτοεκφόρτισης.

4.7.6 Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μέσου Ρυθμού Εκφόρτισης

Χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο ή με εφεδρική πηγή ενέργειας. Είναι συνήθως τροποποιημένοι συσσωρευτές έλξης (π.χ. περιέχουν περισσότερο ηλεκτρολύτη, ώστε να μειώσουν τις απαιτήσεις σε συντήρηση,

λιγότερο ανθεκτικές από μηχανική άποψη κτλ). Έχουν μέσους ρυθμούς και μεγάλο ημερήσιο βάθος εκφόρτισης.

4.8 Χαρακτηριστικά μεγεθη συσσωρευτη

4.8.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) και η ονομαστική χωρητικότητά του. Η ΗΕΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή.

Οι τιμές των ΗΕΔ των διαφόρων τύπων συσσωρευτών (Pb- H₂SO₄, NiCd, Ni-Fe, Ni-Zn, Sodium- Sulphur, Zinc- Bromide, Zinc- Chloride, Lithium- Metal Sulphide, Nickel-Hydrogen) κυμαίνονται μεταξύ 1V και ~4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μια διάταξη συσσώρευσης σε υψηλότερη ΗΕΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25 V. Έτσι, οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με την τυπική εμπορική τους μορφή οι συσσωρευτές μολύβδου είναι 6V, 12V 24V και 48 V.

4.8.2 Χωρητικότητα

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν είναι η χωρητικότητα C του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης ή περίοδο εκφόρτισης. Εξαρτάται από αρκετούς σχεδιαστικούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, η ποσότητα του ενεργού υλικού, ο αριθμός, ο σχεδιασμός και οι φυσικές διαστάσεις των πλακών (ηλεκτροδίων). Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από τη μπαταρία), η τάση της μπαταρίας στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία της μπαταρίας και το ιστορικό της χρήσης της (κακή χρήση κτλ). Η συνήθης μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι το Amperhour (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας C προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με

ρυθμό εκφόρτισης C /120). Φυσικά, η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Amber. Μερικές φορές, η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή εκφράζεται σε Kilowatt-hour (KWh) και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000. Μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα 3/4 της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι βρίσκεται στο 25% SOC .

4.8.3 Εκφόρτιση και Επιτρεπόμενο Βάθος Εκφόρτισης

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή **DOD**) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από το ρυθμό εκφόρτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου **DOD** μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης πρέπει να μειώνεται θέτοντας την τάση αποκοπής του φορτίου στην συσκευή ρυθμιστή φόρτισης σε κατάλληλο σημείο. Το αποτέλεσμα θα είναι ο συσσωρευτής να μην εκφορτίζεται πλήρως και η θερμοκρασία στερεοποίησης να διατηρείται χαμηλά. Το κόστος θα είναι η μείωση της αυτονομίας του συστήματος μπαταρίας-συσσωρευτή. Για να διατηρείται η αυτονομία, η χωρητικότητα του συσσωρευτή πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη, τόσο τη μείωση της σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και το **DOD** στις θερμοκρασίες αυτές. Η τάση του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με το ρυθμό εκφόρτισης για τον οποίο είναι καθορισμένη η χωρητικότητα.

4.8.4 Αυτοεκφόρτιση

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του SOC (state of charge), χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Τα αίτια είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες της μπαταρίας και σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επιλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του συσσωρευτή. Τυπικό μέγεθος αυτοεκφόρτισης είναι η απώλεια του 0,7% του SOC ανά ημέρα και για το λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση. Τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή είναι:

- Σε θερμοκρασία 5° C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 2% ανά μήνα.
- Σε θερμοκρασία 15° C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 4% ανά μήνα.
- Σε θερμοκρασία 25° C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 10% ανά μήνα.

4.8.5 Φόρτιση

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς το συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας. Οι προδιαγραφές δεν περιορίζουν κατά κανόνα το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή εφόσον δεν γίνει υπέρβαση της τάσης εκλύσεως αερίων. Ωστόσο, η τάση εκλύσεως αερίων γίνεται μικρότερη καθώς το ρεύμα φόρτισης γίνεται μεγαλύτερο. Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκλύσεως αερίων.

4.8.6 Χρόνος Ζωής Συσσωρευτή

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς (Overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (Overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και συνακόλουθα, την παραγωγή υδρογόνου με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκφόρτισης και φόρτισής του. Η χωρητικότητα, C του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή. Μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Ένας πρακτικός κανόνας που προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά των συσσωρευτών και ουσιαστικά περιγράφει το χρόνο ζωής τους, είναι ο ακόλουθος: Το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι με καλή προσέγγιση σταθερό:

$$\beta_{εκφ} N_k = \text{σταθερό}$$

όπου N_k το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή.

4.8.7 Συντελεστής Γήρανσης Συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή, με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή (γήρανση) πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στο χρόνο ζωής του να διατηρεί τη δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το αυτό βάθος εκφόρτισης, β . Η εμπειρία έχει δείξει ότι, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητάς του. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή, $n_\gamma \beta = 0,8$.

4.8.8 Συντελεστής Φόρτισης και Απόδοση

Τα αμπερώρια (Ah) που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι κατά κανόνα περισσότερα από τα Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά το ίδιο ποσοστό του SOC. Έτσι, ορίζεται ο συντελεστής φόρτισης ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ah προς την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής Φόρτισης} = \frac{\text{Εισερχόμενη ποσότητα } Ah}{\text{Εξερχόμενη ποσότητα } Ah}$$

Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόδοση Ενέργειας} = \frac{\text{Εξερχόμενη ενέργεια (kW)}}{\text{Εισερχόμενη ενέργεια (kW)}}$$

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξεως του 10-20% της προσφερόμενης σ' αυτόν ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας, n_E . Ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ($W = V I t$), δια του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγούμενη φόρτισή του. Τυπική τιμή 80-85%.

$$n_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}}$$

Εκτός από το βαθμό ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιείται επίσης ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου, n_q , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά τη φόρτιση. Τυπική τιμή $n_q \approx 90\%$.

$$n_Q = \frac{Q_{\text{εκφόρτισης}}}{Q_{\text{φόρτισης}}}$$

4.9 Οι Συσσωρευτές στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Για τη σωστή εκλογή, σχεδίαση και λειτουργία των συσσωρευτών στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι όπως:

- Τα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- Οι συσκευές προσαρμογής και ελέγχου της ισχύος.
- Το φορτίο.
- Οι μετεωρολογικές συνθήκες.
- Ο συγκεκριμένος τύπος του συσσωρευτή.

4.9.1 Κύκλος Λειτουργίας σε Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα με Εφεδρική Πηγή

Ο τρόπος με τον οποίο θα λειτουργήσει ένας συσσωρευτής επηρεάζει τόσο τον τύπο όσο και την ιδιαίτερη κατασκευή των στοιχείων του. Σ' ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ο κύκλος λειτουργίας των συσσωρευτών καθορίζεται κυρίως από:

- Το προφίλ του φορτίου.
- Την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τη χρονική σχέση της με το φορτίο.
- Την ύπαρξη ή μη εφεδρικής πηγής ενέργειας.

4.9.2 Αυτόνομα συστήματα με εφεδρική πηγή ενέργειας

Στα συστήματα αυτά υπάρχει μια εφεδρική πηγή (ντιζελογεννήτρια), ενώ για περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας ή μεγάλης ζήτησης υπάρχουν και συσσωρευτές με χωρητικότητα που κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι μερικές μέρες, ανάλογα με το ποσοστό του φορτίου που πρέπει να καλύψει το ηλιακό σύστημα και τις κλιματολογικές συνθήκες. Γενικά ο κύκλος λειτουργίας είναι παρόμοιος με των συσσωρευτών των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο. Ωστόσο αν υπάρχει διαθέσιμη αρκετή χωρητικότητα (μερικές μέρες) προκύπτουν κάπως χαμηλότεροι ρυθμοί φόρτισης/εκφόρτισης και λιγότεροι πλήρεις κύκλοι στη μονάδα του χρόνου.

4.9.3 Ονομαστική Χωρητικότητα και Παρεχόμενη Ισχύς από τους Συσσωρευτές κατά τη Λειτουργία τους σε Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καταλήγουμε σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας C_N . Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα C δίνεται από:

$$C = C_N \times \beta$$

όπου β είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή. Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευθεί και να ανακτηθεί σε ιδανικές συνθήκες, σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι:

$$E = C \times \beta = C_N \times \beta \times V$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου α , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_ϕ , ίση με:

$$E_\phi = \frac{E}{\alpha}$$

Και τότε η ονομαστική χωρητικότητά του είναι:

$$C_N = \frac{E_\phi}{V \times \beta} = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο είναι υπό μορφή συνεχούς ρεύματος (DC). Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) είναι απαραίτητη για τη χρήση πολλών κοινών συσκευών όπως και για τη σύνδεση στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και επιτυγχάνεται με ένα μετατροπέα τάσης συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή αλλιώς μετατροπέας DC-AC. Η αποδοτικότητα των μετατροπέων είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, όταν λειτουργούν πάνω από το 10% της μέγιστης παραγωγής τους και μπορεί να φτάσει έως και 96%. Οι μετατροπείς που συνδέονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά ενσωματώνουν μια ηλεκτρονική διάταξη ανίχνευσης του μέγιστου σημείου ισχύος (Maximum Power Point Tracker - MPPT), ρυθμίζοντας συνεχώς τη σύνθετη αντίσταση φορτίων έτσι ώστε ο μετατροπέας να εξάγει πάντα τη μέγιστη ενέργεια από το σύστημα. Οι μετατροπείς υπάγονται σε δύο-κύριες κατηγορίες: αυτο-συγχρονιζόμενος και συγχρονισμένος βάση μίας σύνδεσης. Ο πρώτος μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιούμενος από την πηγή ενέργειας, δηλαδή μόλις υπάρχει ρεύμα από τα Φ/Β τότε ενεργοποιείται για να μην σπαταλάει ρεύμα από τους συσσωρευτές. Αυτοί που υπάγονται στη δεύτερη κατηγορία ενεργοποιούνται και ελέγχονται από το δίκτυο. Αυτό είναι απαραίτητο για να διατηρήσει το δίκτυο σταθερή ποιότητα ρεύματος και να αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα. Αυτής της κατηγορίας οι μετατροπείς σταματάνε όταν υπάρχει βλάβη στο δίκτυο για πρόληψη ηλεκτροπληξίας στα συνεργεία της ΔΕΗ. Παραδοσιακά, ένας μετατροπέας χρησιμοποιείται για ολόκληρη τη συστοιχία. Ξεχωριστοί μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές συστοιχίες Φ/Β σε περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς είναι μεγάλη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοπιστία, καθώς εάν προκύψει κάποιο πρόβλημα σε μια μονάδα, απομονώνεται χωρίς να σταματήσει την παραγωγή το υπόλοιπο σύστημα.

5.2 Μονάδες Μετατροπής Ισχύος

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Μονάδες μετατροπής ισχύος είναι οι μονάδες εκείνες που αναλαμβάνουν την προσαρμογή μεταξύ συστοιχίας, συσσωρευτή, φορτίων και εφεδρικής πηγής ενέργειας (αν υπάρχει) μετατρέποντας την «ακατέργαστη» DC ισχύ εξόδου από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία σε ισχύ «κατάλληλης ποιότητας» και σύμφωνης με τις απαιτήσεις του φορτίου. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει DC ισχύ με μεταβολές της τάσης της τάξης του 30%. Αν οι ανάγκες του φορτίου περιορίζονται σε DC ισχύ (π.χ. φωτισμός, DC κινητήρας, άλλα ωμικά φορτία) τότε ο πιο απλός συνδυασμός είναι η απ' ευθείας σύνδεση της συστοιχίας με ένα συσσωρευτή, μέσω διόδου αντεπιστροφής και στη συνέχεια με το φορτίο. Η δίοδος αντεπιστροφής τοποθετείται για αποφυγή της εκφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, αν μειωθεί σημαντικά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο συνδυασμός αυτός συνίσταται μόνο όταν το μέγιστο ρεύμα της συστοιχίας είναι μικρότερο από το 5% της χωρητικότητας των συσσωρευτών.

