



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

Ανάπτυξη διαδικτυακής πλατφόρμας με σκοπό την
εγκατάσταση αυτόνομων και μη φωτοβολταϊκών
συστημάτων σε οικίες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιαννάκη Α. Ηλιάνα

Κωστόπουλος Α. Γεώργιος

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2022



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

Ανάπτυξη διαδικτυακής πλατφόρμας με σκοπό την
εγκατάσταση αυτόνομων και μη φωτοβολταϊκών
συστημάτων σε οικίες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιαννάκη Α. Ηλιάνα

Κωστόπουλος Α. Γεώργιος

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η Οκτωβρίου 2022.

.....
Χ. Δούκας
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

.....
Γιαννάκη Α. Ηλιάνα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....
Κωστόπουλος Α. Γεώργιος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright ©Γιαννάκη Α. Ηλιάνα, 2022

Copyright © Κωστόπουλος Α. Γεώργιος, 2022

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.

Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη διαδικτυακής πλατφόρμας με σκοπό την ενημέρωση και την πρόταση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος σε κατοικίες. Δίνεται η επιλογή στον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα στο μοντέλο της Αυτοπαραγωγής (Net metering) και του Αυτόνομου Συστήματος. Κάθε κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας αυτής αντιστοιχεί σε ανεξάρτητα τμήματα της συνολικής εγκατάστασης.

Αρχικά, γίνεται μία αναφορά στο ενεργειακό πρόβλημα τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε πανελλήνιο επίπεδο. Επίσης αναλύονται οι διάφορες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η εκμετάλλευση των οποίων τείνει σε μία αύξηση. Στη συνέχεια εξετάζεται η δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών πάνελ καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους. Ακόμα αναλύονται οι ιδιότητές τους (σε κατασκευαστικό επίπεδο) και τα διάφορα είδη τους (ανάλογα το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα). Λόγω της αύξησης ζήτησης αυτής της μορφής ενέργειας κρίνεται αναγκαία η ενημέρωση του καταναλωτή σχετικά με τους κινδύνους που θα αντιμετωπίσει με την πάροδο του χρόνου. υπάρχουν όταν συνδεθούν στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Καταλήγοντας γνωστοποιούνται οι επιπτώσεις των συστημάτων αυτών όταν συνδέονται με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η επόμενη λειτουργική μονάδα του συστήματος που συναντάται είναι αυτή των συσσωρευτών. Έτσι, αναλύονται τα είδη τους και οι τύποι στους οποίους διακρίνονται ενώ ταυτόχρονα μελετώνται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους. Ωστόσο εξαιτίας της φύσης του ρεύματος που παράγεται, απαιτείται η χρήση αντιστροφών και ρυθμιστών φόρτισης. Με βάση τα παραπάνω και ανάλογα με την ύπαρξη ή μη σύνδεσης με το δίκτυο γίνεται διάκριση σε αυτόνομο και μη αυτόνομο σύστημα.. Τόσο στο μοντέλου του αυτόνομου όσο και στο μοντέλο της αυτοπαραγωγής μελετώνται η δομή τους, τα χαρακτηριστικά τους καθώς και επεξηγείται το μαθηματικό μοντέλο τους.

Όσον αφορά το κομμάτι της εφαρμογής, αρχικά αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό μοντέλο το οποίο προέκυψε από τα παραπάνω,. Το κομμάτι του backend αναπτύχθηκε με τη χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος της Java. Αντίστοιχα το κομμάτι του front end αναπτύχθηκε με τη χρήση της γλώσσας HTML και του framework Angular. Στην πλατφόρμα ο χρήστης μπορεί να ενημερωθεί επιγραμματικά για τα δύο μοντέλα που μελετώνται σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Επιπρόσθετα δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη με την εισαγωγή συγκεκριμένων μεταβλητών, ανάλογα το επιθυμητό μοντέλο, να λάβει μία προτεινόμενη λύση εγκατάστασης.

Λέξεις κλειδιά : φωτοβολταϊκό σύστημα, συσσωρευτής, αντιστροφέας, ρυθμιστής φόρτισης, αυτοκατανάλωση, ιδιοκατανάλωση, διαδικτυακή πλατφόρμα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Abstract

The subject of the thesis is the development of an online platform for the purpose of informing and proposing the installation of a photovoltaic system in residences. The option is given to the user to choose between the model of Self-production (Net metering) and the Autonomous System. Each chapter of this thesis corresponds to independent parts of the overall installation.

Firstly, a reference is made to the energy problem at both a global and pan-Hellenic level. Also analyzed are the various forms of Renewable Energy Sources, the exploitation of which tends to increase. Next, the structure of a photovoltaic system is examined. More specifically, the evolution of photovoltaic panels is mentioned as well as their mode of operation. Their properties (at the construction level) and their various types (depending on the material they are made of) are also analyzed. Due to the increase in demand for this form of energy, it is considered necessary to inform the consumer about the risks that will be faced over time and that exist when the system is connected to the electricity grid. Finally, the effects of these systems when connected to the electricity grid are disclosed. The next functional unit of the system encountered is that of accumulators. Thus, their species and the types in which they are distinguished are analyzed while at the same time their most important characteristics are studied. However, due to the nature of the current generated, the use of inverters and charge regulators is required. Based on the above and depending on whether or not there is a connection to the network, a distinction is made between autonomous and non-autonomous systems. Both in the autonomous model and in the self-production model, their structure and characteristics are studied and their mathematical model is explained.

Regarding the application part, initially a computational model was developed which resulted from the above. The backend part was developed using the Java programming environment. Accordingly, the front end part was developed using the HTML language and the Angular framework. On the platform, the user can be informed graphically about the two models studied in this thesis. In addition, the user is given the possibility by entering specific variables, depending on the desired model, to receive a proposed installation solution.

Key-words : photovoltaic system, accumulator, inverter, charge controller, self-consumption, self-consumption, online platform, renewable energy sources

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στους υποψήφιους διδάκτορες Χρήστο Στεφανάτο και Ελένη Κανέλλου για την πολύτιμη καθοδήγησή τους κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και τον κ. Χρυσόστομο (Χάρη) Δούκα για την δυνατότητα που μας παρείχε να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα.

Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας και τους φίλους που μας στήριξαν όλα τα χρόνια των σπουδών μας.

Περιεχόμενα

Περίληψη

Abstract

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

- 1.1 Ενεργειακό πρόβλημα
 - 1.1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα στην Ελλάδα
 - 1.1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- 1.2 Κατηγορίες συστημάτων στήριξης ΑΠΕ
- 1.3 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Κεφάλαιο 2 - Φωτοβολταϊκά συστήματα

- 2.1 Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκών
- 2.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ
 - 2.2.1 Ημιαγωγοί
 - 2.2.2 Ζώνη αγωγιμότητας - Ζώνη σθένους
 - 2.2.3 Επαφή p-n
 - 2.2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο
 - 2.2.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο
 - 2.2.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων
- 2.3 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων
 - 2.3.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο
 - 2.3.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
 - 2.3.3 Λεπτό υμένιο
 - 2.3.4 Διπλής όψεως
 - 2.3.5 Ταινίας Πυριτίου
- 2.4 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών
- 2.5 Επιπτώσεις σύνδεσης φωτοβολταϊκών στο δίκτυο
 - 2.5.1 Βυθίσεις τάσης
 - 2.5.2 Ανυψώσεις τάσης
 - 2.5.3 Βραχυκυκλώματα
 - 2.5.4 Ανώτερες αρμονικές

Κεφάλαιο 3 - Συσσωρευτές ενέργειας

- 3.1 Είδη μπαταριών
 - 3.1.1 Πρωτογενείς ή μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες
 - 3.1.2 Δευτερογενείς ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες
- 3.2 Λειτουργία μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων
- 3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταριών

- 3.3.1 Χωρητικότητα
- 3.3.2 Δυναμικό - Ρεύμα
- 3.3.3 Στάθμη φόρτισης και βάθος εκφόρτισης
- 3.3.4 Κύκλος λειτουργίας
- 3.3.5 Απόδοση
- 3.3.6 Διάρκεια ζωής
- 3.3.7 Αυτοεκφόρτιση
- 3.3.8 Ρυθμός φόρτισης / εκφόρτισης
- 3.3.10 Βάρος
- 3.3.11 Flooded ή VRLA τύπου
- 3.4 Εξαρτήματα συσσωρευτών
 - 3.4.1 Περίβλημα
 - 3.4.2 Διαχωριστικό υλικό
 - 3.4.3 Ρευματοσυλλέκτης
- 3.5 Τύποι μπαταριών
 - 3.5.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος
 - 3.5.2 Μπαταρίες ιόντων λιθίου
 - 3.5.3 Σύγκριση μπαταριών μολύβδου οξέος - λιθίου
 - 3.5.4 Μπαταρίες τύπου gel

Κεφάλαιο 4 - Αντιστροφείς

- 4.1 Κατηγορίες αντιστροφέων
- 4.2 Χαρακτηριστικά και λειτουργίες αντιστροφέων
- 4.3 Ρυθμιστές Φόρτισης

Κεφάλαιο 5 - Συνδεσιμότητα φωτοβολταϊκού συστήματος

- 5.1 Το μοντέλο της ιδιοκατανάλωσης
- 5.2 Αυτόνομο σύστημα
 - 5.2.1 Εισαγωγή
 - 5.2.2 Μελέτη μεταβλητών ηλεκτρικής ενέργειας
 - 5.2.3 Αποθήκευση ενέργειας στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα
 - 5.2.4 Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας
- 5.3 Αυτοπαραγωγή ενέργειας - Net metering
 - 5.3.1 Συμψηφισμός παραγόμενης - καταναλισκόμενης ενέργειας
 - 5.3.2 Μελέτη μεταβλητών ηλεκτρικής ενέργειας
 - 5.3.3 Αποθήκευση ενέργειας στα μη αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα
 - 5.3.4 Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας
- 5.4 Σύγκριση αυτόνομου συστήματος - Αυτοπαραγωγής

Κεφάλαιο 6 - Διαδικτυακή Πλατφόρμα

Δημιουργία πλατφόρμας (Εισαγωγή)

