



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

« ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ »

ΒΟΥΡΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΑΜ: 1778

Επιβλέπουσα: Δρ. Αναστασία Κατσαμάκη, Μέλος ΕΔΙΠ

Ακαδ. Έτος: 2019-2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, σε συνδυασμό με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και τη σταδιακή εξάντληση των φυσικών πόρων, έχουν οδηγήσει στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται η λειτουργία μιας ομάδας φωτοβολταϊκών πάρκων στην Κρήτη, με τη χρήση του προγράμματος Matlab.

Αρχικά, συλλέγονται οι τιμές παραγωγής ημερήσιας ενέργειας από όλα τα εξεταζόμενα πάρκα, για το διάστημα από 1^η Δεκεμβρίου του 2015 έως την 30^η Νοεμβρίου του 2016. Στη συνέχεια, αποτυπώνονται γραφικά τα δεδομένα και δημιουργείται ένα μέσο πάρκο που η παραγωγή του είναι ο μέσος όρος της παραγωγής των πάρκων που μελετώνται. Ακολουθεί η ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων της ομάδας Φ/Β πάρκων με τα αντίστοιχα των μεμονωμένων. Τέλος, γίνεται αναφορά στην αποθήκευση ενέργειας προερχόμενη από Φ/Β πάρκα, σε μπαταρίες, μελέτη της συμπεριφοράς τους καθώς και στοιχεία για το ενδεικτικό κόστος τους.

SUMMARY

The continued increase in energy requirements, coupled with environmental degradation and the gradual depletion of natural resources, have led to the use of renewable energy sources.

This thesis presents a statistical analysis of the operation of a group of photovoltaic parks in Crete, using the Matlab program.

Initially, daily energy production prices are collected from the parks which are analyzed, for the time period from December 1, 2015 to November 30, 2016. Afterwards, the data are graphically mapped, and an average park is generated whose average is of the parks we are studying. It follows a qualitative comparison of the results of the PV park group with those of the individual parks. Finally, reference is made to the energy storage coming from PV parks, the batteries and the behavior of the studied parks, as well as their indicative cost.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Ενέργεια	6
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	6
1.3 Ορισμός Φωτοβολταϊκών	8
1.4 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	9
1.5 Φωτοβολταϊκή Διάταξη	9
1.6 Η Ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΘΝΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ – Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΣΗΜΕΡΑ	13
2.1 Εθνικοί Στόχοι.....	13
2.2 Ευρωπαϊκοί Στόχοι.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	14
3.1 Ο Ήλιος.....	14
3.2 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο	14
3.3 Ηλιοφάνεια	15
3.4 Φωτοβολταϊκά.....	16
3.5 Συμπεράσματα	20
3.6 Φωτοβολταϊκές Βασικές Μονάδες.....	21
3.7 Ανάπτυξη Φωτοβολταϊκών	22
3.8 Χρήσεις.....	22
3.9 Φωτοβολταϊκά στις Στέγες.....	24
3.10 Συλλογή του Ηλιακού Φωτός.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	27
4.1 Πλεονεκτήματα	27
4.2 Μειονεκτήματα	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	29
5.1 Εισαγωγή.....	29
5.2 Το MATLAB	29
5.3 Οργάνωση Δεδομένων	30
5.4 Μέθοδος Παρεμβολής Δεδομένων Spline.....	30
5.5 Θηκογράμματα (Box plots)	31
5.6 Μέθοδος Ομαδοποίησης Δεδομένων k-means.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	34
6.1 Εισαγωγή.....	34
6.2 Μπαταρίες.....	34
6.3 Κατηγορίες Μπαταριών.....	37
6.4 Μπαταρίες Αποθήκευσης Ηλιακής Ενέργειας.....	37
6.5 Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου.....	39
6.6 Η Λειτουργία των Μπαταριών σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	39
6.7 Επιλογή Μπαταρίας.....	40
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44



Εικόνα 1: Κρήτη - Φωτοβολταϊκά πάρκα από τους δήμους B2Green (2017)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια

Η ενέργεια σε όλη τη διάρκεια της σύγχρονης ιστορίας, κατείχε σημαντικό ρόλο στη ζωή των ανθρώπων, καθώς ήταν βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίηση των περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο, ήταν η ενέργεια που προερχόταν από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου. Στη συνέχεια θα εμφανιστεί μια επαναστατική μέθοδος παραγωγής ενέργειας, η πυρηνική, που αρχικά δείχνει ότι θα λύσει μια για πάντα το ενεργειακό πρόβλημα. Όμως, στη συνέχεια κυρίως λόγω κάποιων σοβαρών ατυχημάτων, όπως αυτό που έγινε στο Τσερνομπίλ, δίνεται μεγάλη βαρύτητα στους κινδύνους που ελλοχεύει αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας.

Με την πάροδο του χρόνου λόγω της επιβάρυνσης του οικοσυστήματος από την αλόγιστη χρήση των γαιανθράκων, έγινε κατανοητό ότι μια μετάβαση σε πιο «καθαρές» πηγές ενέργειας είναι μια επιτακτική ανάγκη. Έτσι, άρχισαν να εμφανίζονται νέες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, οι οποίες δεν επιβαρύνουν πρακτικά τη φύση, και βασίζονται στον ήλιο, τον άνεμο και άλλες πηγές, όπου λόγος θα γίνει παρακάτω [1].

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ), είναι μορφές ενέργειας, που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Μερικές από τις πιο γνωστές ΑΠΕ είναι η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα, η γεωθερμική, η υδατόπτωση και η ενέργεια των ωκεανών [2].

Οι κατηγορίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιγραμματικά είναι οι εξής:

1.2.1 Υδατόπτωση

Γίνεται μέσω κατασκευής φραγμάτων σε φυσικές λεκάνες, όπου γίνεται συλλογή των όμβριων υδάτων. Η υδατόπτωση δίνει κίνηση σε υδροστρόβιλους, που κινούν με τη σειρά τους ηλεκτρογεννήτριες. Η δημιουργία τεχνητών λιμνών με φράγματα έχει περιορισμένη εφαρμογή, λόγω των ιδιαίτερων εδαφικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται, αλλά και του

μεγάλου κόστους κατασκευής. Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις η κατασκευή φραγμάτων μπορεί να προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή και ενδεχομένως μετακίνηση πληθυσμού, λόγω της πλήρωσης με νερό μεγάλων εύφορων εκτάσεων και περιοχών, με ιδιαίτερο φυσικό κάλος.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

1.2.2 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων ρευμάτων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες περιοχές, όπου το ύψος των κυμάτων, η διάρκεια δράσης τους και η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Το νερό διαθέτει μεγαλύτερη πυκνότητα σε σύγκριση με τον αέρα, με αποτέλεσμα να καθιστά τις υποθαλάσσιες ηλεκτρογεννήτριες αποδοτικές, παρόλο που η ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων είναι αρκετά μικρότερη της τυπικής ταχύτητας του ανέμου.

Η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη σε θέσεις που υπάρχουν ισχυρά θαλάσσια ρεύματα.

1.2.3 Βιομάζα

Η βιομάζα προσφέρει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση βιομάζας αποτελεί ουσιαστικά ουδέτερη διαδικασία, όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με την προϋπόθεση να διατηρείται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

1.2.4 Γεωθερμική ενέργεια

Είναι η ενέργεια των θερμών νερών, που αναδύονται από ηφαιστειακά ρήγματα ή από ρήγματα στο υπέδαφος. Η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών οφείλεται κυρίως στην εκλυόμενη ενέργεια στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών κινείται σε χαμηλά επίπεδα η ενέργεια τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών και άλλους τομείς. Όταν κινείται σε υψηλά επίπεδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.5 Αιολική ενέργεια

Τα αιολικά συστήματα αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες ΑΠΕ παγκοσμίως, γεγονός που έχει συμβάλει στη ραγδαία εξέλιξή τους. Αποτελούν «απογόνους» των ανεμόμυλων

που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα. Στη χώρα μας είναι σε λειτουργία αρκετά αιολικά πάρκα, το σύνολο σχεδόν των οποίων συνδέονται στο εθνικό διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, είναι εξαιρετικά υψηλό και προσφέρεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.6 Ηλιακή ενέργεια

Βασίζεται στην εκμετάλλευση της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο, μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το φωτοβολταϊκό (ΦΒ) σύστημα είναι ένα σύστημα δύο ημιαγωγικών στρωμάτων με κατάλληλες προσμίξεις σε επαφή, στο οποίο, όταν προσπίπτει φως παρουσιάζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Συνήθως, τα δύο στρώματα είναι κατασκευασμένα από το ίδιο κύριο υλικό (πυρίτιο). Το ένα στρώμα είναι ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια, ενώ η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετράγωνης πλάκας, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου. Όταν το ΦΒ στοιχείο φωτίζεται, δημιουργείται στο εσωτερικό του ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρρευμα), ανάλογο με την πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός, που προσπίπτει στην επιφάνειά του. Σε ένα τυπικό ΦΒ στοιχείο, η συνεχής ηλεκτρική τάση ανοιχτού κυκλώματος που αναπτύσσεται, κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.7 V, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα αντιστοιχεί στην περιοχή των 10-40 mA/cm² για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 kW/m².