Σε πολλά DC συστήματα, οι μεταβολές της τάσης που οφείλονται σε μεταβολή των καιρικών συνθηκών και χειροτέρευση των χαρακτηριστικών τους κυττάρων λόγω γήρανσης, αντισταθμίζονται με έλεγχο της τάσης της συστοιχίας με τη βοήθεια ρυθμιστών τάσης. Έτσι, παρέχεται ισχύς σε σταθερή τάση με σκοπό να προστατεύσουμε το συσσωρευτή και το φορτίο από ακραίες τιμές της τάσης με όλες τις γνωστές συνέπειες.

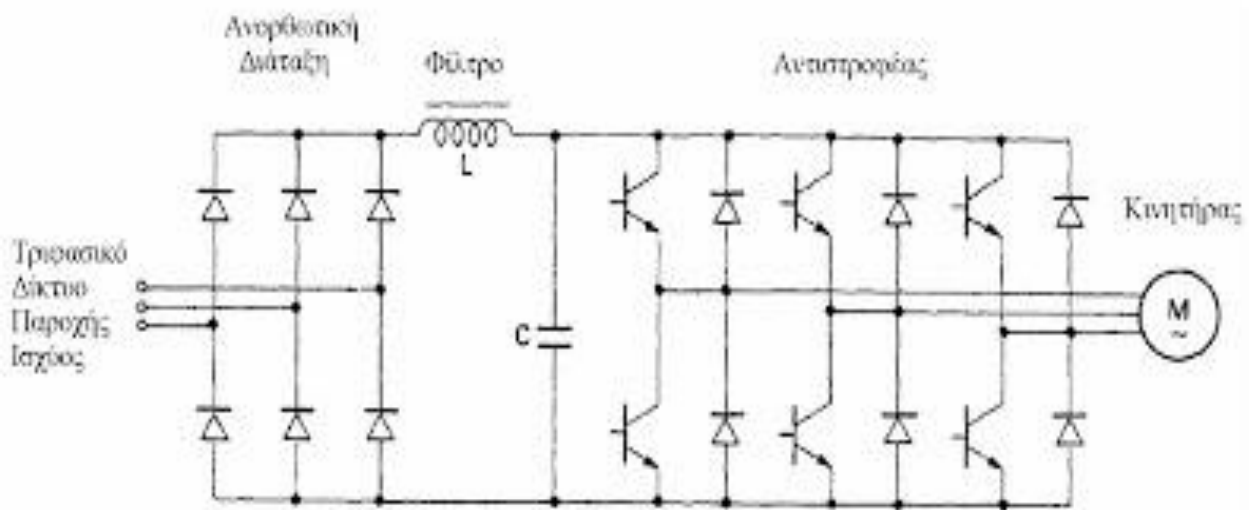
Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θέλουμε να εξάγουμε από τη συστοιχία το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας, δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή το σημείο λειτουργίας να αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος. Αν το σύστημα είναι αυτόνομο και περιλαμβάνει συσσωρευτές ο αριθμός των σε σειρά συνδεδεμένων στοιχείων των συσσωρευτών πρέπει να είναι κατάλληλος, ώστε η τάση του συσσωρευτή να βρίσκεται στη γειτονιά της τάσης που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος της συστοιχίας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση, δεν υπάρχει αυτή η προσαρμογή λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας, της στάθμης φόρτισης των συσσωρευτών (SOC), του ρυθμού φόρτισης/εκφόρτισης των συσσωρευτών, με συνέπεια τη μείωση του συνολικού βαθμού απόδοσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια μονάδα που ονομάζεται ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracker), που ακολουθώντας κατάλληλη στρατηγική ανίχνευσης του σημείου μέγιστης ισχύος επιτυγχάνει την απαιτούμενη προσαρμογή. Αν οι ανάγκες του φορτίου απαιτούν AC ισχύ (που είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση) χρησιμοποιείται κι ένας αντιστροφέας, inverter, ώστε να μετατρέπει την DC σε AC ισχύ.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Επίσης, στις παραπάνω μονάδες μετατροπής της ισχύος μπορούμε να κατατάξουμε και τις μονάδες ελέγχου του συστήματος που μπορεί να περιλαμβάνουν: αυτόματη εκκίνηση και θέση εκτός λειτουργίας, εκτίμηση του SOC των συσσωρευτών, θέση σε λειτουργία της εφεδρικής πηγής ενέργειας, κατανομή φορτίου, εντοπισμό σφαλμάτων/αυτόματη διόρθωση, διακόπτες, γείωση, άλλα συστήματα προστασίας, συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής δεδομένων κλπ.

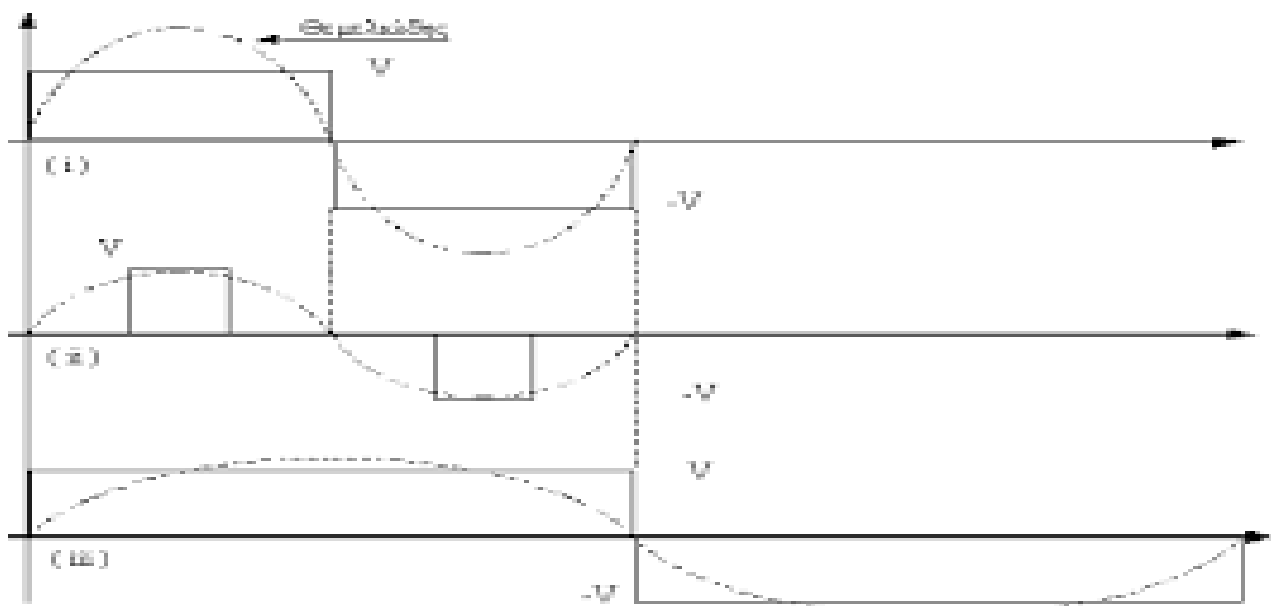
5.3 Μετατροπέας (inverter) DC-AC

Ο Inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (bipolar transistors ισχύος, MOSFETs, thyristors κλπ), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων (Inversion).



Εικόνα 5.1 : Ανορθωτική διάταξη

Μία βελτιωμένη έκδοση inverter αποτελεί εκείνος του οποίου η τάση εξόδου παρουσιάζεται με τη μορφή του διαμορφωμένου ημιτόνου (modified sine inverter), όπως εμφανίζεται στο σχήμα



Εικόνα 5.2 : Τάση εξόδου inverter

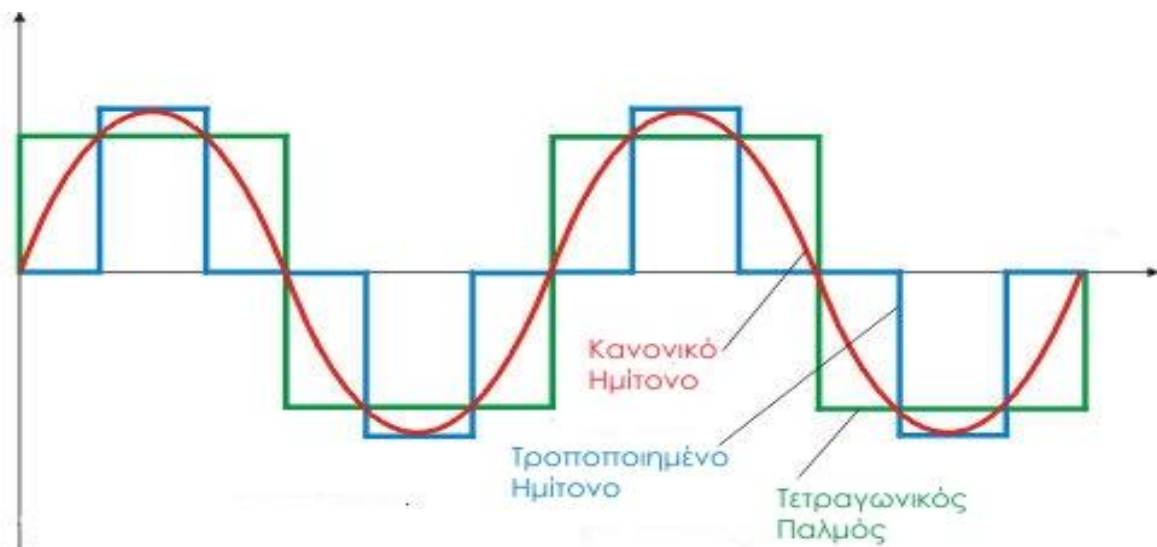
Με κατάλληλη ρύθμιση των χρόνων κλεισίματος – ανοίγματος των διακοπών, επιτυγχάνουμε μικρή τροποποίηση της κυματομορφής εξόδου του, η οποία χαρακτηρίζεται από το ότι ο αρνητικός τετραγωνικός παλμός είναι μετατοπισμένος χρονικά, σε σχέση με το θετικό, κατά $T/6$ της περιόδου της συνολικής κυματομορφής. Το χρονικό εύρος των τετραγωνικών τμημάτων είναι $T/3$. Το πλεονέκτημα αυτής της διαμορφωμένης τετραγωνικής κυματομορφής είναι ότι περιορίζεται το μέγεθος των ανωτέρων αρμονικών και άρα περιορίζεται δραστικά η παραμόρφωση σήματος.

Η περίπτωση με μετατόπιση $\tau = T/6$ μεταξύ των αντεστραμμένων παλμών χαρακτηρίζεται από μικρότερη παραμόρφωση, που επιβάλουν οι ανώτερες αρμονικές στο σήμα της θεμελιώδους. Οι inverters αυτού του είδους χρησιμοποιούνται, ευρέως, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στις συσκευές που τροφοδοτούν και παρουσιάζουν αρκετά καλή απόδοση (μέχρι και 96%, σε πλήρες φορτίο).