- 6.1 Front-End

6.2 Back-End

6.3 Αλληλεπίδραση Front-End / Back-end

6.4 Σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων

6.5 Εγχειρίδιο εγγραφής και εισαγωγής δεδομένων

Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα - Εξέλιξη

7.1 Συμπεράσματα

7.2 Πιθανή εξέλιξη της εργασίας

Βιβλιογραφία

Ευρετήριο εικόνων

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

- 1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα
- 1.2 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μεγάλης κλίμακας
- 1.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε οικία
- 1.4 Δομή ανεμογεννήτριας
- 1.5 Δομή υδροηλεκτρικού εργοστασίου
- 1.6 Εργοστάσιο που εκμεταλλεύεται την γεωθερμική ενέργεια
- 1.7 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

Κεφάλαιο 2 - Φωτοβολταϊκά συστήματα

- 2.1 Ενεργειακές ζώνες και στάθμες
- 2.2 Επαφή p - n
- 2.3 Κύκλος φωτοβολταϊκού φαινομένου
- 2.4 Απλοποιημένο (α) και πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα (β) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου
- 2.5 Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος - τάσης
- 2.6 Καμπύλη φαινομένου της πάπιας

Κεφάλαιο 4 - Αντιστροφείς - Ρυθμιστές τάσης

- 4.1 Απλουστευμένη σχεδίαση μετατροπέα και αντιστροφέα
- 4.2 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μεγάλης ισχύος που βασίζει λειτουργία σε κεντρικό αντιστροφέα

Κεφάλαιο 6 - Διαδικτυακή πλατφόρμα

- 6.1 Είσοδος στην πλατφόρμα
- 6.2 Πλατφόρμα εγγραφής
- 6.3 Επιτυχής εγγραφή
- 6.4 Πλατφόρμα υπολογιστικού για μη αυτόνομο σύστημα
- 6.5 Παράδειγμα υπολογισμού μη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος
- 6.6 Πλατφόρμα υπολογιστικού για αυτόνομο σύστημα
- 6.7 Παράδειγμα υπολογισμού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος
- 6.8 Πληροφορίες για την εγκατάσταση μη αυτόνομου συστήματος
- 6.9 Πληροφορίες για την εγκατάσταση αυτόνομου συστήματος

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Μέχρι τον 19ο αιώνα και συγκεκριμένα μέχρι την βιομηχανική επανάσταση οι καθημερινές ανάγκες καλύπτονταν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική με την χρήση ανεμόμυλων και η υδραυλική με την χρήση νερόμυλων. Με την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης, ο ορυκτός πλούτος της Γης έγινε η κύρια μορφή ενέργειας για την ανθρώπινη κοινωνία και την οικονομία. Ωστόσο, η αλόγιστη χρήση τους δημιούργησε το “ενεργειακό ζήτημα”, το οποίο κρίνει το μέλλον της ανθρώπινης διαβίωσης και του ίδιου του πλανήτη.



Εικόνα 1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

1.1 Ενεργειακό πρόβλημα

Η ενεργειακή κρίση του 1973 ήταν το εναρκτήριο σημείο για την συνειδητοποίηση της πραγματικής έκτασης του ενεργειακού προβλήματος. Για την βαθύτερη κατανόηση του προβλήματος θα αναφερθούν κάποιοι από του κύριους παράγοντες που το επηρεάζουν.

- Η αύξηση του πληθυσμού : η αύξηση του πληθυσμού ταυτόχρονα με την τεχνολογική ανάπτυξη οδήγησε σε αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις , οι οποίες πλέον καλύπτονται κατά 85% από τον ορυκτό πλούτο της Γης,
- Η δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων : η ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων, υπόγειων και επίγειων οικοσυστημάτων καθώς και η διαβίωση του ανθρώπου είναι μόνο μερικά από τα προβλήματα που έχουν προκύψει από την ανεξέλεγκτη χρήση των ορυκτών καυσίμων,
- Η οικονομική και πολιτική εξάρτηση από προμηθεύτριες χώρες : τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι διαθέσιμα σε κάθε χώρα αλλά σε μια μειονότητα χωρών. Ως αποτέλεσμα οι υπόλοιπες χώρες πρέπει να κάνουν εισαγωγή τους πόρους, κάτι το οποίο δημιουργεί με την σειρά του διακυμάνσεις στις τιμές των ορυκτών καυσίμων. [1]

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η τιμή του αργού πετρελαίου από την ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα έχει τετραπλασιαστεί. [2].

- Η εξάντληση των ενεργειακών πόρων

1.1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα στην Ελλάδα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα βασίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό σε ορυκτά καύσιμα (κυρίως πετρέλαιο και τα παράγωγα του), τα περισσότερα από τα οποία εισάγονται. Τα παράγωγα του πετρελαίου χρησιμοποιούνται τόσο στον τομέα των μεταφορών όσο και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κυρίως από ανεπαρκείς για τις ενεργειακές απαιτήσεις ντιζελογεννήτριες.

Το φυσικό αέριο, το οποίο επίσης εισάγεται, παίζει σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Η ενέργεια που παρέχεται στα νοικοκυριά προέρχεται κατά 29% από την καύση λιγνίτη (έρευνα 2018) ενώ ακολουθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική, αιολική, ηλιακή και βιομάζα με ποσοστά 11.3%, 12.4%, 7.5% και 0.6% αντίστοιχα. [3]

Κεντρική ιδέα για μια πιο ενεργειακά φιλική Ελλάδα είναι η απολιγνιτοποίηση, δηλαδή η οριστική διακοπή της παραγωγής ενέργειας από τον εγχώριο λιγνίτη με παράλληλη προώθηση των ΑΠΕ επιλέγοντας όμως αποκλειστικά αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα (το 1/3 των ενεργειακών αναγκών μπορεί να καλυφθεί από το ηλιακό δυναμικό), εξαιρώντας τα υδροηλεκτρικά[4] καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας σε όλους τους τομείς.

1.1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται από φυσικές πηγές ή διαδικασίες που συνεχώς ανανεώνονται. Για παράδειγμα, ο ήλιος και ο αέρας ακόμα και αν εξαρτώνται από τον καιρό θα συνεχίσουν να λάμπει και να φυσάει αντίστοιχα. Κάποιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι παρακάτω :

- *Ηλιακή ενέργεια*

Το ανθρώπινο είδος έχει εκμεταλλευτεί εδώ και χιλιάδες χρόνια την ηλιακή ενέργεια ώστε να μεγαλώσει σοδειές, να μείνει ζεστός και να αποξηράνει τροφή. Πλέον χρησιμοποιούμε την ηλιακή ενέργεια ώστε να θερμάνουμε οικίες, νερό αλλά και ως πηγές ενέργειας συσκευών.

Αυτή η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία δύνανται να τροφοδοτήσουν είτε οικίες είτε ακόμα και ολόκληρες γειτονίες ανάλογα με την εγκατάστασή τους.



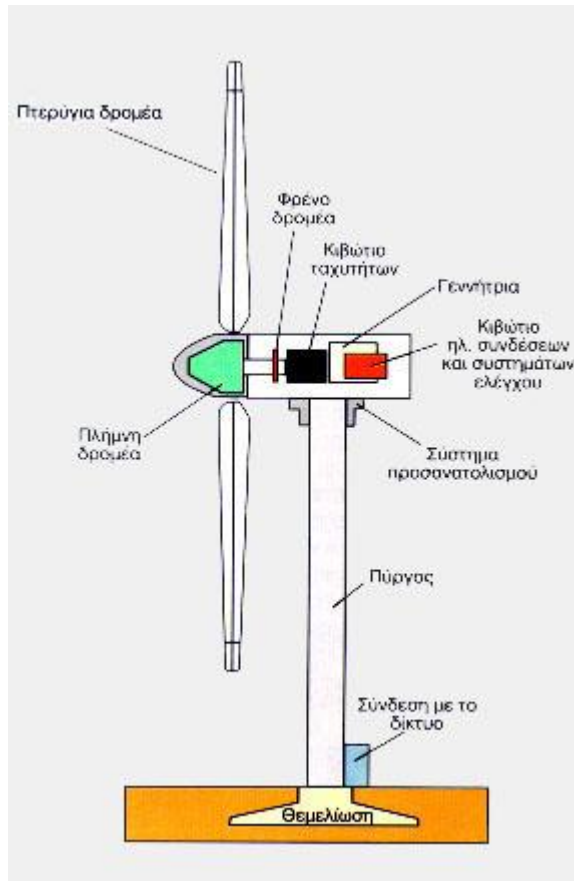
Εικόνα 1.2 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μεγάλης κλίμακας



Εικόνα 1.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε οικία

- *Αιολική ενέργεια*

Ήδη από το παρελθόν η αιολική ενέργεια εκμεταλλεύονταν με την χρήση ανεμόμυλων. Ωστόσο πλέον με την βοήθεια της τεχνολογίας, οι ανεμόμυλοι έχουν εξελιχθεί σε ανεμογεννήτριες οι οποίες αγγίζουν και τα 100 μέτρα σε ύψος, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια [5].



Εικόνα 1.4 Δομή ανεμογεννήτριας

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

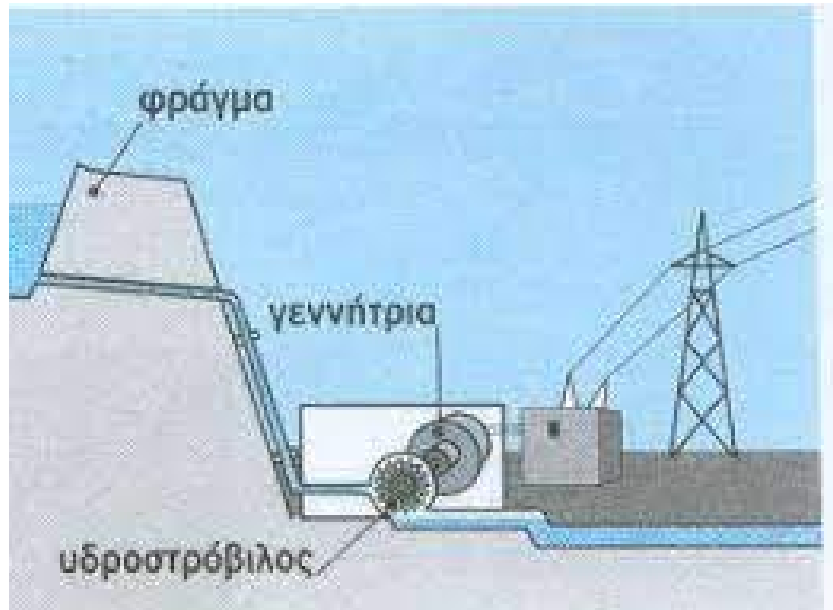
- Οριζόντιου άξονα των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη :

- τον δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα
- το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το οποίο αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών
- την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους
- το σύστημα προσανατολισμού
- τον πύργο
- τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου [6].