Η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων είχε μεγάλη εξέλιξη το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, παρόλο που το ΦΒ φαινόμενο είχε παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα από τον Becquerel το 1839 [1]. Το 1954 ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου του πυριτίου (Si), με σχηματισμό επαφής p-n με διάχυση και απόδοση 6% από τους Fuller, Pearson και Charpin. Οι αρχικές κατασκευές που κυκλοφόρησαν στο εμπόριο, είχαν πολύ υψηλό αρχικό κόστος, σχετικά μικρή απόδοση της τάξεως του 5-10% και παρασκευάστηκαν από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si).

Για την Ελλάδα, λόγω του υψηλού ηλιακού δυναμικού της, η εγκατάσταση Φ/Β πάρκων αποτελεί μια καλή επιλογή.

1.3 Ορισμός Φωτοβολταϊκών

Ο γενικός όρος *Φωτοβολταϊκά* χρησιμοποιείται για την περιγραφή μιας βιομηχανικής διάταξης πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε μία σειρά.

Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται "φωτοβολταϊκό φαινόμενο" [3].

1.4 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Εντμόντ Μπεκερέλ (Alexandre-Edmond Becquerel) [3]. Βασίζεται στην απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος.

Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο [3].

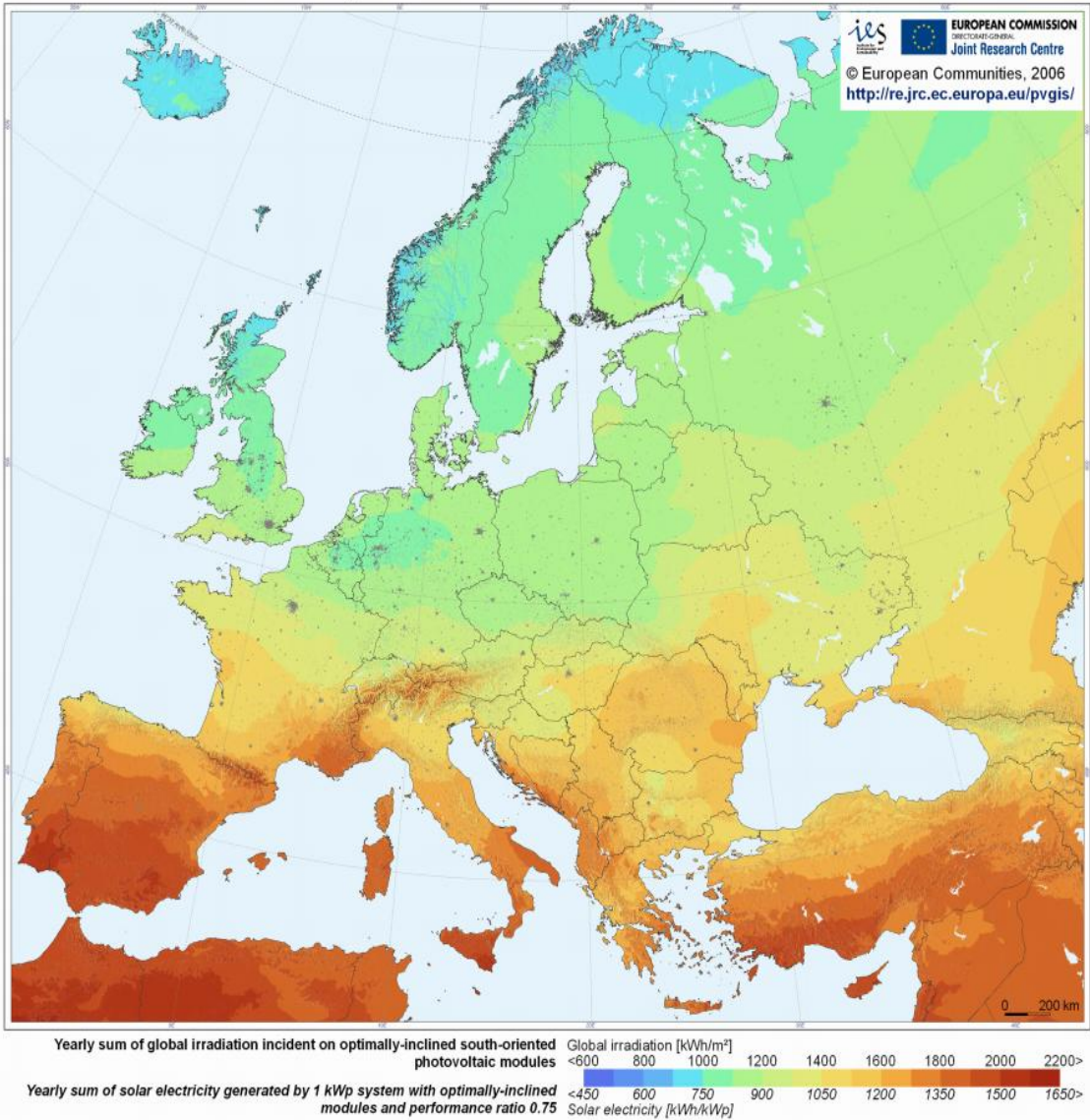
1.5 Φωτοβολταϊκή Διάταξη

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

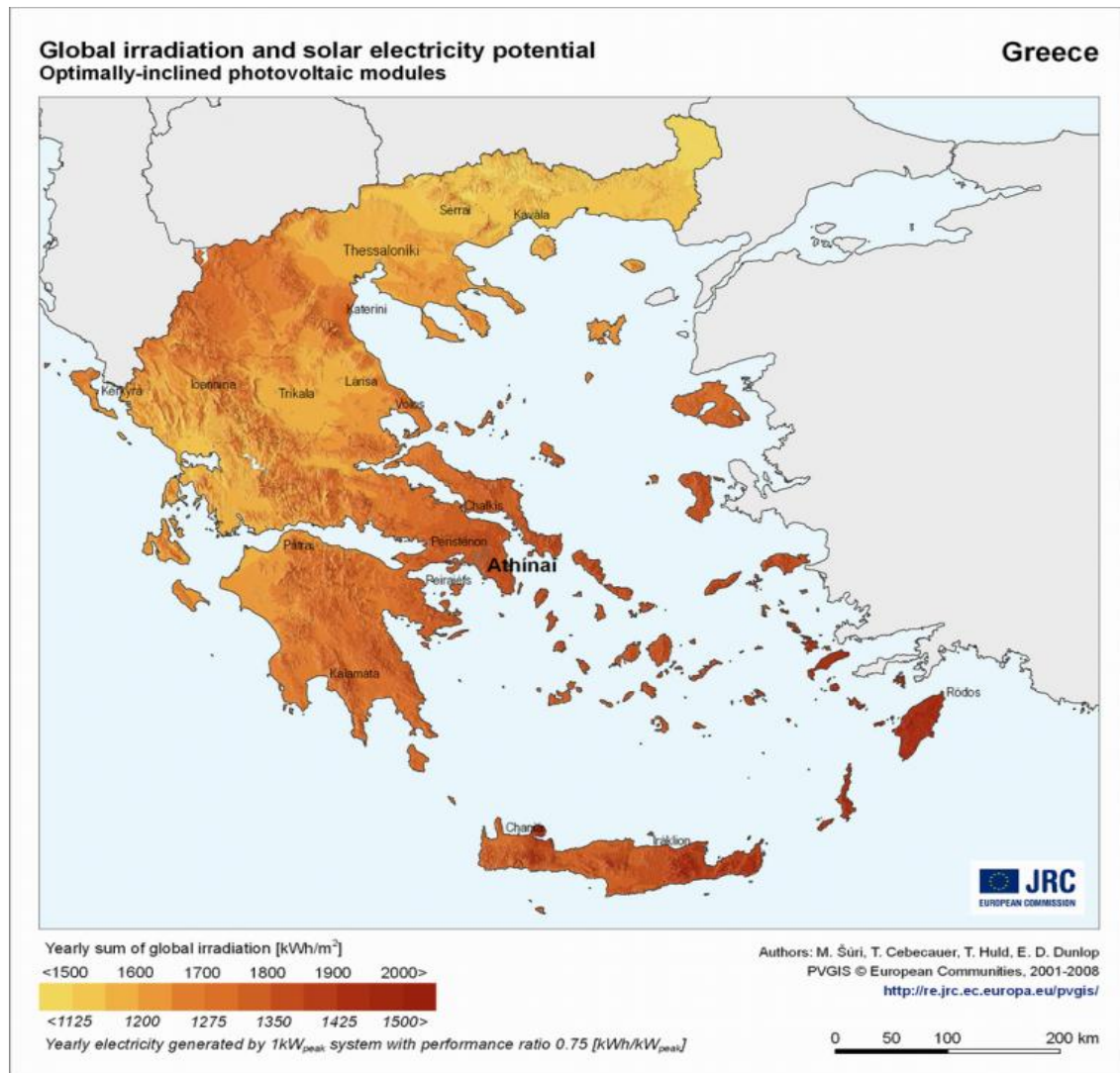
Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή τις γεννήτριες (modules), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W.

Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays) [3].

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Εικόνα 2: Ηλιακό Δυναμικό της Ευρώπης



Εικόνα 3: Ηλιακό Δυναμικό της Ελλάδας

1.6 Η Ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στη χώρα μας τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ υποστηρίζονται και προωθούνται, από πλευράς επίσημης πολιτείας, από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ερευνητικός φορέας, εποπτευόμενος από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Πρόκειται για Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου, που αποτελεί εθνικό φορέα για τις ΑΠΕ, την ορθολογική χρήση ενέργειας και την εξοικονόμηση ενέργειας. Διοικείται από επταμελές Διοικητικό Συμβούλιο, που περιλαμβάνει εκπροσώπους από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, το Σύνδεσμο Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών ή του Εμπορικού και Βιομηχανικού Επιμελητηρίου Αθηνών.