Γενικά, η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Απαιτείται υψηλή απόδοση, όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο (100%), αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Συγκεκριμένα, βασικό απαιτούμενο χαρακτηριστικό ενός inverter είναι η υψηλή απόδοση (>90%) ακόμα και όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους. Σημειώνεται, επίσης, ότι η λειτουργία τους συνοδεύεται, κατά περίπτωση από παραγωγή μεγάλου πλήθους

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

αρμονικών υψηλών συχνοτήτων (κυρίως με τον απλό τετραγωνικό παλμό), που περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.



Εικόνα 5.3 : Κανονικό ημίτονο σε σύγκριση με τετραγωνικό παλμό

5.4 Σχεδίαση ενός DC-AC Μετατροπέα

5.4.1 Πλευρά Εισόδου του Μετατροπέα (Input side)

Επί της ουσίας πρόκειται για την πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται με την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, η οποία παρέχει ισχύ υπό συνεχή dc τάση και ρεύμα. Τα μεγέθη που παραθέτουμε σε αυτήν την παράγραφο αναφέρονται στην dc πλευρά της συσκευής, δηλαδή σε συνεχές ρεύμα και τάση.

Κατάσταση λειτουργίας

Ο μετατροπέας έχει ενσωματωμένες στην είσοδο του ηλεκτρονικές διατάξεις που επεξεργάζονται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φ/β συστοιχίας, ώστε για κάθε χρονική στιγμή να απορροφάμε τη μέγιστη ισχύ από τη συστοιχία. Η παραγωγή και άρα απορρόφηση μέγιστης ισχύος όπως είδαμε αντιστοιχεί στο MPP σημείο λειτουργίας. Με τη χρήση τέτοιων διατάξεων το σημείο λειτουργίας διατηρείται σταθερά στο MPP, προφανώς για τις εκάστοτε συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η κατάσταση λοιπόν λειτουργίας του μετατροπέα λαμβάνεται να αντιστοιχεί πάντα στο MPP.

Ελάχιστη και μέγιστη MPP τάση

Οι δύο αυτές χαρακτηριστικές τιμές της τάσης ορίζουν ένα «παράθυρο τάσης», άνω και κάτω όριο τάσης, μέσα στο οποίο ο inverter δύναται να αναζητήσει το MPP. Όταν καθορίζουμε την τάση MPP εξόδου της συστοιχίας αυτή θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στο «παράθυρο τάσης» του μετατροπέα. Το MPP όπως είδαμε καθορίζεται από το ρεύμα IMPP και την τάση VMPP. Τα μεγέθη αυτά παρέχονται από τους κατασκευαστές των πλαισίων αλλά αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC), όπου η θερμοκρασία λειτουργίας των κυττάρων λαμβάνεται 25°C . Στις πραγματικές συνθήκες, η θερμοκρασία λειτουργίας είναι συνήθως αρκετά μεγαλύτερη και το MPP μετατοπίζεται. Έτσι μια καλή προσέγγιση για τον υπολογισμό του MPP της γεννήτριας, ώστε να εξεταστεί αν αυτό βρίσκεται μέσα στο παράθυρο τάσης είναι η θερμοκρασία να λαμβάνεται η θερμοκρασία λειτουργίας για 50°C με 60°C .

Μέγιστη τάση

Είναι η απόλυτη μέγιστη dc τάση κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες που μπορεί να δεχθεί στην είσοδό του ο μετατροπέας. Η μέγιστη τάση εξόδου της συστοιχίας δεν πρέπει να υπερβαίνει αυτή την τιμή. Πρέπει λοιπόν να εξετάσουμε αν η Voc της συστοιχίας είναι μικρότερη από το συγκεκριμένο όριο τάσης. Για να είμαστε στην ασφαλή πλευρά, ή ακτινοβολία λαμβάνεται στους 1000, ενώ για τη θερμοκρασία μια καλή προσέγγιση είναι -10°C για την Ευρώπη. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η Voc ελαττώνεται.

Κατώφλι ισχύος (Power threshold)

Είναι η ελάχιστη ισχύς εισόδου που χρειάζεται ο inverter για να λειτουργήσει. Μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ισχύς που καταναλώνει ο ίδιος ο inverter για τη λειτουργία του.

Μέγιστο φωτοβολταϊκό ρεύμα (I_{pvmax})

Είναι το απόλυτο μέγιστο αποδεκτό ρεύμα στην είσοδο του inverter. Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συνήθως εξετάζεται η απαίτηση το I_{mpp} της συστοιχίας να είναι μικρότερο από την παραπάνω τιμή.

Λοιπά στοιχεία

Άλλα στοιχεία τα οποία μπορεί κανείς να βρει στους καταλόγους με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστών, αλλά δε χρησιμοποιούνται από το συγκεκριμένο πρόγραμμα για το σχεδιασμό και την εξομοίωση είναι τα εξής:

Η Ονομαστική Φωτοβολταϊκή Ισχύς που είναι μια συνήθης καθοριζόμενη παράμετρος για τους inverter. Εννοείται ως η συνιστώμενη ονομαστική ισχύς της φ/β συστοιχίας σε STC συνθήκες.

Η Μέγιστη Φωτοβολταϊκή Ισχύς η τιμή της οποίας μπορεί να δίνεται μερικές φορές. Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη. Μπορεί να γίνει αντιληπτή, ως η απόλυτη μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε STC συνθήκες αν και ο ακριβής της ορισμός διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

5.4.2 Πλευρά Εξόδου του Μετατροπέα

Εννοείται η πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται στο δίκτυο ή εν γένει στο φορτίο που τροφοδοτεί. Προφανώς στην πλευρά εξόδου έχουμε εναλλασσόμενη (AC) τάση και ρεύμα. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που εξετάζονται στις επόμενες υποπαραγράφους αναφέρονται στην ac πλευρά του μετατροπέα.

Ονομαστική ισχύς

Η ονομαστική ισχύς είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη για τους μετατροπείς. Εννοείται ως η ισχύς που μπορεί να παρέχει διαρκώς στο δίκτυο. Όταν έχουμε υπέρβαση των ορίων, δηλαδή σε ακραίες περιπτώσεις υπερπαραγωγής ισχύος στο MPP, εφαρμόζεται κάποια μέθοδος περιορισμού, π.χ. μετατόπιση του σημείου λειτουργίας της $I-V$ χαρακτηριστικής. Η ονομαστική ισχύς είναι το μόνο από τα μεγέθη που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης.

Μέγιστη AC ισχύς

Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη αν και μερικές φορές παρέχεται από τους κατασκευαστές. Μπορεί να εννοηθεί ως η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει ο μετατροπέας στην έξοδο του για ένα χρονικό διάστημα, μετά την υπέρβαση του οποίου επέρχεται η υπερθέρμανση της συσκευής οπότε και πρέπει να σταματήσει η λειτουργία της στο σημείο αυτό. Δεν χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα.

Ονομαστική AC τάση

Είναι η τάση υπό την οποία παρέχει την ονομαστική ισχύ του ο μετατροπέας στην έξοδό του. Εξαρτάται από την τάση του δικτύου για την οποία είναι σχεδιασμένος να συνδέεται ο μετατροπέας. Για μετατροπείς που συνδέονται κατευθείαν στο δίκτυο ΧΤ η ονομαστική πολική τάση εξόδου της συσκευής είναι στα 0.4 kV. Υπάρχουν και μετατροπείς με τάση εξόδου στα 20 kV.

Ονομαστικό AC ρεύμα

Είναι το ρεύμα που δίνει στην έξοδο του ο μετατροπέας για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή ονομαστική τάση και ονομαστική ισχύ.

Μονοφασική ή τριφασική σύνδεση

Προφανώς αναφέρεται στον τρόπο σύνδεσης του μετατροπέα στην έξοδο του. Συνήθως έχουμε μονοφασική σύνδεση για μετατροπείς μικρότερους των 3 kW, ενώ τριφασική σύνδεση για μεγαλύτερους μετατροπείς.

Συχνότητα δικτύου

Οι περισσότεροι μετατροπείς μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυο με συχνότητα 50 Hz και 60 Hz. Για την Ελλάδα λαμβάνουμε 50 Hz.

Απόδοση

Γενικά οι μετατροπείς χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (93%-97%), η οποία όμως εξαρτάται από τη στιγμιαία ισχύ. Υπάρχει η απαίτηση ο μετατροπέας να έχει μεγάλη απόδοση και για μικρή ισχύ, συγκεκριμένα 90% για 10% της ονομαστικής ισχύος.

5.5 Ελεγκτής φόρτισης

Η φόρτιση των συσσωρευτών μέσω της φωτοβολταϊκής συστοιχίας απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου λόγω ηλεκτρόλυσης και συνακόλουθα μείωση της στάθμης του διαλύματος. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική κατάσταση υπερεκφόρτισης. Γενικά ο ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει, προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω ορισμένα όρια τάσης, όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες. Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης-εκφόρτισης, περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (ρελέ), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος. Σε κάθε περίπτωση, στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος, για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

5.5.1 Παράλληλος Ρυθμιστής Φόρτισης (Shunt controller)

Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι το ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα (shunt controller), με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά, ανάλογα με τη μέγιστη φόρτιση (Σχήμα 5.10(α)), είτε ως διακόπτης ON/OFF (Σχήμα 5.10(β)). Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση (όριο τάσης) το ελεγχόμενο σημείο βραχυκυκλώνει το φωτοβολταϊκό σύστημα, χωρίς να προκαλείται καμία βλάβη σε αυτό. Έτσι, απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσής της.

5.5.2 Ρυθμιστής φόρτισης σε σειρά (Series controller)

Η βασική αρχή λειτουργίας της δεύτερης διάταξης ελέγχου φόρτισης βασίζεται στη χρήση δύο διακοπών S1, S2. Ο πρώτος διακόπτει το ρεύμα από το σύστημα ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης, όταν η τάση φόρτισης φτάσει στο όριό της. Την ίδια στιγμή ενεργοποιείται ο διακόπτης S2, ο οποίος εισάγει στην έξοδο του συστήματος ενέργειας, ένα στοιχείο απόδοσης (Σ) της επί πλέον ενέργειας, την οποία δεν έχει την δυνατότητα να απορροφήσει το σύστημα αποθήκευσης. Το στοιχείο απόδοσης, πρέπει να μπορεί να αποβάλλει εύκολα την αποδιδόμενη σε αυτό ενέργεια, προς το περιβάλλον. Ο ρυθμιστής αυτός ονομάζεται ρυθμιστής με το ελεγχόμενο στοιχείο (S1) σε σειρά (Series controller) και μπορεί να ελέγξει τη φόρτιση συσσωρευτών από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του ρυθμιστή, με διαφορές που εντοπίζονται στον τρόπο που προσεγγίζεται η τελική κατάσταση φόρτισης, από καθεμιά από αυτές. Η διάταξη φόρτισης συμπληρώνεται από παρόμοια διάταξη ελέγχου εκφόρτισης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, με σκοπό την προστασία του συσσωρευτή από υπερεκφόρτιση (overdischarging) και η οποία συνήθως ενσωματώνεται στην πρώτη. Διακόπτει το κύκλωμα παροχής ενέργειας από το συσσωρευτή στην κατανάλωση, όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή μειούμενη φτάσει ορισμένη τιμή (disconnect setpoint).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ

6.1 Εισαγωγή

Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος είναι ένα ζεύγος μηχανών που αποτελείται από μια κινητήρια μηχανή (παλιότερα εξωτερικής καύσης, σήμερα εσωτερικής) και μια ηλεκτρογεννήτρια. Σήμερα κατασκευάζονται Η/Ζ διαφόρων μεγεθών και τύπων, ανάλογα με το σκοπό και την ισχύ τους, το είδος του ρεύματος που παράγουν κ.ά.. Στα Η/Ζ μεγάλης ισχύος χρησιμοποιείται πετρελαιοκινητήρας με καύσιμο πετρέλαιο diesel (ντιζελοκινητήρας), παρόμοιος με αυτόν των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, αλλά με μεγαλύτερη ιπποδύναμη. Αντίθετα, στα μικρής ισχύος Η/Ζ χρησιμοποιείται ένας μικρός βενζινοκινητήρας. Επίσης, τα Η/Ζ μεγάλης ισχύος διαθέτουν μια τριφασική σύγχρονη γεννήτρια (εναλλακτήρα), ενώ τα Η/Ζ μικρότερης ισχύος μια μονοφασική γεννήτρια (φορητή ηλεκτρογεννήτρια)