- *Υδροηλεκτρική ενέργεια*

Η υδροηλεκτρική ενέργεια βασίζεται είτε στην μεγάλη ταχύτητα του νερού σε μεγάλα ποτάμια είτε στην πτώση του νερού από μεγάλο ύψος μετατρέποντας αυτή την δύναμη του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια με την χρήση κατάλληλων κινητήρων.



Εικόνα 1.5 Δομή υδροηλεκτρικού εργοστασίου

Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθος και την παραγόμενη ισχύ σε : μικρής κλίμακας (1 kW - 1 MW), μεσαίας κλίμακας (- 20 MW), μεγάλης κλίμακας (>20 MW) και σε “επί της κοίτης”.

Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο αποτελείται από τα εξής τμήματα :

- Φράγμα ώστε να συγκρατείται το νερό
- Υδατοφράκτες ώστε να ρυθμίζεται η ποσότητα ροής του νερού προς την τουρμπίνα
- Τουρμπίνα (ή τουρμπίνες ανάλογα το μέγεθος του εργοστασίου)
- Γεννήτριες άμεσα συνδεδεμένη με την τουρμπίνα
- Γραμμές μεταφοράς προς τους καταναλωτές [7]

- Βιομάζα

Η βιομάζα είναι οργανική ύλη η οποία προέρχεται από φυτά και ζώα. Όταν η βιομάζα καίγεται, η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη ως θερμότητα και μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό μέσω αμοστροβίλου.

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- την κάλυψη αναγκών θέρμανσης και ψύξης σε βιομηχανίες
- την τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών
- θέρμανση θερμοκηπίων [9]

- *Γεωθερμία*

Γεωθερμική ονομάζεται η ενέργεια η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της Γης ως θερμό νερό ή ατμό. Η παρουσία της σχετίζεται με τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή [10].



Εικόνα 1.6 Εργοστάσιο που εκμεταλλεύεται την γεωθερμική ενέργεια

- *Ενέργεια θαλάσσιων κυμάτων*

Η ενέργεια που προέρχεται από τα κύματα, τις παλίρροιες είναι ακόμα σε πρώιμα στάδια προς εκμετάλλευση λόγω του ακανόνιστου και τυχαίου χαρακτήρα των φαινομένων αυτών [11].

1.2 Κατηγορίες συστημάτων στήριξης ΑΠΕ

Η ανάγκη αντικατάστασης του ορυκτού πλούτου του πλανήτη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οδήγησε στην επικύρωση διεθνών συμφωνιών. Η ουσιαστική ώθηση δόθηκε μέσα από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων. Η πιο γνωστή από αυτές είναι η ευνοϊκή τιμολόγηση της ενέργειας, γνωστή και ως Feed-in-Tariff (FiT), κατά την οποία οι επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας είναι υποχρεωμένες να αγοράζουν όλη την παραγόμενη ενέργεια σε συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή εξαρτάται από την τεχνολογία και τον τύπο των πόρων, την τοποθεσία του έργου και την παρουσία άλλων παράλληλων έργων. Ο μηχανισμός αυτός στήριξης και προώθησης δεν εφαρμόζεται τόσο πλέον.

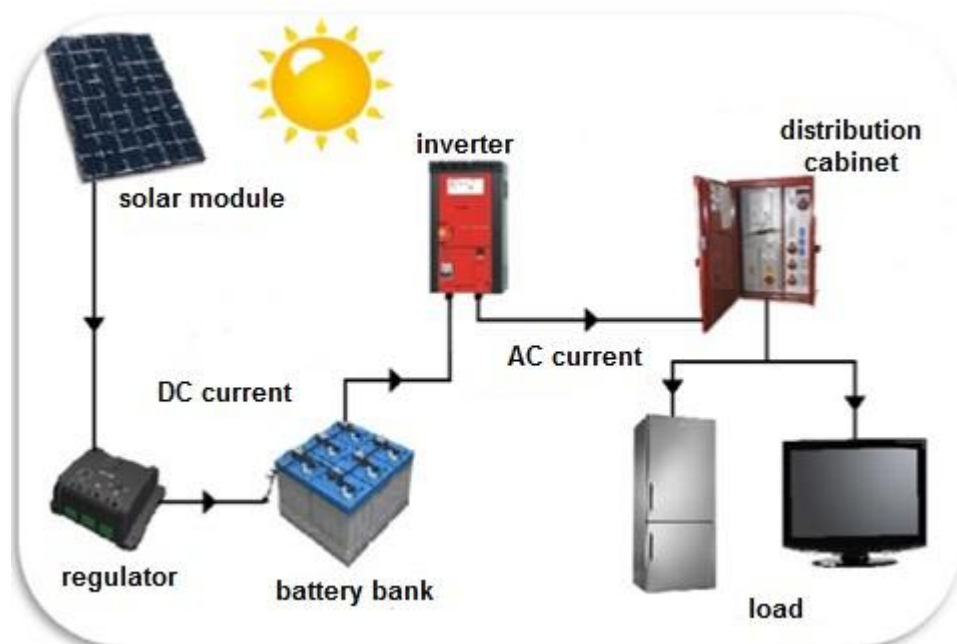
Από το 2015 και μετά προωθείται το μοντέλο του ενεργειακού συμψηφισμού γνωστό και ως net - metering κατά το οποίο η εγκατάσταση της παραγωγής, το κέντρο κατανάλωσης και το δίκτυο είναι συνδεδεμένα στον ίδιο μετρητή [12]. Στο κεφάλαιο 4 θα αναλυθεί περαιτέρω αυτός ο μηχανισμός ενίσχυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.3 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις όπως θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια πέρα από τις βασικές συσκευές τροποποιείται ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης με το δίκτυο στην περίπτωση που αυτή είναι επιθυμητή.

Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από :

- 1) Φωτοβολταϊκό πάνελ : σετ κελιών που παράγουν ηλεκτρισμό από τις ηλιακές ακτίνες που προσπίπτουν σε αυτό. Ανάλογα την κατανάλωση και τα τετραγωνικά της εγκατάστασης καθώς και τις ενεργειακές απαιτήσεις εγκαθίστανται το αντίστοιχης ισχύος πάνελ,
- 2) Αντιστροφείς (inverters) : λόγω του ότι η έξοδος του φωτοβολταϊκού πάνελ είναι DC υπάρχει η ανάγκη ενός αντιστροφέα ώστε να αντιστρέφει το ρεύμα σε AC για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις συσκευές του καταναλωτή,
- 3) Ρυθμιστή τάσης φόρτισης συσσωρευτών των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων : ελέγχουν την διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών ώστε να αποφύγει την υπερφόρτιση ή εκφόρτιση με σκοπό να παρατείνει τον χρόνο ζωής των μπαταριών (σε όσες εγκαταστάσεις υπάρχουν),
- 4) Συσσωρευτές : επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σαν πηγή τροφοδοσίας όταν δεν υπάρχει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 1.7 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

Κεφάλαιο 2 - Φωτοβολταϊκά συστήματα

Προκειμένου να μελετήσουμε τα φωτοβολταϊκά πρέπει πρώτα να αναφερθούμε στην ηλιακή ενέργεια την οποία εκμεταλλεύονται ώστε να παραχθεί η επιθυμητή ενέργεια. Με τον όρο ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε στην ενέργεια που προέρχεται από τον Ήλιο με την μορφή φωτεινής ενέργειας, θερμότητας και ακτινοβολίας οι οποίες στην συνέχεια δύνανται να μετατραπούν με την σειρά τους σε άλλες μορφές ενέργειας.

Στην Ελλάδα αυτή η μορφή ενέργειας προσφέρεται απεριόριστα και δικαίως διεκδικεί μερίδιο στο ενεργειακό μίγμα της χώρας. Η μέση ημερήσια ηλιακή ενέργεια της Ελλάδας ανέρχεται στα 4,6 kWh/m² και μπορεί να αξιοποιηθεί είτε με θερμικές εφαρμογές, όπως την θέρμανση νερού και χώρων και την μετατροπή του νερού σε ατμό, είτε με φωτοβολταϊκές εφαρμογές κατά τις οποίες η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με την χρήση κυψελών και συστοιχιών [13].

2.1 Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκών

Η ιστορία των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε το 1839 από τον Γάλλο επιστήμονα Becquerel ο οποίος μελετώντας τις χημικές αντιδράσεις διαφόρων ενώσεων παρατήρησε ότι κάποια μίγματα απέδιδαν μεγαλύτερη ηλεκτρική έξοδο όταν τα εξέθετε στο ηλιακό φως. Στην συνέχεια το 1870 ο φυσικός Χερτς μελέτησε το φαινόμενο στα στερεά υλικά και συγκεκριμένα στο σελήνιο στο οποίο και βρήκε αποδόσεις της τάξεως του 1 - 2 %.