Η λειτουργία του στηρίζεται στο προσωπικό των 120 και πλέον επιστημόνων που διαθέτει ενώ ενισχύεται και από σχετικά προγράμματα της ΕΕ, η οποία επιχορηγεί όχι μόνο την έρευνα, αλλά στηρίζει ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα, εφαρμογές μεγάλης ισχύος, σε βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία κ.α.

Σημαντικό βήμα προώθησης των ΑΠΕ στη χώρα μας, μέσα στην τελευταία δεκαετία, απετέλεσε η πιο συγκεκριμένη ενεργειακή πολιτική και η θεσμοθέτηση νομοθετικού πλαισίου εγκατάστασης και αξιοποίησής τους. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κυρίως της αιολικής και της Φ/Β ενέργειας, προωθείται και ενισχύεται με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς, σ' όλο τον αναπτυγμένο κόσμο, λόγω των οικολογικών προβλημάτων, που δημιούργησε η αλόγιστη χρήση των συμβατικών καυσίμων και της πυρηνικής ενέργειας (πυρηνικά ατυχήματα). Στην κατεύθυνση αυτή κατά καιρούς ψηφίζονται και σχετικοί νόμοι όπως τον νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Ν.3468/06), με ιδιαίτερως ευνοϊκά κίνητρα σε ιδιώτες, αλλά κυρίως σε επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας [4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΘΝΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ – Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΣΗΜΕΡΑ

2.1 Εθνικοί Στόχοι

Ο Εθνικός Στόχος είναι η διατήρηση και η βελτίωση της περιβαλλοντικής κληρονομιάς των ανανεώσιμων φυσικών πόρων, των υδάτινων πόρων, καθώς και η σωστή εκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών. Επιπρόσθετα, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εξοικονόμηση ενέργειας, η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ο συντονισμός των περιβαλλοντικών πολιτικών της κυβέρνησης και η εφαρμογή των Ευρωπαϊκών οδηγιών και στόχων, πρέπει να αποτελούν τον γνώμονα για την επίτευξη των εν λόγω στόχων.

2.2 Ευρωπαϊκοί Στόχοι

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική, με στόχο την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της Ε.Ε., ενισχύοντας παράλληλα, την ανταγωνιστικότητά της και τη μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική, από ενεργειακή άποψη, οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Επίσης, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο το Μάρτιο του 2007 τόνισε ότι, για να επιτευχθεί ο στόχος της σύμβασης, η σταθεροποίηση δηλαδή των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα, τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, η συνολική ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας, στην επιφάνεια του πλανήτη δεν πρέπει να ξεπεράσει το όριο των 2 °C συγκριτικά με τα προ - βιομηχανικής εποχής επίπεδα [5].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

3.1 Ο Ήλιος

Ο ήλιος είναι ένα αστέρι, με μάζα 2×10^{30} kg, ακτίνα 700.000 km, ηλικία 5×10^9 χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι $\sim 5.800^\circ\text{K}$, ενώ η εσωτερική, περίπου $15.000.000^\circ\text{K}$. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στο εσωτερικό του, κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Υπολογίζεται ότι, για κάθε γραμμάριο υδρογόνου, που μετατρέπεται σε ήλιο, εκλύεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5$ kWh.

Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή.

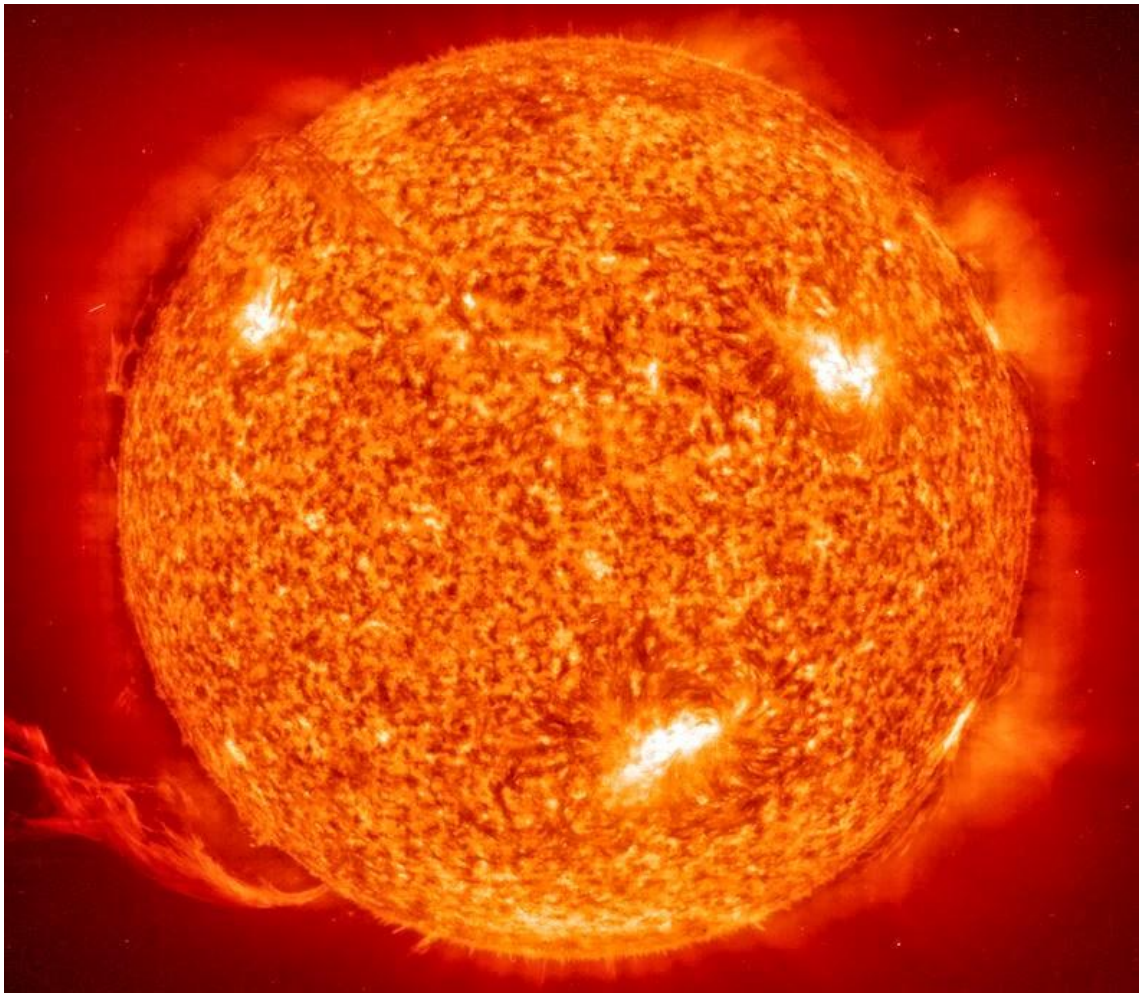
3.2 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο

Η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (m^2) που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα, εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών, στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας, κατά την ημέρα εκείνη. Σε κάθε περίπτωση οι συλλεκτικές επιφάνειες των μετρητικών οργάνων (αισθητήρων), μπορούν να προσανατολιστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις, τις υπάρχουσες συνθήκες και τις προδιαγραφές των οργάνων αυτών.

Στη συνέχεια προκειμένου να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία σε διεθνή κλίμακα τα στοιχεία που αναφέρονται αφορούν σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος (W/m^2) και της πυκνότητας ενέργειας (J/m^2) της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία, σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις πολλών ετών (πάνω από δέκα). Σε περιπτώσεις που λείπουν στοιχεία μεγάλης περιόδου για κάποιο τόπο, μπορούν να αξιοποιούνται στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε μικρότερες χρονικές περιόδους με λιγότερη αξιοπιστία [6].

3.3 Ηλιοφάνεια

Εκτός από τη μέση ημερήσια ενέργεια από τον ήλιο, σε μηνιαία και ετήσια βάση σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνειά της. Βέβαια, η ηλιοφάνεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τη θέση και τη διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά, πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη νεφώσεων, με αποτέλεσμα τη μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες, ο ήλιος φαίνεται στον ουρανό. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας, στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (όπου σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία αναφέρονται 3108 ώρες ετησίως) [5].



Εικόνα 4: Το ηλιακό σύστημα

3.4 Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες που είναι οι εξής:

1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%,
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.

2. Λεπτών Μεμβρανών

- Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 14%.

3.4.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

Φωτοβολταϊκά Πλαίσια, χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική [7]. Στην ουσία, πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά Φ/Β στοιχεία σε επίπεδη διάταξη (ηλεκτρονικά συνδεδεμένα), τα οποία έχουν ως βάση λειτουργίας το Φ/Β φαινόμενο, το οποίο πραγματοποιεί τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Στην Εικόνα 5 φαίνεται ένα Φ/Β πλαίσιο.



Εικόνα 5: Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

3.4.2 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell) είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια, όταν δέχεται ακτινοβολία. Η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και η απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις, με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος, είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο, οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η μορφή ενός ΦΒ Στοιχείου [8].



Εικόνα 6: Φωτοβολταϊκό Στοιχείο

Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας υπό κατάλληλη γωνία, δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο, παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο από τους αντιστροφείς (inverters).

Το φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel), περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Η φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array,) είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια, ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα σε κοινή κατασκευή στήριξης [8].

3.4.3 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των ΦΒ κυψελίδων είναι το πυρίτιο (Si). Στην άμμο, το πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή (99,99999% ή 7N), έως και πολύ υψηλή καθαρότητα (9N).