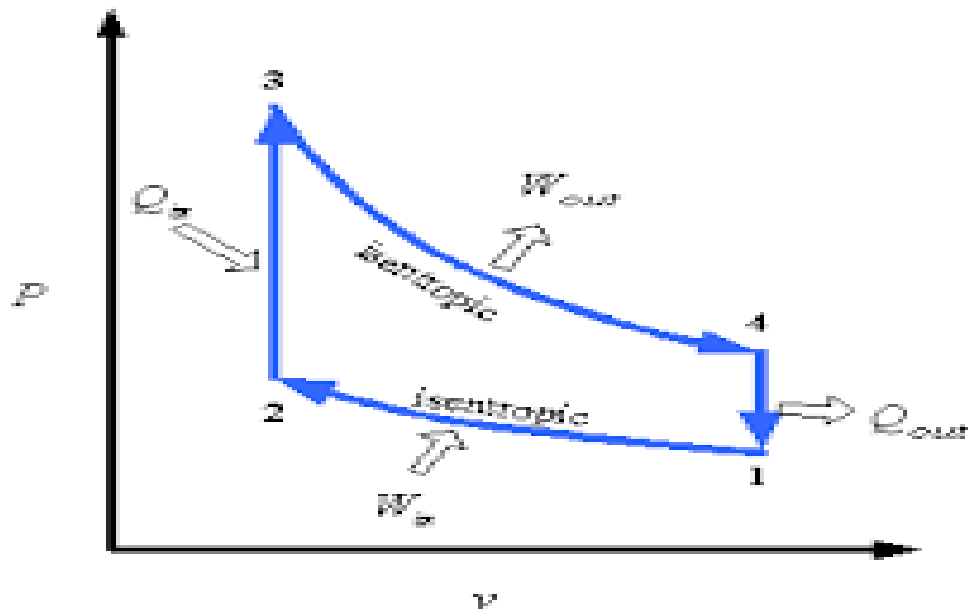
6.2 Μηχανές εσωτερικής καύσης

Για το κινητήριο σύστημα του Η/Ζ χρησιμοποιούνται μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ), οι οποίες διακρίνονται σε εμβολοφόρες και σε περιστροφικές, με τις δεύτερες να μην είναι τόσο δημοφιλείς. Οι εμβολοφόρες μηχανές χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τους κινητήρες otto (ή βενζινοκινητήρες) και τους κινητήρες diesel και καθένας εξ' αυτών λειτουργεί με βάση τον αντίστοιχο θερμικό κύκλο λειτουργίας, δηλαδή τον κύκλο otto ή τον κύκλο diesel. Ο κύκλος diesel έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται σήμερα σε εφαρμογές που απαιτούνται βαρέως τύπου κινητήρες, αφού έχει τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κύκλο otto:

- Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό συμπίεσης (άρα μειωμένη κατανάλωση).
- Ο βαθμός απόδοσης είναι ανεξάρτητος από το φορτίο.
- Εκπέμπει λιγότερο CO στην ατμόσφαιρα.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

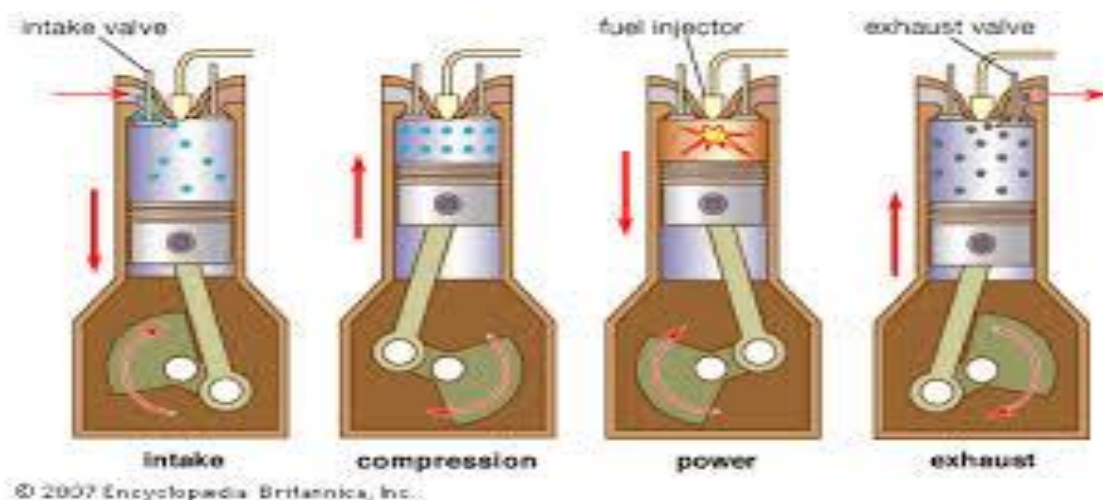
- Καταναλώνει καύσιμο λιγότερο πηκτικό από τη βενζίνη, άρα και φθηνότερο. Ο κύκλος diesel είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται από τέσσερα στάδια, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 6.1 και συνοψίζονται ως εξής



Εικόνα 6.1 : Κύκλος Diesel

- 1 → 2: Ισεντροπική (αδιαβατική) συμπίεση.
- 2 → 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- 3 → 4: Ισεντροπική (αδιαβατική) εκτόνωση.
- 4 → 1: Ισόγκη αποβολή θερμότητας. Ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα ολοκληρώνεται με τέσσερις διαδρομές του εμβόλου ή δύο διαδρομές του στροφαλοφόρου άξονα.

Στο σχήμα βλέπουμε να εισρέει αέρας στον κύλινδρο (a) από την βαλβίδα εισαγωγής, ενώ στο δεύτερο κύλινδρο (b) (όπου έχουν κλείσει πλέον οι βαλβίδες) ο αέρας βρίσκεται υπό πίεση 30-40 bar και θερμοκρασία 600-700 oC. Στον αμέσως επόμενο κύλινδρο (c) εγχέονται σταγόνες πετρελαίου, το οποίο αναφλέγεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, κινώντας το έμβολο. Στον τελευταίο κύλινδρο (d) βλέπουμε τη βαλβίδα εξαγωγής να αποβάλει από το θάλαμο του κυλίνδρου τα καυσαέρια και τον κινητήρα να έχει ολοκληρώσει έναν κύκλο λειτουργίας.



Εικόνα 6.2 : Φάσεις λειτουργίας μηχανής Diesel

6.3 Σύγχρονες μηχανές

Το ρόλο της γεννήτριας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους συνήθως αναλαμβάνει μια σύγχρονη μηχανή. Αποτελείται από το δρομέα, που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και από το στάτη που φέρει ένα τριφασικό τύλιγμα. Ο στάτης είναι μία κοίλη κυλινδρική κατασκευή από σιδηρομαγνητικό υλικό σε μορφή ελασμάτων, που φέρει διαμήκεις αύλακες στην εσωτερική του επιφάνεια [50]. Στις αύλακες αυτές τοποθετούνται τα τυλίγματα του στάτη, που διευθετούνται σε τρεις συμμετρικές ζώνες (μία για κάθε φάση), οι οποίες απέχουν μεταξύ τους κατά 120° . Ο δρομέας είναι μία συμπαγής σιδηρομαγνητική κατασκευή, που τοποθετείται στον άξονα της μηχανής και περιστρέφεται μέσα στο στάτη. Στο δρομέα τυλίγεται, επίσης, το τύλιγμα πεδίου, που τροφοδοτείται από μια πηγή συνεχούς ρεύματος, τη διεγέρτρια. Αυτή μπορεί να είναι μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που προσαρμόζεται στον ίδιο άξονα με αυτόν της μηχανής ή μία ξεχωριστή πηγή συνεχούς ρεύματος που συνδέεται στο τύλιγμα του πεδίου με ψήκτρες.

Ο χαρακτηρισμός «σύγχρονη» προέρχεται από το γεγονός, ότι ο δρομέας στρέφεται σύγχρονα (με την ίδια ταχύτητα) με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από τη διέγερση του συνεχούς ρεύματος.

Ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα διακρίνουμε δύο είδη μηχανών, τη μηχανή με κυλινδρικό δρομέα (που είναι ουσιαστικά δρομέας δύο πόλων) και τη μηχανή με έκτυπους πόλους. Ο συμπαγής δρομέας του πρώτου τύπου φέρει αυλακώσεις, μέσα στις

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

οποίες τοποθετείται το τύλιγμα διέγερσης και προστατεύεται με σφήνες έναντι των φυγοκεντρικών δυνάμεων. Οπότε, συνήθως χρησιμοποιείται σε γεννήτριες υψηλής ταχύτητας. Ο δεύτερος τύπος μηχανών έχει εξέχοντες πόλους, γύρω από τους οποίους τυλίγεται το τύλιγμα διέγερσης και χρησιμοποιείται σε γεννήτριες μικρής ταχύτητας. Τέλος, ο δρομέας των σύγχρονων μηχανών και των δύο τύπων φέρει ως επί το πλείστον ένα ακόμη τύλιγμα, που ονομάζεται τύλιγμα απόσβεσης. Αυτό έχει ως σκοπό να αποσβένει τις ταλαντώσεις του δρομέα, να βοηθάει στην εκκίνηση της Σ.Μ. μέχρι αυτή να φτάσει το σύγχρονο αριθμό στροφών και να αποσβένει το αριστερόστροφο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δρα αντίθετα του κανονικού (δεξιόστροφου).

6.4 Κριτήρια επιλογής H/Z

Ένα H/Z συνοδεύεται συνήθως (ανάλογα με το μέγεθός του και την εγκατάσταση που πρέπει να καλύψει) από ένα ειδικό σύστημα σταθεροποίησης τάσης (automatic voltage regulator-AVR). Το σύστημα αυτό επιτρέπει να τροφοδοτηθούν φορτία ευαίσθητα στις αλλαγές της τιμής της τάσης. Το ζητούμενο κατά την επιλογή ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους είναι η κάλυψη της αναμενόμενης από το μικροδίκτυο ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ελάχιστο δυνατό κόστος λειτουργίας. Στην περίπτωση μεγάλων εγκαταστάσεων, η αναμενόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνάρτηση του χρόνου κι η γεννήτρια θα πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει τουλάχιστον το μέγιστο αυτής της συνάρτησης. Προκειμένου να μπορούν να καλυφθούν και κάποιες απρόβλεπτες αιχμές φορτίου, η επιλογή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη ένα συντελεστή ασφάλειας της τάξης του 20-25%. Επομένως, το κατάλληλο H/Z επιλέγεται με βάση το μέγιστο σημείο της αναμενόμενης καμπύλης ζήτησης φορτίου, τον επιθυμητό συντελεστή ασφάλειας και τα σχετικά οικονομικά κριτήρια (κόστος απόκτησης, κόστος συντήρησης, κλπ.)