Το 1937 κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκό στοιχείο από θειούχο μόλυβδο, το 1939 από σελήνιο με απόδοση 1 %, ενώ μόλις το 1941 κατασκευάστηκε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από πυρίτιο. Στην δεκαετία 1940 - 1950 ο Τσοχράλσκι ανέπτυξε τη διαδικασία παραγωγής μονοκρυστάλλων πυριτίου υψηλής καθαρότητας που έφτανε σε απόδοση κοντά στο 4 %. Το 1954 οι Fuller, Pearson, Charin κατασκεύασαν τον πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο με σχηματισμό επαφής p - n, με διάχυση και απόδοση 6 %. Αυτή η ανακάλυψη ουσιαστικά ευθύνεται για την πιο γενικευμένη χρήση των φωτοβολταϊκών. Το 1956 έγιναν εμπορικές κατασκευές κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο με απόδοση 5 - 10 % και πολύ μεγάλο κόστος.

Από τότε μέχρι και σήμερα, και ειδικά μετά την κρίση του πετρελαίου το 1973 - 1974, τα φωτοβολταϊκά έχουν χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση του φωτομέτρου, για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς και σε δορυφόρους είτε ως μερική πηγή ενέργειας είτε και ως μοναδική πηγή ενέργειας [14].

2.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά κελιά μπορούν να φτιαχτούν με διάφορους τρόπους και υλικά. Το πιο κοινό υλικό για την κατασκευή πάνελ είναι το πυρίτιο, το οποίο έχει ημιαγωγικές ικανότητες.

Στην αγορά κυριαρχούν τρία είδη τεχνολογιών φωτοβολταϊκών κελιών και αυτά είναι το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και του λεπτού υμενίου.

Οι φωτοβολταϊκές τεχνολογίες υψηλότερης απόδοσης, συμπεριλαμβανομένου του αρσενίου του γαλλίου και των κυψελών πολλαπλών συνδέσεων είναι λιγότερο συχνές λόγω του υψηλού κόστους τους αλλά είναι ιδανικές για χρήση σε συστήματα που απαιτείται μέγιστη απόδοση σε περιορισμένο χώρο, όπως για παράδειγμα σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε διαστημικές εφαρμογές [15].

2.2.1 Ημιαγωγοί

Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που έχει ειδική αντίσταση με τιμές ανάμεσα σε αυτές των μονωτών (μεγάλη) και των αγωγών (μικρή) και που εμφανίζει ραγδαία μείωση της ειδικής του αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας του [16].

Τα ηλεκτρόνια στα κρυσταλλικά στερεά μπορούν να υπάρξουν μόνο σε σαφώς καθοριζόμενες ενεργειακές ζώνες. Οι προσμίξεις ή οι κρυσταλλικές ατέλειες δεν υπακούουν στον περιορισμό αυτό. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα θεμελιώδη κανόνα των ηλεκτρονικών ιδιοκτητών που χαρακτηρίζουν τα ημιαγωγιμα υλικά [17].

Διακρίνονται σε ενδογενείς και εξωγενείς ημιαγωγούς. Στους ενδογενείς, η ηλεκτρική συμπεριφορά βασίζεται στην υπάρχουσα ηλεκτρονική δομή των καθαρών υλικών. Στους εξωγενείς, η ηλεκτρική συμπεριφορά υπαγορεύεται από άτομα προσμίξεων και έτσι προκύπτουν οι εξωγενείς ημιαγωγοί τύπου n και p. Στους ημιαγωγούς τύπου n η συγκέντρωση ηλεκτρονίων είναι πολύ μεγαλύτερη από την συγκέντρωση οπών, δηλαδή $n \gg p$. Αντίστοιχα στους τύπους p η συγκέντρωση οπών είναι πολύ μεγαλύτερη από την συγκέντρωση ηλεκτρονίων, δηλαδή $p \gg n$ [18] [19].

Στα ημιαγωγιμα υλικά ενσωματώνονται προσμίξεις άλλων στοιχείων και αποκτούν την ιδιότητα να εμφανίζουν μικρή τάση στα άκρα τους όταν πέσει πάνω τους ηλιακή ακτινοβολία ή φωτιστούν από κάποια άλλη πηγή φωτός.

Η τάση αυτή στη περίπτωση φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι 0,5V δηλαδή πολύ μικρή. Για το λόγο αυτό συνδέονται πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία μαζί και σχηματίζουν την φωτοβολταϊκή συστοιχία, οπότε η παραγόμενη τάση είναι μεγαλύτερη [20].

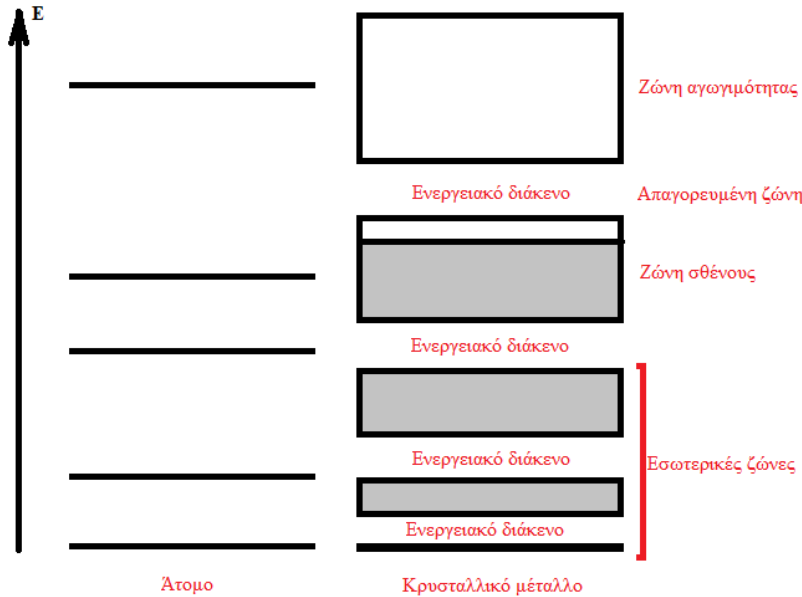
2.2.2 Ζώνη αγωγιμότητας - Ζώνη σθένους

Ως ενεργειακή ζώνη ορίζεται μια ζώνη επιτρεπτών ενεργειακών καταστάσεων. Οι ενεργειακές περιοχές μεταξύ των ενεργειακών ζωνών είναι απαγορευμένες για τα ηλεκτρόνια του στερεού και λέγονται ενεργειακά χάσματα [21].

Ανάλογα με το αν είναι κατειλημμένη στάθμη των ατόμων που σχηματίζουν το στερεό είναι πλήρως κατειλημμένη ή μη πλήρως, η τελευταία ενεργειακή ζώνη θα είναι επίσης πλήρως ή μη πλήρως κατειλημμένη. Αν μια ζώνη είναι πλήρως κατειλημμένη τα ηλεκτρόνια της δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην αγωγιμότητα του υλικού, δηλαδή δεν μπορούν να πάρουν ενέργεια από εξωτερική πηγή ή ηλεκτρικό πεδίο και να κινηθούν, αφού δεν υπάρχουν για αυτά διαθέσιμες ενεργειακές καταστάσεις κοντά στις συμπληρωμένες. Έτσι η αγωγιμότητα του κάθε υλικού οφείλεται μόνο στα ηλεκτρόνια της τελευταίας ζώνης, αν αυτή δεν είναι πλήρως κατειλημμένη. Η τελευταία αυτή μη πλήρως κατειλημμένη ζώνη

λέγεται ζώνη αγωγιμότητας και τα ηλεκτρόνια της ηλεκτρόνια αγωγιμότητας. Η αμέσως χαμηλότερη πλήρως κατειλημμένη ζώνη λέγεται ζώνη σθένους.

Η ενέργεια της τελευταίας κατειλημμένης κατάστασης στο στερεό λέγεται ενέργεια Fermi του στερεού.



Εικόνα 2.1 Ενεργειακές ζώνες και στάθμες

Ανάλογα με το αν η τελευταία ενεργειακή ζώνη τους είναι πλήρως κατειλημμένη ή μη πλήρως τα υλικά διακρίνονται σε μονωτές, αγωγούς και ημιαγωγούς. Στους αγωγούς η τελευταία ζώνη δεν είναι πλήρως κατειλημμένη. Έτσι, τα ηλεκτρόνια της, ειδικά αυτά που βρίσκονται κοντά στην ενέργεια Fermi, με μια πολύ μικρή θερμοκρασία διέγερσης ή εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, μπορούν να κινηθούν, έχοντας ως αποτέλεσμα το υλικό να είναι αγωγίμο. Στους μονωτές δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια στην ζώνη αγωγιμότητας και η ζώνη σθένους είναι πλήρως κατειλημμένη και με μεγάλη απόσταση από τη ζώνη αγωγιμότητας, άρα είναι δύσκολο να μεταφερθούν ηλεκτρόνια από ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας έπειτα από θερμική διέγερση ή με μέτρια ηλεκτρικά πεδία. Στους ημιαγωγούς το χάσμα είναι πολύ μικρότερο με αποτέλεσμα να συμπεριφέρονται ως αγωγοί σε συνηθισμένες θερμοκρασίες.

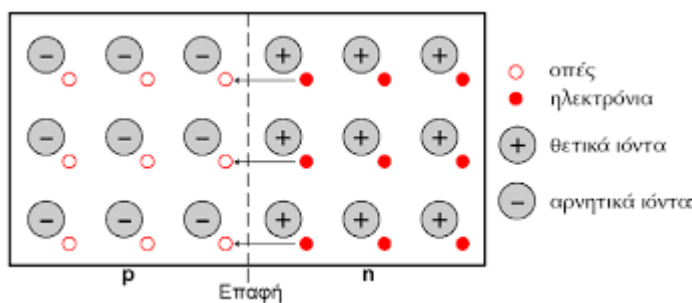
Στους ημιαγωγούς τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας αφήνοντας κενές θέσεις. Αυτές ονομάζονται οπές και μπορούν να καταλαμβάνονται από γειτονικά ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους και να συνεισφέρουν έτσι στην αγωγιμότητα του υλικού. Ως αποτέλεσμα προκύπτει αγωγιμότητα και στην ζώνη σθένους. Στους ημιαγωγούς έχουμε δύο ειδών φορείς αγωγιμότητας : τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στην ζώνη αγωγιμότητας και τις οπές στην ζώνη σθένους. Σε έναν ημιαγωγό χωρίς προσμίξεις ο αριθμός των εξωτερικών ηλεκτρονίων είναι ίσως με τον αριθμό οπών [22].