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β [6]. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.



Εικόνα 7: Πυρίτιο

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε έξι κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής.

Οι διαφορετικοί τύποι των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

3.4.4 ΦΒ στοιχεία μόνο-κρυσταλλικού Πυριτίου (Single-crystal Silicon)

Το βασικό υλικό είναι μόνο-κρυσταλλικό πυρίτιο και το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο. Η απόδοση τους με τη μορφή των Φ/Β πλαισίων κυμαίνεται από 13% έως 18%, ενώ έχουν υψηλό κόστος κατασκευής. Το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε.

Στην Εικόνα 8 φαίνεται ένα μόνο-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο [8].



Εικόνα 8: Μονο-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο

3.4.5 ΦΒ στοιχεία πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)

Το πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο μας δίνει τη δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως, κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50 μm . Στην επιφάνεια της κυψελίδας διακρίνονται οι διαφορετικές μόνο-κρυσταλλικές περιοχές, των οποίων τα όρια αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Επομένως, όσο μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχείο, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μόνο-κρυσταλλικών περιοχών του πολύ-κρυσταλλικού ΦΒ στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοσή του, η οποία κυμαίνεται από 10% έως και 14% σε βιομηχανική μορφή ΦΒ πλαισίου.

Το πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα και το κόστος παρασκευής του είναι χαμηλότερο, σε σχέση με το αντίστοιχο του μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου, ενώ το χρώμα του είναι γαλάζιο.

Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται ένα πολύ-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο [9].



Εικόνα 9: Πολύ-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο

3.5 Συμπεράσματα

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά μεγαλύτερη επιφάνεια [9].

Στα πλεονεκτήματα των πλαισίων λεπτού υμενίου τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αναφερθεί η ελαφρώς χαμηλότερη απόδοσή τους, που φτάνει μέχρι 14% στα τεχνολογίας CIS / CISG.

Οι άλλες τεχνολογίες λεπτού υμενίου φτάνουν περίπου μέχρι 10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Στην παρούσα χρονική περίοδο αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων.

3.6 Φωτοβολταϊκές Βασικές Μονάδες

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε μια βασική σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10 cm X 10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0,5 ή 0,6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν επομένως σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία [10].

Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- Ακτινοβολία 1 KW/m²
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25 °C

Πρόκειται για τις ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε W κορυφής (W).

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο υπάρχουν συγκεκριμένες ιδιομορφίες.

3.7 Ανάπτυξη Φωτοβολταϊκών

Η παγκόσμια ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών ήταν εκθετική μεταξύ των ετών 1992-2017 [4]. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα φωτοβολταϊκά εξελίχθηκαν από μια εξειδικευμένη αγορά εφαρμογών μικρής κλίμακας σε σημαντική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά ως πολλά υποσχόμενη τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διάφορες κυβερνήσεις εφάρμοσαν προγράμματα προκειμένου να παράσχουν οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις. Για αρκετά χρόνια, η ανάπτυξη προήλθε κυρίως από την Ιαπωνία και τις πρωτοπόρες ευρωπαϊκές χώρες.

Από τότε, η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων έχει αποκτήσει δυναμική σε παγκόσμια κλίμακα, ιδιαίτερα στην Ασία, αλλά και στη Βόρεια Αμερική και σε άλλες περιοχές.

Η αύξηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας προχώρησε ακόμη πιο γρήγορα όταν η παραγωγή ηλιακών κυψελών και μονάδων άρχισε να αυξάνεται στις ΗΠΑ με το έργο Million Solar Roofs, καθώς και με την πρόσθεση των ΑΠΕ στο πενταετές σχέδιο της Κίνας για την παραγωγή ενέργειας για το 2011 [4].

3.8 Χρήσεις

Τα φωτοβολταϊκά είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια σε μια συσκευή ή για τη φόρτιση μπαταρίας [11]. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές τσέπης που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται συχνά σε συστοιχίες για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοια μορφή χρησιμοποιούνται για να δίνουν ενέργεια σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές, όπως για την ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων εκτάκτου ανάγκης σε εθνικές οδούς, σε σπίτια κ.λπ.

Σε πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο.

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Όπως έχουμε δει ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με $-2.3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός, περίπου $+6 \text{ }\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$ ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας.

Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία[12]. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα.

Στο σχεδιασμό της Φ/Β γεννήτριας είναι σύνηθες να παραλείπεται η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία.

Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατό πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος V_m είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Ο χαρακτηρισμός της βασικής Φ.Β. μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (NOCT) (Normal Operating Cell Temperature), οριζόμενης ως η θερμοκρασία του ηλιακού στοιχείου, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

- Ακτινοβολία 0,8
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s

Η NOCT (συνήθως μεταξύ 42°C και 46°C) χρησιμοποιείται τότε για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού στοιχείου T_c κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως υποθέτουμε ότι η διαφορά μεταξύ T_c και θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία G_r .

3.9 Φωτοβολταϊκά στις Στέγες

Με τα **φωτοβολταϊκά σε στέγες** η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλησε να ωθήσει τους πολίτες της να αξιοποιήσουν την ηλιακή ενέργεια. Έτσι ξεκίνησε το Πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες» με πολύ ευνοϊκές ρυθμίσεις και πολλά κίνητρα. Το Πρόγραμμα αφορά στέγες και δώματα στα οποία μπορούν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά συνολικής ισχύος 10 kWp (κιλοβάτ). Σε αυτό μπορούν να μετέχουν όλοι οι πολίτες και, προκειμένου για την Ελλάδα, να πωλούν το ρεύμα που παράγουν στη ΔΕΗ. Το κέρδος για τον κάτοχο φωτοβολταϊκών είναι διπλό: Εισπράττει χρήματα από τη ΔΕΗ για το ρεύμα που παράγει ενώ δεν χρειάζεται να πληρώνει για το ρεύμα που καταναλώνει [3].

Δικαίωμα συμμετοχής στο Πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες» έχουν όλοι οι κάτοικοι της Ελλάδας, ιδιώτες ή μικρές επιχειρήσεις, με μοναδική προϋπόθεση να είναι ιδιοκτήτες του ακινήτου που θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά και το ακίνητο τους να είναι σε σύνδεση με την ΔΕΗ. Δεν ισχύει για περιοχές που δεν βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Ο ιδιώτης ή η επιχείρηση που ενδιαφέρεται να τοποθετήσει τα φωτοβολταϊκά πρέπει να απευθυνθεί στα γραφεία της ΔΕΗ της περιοχής του. Αργότερα θα κληθεί να υπογράψει δυο συμβάσεις, η πρώτη αφορά την εγκατάσταση του μετρητή ρεύματος και η δεύτερη αφορά την πώληση του ρεύματος στη ΔΕΗ. Εξίσου σημαντικό για όσους αποφασίσουν να τοποθετήσουν φωτοβολταϊκά στις στέγες τους είναι ότι δεν φορολογούνται για τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση του ρεύματος, λόγω του μικρού μεγέθους του συστήματος που δικαιούται το κάθε κτίριο. Εκτός από τα φωτοβολταϊκά σε στέγες μονοκατοικιών, τοποθετούνται και σε στέγες και δώματα πολυκατοικιών. Απαιτείται η σύμφωνη γνώμη όλων των ιδιοκτητών και η διαδικασία πραγματοποιείται από το διαχειριστή[4].

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι μια επένδυση για το μέλλον αφού εξασφαλίζει κέρδη για τον κάτοχο του φωτοβολταϊκού συστήματος για 25 χρόνια. Ειδικά σε κάποιες περιοχές της Ελλάδας που επικρατεί ηλιοφάνεια τους περισσότερους μήνες του χρόνου, η απόδοση είναι εγγυημένη. Τα κέρδη εξαρτώνται από το μέγεθος της εγκατάστασης και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή (μέχρι 10 kWp [κιλοβάτ]), τόσο πιο πολλά τα κέρδη.

Η τιμή αγοράς της kWh (κιλοβατώρας) από τη ΔΕΗ με βάση τον νόμο 3851 (ΦΕΚ Α 85/4.6.2010) ήταν 0,55 ευρώ μέχρι τον Ιούλιο του 2012, ενώ από τον Αύγουστο του 2012 μετά από τροποποίηση του νόμου έπεσε στα 0,25 ευρώ [7].

Η τιμή μειώνεται κάθε εξάμηνο όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί και μάλιστα μέχρι το 2019 όταν και θα ολοκληρωθεί το Πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες».

Έτος/Μήνας	Τιμή Κιλοβατώρας (Ευρώ)
2012 Αύγουστος	0,25
2013 Φεβρουάριος	0,23875
2013 Αύγουστος	0,22801
2014 Φεβρουάριος	0,21775
2014 Αύγουστος	0,20795
2015 Φεβρουάριος	0,19859
2015 Αύγουστος	0,18965
2016 Φεβρουάριος	0,18112
2016 Αύγουστος	0,17297
2017 Φεβρουάριος	0,16518
2017 Αύγουστος	0,15775
2018 Φεβρουάριος	0,15065
2018 Αύγουστος	0,14387

Πίνακας 1: Τιμές Κιλοβατώρας στο διάστημα 2012-2018

Η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας παρ' όλες τις προσαρμογές είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την τιμή που πληρώνει κάποιος για ρεύμα.