6.5 Φωτοβολταϊκό Υβριδικό Σύστημα με Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στο κόστος μιας αυτόνομης ντιζελογεννήτριας είναι το γεγονός ότι η τιμή του αργού πετρελαίου αυξάνεται και σαν συνέπεια αυτού και η τιμή σε εθνικό επίπεδο του πετρελαίου έχει αυξηθεί κατά 400% τα τελευταία 10 έτη. Επιπλέον η χρήση μιας ντιζελογεννήτριας για την παραγωγή ενέργειας όλο το 24ωρο

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

σημαίνει ότι αυτή θα πρέπει να αντικαθίσταται κάθε έτος ή να απαιτεί γενική επισκευή. Επιπλέον τα τρέχοντα έξοδα της επένδυσης αυτής αυξάνουν το συνολικό κόστος λειτουργίας της. Ακόμη σημαντική οικονομική επιβάρυνση αποτελούν και τα λειτουργικά έξοδα της ντιζελογεννήτριας τα οποία και είναι η μηνιαία συντήρηση, τα ανταλλακτικά, το κόστος καυσίμων αλλά και η μεταφορά τους και τέλος ο καθαρισμός και το λάδι της μηχανής. Μια γεννήτρια ντίζελ, αν και έχει μικρό κόστος αγοράς, έχει γενικά υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ενώ είναι επιβαρυντική για το περιβάλλον λόγω των αερίων που παράγονται από την καύση του πετρελαίου. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε χαμηλό, σχεδόν μηδενικό φορτίο, η ντιζελογεννήτρια χρησιμοποιεί το 30% του καυσίμου που θα χρησιμοποιούσε σε πλήρες φορτίο. Αυτά τα προβλήματα εξαλείφονται με τη συνεργασία φωτοβολταϊκών στοιχείων με ντιζελογεννήτρια και μπαταρίες έτσι ώστε να ομαλοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να μειώνεται το κόστος της. Η βέλτιστη επιλογή της ισχύος των φωτοβολταϊκών λαμβάνει πρωτίστως υπόψη την αξιολόγηση του ποσού της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, με μονάδα μέτρησης τα W/m^2 . Συνήθως ενδιαφέρει η ολική ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια μιας ώρας, η οποία οδηγεί στην εκτίμηση της ωριαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ επίσης σημαντικές πληροφορίες είναι η ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία και η μηνιαία ολική ακτινοβολία. Στη συνέχεια πρέπει να επιλεχτεί ο τύπος και η ισχύς της ντιζελογεννήτριας που θα ενσωματωθεί στον υβριδικό σταθμό. Μια γεννήτρια βενζίνης είναι πιο οικονομική από μία ντιζελογεννήτρια, αλλά έχει μικρότερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας. Συνήθως γεννήτριες βενζίνης χρησιμοποιούνται όταν το σύστημα έχει διαστασιολογηθεί έτσι ώστε οι ΑΠΕ να καλύπτουν εξολοκλήρου το φορτίο και το χρόνο που δε μπορούν να ανταποκριθούν. Οι γεννήτριες βενζίνης τροφοδοτούν με ισχύ και αποθηκεύουν ενέργεια στα μέσα αποθήκευσης, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο μπαταρίες. Αν υπάρχουν όμως μεγάλες διακυμάνσεις στην καμπύλη του φορτίου τότε καταλληλότερη είναι η ντιζελογεννήτρια, έτσι ώστε να καλύπτει με μικρό κόστος τις αιχμές του ημερήσιου φορτίου ή γενικά όταν η διαστασιολόγηση είναι τέτοια ώστε οι ΑΠΕ να καλύπτουν μερικώς το φορτίο. Εφόσον επιλεγεί το είδος της γεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να γίνει η διαστασιολόγησή του, η οποία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ο κυριότερος από αυτούς είναι η αιχμή του φορτίου. Δηλαδή θα πρέπει η γεννήτρια να έχει την ικανότητα να καλύπτει την αιχμή του φορτίου. Επομένως παράγοντας είναι το είδος του φορτίου που πρέπει να καλυφθεί. Έτσι, αν το φορτίο είναι για παράδειγμα ωμικό τότε δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις από τη γεννήτρια για σταθερή συχνότητα του δικτύου, του οποίου αποτελεί πηγή. Στην

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική σχεδιασμού του υβριδικού συστήματος όπου ο αντιστροφέας συνήθως δε λειτουργεί ταυτόχρονα με τη ντιζελογεννήτρια και η διαστασιολόγηση του ανορθωτή συνήθως καθορίζεται από τη χωρητικότητα των μπαταριών. Μια άλλη λύση είναι οι δύο μετατροπείς ισχύος να αποτελούν ένα μετατροπέα διπλής κατεύθυνσης που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ένα τέτοιο σύστημα. Για λόγους οικονομίας και εάν η χωρητικότητα των μπαταριών είναι τέτοια που είναι αδύνατο να καλυφθεί το φορτίο αιχμής μέσω του αντιστροφέα, τότε ο αντιστροφέας μπορεί να είναι χαμηλότερης ισχύος και το φορτίο αιχμής να καλύπτεται απευθείας από τη ντιζελογεννήτρια. Στην περίπτωση που οι απαιτήσεις του φορτίου είναι τέτοιες που να απαιτείται όσο το δυνατόν σταθερή συχνότητα, τότε θα πρέπει η συχνότητα του φορτίου να καθορίζεται από την έξοδο του αντιστροφέα. Η τελευταία περίπτωση είναι και η πιο δαπανηρή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΑΓΡΟΙΚΙΑΣ

7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο ασχολούμαστε με την περιγραφή της αγροικίας, η οποία πρόκειται να τροφοδοτηθεί από μία αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, καθώς και με την αναφορά των δεδομένων που επικρατούν στην περιοχή. Επιπρόσθετα, γίνεται η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για τη διεκπεραίωση της παραπάνω διαδικασίας.

Η αγροικία που βρίσκεται σε ένα χωριό του Νομού Τριπόλεως αρκετά μακριά από την πόλη της Τρίπολης. Αποτελείται από ένα οίκημα 200 τετραγωνικών μέτρων και μία αποθήκη 60 τετραγωνικών μέτρων. Η εγκατάσταση κρίθηκε αναγκαία καθώς η αγροικία βρίσκεται μακριά από το δίκτυο της ΔΕΗ, γεγονός που καθιστά ασύμφορη την τροφοδότησή της από αυτό.

7.2 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

Πριν ξεκινήσουμε την υλοποίηση κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Κατόπιν προσεκτικής έρευνας καταγράφονται όλες οι καταναλώσεις των διάφορων συσκευών στη διάρκεια του 24ώρου. Για απλούστευση των υπολογισμών επιλέχθηκαν ηλεκτρικές συσκευές ενεργειακής κλάσης Α.

Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας κατανάλωσης κατοικίας γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

- Βήμα 1: Καταγραφή όλων των ηλεκτρικών συσκευών, της ισχύς τους και του πιθανού χρόνου λειτουργίας τους σε ένα εικοσιτετράωρο.
- Βήμα 2: Υπολογισμός ημερήσιας ενέργειας κατανάλωσης. Πολλαπλασιάζοντας την ηλεκτρική ισχύ επί το χρόνο λειτουργίας κάθε συσκευής, έχουμε την ηλεκτρική της κατανάλωση ($E_k = P_k \times T$). Από το άθροισμα των καταναλώσεων προκύπτει η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης της εγκατάστασης E_k .

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- Βήμα 3: Εκτίμηση της μέγιστης ισχύς στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή καταγράφεται η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών και υπολογίζεται η μέγιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς.

Επειδή είναι λογικό οι απαιτήσεις να είναι πολύ υψηλές σε ένα τόσο μεγάλο οίκημα, θα ακολουθήσουμε κάποιους βασικούς κανόνες, ώστε να είναι το σύστημα οικονομικότερο:

1. Είναι αντιοικονομικό να επιδιώκεται η χρήση υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος για τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση (ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες). Οι ανάγκες αυτές πρέπει να καλύπτονται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως υγραέριο, πετρέλαιο, ήλιος κλπ. Στο συγκεκριμένο οίκημα χρησιμοποιήσαμε καυστήρα πετρελαίου για θέρμανση, ηλιακό θερμοσίφωνα και boiler για τη θέρμανση νερού το χειμώνα και φούρνο υγραερίου.

2. Χρησιμοποιήσαμε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z) για την αντιμετώπιση αιχμών ζήτησης από το να επιδιώκεται η πλήρης ικανοποίηση των καταναλώσεων με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές, οι Σχεδίαση Αυτόνομου Υβριδικού Φωτοβολταϊκού Συστήματος Μελέτη Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος για την Τροφοδότηση Οικίας 200 τ.μ, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μεγάλο βάρος και κόστος. Με το H/Z χρησιμοποιούμε συσσωρευτές μικρότερης χωρητικότητας και φωτοβολταϊκή συστοιχία με μικρότερη ισχύ.

3. Χρησιμοποιούμε συσκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης.

Μετά από διαδοχικές δοκιμές στο πρόγραμμα (βλέπε παράρτημα), καταλήξαμε στην επιλογή της κλίσης των 50° για τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, διότι τους χειμερινούς μήνες (κατά τους οποίους έχουμε την ελάχιστη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια), η κλίση αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Επιλέξαμε Νότιο προσανατολισμό (αζιμούθια γωνία 0°), επειδή η Ελλάδα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο. Στον Πίνακα φαίνεται η ηλιακή ακτινοβολία σε αυτές τις συνθήκες ($\text{Wh/m}^2/\text{day}$) και η μέση θερμοκρασία της περιοχής καθ' όλο το εικοσιτετράωρο ($^\circ\text{C}$).

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (Wh /m² /day)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2410	8,8
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2900	9,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	3890	11,2
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	4820	14,3
ΜΑΙΟΣ	5150	19,3
ΙΟΥΝΙΟΣ	5450	23,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	5480	25,3
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5520	25,5
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	5080	22,1
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	3910	18,2
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	2630	13,8
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	2020	10,3
ΣΥΝΟΛΟ	4110	16,8

• ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΣΕ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Τύπος Συσκευής	Αριθμός Συσκευών	Ισχύς Συσκευών	Ώρες λειτουργίας	Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση
Πλυντήριο ρούχων	1	1200	1	1200
Πλυντήριο πιάτων	1	1000	1	1000
Σίδερο	1	2000	1	2000
Κουζίνα	1	3000	1	3000
Ψυγείο	1	600	24	2440
Η/Υ	3	120	8	2880
Τηλεόραση	3	80	6	1440
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας	1	1200	1	1200
Ηλεκτρική σκούπα	1	1400	1	1400
Φωτισμός	10	15	7	1050
Ηλεκτρική σόμπα	3	1200	3	1080
Φωτισμός Αποθήκης	5	15	5	375
Ψυγειοκαταψύκτης	1	800	24	1920
Θέρμανση Αποθήκης	2	1200	2	4800
Σύνολο				25785

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

• ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΣΕ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Τύπος Συσκευής	Αριθμός Συσκευών	Ισχύς Συσκευών	Ώρες λειτουργίας	Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση
Πλυντήριο ρούχων	1	1200	1	1200
Πλυντήριο πιάτων	1	1000	1	1000
Σίδερο	1	2000	1	2000
Κουζίνα	1	3000	1	3000
Ψυγείο	1	600	24	1440
Η/Υ	3	120	8	2880
Τηλεόραση	3	80	6	1440
Ηλεκτρικός θερμοσίφωνα	1	1200	0,2	240
Ηλεκτρική σκούπα	1	1400	1	1400
Φωτισμός	10	15	7	1050
Φωτισμός Αποθήκης	5	15	5	375
Ψυγειοκαταψύκτης	1	800	24	1920
Κλιματιστικό	3	1500	5	10800
Σύνολο				28745

7.3 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται η διαστασιολόγηση όπως σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Sunny Design, με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στις επόμενες δύο εικόνες.