2.2.3 Επαφή p-n

Η επαφή p-n στην ηλεκτρονική είναι η διεπαφή μέσα σε διόδους, τρανζίστορ και άλλες συσκευές ημιαγωγών μεταξύ δύο διαφορετικών τύπων υλικών που ονομάζονται τύπου p και n. Αυτά τα υλικά σχηματίζονται από την σκόπιμη προσθήκη ακαθαρσιών σε καθαρά υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα άτομα των ημιαγωγίμων υλικών συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς, οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν υπό την επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν κενές θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς p). Οι ημιαγωγοί τύπου p περιέχουν οπές, κενές θέσεις κινητών στην ηλεκτρονική δομή που προσομοιώνουν θετικά φορτισμένα σωματίδια, ενώ οι ημιαγωγοί τύπου n περιέχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Οι σημαντικότερες ιδιότητες των διατάξεων ημιαγωγών, προέρχονται από την διάχυση φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών είναι η ένωση p - n η οποία σχηματίζεται όταν έρθουν σε επαφή ένα τμήμα ημιαγωγού p διαχέεται προς το τμήμα τύπου n. Τότε μέρος από τις οπές του τμήματος τύπου p διαχέεται προς το τμήμα τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τμήματος τύπου n διαχέεται προς το τμήμα τύπου p όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι επίσης πολύ λιγότερα.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια περιοχή στην οποία υπάρχουν λίγοι φορείς αγωγιμότητας, η οποία ονομάζεται ζώνη εξάντλησης φορέων ή περιοχή αραίωσης. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα παραμένουν στην περιοχή n και τα αρνητικά στην περιοχή p. Έτσι δημιουργείται στο εσωτερικό των ημιαγωγών ένα ηλεκτροστατικό πεδίο, το οποίο αντιτίθεται στην κίνηση των φορέων αγωγιμότητας με συνέπεια η παραπάνω διάχυση να μη συνεχίζεται επ'άπειρον. Η αποκατάσταση της ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις φορέων μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών.



Εικόνα 2.2 Επαφή p - n

Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μια ένωση p-n και από μια ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται διάδος. Η διάδος μπορεί να είναι είτε ορθά είτε ανάστροφα πολωμένη. Στην πρώτη περίπτωση ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με το τμήμα τύπου n της διόδου και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p ενώ στην δεύτερη περίπτωση ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με το τμήμα τύπου p και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου n [23][24].

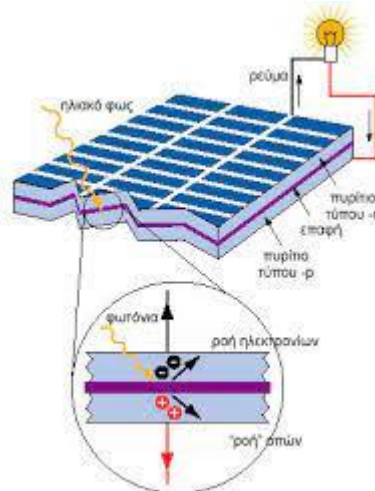
Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει ευκολότερα σε μια τέτοια επαφή προς την μία κατεύθυνση παρά στην άλλη. Εάν ο θετικός πόλος μιας μπαταρίας είναι συνδεδεμένος με την πλευρά p της επαφής και ο αρνητικός πόλος με την πλευρά n, τα επίπεδα Fermi των δύο υλικών μετατοπίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να προάγουν την ροή φορτίου κατά μήκος της επαφής. Εάν η μπαταρία είναι συνδεδεμένη προς την αντίθετη κατεύθυνση, μια αντίστροφη μετατόπιση επιπέδων Fermi αντιτίθεται σε ένα επαγόμενο πεδίο και μπορεί να ρέει πολύ μικρό φορτίο. Αυτή η ιδιότητα της p-n επαφής ονομάζεται rectification και χρησιμοποιείται σε ανορθωτές για την μετατροπή AC σε DC ρεύμα [25] [26].

2.2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι μια διαδικασία που παράγει τάση ή ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο όταν αυτό εκτίθεται στο φως του ήλιου και είναι το φαινόμενο που κάνει τα ηλιακά πάνελ χρήσιμα καθώς έτσι τα κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο πρωτοανακαλύφθηκε από τον Έντμοντ Μπεκερέλ.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο συμβαίνει στα ηλιακά κύτταρα. Τα ηλιακά κύτταρα αποτελούνται από δύο είδη ημιαγωγών, έναν p και έναν n φορέα που ενώνονται και έτσι προκύπτει μια p-n επαφή. Με αυτή την ένωση των ημιαγωγών δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή της ένωσης καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται στην θετική πλευρά p και οι οπές στην αρνητική n πλευρά.

Το φως αποτελείται από φωτόνια, μικρά κβάντα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή ενέργειας. Αυτά τα φωτόνια μπορούν να απορροφηθούν από ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο. Όταν φως κατάλληλου μήκους κύματος προσπίπτει στα κύτταρα, ενέργεια από το φωτόνιο μεταφέρεται σε ένα άτομο ημιαγωγού υλικού στην επαφή p - n. Συγκεκριμένα η ενέργεια μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια του υλικού. Αυτό προκαλεί τα ηλεκτρόνια να μεταπηδήσουν στην υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση (ζώνη αγωγιμότητας), δημιουργώντας έτσι μια οπή.



Εικόνα 2.3 Κύκλος φωτοβολταϊκού φαινομένου

Όταν δεν διεγείρονται τα ηλεκτρόνια συγκρατούν το ημιαγωγό υλικό μαζί σχηματίζοντας δεσμούς με τα περιβάλλοντα άτομα και έτσι δεν μπορούν να κινηθούν.

Ωστόσο στην διεγερμένη τους κατάσταση στη ζώνη αγωγιμότητας αυτά τα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να κινούνται μέσα στο υλικό. Λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που υπάρχει ως αποτέλεσμα της επαφής p - n, τα ηλεκτρόνια και οι οπές κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αντί να έλκεται από την πλευρά p, το απελευθερωμένο ηλεκτρόνιο κινείται προς την πλευρά n. Αυτή η κίνηση του ηλεκτρονίου δημιουργεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα στο κύτταρο. Μόλις το ηλεκτρόνιο κινείται δημιουργεί την οπή η οποία μπορεί να κινηθεί αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση προς την πλευρά p. Αυτή η διαδικασία είναι υπεύθυνη για την δημιουργία του ρεύματος στο κύτταρο [27].

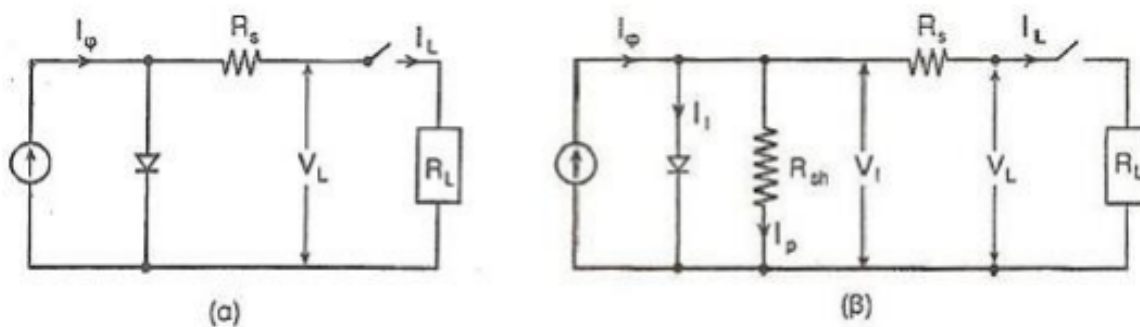
2.2.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελεί την ελάχιστη δομική μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την φωτεινή ακτινοβολία. Τα συνήθη εμπορικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από διόδους επαφής p - n και έχουν εμβαδόν φωτιζόμενης επιφάνειας που ποικίλει από λίγα cm^2 μέχρι περίπου $180 cm^2$ [28].

2.2.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων

- Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου

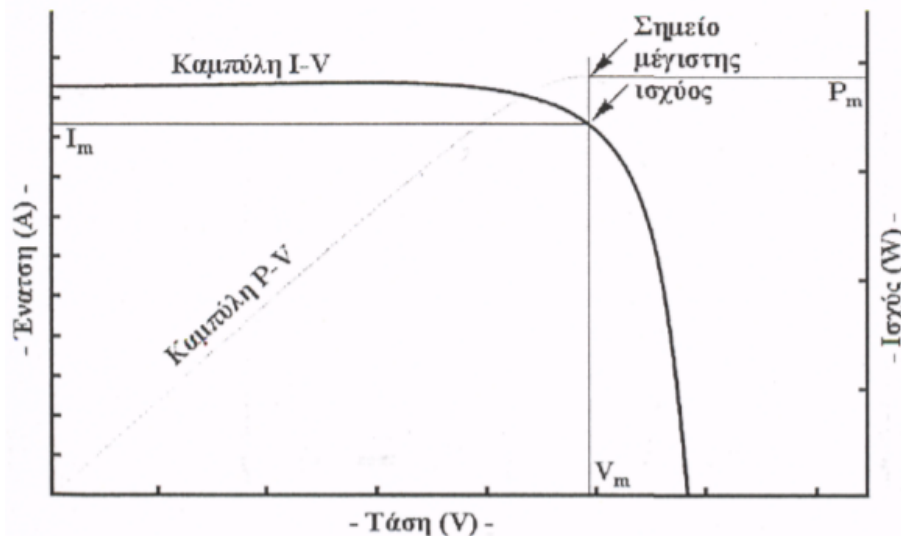
Το ισοδύναμο ηλεκτρικού κυκλώματος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Η πηγή εντάσεως παράγει το φωτόρευμα I_{ph} το οποίο είναι ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην συνέχεια του κυκλώματος τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της δίοδου καθώς και την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της δίοδου (αντίσταση σε σειρά με δίοδο). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται αντίστοιχα το απλοποιημένο και το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Σχήμα 2.4 Απλοποιημένο (α) και πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα (β) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