Η χρηματοδότηση από τις τράπεζες για το Πρόγραμμα που αφορά τα φωτοβολταϊκά σε στέγες, φτάνει έως και το 100%. Εφόσον φυσικά κάποιος πληροί τις προϋποθέσεις για τραπεζικό δανεισμό. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι μηδαμινό για τον κάτοχο του ακινήτου, αφού άμεσα μπορεί από τα κέρδη του να αποπληρώσει το δάνειο.

Χάρη σε μαζικότερες παραγωγές και τεχνολογικές εξελίξεις στην παραγωγική διαδικασία, μεταξύ των ετών 2010 και 2018, η τιμή κατασκευής μιας μέσης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μειώθηκε κατά 57% [13].

3.10 Συλλογή του Ηλιακού Φωτός

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον Ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρηση. Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγεται με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο [14].

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν υπερσύγχρονες οπτικές τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους. Αυτά τα συστήματα πρέπει να προνοούν για ένα σημαντικό γεγονός, ότι δηλαδή συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που το σύστημα μπορεί να δεχθεί. Η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης υπερβαίνει το 10 περίπου και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Πλεονεκτήματα

Το βασικότερο πλεονέκτημα των ΦΒ, είναι η προστασία του περιβάλλοντος, καθώς δεν το επιβαρύνουν όπως τα ορυκτά καύσιμα. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που λαμβάνεται από το δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου”, που συμβάλλει στις κλιματικές αλλαγές.

Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ.).

Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή [3].

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι τα εξής:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που ξεπερνά τα 25 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά προσδίδουν σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία:

- Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη.
- Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής, καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό.

Παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία, που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.

Καθώς η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από ΦΒ πάρκα είναι τοπική, γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς μειώνονται οι απώλειες από τη μεταφορά της ενέργειας.

4.2 Μειονεκτήματα

Τα βασικά μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της Γης. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Επιπλέον, για τον παραπάνω λόγο τα Φ/Β δεν μπορούν προς το παρόν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται [3].



Εικόνα 10: Τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν 7% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Η στατιστική ανάλυση που έγινε στα πλαίσια της εργασίας, βασίζεται σε πλήθος δεδομένων, που αφορούν την ημερήσια παραγωγή ενέργειας των πέντε φωτοβολταϊκών πάρκων, για τη διάρκεια ενός έτους. Στο επόμενο κεφάλαιο τα δεδομένα αυτά οργανώνονται σε μορφή πινάκων, αποτυπώνονται με την μορφή διαφόρων γραφικών μεθόδων, χωρίζονται σε ομάδες και αναλύονται. Η στατιστική ανάλυση στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με τη βοήθεια στατιστικών εργαλείων του MATLAB [15]. Το παρόν κεφάλαιο περιέχει την παρουσίαση των μέσων, με τα οποία πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση.

5.2 Το MATLAB

Η ονομασία MATLAB προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων MATtrix LABoratory, που στα ελληνικά σημαίνει εργαστήριο πινάκων. Πρόκειται για ένα διαδραστικό πρόγραμμα που βρίσκει πληθώρα εφαρμογών σε πανεπιστήμια, σε έρευνες και σε αρκετές περιπτώσεις επιστημονικών υπολογισμών.

Το MATLAB αποτελεί ένα σύγχρονο λογισμικό πακέτο μαθηματικών, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα αριθμητικών υπολογισμών και οπτικοποίησης δεδομένων, με πάρα πολλές επιλογές γραφικών παραστάσεων. Αυτές του οι ικανότητες το κατατάσσουν σε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στη διάθεση των φυσικών και μαθηματικών επιστημών. Με την πάροδο των χρόνων, δημιουργούνται συνεχώς νέες, βελτιωμένες εκδόσεις του προγράμματος, οι οποίες περιλαμβάνουν επιπλέον εργαλεία και πακέτα [15].

Ο σχεδιασμός του MATLAB βασίζεται στη χρήση πινάκων, οι οποίοι εμπλέκονται σε υπολογισμούς, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κλπ. Επίσης, χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση και στην επίλυση πληθώρας προβλημάτων.

Πιο συγκεκριμένα, στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εξής λειτουργίες του:

- Organizing data
- Spline interpolation
- Box plots
- K-meansclustering

5.3 Οργάνωση Δεδομένων

Τα δεδομένα που εισάγονται στην MATLAB τοποθετούνται σε κελιά, σαν αυτά του excel, που μπορούν να υποστούν επεξεργασία. Όλα τα δεδομένα οργανώνονται υπό την μορφή πινάκων.

Οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν στο MATLAB, είναι αριθμητικοί πίνακες δύο διαστάσεων, που οργανώνουν τα δεδομένα σε γραμμές και στήλες αντίστοιχα [15].

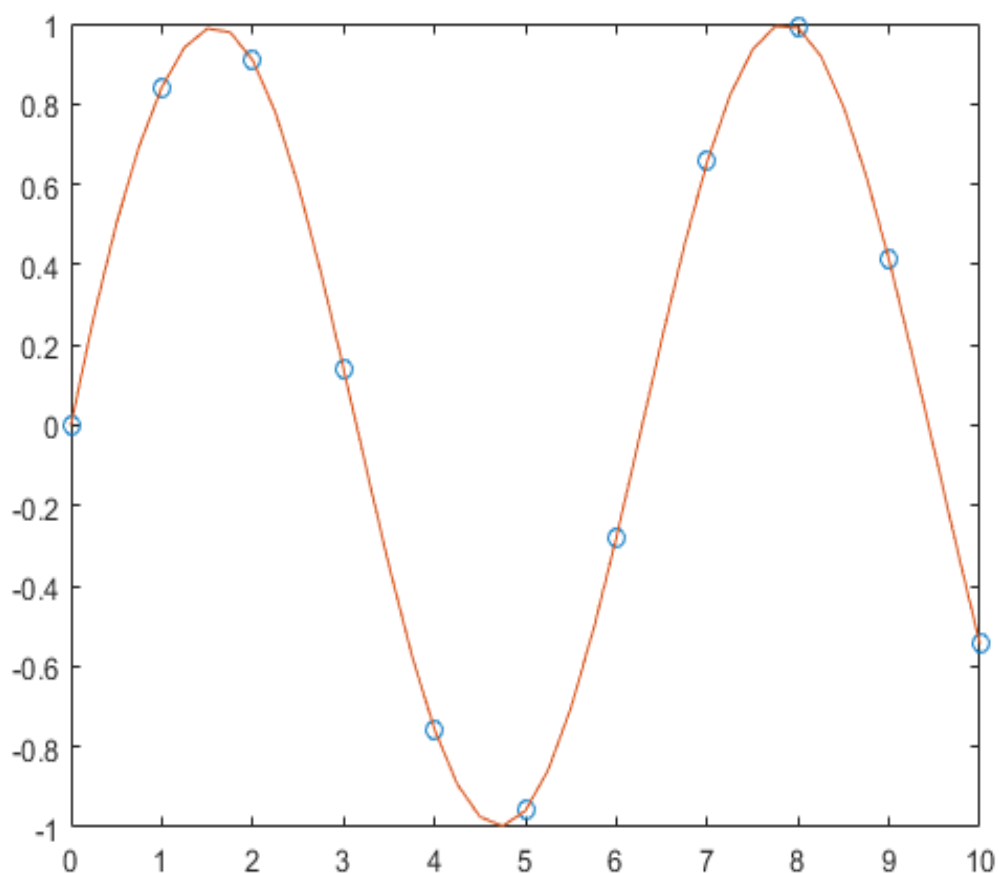
5.4 Μέθοδος Παρεμβολής Δεδομένων Spline

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τα Φ/Β πάρκα προέρχονται από μετρήσεις. Λόγω τεχνικών προβλημάτων, υπήρχαν κενά στις χρονοσειρές δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Παραδείγματος χάριν, για μερικές ημέρες υπήρξε μια βλάβη στην κεραία καταγραφής της παραγόμενης ενέργειας ενός πάρκου. Όπως είναι φυσικό, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος να συμπληρωθούν οι «χαμένες» τιμές ενέργειας. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκε η κυβική παρεμβολή. Προτιμήθηκε η κυβική παρεμβολή από την πολυωνυμική, καθώς επιφέρει μικρότερο σφάλμα και επίσης γιατί αυτού του τύπου η παρεμβολή ξεπερνάει το πρόβλημα του φαινομένου Runge, κατά το οποίο μπορεί να προκύψει ταλάντωση μεταξύ των σημείων, όταν χρησιμοποιούνται πολυώνυμα μεγάλου βαθμού.

Πιο συγκεκριμένα, για την κυβική παρεμβολή ισχύει:

Από τα σημεία $\{a, f(a)\}$ & $\{b, f(b)\}$ διέρχεται ένα μοναδικό πολυώνυμο $p(x)$ τρίτου βαθμού που ικανοποιεί επιπλέον τις συνθήκες: $p'(a)=f'(a)$, $p'(b)=f'(b)$.

Εντοπίζεται η θέση του ελαχίστου του παραπάνω πολυωνύμου, που αντικαθιστά το ένα από τα δύο άκρα.



Εικόνα 11: Παρεμβολή κυβικής καμπύλης 'S

5.5 Θηκογράμματα (Box plots)

Τα Box plots , ή αλλιώς θηκογράμματα είναι γραφήματα, τα οποία βασίζονται στη σύνοψη πέντε αριθμών για τη δημιουργία τους.