Επισκόπηση συστήματος

26 x .SMA SMA Demo Poly 240 (Φ/Β γεννήτρια 1)

Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 25 °, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη, Ισχύς κορυφής: 6,24 kWp



1 x SB4.0-1AV-40



1 x SB 1.5-1VL-40

Σύστημα συσσωρευτών



3 x Sunny Island 3.0M

Συσσωρευτές: Λιθίου

Συνολική ονομαστική χωρητικότητα: 50,00 kWh (αντιστοιχεί σε 1042Ah στο C10)

Εκ των οποίων για χρήση: 40,00 kWh (αντιστοιχεί σε 833Ah στο C10)

Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος



Ενεργός ισχύς: 5,5 kW

Μέση ενεργειακή αποδοτικότητα: 3,50 kWh/l

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Στοιχεία σχεδιασμού Φ/Β			
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	26	Ειδ. ενεργειακή απόδοση*:	1594 kWh/kWp
Ισχύς κορυφής:	6,24 kWp	Απώλειες ισχύος (σε % της φωτοβολταϊκής ενέργειας):	---
Αριθμός Φ/Β μετατροπέων:	2	Μη αντισταθμισμένο φορτίο:	4,00 kVA
Ονομαστική ισχύς AC των Φ/Β μετατροπέων:	5,50 kW	Χρησιμοποιημένη Φ/Β ενέργεια:	8.411,71 kWh
Ενεργή ισχύς AC:	5,50 kW	Χρησιμοποιημένο ποσοστό Φ/Β ενέργειας:	84,5 %
Σχέση ενεργής ισχύος:	88,1 %	Ποσοστό Φ/Β στην τροφοδοσία ενέργειας (κατά τη διάρκεια της ημέρας):	214,3 %
Μέγ. διαθέσιμη Φ/Β ενέργεια*:	9.949,35 kWh	Μέσος ετήσιος ηλιακός βαθμός κάλυψης:	86 %
Συντ.ενεργ. χρήσης:	99,2 %		

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Αξιολόγηση του σχεδιασμού

Όνομα εργασίας: Αγροικία

Αριθμός εργασίας:

Τοποθεσία: Greece / Tripoli

Θερμοκρασία περιβάλλοντος:

Ελάχιστη θερμοκρασία: -7 °C

Θερμοκρασία σχεδιασμού: 26 °C

Μέγιστη θερμοκρασία: 39 °C

Τμηματική εργασία 1

1 x SB4.0-1AV-40 (Τμηματική εγκατάσταση 1)

Ισχύς κορυφής:	4,32 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	18
Αριθμός Φ/Β μετατροπέων:	1
Μέγ. ισχύς DC ($\cos \varphi = 1$):	4,20 kW
Μέγ. ενεργή ισχύς AC ($\cos \varphi = 1$):	4,00 kW
Τάση δικτύου:	220V (220V / 380V)
Λόγος ονομ. ισχύος:	97 %
Συντελεστής διαστασιολόγησης:	108 %
Συντελεστής μετατόπισης $\cos \varphi$:	1



SB4.0-1AV-40

Στοιχεία σχεδιασμού Φ/Β

Είσοδος A: Φ/Β γεννήτρια 1

14 x .SMA SMA Demo Poly 240, Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 25 °, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

Είσοδος B: Φ/Β γεννήτρια 1

4 x .SMA SMA Demo Poly 240, Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 25 °, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

	Είσοδος A:	Είσοδος B:	
Αριθμός στοιχειοσειρών:	1	1	
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά στοιχειοσειρά:	14	4	
Ισχύς κορυφής (είσοδος):	3,36 kWp	960,00 Wp	
Χαρακτηριστική Φ/Β τάση:	✓ 374 V	✓ 107 V	
Ελάχ. Φ/Β τάση:	344 V	98 V	
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 220 V):	100 V	100 V	
Μέγ. Φ/Β τάση:	✓ 568 V	✓ 163 V	
Μέγ. τάση DC:	600 V	600 V	
Μέγ. ρεύμα Φ/Β γεννήτρ.:	✓ 8,1 A	✓ 8,1 A	
Μέγ. ρεύμα εισόδου ανά ανίχνευση σημείου	15 A	15 A	
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης ανά ανίχνευση σημείου	20 A	20 A	
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης (Φ/Β εγκατάσταση):	✓ 8,5 A	✓ 8,5 A	

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

1 x SB 1.5-1VL-40 (Τμηματική εγκατάσταση 2)

Ισχύς κορυφής:	1,92 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	8
Αριθμός Φ/Β μετατροπών:	1
Μέγ. ισχύς DC ($\cos \varphi = 1$):	1,60 kW
Μέγ. ενεργή ισχύς AC ($\cos \varphi = 1$):	1,50 kW
Τάση δικτύου:	220V (220V / 380V)
Λόγος ονομ. ισχύος:	83 %
Συντελεστής διαστασιολόγησης:	128 %
Συντελεστής μετατόπισης $\cos \varphi$:	1



SB 1.5-1VL-40

Στοιχεία σχεδιασμού Φ/Β

Είσοδος A: Φ/Β γεννήτρια 1

8 x .SMA SMA Demo Poly 240, Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 25 °, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

	Είσοδος A:		
Αριθμός στοιχειοσειρών:	1		
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά στοιχειοσειρά:	8		
Ισχύς κορυφής (είσοδος):	1,92 kWp		
Χαρακτηριστική Φ/Β τάση:	✓ 214 V		
Ελάχ. Φ/Β τάση:	197 V		
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 220 V):	50 V		
Μέγ. Φ/Β τάση:	✓ 325 V		
Μέγ. τάση DC:	600 V		
Μέγ. ρεύμα Φ/Β γεννήτρ.:	✓ 8,1 A		
Μέγ. ρεύμα εισόδου ανά ανίχνευση σημείου	10 A		
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης ανά ανίχνευση σημείου	18 A		
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης (Φ/Β εγκατάσταση):	✓ 8,5 A		

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Επισκόπηση

	✓ DC (συνεχές ρεύμα)	⚠ LV (χαμηλή τάση)	⚠ Συνολικά
Απώλεια ισχύος σε ονομαστική λειτουργία	49,39 W	86,47 W	135,86 W
Σχετική απώλεια ισχύος σε ονομαστική λειτουργία	0,77 %	1,57 %	2,34 %
Συνολικό μήκος αγωγού	60,00 m	20,00 m	80,00 m
Διατομές αγωγών	1,5 mm ²	1,5 mm ²	1,5 mm ²

Γράφημα

Αγωγοί DC

		Υλικό αγωγού	Απλό μήκος	Διατομή	Πτώση τάσης	Σχετ. απώλεια ισχύος
Τμηματική εργασία 1						
1 x SB4.0-1AV-40 Τμηματική εγκατάσταση 1	A	Χαλκός	10,00 m	1,5 mm ²	2,1 V	0,52 %
	B	Χαλκός	10,00 m	1,5 mm ²	2,1 V	1,81 %
1 x SB 1.5-1VL-40 Τμηματική εγκατάσταση 2	A	Χαλκός	10,00 m	1,5 mm ²	1,6 V	0,68 %

Αγωγοί LV1

		Υλικό αγωγού	Απλό μήκος	Διατομή	Αντίσταση αγωγού	Σχετ. απώλεια ισχύος
Τμηματική εργασία 1						
1 x SB4.0-1AV-40 Τμηματική εγκατάσταση 1		Χαλκός	10,00 m	1,5 mm ²	R: 229,333 mΩ XL: 1,500 mΩ	1,90 %
1 x SB 1.5-1VL-40 Τμηματική εγκατάσταση 2		Χαλκός	10,00 m	1,5 mm ²	R: 229,333 mΩ XL: 1,500 mΩ	0,71 %

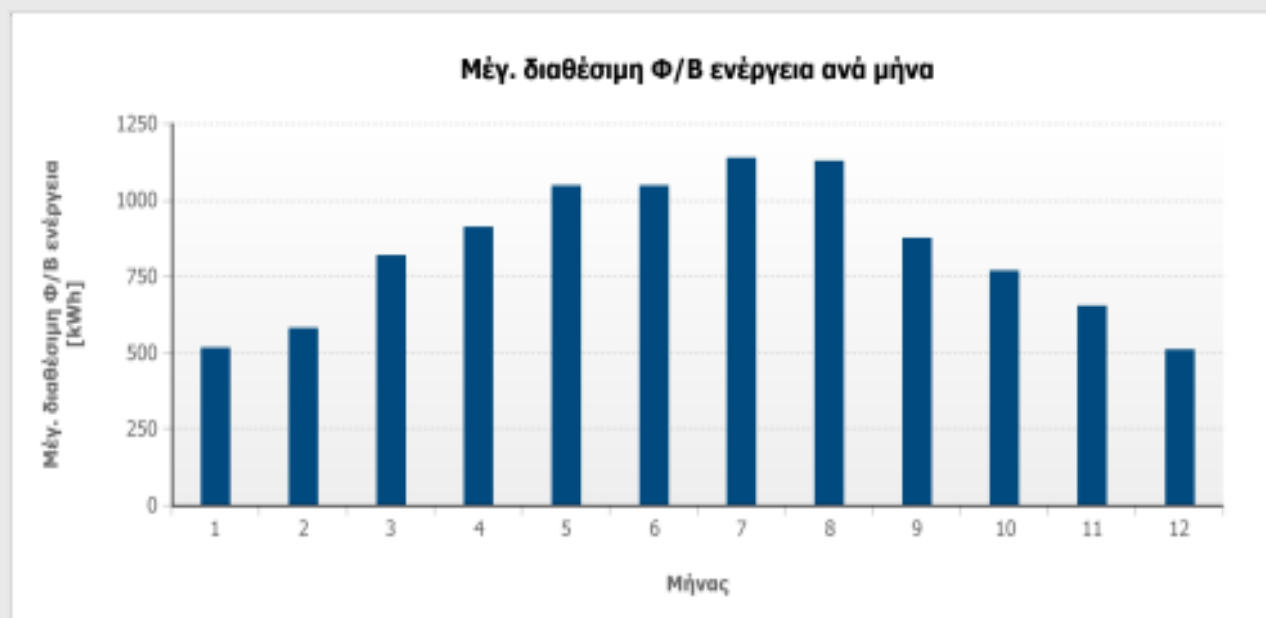
Μηνιαίες τιμές

Όνομα εργασίας: Αγροκία

Τοποθεσία: Greece / Tripoli

Αριθμός εργασίας:

Διάγραμμα



Πίνακας

Μήνας	Μέγ. διαθέσιμη Φ/Β ενέργεια [kWh]	Χρησιμοποιημένη Φ/Β ενέργεια [kWh]	Κατανάλωση [kWh]	Ηλιακός βαθμός κάλυψης
1	513	513	684	66 %
2	578	567	628	71 %
3	814	747	692	90 %
4	908	742	671	91 %
5	1042	802	693	100 %
6	1043	798	673	96 %
7	1133	833	693	100 %
8	1124	817	698	100 %
9	872	732	673	90 %
10	764	730	690	88 %
11	650	627	671	77 %
12	506	504	685	61 %

Ανάλυση συστήματος ενέργειας και ισχύος

Όνομα εργασίας: Αγροκία

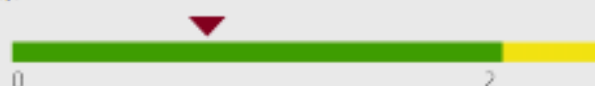
Τοποθεσία: Greece / Tripoli

Αριθμός εργασίας:

Ισχύς

✓ Σύστημα συμβατό

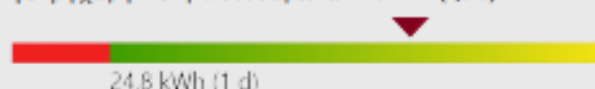
Ονομαστική ισχύς AC Φ/Β μετατροπέα / σύστημα συσσωρευτών: 0,8



Ονομαστική ισχύς AC ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους / συστήματος συσσωρευτών: 1