- Καμπύλη V - I ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος - τάσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου προκύπτει από τα σημεία λειτουργίας του τετάρτου τεταρτημορίου της γενικευμένης καμπύλης. Από το παρακάτω γράφημα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι:



Εικόνα 2.5 Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος - τάσης

- Η μέγιστη ισχύς λαμβάνεται ως η μέγιστη μετρούμενη ισχύς. Ωστόσο τα βέλτιστα αποτελέσματα τα λαμβάνουμε στο 80% της μέγιστης ισχύος και τάσης [29]. Πλέον όταν αναφερόμαστε στην μέγιστη ισχύ ($P_m = V_m \cdot I_m$) θα εννοούμε το “γόνατο” της καμπύλης $V - I$ και συγκεκριμένα στο σημείο MPP (Maximum Power Point)
- Στο σημείο μέγιστη τάσης η τάση αυτή καλείται τάση ανοιχτοκυκλώματος (V_{OC}) και λαμβάνεται όταν οι επαφές του στοιχείου είναι αποσυνδεδεμένες.
- Στο σημείο μέγιστης έντασης οι επαφές του στοιχείου είναι συνδεδεμένες με ιδανικό αγωγό και το ρεύμα που το διαρρέει καλείται ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{SC})
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρώς μέχρι να φτάσει σε μια γωνία και από εκείνο το σημείο και μετά μειώνεται απότομα μέχρι να φτάσει το μηδέν.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης - ρεύματος μετατοπίζονται προς τα πάνω (δηλαδή αυξάνεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης) όσο αυξάνεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και δεξιά (δηλαδή αυξάνεται η τάση ανοιχτοκύκλωσης) όσο μειώνεται η θερμοκρασία [30].

2.3 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων

2.3.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα πρώτα διαθέσιμα στο εμπόριο ηλιακά κύτταρα κατασκευάστηκαν από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο το οποίο είναι μια εξαιρετικά καθαρή μορφή πυριτίου. Για την

παραγωγή αυτών ένας κρύσταλλος τραβιέται από μια μάζα λιωμένου πυριτίου δημιουργώντας ένα κυλινδρικό πλίνθωμα με μια ενιαία, συνεχή δομή κρυσταλλικού πλέγματος. Αυτός ο κρύσταλλος στην συνέχεια πριονίζεται μηχανικά σε λεπτές φέτες γνωστές ως wafers, γυαλίζεται και επικαλύπτεται για να δημιουργηθεί η απαιτούμενη ένωση p - n. Μετά από μια αντιανακλαστική επίστρωση και τις μπροστινές και οπίσθιες μεταλλικές επαφές προστίθενται το κελί. Εν τέλει αυτό καλωδιώνεται και συσκευάζεται μαζί με πολλές άλλες κυψέλες σε ένα πλήρες ηλιακό πάνελ.

Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου είναι εξαιρετικά αποδοτικά αλλά η διαδικασία κατασκευής τους είναι αργή και απαιτεί αρκετή ενέργεια καθιστώντας τα πιο ακριβά από τα αντίστοιχα πολυκρυσταλλικών υμενίων [15].

2.3.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο σε αντίθεση με την ενιαία δομή του μονοκρυσταλλικού, περιέχει πολλούς μικρούς κόκκους κρυστάλλων. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου μπορούν να κατασκευαστούν με μια απλή χύτευση σε σχήμα κύβου από τηγμένο πυρίτιο. Στην συνέχεια, πριονίζονται και συσκευάζονται παρόμοια με τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα. Μια άλλη μέθοδος γνωστή και ως edge - defined film-fed growth (EFG) περιλαμβάνει την σχεδίαση μιας λεπτής κορδέλας από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο από μια μάζα λιωμένου πυριτίου.

Μια φθηνότερη αλλά λιγότερο αποτελεσματική εναλλακτική λύση, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κύτταρα πυριτίου κυριαρχούν στην παγκόσμια αγορά αντιπροσωπεύοντας το 70% της παγκόσμιας παραγωγής φωτοβολταϊκών το 2015 [15].

2.3.3 Λεπτό υμένιο

Τα πάνελ λεπτού υμενίου είναι εύκολα στην εγκατάσταση, ευλύγιστα και με διάρκεια ζωής που αγγίζει τα 25 χρόνια [29]. Διακρίνονται ανάλογα το υλικό κατασκευής τους σε :

- *Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)*

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επίστρωσης. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS.

- *Άμορφο πυρίτιο*

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση πυριτίου πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της

μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.

- *Τελλουριούχο κάδμιο*

Το τελλουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φτάσει το 16%.

Ωστόσο δεν χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της πιθανής καρκινογόνου δράσης του καδμίου και της έλλειψης τελλουρίου.

- *Αρσενικούχο γάλλιο*

Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και πλησιάζει το 29%.

Επίσης είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες και σε υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Εξαιτίας αυτού η χρήση τους επικεντρώνεται σε εφαρμογές συγκεντρωτικών συστημάτων και σε διαστημικές εφαρμογές.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού υποστρώματος [31].

2.3.4 Διπλής όψεως

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών διπλής όψεως προέκυψε από τις διαστημικές ανάγκες καθώς η μόνη πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή και για την υποστήριξη των οργάνων τους χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκές κυψέλες. Προκειμένου οι δορυφόροι με τα panels να είναι ενεργειακά αυτόρχεις, επινοήθηκε η τεχνική λείανσης της κυψέλης και από την πίσω πλευρά και το κλείσιμο της σε “σάντουιτς τζάμι - τζάμι”. Αυτή η επινοήση οδήγησε σε ένα προϊόν που αποδίδει περισσότερη ενέργεια από μικρότερη επιφάνεια. Η απόδοση των

φωτοβολταϊκών συστημάτων αποδίδει περισσότερη ενέργεια από μικρότερη επιφάνεια. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από την χρονική διάρκεια που θα “βλέπουν” τον Ήλιο κάθετα.

Τα συμβατικά panels αξιοποιούν μέρος μόνο της προσφερόμενης ηλιακής ενέργειας αφού είναι ενεργά από την μία όψη μόνο, η οποία ενεργοποιείται όταν ο Ήλιος βρίσκεται στο νότιο μισό του ορίζοντα και σε μία περιοχή 150°. Αντίθετα τα bi-facial-winsel επιπλέον εκμεταλλεύονται:

- α) το χρόνο που ο ήλιος βρίσκεται βόρεια του νοητού άξονα ανατολής - δύσης και που κατά τη θερινή περίοδο είναι πάνω από 7 ώρες ημερησίως.
- β) την ακτινοβολία που διαχέεται στο περιβάλλον και
- γ) αυτή που ανακλάται [20]

2.3.5 Ταινίας Πυριτίου

Πρόκειται για μια νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων η οποία προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κυψελών πυριτίου. Η απόδοση αυτού του είδους είναι περίπου 12 - 13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά [32].

2.4 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών

Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών είναι η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο χρήσης χωρίς την ανάγκη μεταφοράς της. Ως αποτέλεσμα δεν υπάρχουν απώλειες λόγω της μεταφοράς. Άλλα πλεονεκτήματα είναι τα παρακάτω :

- Μηδενική ρύπανση της ατμόσφαιρας και έκλυση ροπών και αποβλήτων,
- Αθόρυβη λειτουργία,
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (20 - 25 χρόνια),
- Ελάχιστο κόστος συντήρησης και λειτουργίας τα οποία επικεντρώνονται κυρίως στις φθορές των μπαταριών και στον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών στοιχείων,
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης τους σε οροφές, προσόψεις κτιρίων ως κύρια δομικά στοιχεία,
- Δυνατότητα επέκτασης του συστήματος ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις ενώ ταυτόχρονα μπορεί να γίνει και συνδυασμός με άλλες πηγές ενέργειας ώστε να δημιουργηθούν υβριδικά συστήματα,
- Δυνατότητα αποθήκευσης της παραγωγής της παραγόμενης ενέργειας είτε σε συσσωρευτές είτε και στο ίδιο το δίκτυο.

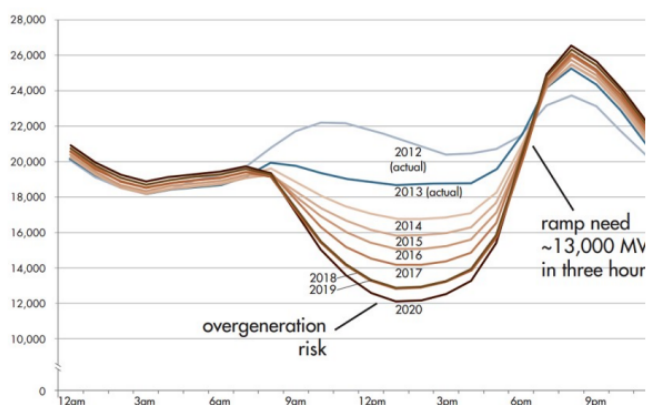
Μέχρι πρότινος το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελούσε το μεγαλύτερο μειονέκτημα για την εξάπλωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας, την αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης και την ευκολότερη πρόσβαση στα υλικά κατασκευής τους το κόστος αυτό μειώνεται. Επιπρόσθετα απαιτούν συνήθως μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο παραγωγής ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας δεν είναι σταθερή λόγω της

εξάρτησης από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες (νεφώσεις, βροχές, ρύπανση αέρα). Σε συνέχεια, κατά τις νυχτερινές ώρες δεν υπάρχει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως στα αυτόνομα συστήματα είναι αναγκαία η χρήση συσσωρευτών. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγουν συνεχή τάση η οποία πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη (DC σε AC) το οποίο επιτυγχάνεται με την χρήση αντιστροφέα και ως αποτέλεσμα υπάρχει απώλεια ενέργειας 4 - 12 %.