Οι πέντε αυτοί αριθμοί είναι στην ουσία τα ακόλουθα πέντε περιγραφικά μέτρα:

- Η διάμεσος, η οποία δηλώνει την τιμή της μεσαίας παρατήρησης, αν οι παρατηρήσεις ταξινομηθούν σε αυξανόμενη σειρά. Σε περίπτωση που το σύνολο των παρατηρήσεων είναι ζυγός αριθμός, η διάμεσος ορίζεται ως ο μέσος όρος των μεσαίων παρατηρήσεων.
- Τα τεταρτημόρια Q1, Q2, Q3 ,τα οποία είναι τιμές που χωρίζουν ένα σύνολο παρατηρήσεων σε τέταρτα. Το Q1 χωρίζει το σύνολο σε 25% μικρότερες και 75% μεγαλύτερες από αυτή την τιμή, το Q2 (διάμεσος) σε 50% μικρότερες και 50% μεγαλύτερες και το Q3 σε 75% μικρότερες και 25% μεγαλύτερες.

- Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (interquartile range), το οποίο περιλαμβάνει το 50% των παρατηρήσεων που βρίσκονται γύρω από τη διάμεσο. Δηλαδή οι παρατηρήσεις μεταξύ 25% και 75% των συνολικών.
- Τις ακραίες τιμές (outliers and extreme points).

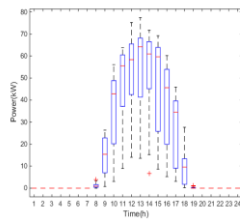
```

1 % Επαναληπτική διαδικασία για τις 366 μέρες του χρόνου
2 for i=1:366
3
4     % Δημιουργία του νέου ολοκληρωμένου πίνακα χρησιμοποιώντας την εντολή spline interp
5     % για την εύρεση των τιμών που λείπουν
6     PV1_new(i,:)=interp1(1:24,PV1(i,:),1:24,'spline');
7
8
9 end
10
11 % Δημιουργία πίνακα PV_f που περιέχει τις τιμές του μέσου πάρκου
12 PV=(PV1_new+PV2+PV3+PV4+PV5);
13 PV_f=(PV/5);
14
15 % Δημιουργία διαγράμματος με τις τιμές του μέσου πάρκου
16 plot(PV_f);
17
18 % Δημιουργία θηκογράμματος του Ιουλίου μήνα για το πάρκο 1
19 % Οι τιμές από 214 έως και 244 αντιστοιχούν στον Ιούλιο μήνα.
20 % Η εντολή boxplot της matlab παίρνει τις τιμές 214 έως και 244 τις
21 % ταξινομεί σε αύξουσα σειρά τις τιμές του μήνα και λαμβάνει ως
22 % Q1 = η μέση τιμή της 8ης και της 9ης παρατήρησης (ημερήσια τιμή του μέσου
23 % πάρκου αν ταξινομηθεί σε αύξουσα σειρά)
24 % Q2 = η διάμεσος των ημερήσιων τιμών του πάρκου αν ταξινομηθούν σε αύξουσα
25 % σειρά
26 % Q3 = η μέση τιμή της 23ης και της 24ης παρατήρησης (ημερήσια τιμή του μέσου
27 % πάρκου αν ταξινομηθεί σε αύξουσα σειρά)
28 boxplot(PV_f(214:244,:))
29
30 % Εύρεση τυπικής μέρας με την χρήση της εντολής kmeans
31 [Prod_08,typical]=kmeans(PV_f(214:244,:),1)
32
33

```

i	366
Prod_08	31x1 double
PV	366x24 double
PV1	366x24 double
PV1_new	366x24 double
PV2	366x24 double
PV3	366x24 double
PV4	366x24 double
PV5	366x24 double
PV_f	366x24 double
typical	1x24 double

Εικόνα 12. Τμήμα του χρησιμοποιούμενου αλγόριθμου



Εικόνα 13: Θηκόγραμμα

5.6 Μέθοδος Ομαδοποίησης Δεδομένων k-means

Αυτή η μέθοδος ομαδοποίησης χωρίζει τα δεδομένα σε k ομάδες και επαναφέρει το δείκτη της ομάδας, στην οποία έχει αποδοθεί κάθε παρατήρηση. Αποτελεί μέθοδο κατάλληλη για μεγάλο όγκο δεδομένων. Η μέθοδος K-means αντιμετωπίζει κάθε παρατήρηση σαν ένα ξεχωριστό αντικείμενο, που έχει τη δική του θέση στο χώρο και προσδιορίζει ένα σημείο (κέντρο της ομάδας), στο οποίο τα αντικείμενα κάθε ομάδας είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά το ένα στο άλλο, αλλά επίσης και όσο το δυνατόν πιο μακριά από τα αντικείμενα των άλλων ομάδων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επιλογής, ανάμεσα σε πέντε διαφορετικά μέτρα απόστασης, ανάλογα με το είδος των δεδομένων που ομαδοποιούνται. Κάθε ομάδα ορίζεται από τα μέλη της και το κέντρο βάρους της, ή κέντρο [16].

Το κέντρο βάρους κάθε ομάδας είναι το σημείο, στο οποίο το άθροισμα των αποστάσεων όλων των μελών ελαχιστοποιείται. Η μέθοδος για να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα, υπολογίζει τα κέντρα διαφορετικά, για κάθε μέτρο απόστασης.

Η μέθοδος K-means χρησιμοποιεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο, που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των αποστάσεων κάθε αντικειμένου από το κέντρο βάρους της ομάδας, για όλες τις ομάδες. Ο αλγόριθμος μετακινεί αντικείμενα μεταξύ των ομάδων, μέχρι το άθροισμα αυτό να μην μπορεί να μειωθεί περαιτέρω. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο από ομάδες, που είναι τόσο συμπαγείς και καλά διαχωρισμένες, όσο γίνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας. Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης [11].

Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια [3].

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Όπως θα δούμε και παρακάτω μέσα στους Φ.Β. σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο [16].

6.2 Μπαταρίες

Ένας συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρία) είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια που περιέχουν τα ενεργά υλικά της, σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Στην περίπτωση ενός επαναφορτιζόμενου αποθηκευτικού συστήματος, η μπαταρία επαναφορτίζεται με αντιστροφή αυτής της διαδικασίας. Αυτός ο τύπος αντίδρασης που ονομάζεται οξειδοαναγωγή περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα υλικό σε άλλο μέσω ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.

Επειδή, η μπαταρία μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική και δεν επηρεάζεται, από τους περιορισμούς του κύκλου Carnot ($2^{\text{ος}}$ νόμος θερμοδυναμικής) παρουσιάζει υψηλή απόδοση στη μετατροπή ενέργειας [11].

Η βασική μονάδα μιας μπαταρίας είναι το «στοιχείο».

Μια μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια στοιχεία, σε συνδεσμολογία σειράς ή παράλληλη ή συνδυασμό των δύο ανάλογα με την επιθυμητά χαρακτηριστικά (τάση και χωρητικότητα εξόδου).

Το στοιχείο αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά:

- Το ηλεκτρόδιο ανόδου, το οποίο παραχωρεί ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
 - Το ηλεκτρόδιο καθόδου, το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος παρέχεται στο μέσο για τη μεταφορά του φορτίου, με τη μορφή ιόντων μέσα στο στοιχείο μεταξύ ανόδου και καθόδου.

Ουσιαστικά αποτελεί ένα υγρό με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια που μεταδίδουν την ιοντική αγωγιμότητα. Υπάρχουν επίσης, και οι σταθεροί ηλεκτρολύτες οι οποίοι είναι ιοντικοί αγωγοί στην θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου.

Τα ηλεκτρόδια δεν έρχονται ποτέ σε επαφή μεταξύ τους, καθώς είναι ηλεκτρικώς συνδεδεμένα, μέσω του ηλεκτρολύτη. Η τάση κάθε στοιχείου εξαρτάται από τον συνδυασμό των υλικών της ανόδου και της καθόδου. Ωστόσο τέτοιοι συνδυασμοί μπορεί να μην είναι πάντα πρακτικοί εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, όπως η αντίδραση του υλικού με άλλα υλικά του στοιχείου, η πόλωση, η δυσκολία στο χειρισμό και το υψηλό κόστος.

Η άνοδος επιλέγεται έχοντας υπόψη τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Αποτελεσματικότητα ως αναγωγικό μέσο (δηλαδή να προκαλεί αναγωγή, ενώ η ίδια οξειδώνεται)
- Υψηλή απόδοση αμπερωρίων (πρακτική μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου, εκφράζει την ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μεταφέρεται από έναν αγωγό όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης ενός αμπέρ σε χρόνο μίας ώρας)
- Αγωγιμότητα
- Σταθερότητα
- Ευκολία κατασκευής και χαμηλό κόστος.

Κατάλληλα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα ως αρνητικά ηλεκτρόδια είναι το υδρογόνο, ο ψευδάργυρος και το λίθιο.

Η κάθοδος αντίστοιχα επιλέγεται με τα παρακάτω στοιχεία:

- Αποτελεσματικό οξειδωτικό παράγοντας (δηλαδή να προκαλεί οξείδωση, ενώ η ίδια ανάγεται)
- Σταθερότητα (να είναι σταθερή όταν έρχεται σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη)
- Ικανοποιητική τάση λειτουργίας

Τα πιο συνηθισμένα υλικά για την κάθοδο είναι μεταλλικά οξείδια, ενώ για ειδικά συστήματα συσσωρευτών χρησιμοποιούνται αλογόνο, θείο και τα οξείδιά του και άλλα χημικά συστατικά, που περιέχουν οξυγόνο και υδρογόνο ενωμένα με κάποιο άλλο χημικό στοιχείο.