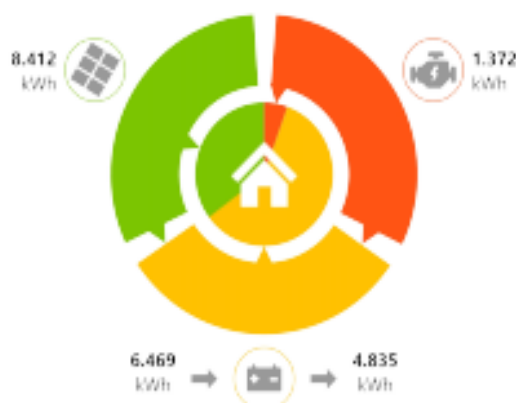
Οφέλιμη χωρητικότητα συσσωρευτών: 40 kWh (1,6 d)



Κοινή ονομαστική ισχύς AC του συστήματος:	19,3 kW
Ονομαστική ισχύς AC Φ/Β μετατροπέα:	5,5 kW
Ονομαστική ισχύς AC συστήματος συσσωρευτών:	6,9 kW
Ονομαστική ισχύς AC ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους:	6,9 kW
Εφεδρική ισχύς:	0 kW
Έλλειμμα ενέργειας:	0 kWh
Ονομαστική ισχύς AC Φ/Β μετατροπέα / σύστημα συσσωρευτών:	0,8
Ονομαστική ισχύς AC ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους / συστήματος συσσωρευτών:	1
Οφέλιμη χωρητικότητα συσσωρευτών:	40 kWh
Χρόνος αυτονομίας:	1,6 d
Μέσος ετήσιος ηλιακός βαθμός κάλυψης:	86 %

Ενέργεια

Κατανομή της ενέργειας



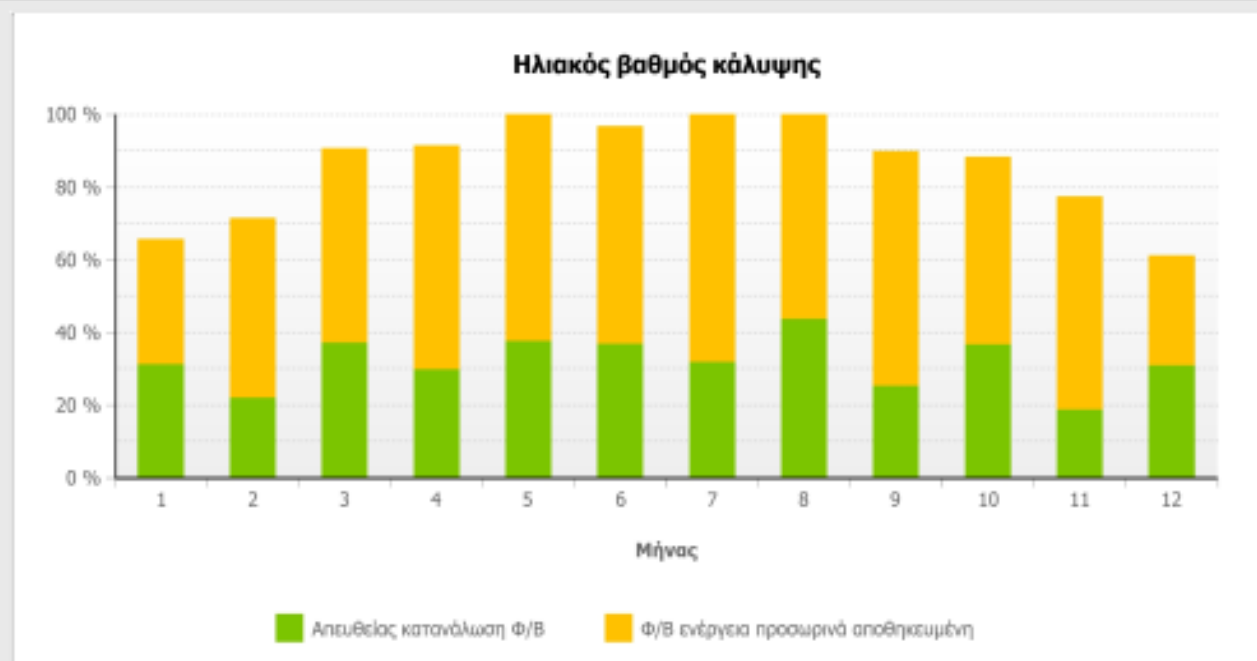
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας:	8.150 kWh
Μέγ. διαθέσιμη Φ/Β ενέργεια:	9.949 kWh
Χρησιμοποιημένη Φ/Β ενέργεια:	8.412 kWh
Άμεσα καταναλωμένη Φ/Β ενέργεια:	3.102 kWh
Προσωρινά αποθηκευμένη Φ/Β ενέργεια:	5.310 kWh
Ετήσια παραγωγή ενέργειας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους:	1.372 kWh
Ετήσια παροχή χωρητικότητας δικτύου του συσσωρευτή:	129
Ετήσια κατανάλωση καυσίμου:	388 l

Ανάλυση συστήματος ενέργειας και ισχύος

Όνομα εργασίας: Αγροκία
Αριθμός εργασίας:

Τοποθεσία: Greece / Tripoli

Ηλιακός βαθμός κάλυψης



Μήνας	Ηλιακός βαθμός κάλυψης [%]	Χρησιμοποιημένο ποσοστό Φ/Β ενέργειας [%]	Κατανάλωση καυσίμου [l]
1	66	100	74
2	71	98	65
3	90	92	24
4	91	82	21
5	100	77	0
6	96	77	11
7	100	73	0
8	100	73	0
9	90	84	24
10	88	96	28
11	77	97	50
12	61	100	91

Σύστημα συσσωρευτών

Όνομα εργασίας: Αγροικία
Αριθμός εργασίας:

Τοποθεσία: Greece / Tripoli

Ισχύς

Ισχύς AC στους 25 °C:	6,9 kW
Ισχύς AC στους 40 °C:	6 kW
Ισχύς AC στους 25 °C για 30 min:	9 kW

Συσσωρευτής

Συσσωρευτές:	Λιθίου
Συνολική ονομαστική χωρητικότητα:	50,00 kWh (αντιστοιχεί σε 1042Ah στο C10)
Εκ των οποίων για χρήση:	40,00 kWh (αντιστοιχεί σε 833Ah στο C10)

Στοιχεία συστήματος

Συσκευή		Ρυθμίσεις ανά Cluster/συσκευή	
Cluster 1	 3 x Sunny Island 3.0M	Συσσωρευτές:	Λιθίου
		Χωρητικότητα:	50,00 kWh (αντιστοιχεί σε 1042Ah στο C10)
		Εκ των οποίων για χρήση:	80 % (αντιστοιχεί σε 833Ah στο C10)

Επισκόπηση προφίλ φορτίου

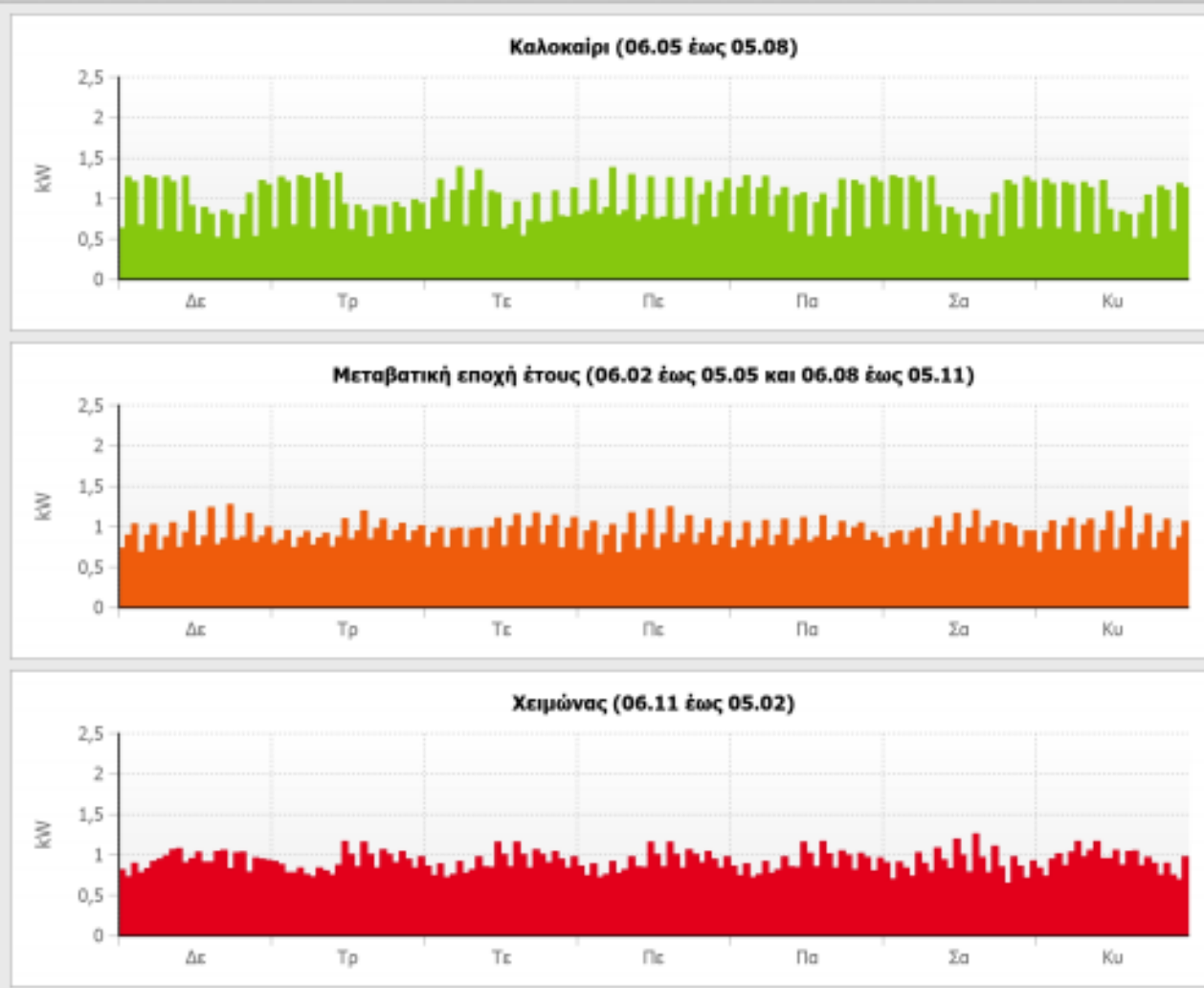
Όνομα εργασίας: Αγροκία
Αριθμός εργασίας:

Τοποθεσία: Greece / Tripoli

Επισκόπηση

Προφίλ φορτίου	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας	Ισχύς 30 λεπτών
Μονοκατοικία Νότια Ευρώπη	8150 kWh	5,6 kW
Σύνολο	8.150 kWh	5,6 kW

Μέσα εβδομαδιαία προφίλ κατά εποχές



7.4 Οικονομική Αξιολόγηση Επένδυσης

Σε αυτή τη φάση της έρευνας θεωρείται σκόπιμο να παραχθεί η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης που σκοπεύουμε να πραγματοποιήσουμε. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αξιολόγησης επενδυτικών έργων, οι οποίες κατατάσσονται σε ορθολογικές και μη ορθολογικές. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες είναι οι ορθολογικές, όπως η **Καθαρά Παρούσα Αξία** και ο **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης**. Παρακάτω θα αναλυθούν συνοπτικά οι δύο αυτές μέθοδοι.