2.5 Επιπτώσεις σύνδεσης φωτοβολταϊκών στο δίκτυο

Η υψηλή εισχώρηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο και η με την σειρά της υπερβολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στο δίκτυο κατά την περίοδο χαμηλής ζήτησης από την μεριά των καταναλωτών μπορεί να προκαλέσει το λεγόμενο πρόβλημα της πάπιας καθώς και λειτουργικά προβλήματα στο σύστημα ισχύος αντίστοιχα. Αυτά περιλαμβάνουν την ροή ισχύος, την αύξηση στην απώλεια ισχύος, διακυμάνσεις τάσεις και συχνή λειτουργία των διατάξεων προστασίας [33].

Ως φαινόμενο της πάπιας ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγουν αυξημένα ποσά ενέργειας με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες μονάδες παραγωγής όπως οι λιγνιτικές να υποχρεούνται να σταματήσουν. Η καμπύλη μεγαλώνει όσο αυξάνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Στο παρακάτω διάγραμμα μπορεί κανείς να παρατηρήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα κατά την διάρκεια 2012 -2020. Κατά τις ώρες αιχμής η παροχή της ενέργειας στους καταναλωτές γίνεται όλο και περισσότερο από την εγκατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 2.6 Καμπύλη φαινομένου της πάπιας

Η καμπύλη αυτή εμφανίζεται σε δύο φάσεις στην διάρκεια της ημέρας και ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα στα συστήματα. Αρχικά η ενέργεια που παράγεται τις πρωινές ώρες μπορεί να είναι υπερβολική και να οδηγήσει σε περικοπή της από τα φωτοβολταϊκά το οποίο με την σειρά του θα μειώσει τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη [34]. Η δεύτερη φάση είναι στην αρχή του απογεύματος όπου η παραγωγή μειώνεται και η ανάγκη για περισσότερη ενέργεια μπορεί να είναι επιζήμια για τις γεννήτριες του συστήματος [30][35].

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων έχουν θεσπιστεί όρια στην εξαγόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα στο δίκτυο ενέργειας αλλά και μειωμένη τιμολόγηση της ενέργειας (FiT) [33].

2.5.1 Βυθίσεις τάσης

Βύθιση τάσης είναι μια μικρής διάρκειας μείωση της ενεργού τιμής της τάσης είτε λόγω της σύνδεσης μεγάλων κινητήρων είτε λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο η οποία όμως αποκαθίσταται μετά από μια μικρή χρονική περίοδο και έχει διάρκεια από μερικούς κύκλους έως μερικά δευτερόλεπτα. Μειώσεις τάσης σε ποσοστό λιγότερο από 10% (λειτουργεί τουλάχιστον το 90% της ονομαστικής τάσης V_c) δεν θεωρούνται βυθίσεις τάσης.

Οι βυθίσεις τάσης στα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός από τις εσωτερικές επιπτώσεις (υπερένταση, αστάθεια) μπορούν να προκαλέσουν διαταραχές στο δίκτυο. Μετά από μια βύθιση τάσης, ιδιαίτερα στην περίπτωση μεγάλου ποσοστού διείσδυσης κατανεμημένης παραγωγής (μεγάλο ποσοστό διασυνδεδεμένων στο δίκτυο φωτοβολταϊκών συστημάτων), ενδέχεται να προκληθεί απώλεια παραγωγής. Στο επίπεδο διανομής οι εγκαταστάσεις κατανεμημένης παραγωγής είναι πολύ μικρότερες αλλά περισσότερο διαδεδομένες, επομένως μια διαταραχή στο επίπεδο μεταφοράς μπορεί να διαδοθεί πέρα από ένα ευρύ τμήμα της περιοχής και να οδηγήσει σε απώλεια ενός ουσιαστικού μέρους της κατανεμημένης φωτοβολταϊκής παραγωγής [23][35].

2.5.2 Ανυψώσεις τάσης

Η ανύψωση τάσης ως φαινόμενο συναντάται κυρίως σε μικρές κατοικίσιμες περιοχές οι οποίες έχουν κοινό μετασχηματιστή για τον διαμοιρασμό της ενέργειας και αντιστοιχεί σε μια προσωρινή αύξηση της τάσης γύρω στο 1,1 α.μ. Οι ανυψώσεις τάσης σχετίζονται με τις καταστάσεις σφάλματος των ηλεκτρικών συστημάτων και ενδέχεται να προκληθούν λόγω της διακοπτικής λειτουργίας (σύνδεση - αποσύνδεση) μεγάλων φορτίων ή την ενεργοποίηση μεγάλης συστοιχίας πυκνωτών. Οι ανυψώσεις τάσης είναι λιγότερο κοινές σε σχέσεις με τις βυθίσεις τάσης, ειδικά όσον αφορά γειωμένα συστήματα.

Παρατεταμένες περίοδοι υπέρτασης μπορούν να μειώσουν την διάρκεια ζωής των οικιακών συσκευών. Η ανύψωση τάσης ενδέχεται να προκαλέσει την συχνή λειτουργία των εναλλακτών φόρτισης (on load tap changers - OLTC) και των ρυθμιστών τάσεων γραμμής, μειώνοντας έτσι την ζωή του εξοπλισμού αυτο. Αν η υπέρταση δεν ελεγχθεί και αντιμετωπιστεί και συνεχίσει για μεγάλο χρονικό διάστημα υπάρχει η πιθανότητα να θέσει τον ρυθμιστή τάσης σε λειτουργία εκτός ορίων. Με την σειρά του ο ρυθμιστής τάσης θα οδηγήσει στην μείωση της τάσης στην έξοδο του αντιστροφέα ή ακόμα και την αποσύνδεσή του από το δίκτυο. Ως αποτέλεσμα το σύστημα θα έχει μειωμένη αποδοτικότητα καθώς θα έχει παρουσιαστεί μεγάλη απώλεια ισχύος και άρα απώλεια ενεργού ισχύος η οποία εγχύεται στις γραμμές χαμηλής τάσης [33].

2.5.3 Βραχυκυκλώματα

Τα βραχυκυκλώματα στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταπονούν τον εξοπλισμό που είναι συνδεδεμένος με τον ίδιο κλάδο στον οποίο συμβαίνει το βραχυκύκλωμα και επηρεάζουν ιδιαίτερα τους αντιστροφείς των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα η βύθιση τάσης οδηγεί σε μεγάλες υπερεντάσεις ειδικά στην περίπτωση που δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ρεύματος στον αντιστροφέα. Αντίστοιχα η διακοπή ρεύματος βραχυκυκλώματος θα οδηγήσει σε εκφόρτιση και αποθήκευση της ενέργειας στις χωρητικότητες. Αυτή η απότομη μεταβολή της τάσης θα καταπονήσει τα ηλεκτρονικά στοιχεία του κυκλώματος [36].

2.5.4 Ανώτερες αρμονικές

Η επιθυμητή τάση ενός δικτύου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι καθαρό ημίτονο. Ωστόσο αυτό δεν αντιστοιχεί στις πραγματικές συνθήκες. Ιδιαίτερα στα φωτοβολταϊκά συστήματα δημιουργούνται διαταραχές στο ημίτονο γνωστές και ως αρμονικές. Διακρίνονται σε ανώτερες και ενδιάμεσες αρμονικές και προκαλούν προβλήματα στην ποιότητα ισχύος [37].

Οι ανώτερες αρμονικές είναι ημιτονοειδείς τάσεις ή ρεύματα με συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας στην οποία λειτουργεί το σύστημα τροφοδοσίας (θεμελιώδης συνιστώσα) και συνήθως είναι 50 Hz ή 60 Hz. Τα μη γραμμικά φορτία στην χαμηλή και μέση τάση ευθύνονται κατά κύριο λόγο στην δημιουργία ανώτερων αρμονικών.

Οι ενδιάμεσες αρμονικές είναι τάσεις οι οποίες ωστόσο δεν είναι με συχνότητες ακέραιου πολλαπλάσιου της συχνότητας λειτουργίας. Ενδέχεται να ανιχνευτούν ως διακριτές συχνότητες ή και ως φάσμα ευρείας ζώνης. Όταν τα ημιαγώγιμα στοιχεία ενός κυκλώματος και οι μετασχηματιστές που ενδέχεται να υπάρχουν στο κύκλωμα δεν είναι σε κατάσταση κορεσμού τότε γίνεται διαμόρφωση του πλάτους του ρεύματος φορτίου.

Οι ανώτερες και οι ενδιάμεσες αρμονικές επηρεάζουν τόσο τον εξοπλισμό της εγκατάστασης όσο και τους καταναλωτές. Τα πιο συνηθισμένα προβλήματα είναι μεταβολές στην τάση RMS και διακύμανση της τάσης, θερμικές επιπτώσεις στα στοιχεία και αστοχίες στους αντιστροφείς [38].

Κεφάλαιο 3 - Συσσωρευτές **ενέργειας**

Ο συσσωρευτής είναι μια διάταξη που αποθηκεύει χημική ενέργεια και σε συνέχεια την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να ηλεκτροδοτείται ένα κύκλωμα. Σε αρκετές περιπτώσεις οι μπαταρίες μπορούν να εξομαλύνουν την έξοδο από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αν και αυτή τους η ικανότητα είναι περιορισμένη καθώς η υψηλή ισχύς που απαιτείται από το φορτίο δύναται να τις βλάψει.

Ένας συσσωρευτής σχεδιάζεται και κατασκευάζεται για μια συγκεκριμένη χρήση. Για την κάθε εφαρμογή είναι απαραίτητο να καθορίζονται τα ακριβή χαρακτηριστικά του συσσωρευτή, τα οποία προδιαγράφουν και τις απαιτήσεις στις ηλεκτροδιακές διατάξεις και οριοθετούν το σύνορο του κελιού. Ανάλογα με τις λειτουργικές συνθήκες των συσσωρευτών, τα παραπροϊόντα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης των ηλεκτροενεργών στοιχείων ενδέχεται να είναι και αέρια, τα οποία μπορούν να αυξήσουν κατά την φόρτιση την πίεση στο εσωτερικό του δοχείου και για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να απάγονται με ελεγχόμενο τρόπο εκτός των συσσωρευτών μέσω βαλβίδων εξαερισμού. Η λειτουργία του συσσωρευτή εξαρτάται από την κατασκευαστική γεωμετρία του κελιού, από τον σχεδιασμό και την σύσταση όλων των στοιχείων του, αλλά και από την επιλογή των ηλεκτροδιακών αντιδράσεων και την χημική κινητική τους [39].