Τέλος, ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει:

- Να έχει καλή ιοντική αγωγιμότητα, αλλά να μην είναι ηλεκτρικά αγώγιμος, καθώς τότε θα δημιουργούνταν εσωτερικά βραχυκυκλώματα.
- Να έχει αδυναμία αντίδρασης με τα ηλεκτρόδια
- Να μην επηρεάζεται από τη θερμοκρασία
- Ασφάλεια και χαμηλό κόστος

Οι περισσότεροι ηλεκτρολύτες είναι υδατικά διαλύματα, αλλά υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα οι «θερμικές μπαταρίες» ή οι συσσωρευτές με λίθιο στην άνοδο, όπου ο ηλεκτρολύτης είναι τήγμα άλατος ή άλλοι μη υδατικοί ηλεκτρολύτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αποφυγή αντίδρασης με την άνοδο. Χωρικά, τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου είναι ηλεκτρικά απομονωμένα στα στοιχεία της μπαταρίας, για να αποφεύγονται τα εσωτερικά βραχυκυκλώματα, και περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Στους σχεδιασμούς των στοιχείων, υπάρχει μηχανισμός που διαχωρίζει τα δύο ηλεκτρόδια, με το διαχωριστή να είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη, για να διατηρείται η ιοντική αγωγιμότητα. Επίσης, ηλεκτρικοί αγωγοί με δομή πλέγματος μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για να μειώσουν την εσωτερική αντίσταση.

Κάθε στοιχείο μπορεί να κατασκευασθεί σε διάφορες διατάξεις και σχήματα (κυλινδρικό, επίπεδο, πρισματικό) και για αυτό τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, να χωρούν στο επιθυμητό σχήμα του στοιχείου του συσσωρευτή. Τα στοιχεία στη συνέχεια σφραγίζονται με διάφορους τρόπους για την αποφυγή φθοράς των υλικών τους. Μερικά, είναι εξοπλισμένα με συσκευές εξαερισμού ή άλλα μέσα που επιτρέπουν στα συγκεντρωμένα αέρια να διαφύγουν. Η κατασκευή των ηλεκτροχημικών στοιχείων ολοκληρώνεται με κατάλληλα κιβώτια ή δοχεία, με μέσα σύνδεσης του ακροδέκτη και με τη σήμανσή τους.

6.3 Κατηγορίες Μπαταριών

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, με βάση την ικανότητα φόρτισής τους, τις πρωτογενείς (μη επαναφορτιζόμενες) και τις δευτερογενείς (επαναφορτιζόμενες).

Αυτές οι δύο κατηγορίες περιέχουν υποκατηγορίες, που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς.

6.4 Μπαταρίες Αποθήκευσης Ηλιακής Ενέργειας

Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο, είτε αυτό είναι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο (όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας) είτε ακόμη περισσότερο είναι αυτόνομο (όπως τα νησιά), σε κάθε χρονική περίοδο οφείλει να ικανοποιεί το ισοζύγιο της ισχύος (δηλ. η ισχύς που απορροφάται από τους καταναλωτές, πρέπει να είναι ίση, με μικρές αποκλίσεις, προς αυτή που παράγουν οι σταθμοί παραγωγής [17].

Η διακύμανση του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη ώστε, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος να μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτήν. Για τεχνικούς λόγους και σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, οι σταθμοί παραγωγής δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από ένα όριο, οπότε τις χρονικές αυτές περιόδους φαίνεται να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο. Η αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας, που προέρχεται από τα Φ/Β, προκαλεί έτσι νέα τεχνικά προβλήματα στη διαχείριση ενός ηλεκτρικού δικτύου, τα οποία οφείλονται στην έντονη χρονική διακύμανση που παρουσιάζει η παραγωγή των Φ/Β πάρκων κατά την διάρκεια του χρόνου.

Η ανάγκη αποθήκευσης μέρους της ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή των πάρκων γίνεται τόσο πιο επιτακτική, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όσο η συμμετοχή της ηλιακής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία προκαλείται αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ήδη κάποιες χώρες έχουν φθάσει στο όριο αυτό οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο μέσω αποθήκευσης.

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις βραδινές ώρες και ειδικά τις ώρες αιχμής της ζήτησης, δημιουργεί την ανάγκη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της μέρας και σε ώρες μη αιχμής. Η ζήτηση αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση μπαταριών. Οι μπαταρίες αυτές έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν το παραγόμενο

ρεύμα και να το διοχετεύουν στο δίκτυο σε προκαθορισμένες ώρες , ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Οι μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας (Battery Energy Storage Systems) έχουν κάνει την εμφάνιση τους τα τελευταία χρόνια και ήδη έχουν δημιουργηθεί Φ/Β σταθμοί σε διάφορα μέρη που τις εμπεριέχουν.

Η περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, αφορά τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι αυτής της μπαταρίας είναι οι παρακάτω:

- Μολύβδου οξέος
- Νικελίου καδμίου
- Νικελίου σιδήρου
- Υβριδικές νικελίου
- Ιόντων λιθίου
- Βαναδίου

Από αυτές, μόνο οι μολύβδου οξέος, οι ιόντων λιθίου, οι βαναδίου και σε μικρότερο βαθμό οι νικελίου καδμίου, χρησιμοποιούνται σήμερα στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Οι μπαταρίες νικελίου σιδήρου σπάνια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, και υποφέρουν από έναν ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό αυτό-εκφόρτισης, κάτι το οποίο τις καθιστά ακατάλληλες για τις περισσότερες φωτοβολταϊκές διεργασίες. Οι υβριδικές μπαταρίες νικελίου και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου είναι σχετικά σύγχρονες εξελίξεις και οι κύριες εφαρμογές τους μέχρι σήμερα είναι σε υψηλής αξίας προϊόντα λογισμικού, όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Τα τελευταία χρόνια, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αρχίζουν να γίνονται ευρέως διαθέσιμες και σε πιο μεγάλες χωρητικότητες (εκατοντάδες Ah,, που απαιτούνται σε μικρά (οικιακά κ.λπ.) φωτοβολταϊκά συστήματα. Είναι αρκετά πιο ακριβές ανά kWh σήμερα σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και συχνά χρειάζονται μια κάπως περίπλοκη προστασία για το κύκλωμα φόρτισής τους, κάτι το οποίο δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με τη μεταβλητή φύση των ρευμάτων φόρτισης των φωτοβολταϊκών [3].

Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, η πρόοδος που έχει σημειωθεί στις μπαταρίες λιθίου έχει ανοίξει το δρόμο για τη χρησιμοποίησή τους και σε μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα.

6.5 Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην μετακίνηση των ιόντων από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο θετικό, κατά την εκφόρτιση και ανάποδα όταν φορτίζονται. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούν μια ενδιάμεση ένωση λιθίου, σαν ένα ηλεκτρόδιο σε αντίθεση με το μεταλλικό λίθιο που χρησιμοποιείται στις μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου. Ο ηλεκτρολύτης, ο οποίος επιτρέπει την ιοντική κίνηση, και τα δύο ηλεκτρόδια είναι τα συστατικά ενός κελιού της μπαταρίας λιθίου. Αποτελούν ένα από τους πιο διάσημους τύπους επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, καθώς έχουν μεγάλη πυκνότητα και χαμηλή αυτό-εκφόρτιση [16].

Τα θετικά των μπαταριών αυτού του τύπου, είναι, ότι έχουν δυνατότητα υψηλής παροχής ρεύματος και η μεγάλη χωρητικότητα αναφορικά με το μέγεθός τους.

Στα μειονεκτήματά τους, αξίζει να σημειωθεί η ευαισθησία τους στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τη φθορά τους, όταν αδειάζουν τελείως και ξαναφορτίζονται από την αρχή. Προτάθηκαν με πρώιμη μορφή που περιείχε τιτάνιο, για πρώτη φορά από τον βρετανό χημικό Whittingham, ωστόσο οι λανθασμένες επιλογές του για τον τύπο των ηλεκτροδίων τις κατέστησαν εξαιρετικά ακριβές και επικίνδυνες. Όμως με την πάροδο των χρόνων και την παρέμβαση πολλών επιστημόνων έφτασαν στη σημερινή τους μορφή. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου στη περίπτωση που μελετάται στην παρούσα εργασία, θα φορτίζονται μέσω των ηλιακών πάνελ και αποθηκεύουν την ενέργεια, προκειμένου να τη διοχετεύσουν στο δίκτυο, όποτε επιλέξει ο διαχειριστής τους.

6.6 Η Λειτουργία των Μπαταριών σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Υπάρχουν τρεις κύριες λειτουργίες που μια μπαταρία επιτελεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα:

- Δρα σαν ένα βοηθητικό μέσο παροχής/αποθήκευσης ενέργειας για να εξαλείψει την αναντιστοιχία μεταξύ της διαθέσιμης από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος και της απαιτούμενης από το φορτίο ισχύος. Η ισχύς που παράγει ένα φωτοβολταϊκό πάρκο κάθε στιγμή ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα ακτινοβολίας που προσκρούει σε αυτή. Το σύστημα αποθήκευσης παρέχει ισχύ όταν το φωτοβολταϊκό δεν παράγει τίποτα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν παράγει λιγότερη ισχύ από όση απαιτείται από το ηλεκτρικό φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης,

απορροφά την περίσσεια ισχύος από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, όταν αυτή παράγει περισσότερη ισχύ από ότι το φορτίο απαιτεί [3].