Α) Καθαρή Παρούσα Αξία

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) μιας επένδυσης είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των η καθαρών ταμειακών ροών ΚΤΡ της επένδυσης, προεξοφλημένων στο παρόν με επιτόκιο i και του αρχικού κεφαλαίου K_0 που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επένδυση σήμερα.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+i)^t} - K_0$$

- Σε περίπτωση που η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών από την επένδυση σήμερα είναι πιο υψηλή από το απαιτούμενο κόστος της επένδυσης, δηλαδή η $ΚΠΑ > 0$, η επένδυση γίνεται αποδεκτή.
- Σε περίπτωση που η $ΚΠΑ = 0$, ο επενδυτής πρέπει να είναι αδιάφορος με βάση αυτό το κριτήριο επιλογής.
- Σε περίπτωση που η $ΚΠΑ < 0$, η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή.

Μηδενική Καθαρή Παρούσα Αξία σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή. Θετική ΚΠΑ σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα, ενώ αρνητική ΚΠΑ σημαίνει ότι η επένδυση καταλήγει σε ζημία.

Η ΚΠΑ είναι μία από τις δύο τεχνικές προεξόφλησης ταμειακών ροών (η άλλη είναι ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης) που χρησιμοποιούνται στη συγκριτική αξιολόγηση επενδυτικών προτάσεων, όπου η ροή του εισοδήματος διαφέρει στην πάροδο του χρόνου.

Αποτελεί μια τυποποιημένη μέθοδο που χρησιμοποιεί την έννοια της χρονικής αξίας του χρήματος για την εκτίμηση μακροπρόθεσμων επενδύσεων. Η χρονική αξία του χρήματος στα χρηματοοικονομικά, υπαγορεύει ότι ο χρόνος έχει επιπτώσεις στην αξία των ταμειακών ροών.

Αν, για παράδειγμα, υπάρχει μία χρονική περίοδος πανομοιότυπων ταμειακών ροών ίσης ονομαστικής αξίας, οι ταμειακές ροές στο παρόν έχουν μεγαλύτερη πραγματική αξία από

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

ταμειακές ροές ίσης ονομαστικής στο μέλλον, με κάθε μελλοντική ταμειακή ροή να γίνεται όλο και λιγότερο πολύτιμη από τις προηγούμενες.

Συνεπώς, μεταξύ δυο όμοιων επενδύσεων, υψηλότερο κίνδυνο έχει αυτή με την μεγαλύτερη διάρκεια. Για κάθε επιπλέον χρονική περίοδο, η παρούσα αξία των μεταγενέστερων μελλοντικών ταμειακών ροών μειώνεται, καθώς ο κίνδυνος αυτής της επένδυσης αυξάνεται, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης αβεβαιότητας και κινδύνου που υπάρχει για την τελική ολοκλήρωση του έργου/επένδυσης.

B) Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Η μέθοδος του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (EBA) (αγγλικά: internal rate of return-IRR) δείχνει την απόδοση ενός επενδυτικού προγράμματος. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών μετά από φόρους οι οποίες προέρχονται από το πρόγραμμα, με το αρχικό κόστος του προγράμματος. Με άλλα λόγια, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης υπολογίζεται ως εξής: εξισώνοντας την παρούσα αξία της αναμενόμενης καθαρής εισροής μετρητών με την παρούσα αξία της εκροής μετρητών.

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

Όπου:

η πρόσθετη ετήσια ταμειακή ροή (η ταμειακή ροή μπορεί να πάρει θετική ή αρνητική τιμή), μετά από φόρους του έτους t και $t=0,1,2,\dots,n$, IRR: ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης.

Εάν ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος ή ίσος με την απαιτούμενη απόδοση, η επένδυση γίνεται αποδεκτή. Στην αντίθετη περίπτωση, η πρόταση απορρίπτεται. Το κριτήριο αποδοχής βασίζεται στην ακόλουθη άποψη: Εάν η επιχείρηση αποδεχτεί ένα πρόγραμμα με εσωτερικό βαθμό απόδοσης ο οποίος υπερβαίνει το κόστος των κεφαλαίων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την χρηματοδότηση του συγκεκριμένου προγράμματος, το πλεόνασμα το οποίο απομένει μετά την αποπληρωμή των κεφαλαίων το καρπώνονται οι μέτοχοι της επιχείρησης. Κατά συνέπεια η παραπάνω αποδοχή αυξάνει την χρηματιστηριακή τιμή της μετοχής της επιχείρησης και επομένως και τον πλούτο των μετοχών της. Στην περίπτωση αυτή, η απαιτούμενη απόδοση ονομάζεται και συντελεστής απόρριψης.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Οι πράξεις πραγματοποιήθηκαν σε αρχείο Excel.

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ			
α) Φωτοβολταϊκά Πάνελ			
Τύπος	Rec REC235PE 24V 235W		
Αριθμός	Κόστος		Συνολικό Κόστος
26	152,66 €		3.969,16 €
β) Συσσωρευτές			
Τύπος	SMA Sunny Island SI 3.0 M-11 with SRC-20		
Αριθμός	Κόστος		Συνολικό Κόστος
3	1.783,40 €		5.350,20 €
γ) Μετατροπείς			
Τύπος	SMA Sunny Boy SB 4.0 transformerless solar inverter SB4.0-1AV-40		
Αριθμός	Κόστος		Συνολικό Κόστος
1	1.043,30 €		1.043,30 €
Τύπος	SMA Sunny Boy SB 1.5 PV Inverter		
Αριθμός	Κόστος		Συνολικό Κόστος
1	569,00 €		569,00 €
δ) Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος			
Τύπος	LC 6500-DA		
Αριθμός	Κόστος		Συνολικό Κόστος
1	659,00 €		659,00 €
	Σύνολο		11.590,66 €

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

Μέση Ημερήσια κατανάλωση	Τιμή Κιλοβατώρας	
27,28	0,11 €	
Ετήσια κατανάλωση	Κέρδος Ετήσιο	Κέρδος Ημερήσιο
9957,2	1.095,29 €	3,00 €

Προκύπτει, λοιπόν ότι η Καθαρή Παρούσα Αξία θα είναι ίση με:

$$\text{ΚΠΑ} = 1.441,59 \text{ €}$$

Και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης θα ισούται με:

$$\text{ΕΒΑ} = 5\%$$

Για τις πράξεις μας και δεδομένης της επένδυσης, αφού συνυπολογίσαμε και το ευρύτερο οικονομικό περιβάλλον (π.χ. πληθωρισμός, θεσμικό πλαίσιο, κ.ά.) θεωρήσαμε ένα τυπικό επιτόκιο αναγωγής $t = 0,03$ ή $t = 3\%$.

Ως διάρκεια ζωής της επένδυσης θεωρήθηκαν τα 15 έτη.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και δεδομένου ότι η ΚΠΑ είναι θετική και ο $\text{ΕΒΑ} > t$ η επένδυση θεωρείται αποδεκτή και συμφέρουσα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της μελέτης τροφοδότησης αγροικίας με φωτοβολταϊκά και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Αρχικά ύστερα από διαδοχικές δοκιμές στο πρόγραμμα Sunny Design προέκυψε ότι η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης της φ/β συστοιχίας είναι 25° .

Ο αριθμός των πλαισίων που βρέθηκε ότι θα χρησιμοποιηθεί είναι περίπου **26**, των **240 W_p** το καθένα. Άρα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα είναι τελικά **6,24 kW_p**.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η χωρητικότητα των συσσωρευτών όπου και βρέθηκε **833 Ah**. Βρέθηκε ότι τελικά η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει 3 συσσωρευτές σε παράλληλη σύνδεση.

Όσον αφορά το H/Z, ο χρόνος φόρτισης **t_f** του συσσωρευτή από το H/Z βρέθηκε ότι είναι **5,33 h**, ενώ η ηλεκτρική ισχύς **P_f** του H/Z που απαιτείται για τη φόρτιση του συσσωρευτή **5,5 kW**. Η συνολική απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς του H/Z **PHZ** υπολογίστηκε ότι πρέπει να είναι **> 6,9 kW**. Γι' αυτό τελικά έγινε χρήση ντιζελογεννήτριας **18 kW** και χρόνου φόρτισης **6 h**.

Η μελέτη λοιπόν ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι ιδιαίτερα απλή. Ο μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη του ένα πλήθος παραγόντων πριν προχωρήσει στην επιλογή των μονάδων και το μέγεθος της εγκατάστασης. Βασικό κριτήριο στις επιλογές του αποτελεί η επιθυμητή αξιοπιστία του μελετώμενου συστήματος που όμως αντικρούεται με το αυξημένο κόστος των απαραίτητων μονάδων για την συγκρότηση του.

Τέλος, λαμβάνοντας υπ όψιν και τους οικονομικούς δείκτες που αξιολογούν την οικονομική απόδοση της εγκατάστασης, συμπεραίνουμε πως εφόσον εξασφαλιστούν οι πόροι που απαιτούνται για την αρχική επένδυση, αυτή θα έχει την μέγιστη απόδοση και συνεπώς θα είναι βιώσιμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] el.wikipedia.org/wiki
- [2] <https://www.journals.elsevier.com/solar-energy/>
- [3] <https://www.inergysolar.com/product-category/solar-panels/>
- [4] <http://www.allaboutenergy.gr/->
- [5] <https://www.ppcr.gr/el/>
- [6] <http://www.renewableenergyworld.com>
- [7] <https://www.eia.gov>
- [8] <https://www.sciencedaily.com>
- [9] <http://www.academia.edu>
- [10] <https://cecinvestor.com/cec-renewable-energy-essay-writing-competition/>
- [11] <https://www.cram.com/essay/renewable-and-non-renewable-energy/P3YMYE2AJ>
- [12] <https://energyfive.net/2017/09/27/advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy/>
- [13] <https://www.photopills.com/articles/understanding-azimuth-and-elevation>
- [14] <https://www.solarserver.com>
- [15] «Τεχνικο-οικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στα κτίρια του Ξενία», διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης της Αικατερίνης Πολυχρονιάδου, τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγίου.
- [16] «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές», διπλωματική εργασία του Σταμάτιου Καλάκιου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
- [17] «Διαχείριση Δεδομένων Μέτρησης της Ηλιακής Ακτινοβολίας», διπλωματική εργασία του Παναγιώτη Κεραμιτζή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
- [18] «Τεχνοοικονομική Μελέτη και Σύγκριση Υβριδικών Συστημάτων. Εφαρμογή σε Αυτόνομη Κατοικία», διπλωματική εργασία των Δ. Σαραφianού και Μ. Σειραγάκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.
- [19] «Σχεδιασμός Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση Αγροικίας», διπλωματική εργασία της Φ. Μπουγιούκου, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2010.

Τεχνικοοικονομική ανάλυση και σχεδίαση αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένης αγροτικής εγκατάστασης

- [20] «Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Νεοκλέους-Κωνσταντίνιδη, Ίων, 1991.
- [21] «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Κ.Καγκαράκη, Εκδόσεις Συμμετρία, 1992
- [22] «Photovoltaics in Buildings», Frierich Sick and Thomas Erge, James & James Ltd,London, 1996.
- [23] «Photovoltaic Systems», Klaus Preiser.
- [24] «Renewable and Efficient Electric Power Systems», Gilbert M. Masters.
- [25] «Planning and Installing Photovoltaic Systems- A guide for installers, architects and engineers», second edition, Earthscan.
- [26] «Batteries and charge control in stand – alone photovoltaic systems», James P.Dunlop, Florida energy center, 1997
- [27] <https://www.wholesalesolar.com/>
- [28] <https://www.sciencedirect.com/science>
- [29] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/>
- [30] Στέφανος Ν. Μανιάς, “Ηλεκτρονικά Ισχύος”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2000
- [31] John J. Grainger, William D. Stevenson, “Power System Analysis”, International Editions, 1994