- Η μπαταρία παρέχει ένα απόθεμα ενέργειας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια ημερών με μη ευνοϊκές καιρικές συνθήκες ή σε περίπτωση που παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος και το σύστημα σταματήσει να λειτουργεί.
- Τέλος, η μπαταρία αποτρέπει μεγάλες διακυμάνσεις τάσης. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία μπορεί να αποδώσει ισχύ σε κάθε σημείο μεταξύ βραχυκυκλώματος και ανοικτού κυκλώματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορτίου που είναι συνδεδεμένο σε αυτήν. Η τοποθέτηση μιας μπαταρίας μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του φορτίου διασφαλίζει, ότι το φορτίο δε θα βλέπει τίποτα έξω από το εύρος τάσεων στο οποίο η μπαταρία μπορεί να λειτουργήσει.

6.7 Επιλογή Μπαταρίας

Για τα υπό εξέταση πάρκα των 80 kW δεν υπάρχει μεγάλη ποικιλία μπαταριών που να καλύπτουν τις ανάγκες τους. Για το εξεταζόμενο σχέδιο αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας επιλέχθηκε η δημιουργία συστοιχιών μπαταριών με ονομαστική τάση 400VDC και με δυνατότητα αποθήκευσης 9,8 kWh [18]. Για να λειτουργήσει η μπαταρία απαιτείται η σύνδεση ενός ακόμη inverter στο σύστημα, που θα κάνει τη μετατροπή ενέργειας που θα εισάγεται στη μπαταρία, ο οποίος όμως ήδη υπάρχει συνδεδεμένος στον κάθε tracker και έτσι δεν επιβαρύνει με παραπάνω έξοδα. Επίσης, ο φορτιστής της μπαταρίας θα συμπεριλαμβάνεται στην μπαταρία και συνεπώς δεν θα επιβαρύνει με παραπάνω έξοδα. Πιο συγκεκριμμένα, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία της μπαταρίας που έχουν επιλεγεί:

Παράμετροι Μπαταρίας	Τιμή
Συνολική ενέργεια(Kwh)	9.8
Ενέργεια που χρησιμοποιεί(Kwh)	9.3
Χωρητικότητα (Ah)	63
Τάση (V)	385-550
Μέγιστη ισχύς (kW)	5
Άνω όριο ισχύος (kW)	7
Διαστάσεις (WxHxD, mm)	744 x 907 x 206
Βάρος (kg)	99.8

Πίνακας: Στοιχεία Μπαταρίας που έχει επιλεγεί

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια εκτίμηση του κόστους του συστήματος αποθήκευσης για τα δύο σενάρια λειτουργίας.

Για το πρώτο σενάριο, θα χρειαστούν εννέα μπαταρίες του παραπάνω τύπου ώστε να καλυφθούν η ενέργεια και η ισχύς του κάθε πάρκου, πλην του πάρκου GH3 το οποίο θα χρειαστεί δέκα μπαταρίες ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της ισχύος.

Για το δεύτερο σενάριο, εφόσον η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας που ζητείται είναι 350 kWh, σε κάθε πάρκο θα αντιστοιχεί χωρητικότητα 70 kWh [18]. Επίσης και σε αυτό το πλάνο θα πρέπει να τηρούνται οι περιορισμοί που υπάρχουν.

Η ονομαστική αξία που κοστίζει η μία μπαταρία παραπάνω τύπου σύμφωνα με έλεγχο που έγινε στην αγορά είναι περίπου 6.000 ευρώ.

Για το πρώτο πλάνο όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, θα χρειαστούν σαράντα έξι μπαταρίες.

Η συνολική αξία του εξοπλισμού αυτού εκτιμάται να ανέρχεται στο ποσό των 276.000 ευρώ.

Στη συνέχεια, εξετάζεται το κόστος στην περίπτωση που υπήρχε η θεώρηση ότι όλα τα πάρκα λειτουργούν σαν μια μονάδα παραγωγής, ένα χαρτοφυλάκιο. Η απαιτούμενη ισχύς της μπαταρίας θα έπρεπε σε αυτήν την περίπτωση να είναι 350 kW όπως προαναφέρθηκε και συνεπώς θα χρειαζόταν τριάντα έξι μπαταρίες και ποσό της τάξης των 216.000 ευρώ. Συνεπώς, παρατηρείται μια μεγάλη διαφορά της τάξης του 22% που προκύπτει στο οικονομικό κόστος υλοποίησης των δύο υπό εξέταση πλάνων λειτουργίας.



Εικόνα 14: Μπαταρίες Φωτοβολταϊκών

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μια στατιστική ανάλυση της λειτουργίας πέντε φωτοβολταϊκών πάρκων, που βρίσκονται στο νησί της Κρήτης, ισχύος 80 kW το κάθε ένα. Εξετάστηκαν τα συγκεκριμένα πάρκα ως μια ομάδα παραγωγής ενέργειας και δημιουργήθηκε ένα εικονικό μέσο πάρκο όπου η ωριαία παραγωγή του είναι η μέση τιμή της παραγωγής των υπολοίπων πάρκων.

Σκοπός ήταν η σύγκριση της παραγωγής και οι διαφορές που παρουσιάζονται, ανάμεσα στα υπαρκτά πάρκα και το υποτιθέμενο μέσο πάρκο. Επίσης, εξετάστηκε η αποθήκευση ενέργειας στα φωτοβολταϊκά πάρκα ως επικουρικό μέσο του δικτύου και έγινε σύγκριση κόστους για το ενδεχόμενο ότι κάθε πάρκο θα έχει το δικό του σύστημα αποθήκευσης, αλλά και ότι όλα τα πάρκα θα έχουν ένα κοινό σύστημα αποθήκευσης.

Το βασικό συμπέρασμα που προέκυψε όσον αφορά τη θεώρηση ενός ενιαίου χαρτοφυλακίου πάρκων, είναι ότι η δημιουργία του συγκεκριμενοποίησε κατά το δυνατόν την παραγωγή και ταυτόχρονα ελαχιστοποίησε την ύπαρξη απότομων αλλαγών στην παραγωγή, που παρατηρούνται κυρίως λόγω καιρικών συνθηκών και βλαβών.

Για την αποθήκευση ενέργειας, παρατηρήθηκε ότι για για πολλούς από τους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων, η θεώρηση των πάρκων ως ομάδα παραγωγής ενέργειας, ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους, έχει οικονομικά οφέλη.

Οι οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της σημερινής εποχής έχουν ως συνέπεια την αναθεώρηση πολλών δεδομένων που μέχρι πριν λίγο καιρό θεωρούνταν ως δεδομένα. Η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων, σε συνδυασμό με την αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων της κοινωνίας, οδηγούν σε οικονομικό αδιέξοδο και καταστροφή του περιβάλλοντος. Σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των παραπάνω, μπορούν να έχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν έναν από τους βασικούς κλάδους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεχής βελτίωση του τρόπου παραγωγής και η μείωση του κόστους κατασκευής με την πάροδο των χρόνων σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους και το κλίμα της Ελλάδας θα μπορούσαν να κάνουν τον τομέα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων άκρως ανταγωνιστικό [3].

Επίσης, η λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προβλέπεται ότι θα ενδυναμώσει ακόμη περισσότερο αυτόν τον κλάδο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] SMA Solar Technology
- [2] Σύγγραμμα: «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι., 2013, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [3] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, 2009.
- [4] www.deddie.gr (2017)
- [5] Εγχειρίδιο Συναρμολόγησης για το σύστημα διαξονικής ιχνηλάτισης ATLAS 150 SOLARTRACKER, www.mechatron.eu, (MECHATRON ABEE)
- [6] www.plasisgroup.com (PLASIS ENERΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.)
- [7] Εγχειρίδιο Suntech, Pluto 255-250-245,EN-STD-Wdm-NO1.01-Rev 2012, www.suntech-power.com.
- [8] ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΚΑΡΑΦΙΝΑ , «Στατιστική ανάλυση ενεργειακών δεδομένων Πολυτεχνείου Κρήτης» , Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2014.
- [9] el.wikipedia.org
- [10] ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Χ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, «Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών-αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2015.
- [11] Ιστοσελίδα (<http://www.windandsun.co.uk/>)
- [12] «Ηλιοθερμικά συστήματα vs. Φωτοβολταϊκά». Αρχαιοθετήθηκε από το πρωτότυπο στις 14 Μαΐου 2012. Ανακτήθηκε στις 28 Σεπτεμβρίου 2013
- [13] «Crossing the Chasm» (PDF). Deutsche Bank Markets Research. 27 Φεβρουαρίου 2015. Αρχαιοθετήθηκε (PDF) από το πρωτότυπο στις 1 Απριλίου 2015. Ανακτήθηκε στις 15 Οκτωβρίου 2018. More than one of |deadurl= και |url-status= specified ([βοήθεια](#))
- [14] «Ηλιοθερμικά συστήματα και οι διαφορές τους με τα Φωτοβολταϊκά». Αρχαιοθετήθηκε από το πρωτότυπο στις 6 Νοεμβρίου 2011. Ανακτήθηκε στις 28 Σεπτεμβρίου 2013.
- [15] MATLAB (<https://in.mathworks.com/products/matlab.html>)
- [16] Lacey, Stephen (12 Σεπτεμβρίου 2011). «How China dominates solar power». *Guardian Environment Network*. Ανακτήθηκε στις 29 Ιουνίου 2014.

[17] «Solar Industry Research Data». SEIA (στα Αγγλικά). Ανακτήθηκε στις 5 Φεβρουαρίου 2019

[18] ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ , «Μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 80KW», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, 2013.