Η ποικιλία των απαιτήσεων και των βιομηχανικών εφαρμογών οδηγεί σε εύρος προδιαγραφών των συσσωρευτών, ακόμα και όταν πρόκειται για συσσωρευτες το ίδιου τύπου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από έναν συσσωρευτή είναι αποτέλεσμα μιας αυθόρμητης χημικής αλλαγής μέσα στον συσσωρευτή. Τα αντιδρώντα σώματα της οξειδοαναγωγής δεν πρέπει να αντιδρούν άμεσα μεταξύ τους, αλλά πρέπει να καταναλώνονται σε διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό, δηλαδή στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή. Αυτό προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων στο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των πόλων του συσσωρευτή [17].

Όταν ένα σύστημα συσσωρευτών εγκαθίσταται ταυτόχρονα γίνεται εγκατάσταση και του συστήματος ελέγχου του (BTS). Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο ώστε να διατηρεί το κελλί λειτουργικό και ταυτόχρονα να διατηρεί βέλτιστη την διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επομένως είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των ρυθμών φόρτισης και εκφόρτισης, τον υπολογισμό τους και την εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων φόρτισης - εκφόρτισης. Επίσης διατηρεί το σύστημα σε ισορροπία καθώς ελέγχει και την υπερφόρτωση και γρήγορη αποφόρτιση των κελιών [39].

3.1 Είδη μπαταριών

Οι μπαταρίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : πρωτογενείς ή μη επαναφορτιζόμενες, δευτερογενείς ή επαναφορτιζόμενες.

3.1.1 Πρωτογενείς ή μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

Οι μπαταρίες αυτού του είδους δεν έχουν την δυνατότητα αποτελεσματικής επαναφόρτισης και για αυτό το λόγο μετά την εκφόρτιση τους απορρίπτονται. Οι πρωτογενείς συσσωρευτές είναι μια βολική και οικονομική λύση ως πηγή ενέργειας για φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές. Στα πλεονεκτήματά τους εντάσσονται επίσης η μεγάλη διάρκεια ζωής, η ευκολία στην χρήση καθώς και η ελάχιστη έως μηδαμινή συντήρηση.

3.1.2 Δευτερογενείς ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

Οι μπαταρίες αυτού του είδους μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά, μετά την εκφόρτιση τους στην αρχική τους κατάσταση με την διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με δύο τρόπους: ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, συνήθως συνδεδεμένη, και φορτίζεται από μια κύρια πηγή ενέργειας και μεταφέρει την ενέργεια στο φορτίο όταν της ζητηθεί ή ως πρωτογενής μπαταρία με την διαφορά ότι αντί να απορρίπτεται μετά την εκφόρτιση αυτή επαναφορτίζεται [40].

Συμπερασματικά οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι δευτερογενείς.

3.2 Λειτουργία μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τυπικά κατά την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται και σύνδεση με το δίκτυο. Αυτό σημαίνει πως όταν τα ηλιακά πάνελ παράγουν περισσότερη ενέργεια από αυτήν που χρειάζεται ο καταναλωτής, αυτή εισάγεται στο δίκτυο και αντιστοίχως μπορεί να ζητηθεί ενέργεια στην περίπτωση που η παραγόμενη δεν επαρκεί.

Με την χρήση συσσωρευτών αντί να εξαχθεί η περισσευόμενη ενέργεια στο δίκτυο, αυτή χρησιμοποιείται στην φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης ώστε όταν δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια να παρέχεται από τις μπαταρίες και όχι από το δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, αν η μπαταρία είναι πάνω από την ελάχιστη τάση και η ισχύς των φωτοβολταϊκών δεν είναι αρκετή για να ικανοποιήσει το φορτίο, η παραγωγή των φωτοβολταϊκών θα πάει απευθείας στο φορτίο και η μπαταρία αποφορτίζεται. Αντίθετα, αν η φωτοβολταϊκή ισχύς είναι κάποια στιγμή υψηλότερη από το φορτίο, η απαιτούμενη ισχύς παρέχεται εξ'ολοκλήρου από το φωτοβολταϊκό και η μπαταρία φορτίζει ξανά [39].

Η χρήση μπαταριών στο φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα:

- *Οι μπαταρίες παρέχουν εφεδρική ισχύ*

Σε περίπτωση διακοπής ρεύματος σε μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος χωρίς μπαταρίες δεν υπάρχει παροχή ρεύματος ακόμα και αν είναι μέρα ώστε να μην “σταλεί” ρεύμα στις γραμμές μεταφοράς από το σύστημα και θέσει σε κίνδυνο οποιούς εργάζονται για την επίλυση της βλάβης εκείνη την δεδομένη χρονική στιγμή.

Οι μπαταρίες μπορεί να παρέχουν εφεδρική ισχύ σε κάποια τμήματα του σπιτιού και όχι σε όλη την κατοικία. Εκτός αν έχει γίνει εγκατάσταση ενός έξυπνου πάνελ μαζί με την μπαταρία, οι περισσότερες εγκαταστάσεις απαιτούν να επιλέξεις ποια φορτία θές να τροφοδοτήσεις και τα συνδέεις σε ένα κρίσιμο φορτίο στον πίνακα. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα να “στοιβαχτούν” μπαταρίες μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή χωρητικότητα για όσα φορτία χρειαστούν τροφοδοσία σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

- *Οι μπαταρίες μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή υψηλών ποσοστών χρησιμότητας*

Υπάρχουν δύο τρόποι που μπορεί να επιτευχθεί αυτό. Αρχικά κατά την διάρκεια που το βοηθητικό πρόγραμμα έχει υψηλότερη χρέωση, δηλαδή κατά τις ώρες αιχμής, μπορεί να γίνει χρήση της μπαταρίας. Κατά δεύτερον, εάν ο καταναλωτής βρίσκεται σε μια τιμή με χρέωση ζήτησης, η οποία είναι πιο χαρακτηριστική για τις εμπορικές και βιομηχανικές εταιρείες παρά για ιδιοκτήτες κατοικιών, μια μπαταρία μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της ζήτησης κάθε μήνα [41].

Διακρίνονται δύο είδη τύπων αποθήκευσης μπαταριών : η AC αποθήκευση και η DC αποθήκευση.

- *AC coupled storage*

Συνήθως αυτοί οι τύποι μπαταριών αποθηκεύουν ενέργεια τόσο από την ηλιακή ακτινοβολία όσο και από το δίκτυο. δύνανται να παρέχουν ενέργεια ακόμα και όταν το δίκτυο είναι εκτός λειτουργίας όπως σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Συγκριτικά ακριβό, επιτρέπει την άντληση ενέργειας και από άλλες πηγές. Ένα παράδειγμα είναι ότι μπορεί να επιτρέψει στους ιδιοκτήτες σπιτιών να αντλήσουν ενέργεια από το δίκτυο κατά την διάρκεια χρονικών πλαισίων χαμηλότερης τιμολογιακής ισχύος.

Σε ένα AC σύστημα η μπαταρία είναι ξεχωριστά συνδεδεμένη σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω ενός αντιστροφέα και ενός DC-DC μετατροπέα.

- *DC coupled storage*

Σε ένα DC σύστημα η μπαταρία είναι συνδεδεμένη ανάμεσα στον DC μετατροπέα και τον πραγματικό αντιστροφέα.

Συνοπτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

AC	DC
Αμφίδρομη στην φύση, χρήση και αποθήκευση δικτύου	Μονοκατευθυντικός, αποθήκευση μόνο από ηλιακούς συλλέκτες

Υψηλό κόστος	Χαμηλό κόστος
Προστασία από αποτυχία δικτύου	Το σύστημα παύει να λειτουργεί όταν το δίκτυο είναι εκτός

Μια τυπική εγκατάσταση φωτοβολταϊκών με μπαταρίες λειτουργεί σύμφωνα με τον παρακάτω τρόπο :

Κατά την διάρκεια της ημέρας;

- 1) το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια
- 2) το σύστημα θα ελέγξει αν όλη η παραγωγή ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει την οικία
- 3) όποια περισσευούμενη ενέργεια υπάρχει θα χρησιμοποιηθεί για να φορτίσει την μπαταρία
- 4) αν η μπαταρία έχει ήδη φορτίσει, η περισσευούμενη ενέργεια θα εξαχθεί στο δίκτυο.

Αντίστοιχα κατά την διάρκεια της νύχτας:

- 1) το σύστημα παράγει ελάχιστη ή και καθόλου ενέργεια λόγω της έλλειψης ηλιακής ακτινοβολίας
- 2) η ενέργεια αποκτάται από το σύστημα μπαταριών
- 3) αφού εκφορτιστεί η μπαταρία, η απαιτούμενη ενέργεια θα αποκτηθεί από το δίκτυο.

3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταριών

Για να θεωρηθεί ότι ένας συσσωρευτής λειτουργεί ορθά χρειάζεται να μπορεί να αποδίδει σωστά σε οποιοδήποτε φορτίο συνδεθεί στα άκρα του. Προκειμένου να γίνει αυτό, κατά την διάρκεια μελέτης και σχεδιασμού του συστήματος μελετώνται τα χαρακτηριστικά του. Με αυτόν τον τρόπο εκτιμάται αν ο επιλεγμένος συσσωρευτής είναι ο κατάλληλος. Επίσης τα χαρακτηριστικά αυτά βοηθούν στην σύγκριση των διαφόρων τύπων συσσωρευτών και εν τέλει στην ορθότερη επιλογή του για κάθε εφαρμογή.

3.3.1 Χωρητικότητα

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός συσσωρευτή είναι η χωρητικότητα του δηλαδή το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αποδοθεί από ένα συσσωρευτή υπό συγκεκριμένες [42] και ειδικές συνθήκες. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας εξαρτάται από την ηλικία και μέχρι την δεδομένη στιγμή χρήση της, τους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης και την θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα, χωρητικότητα μιας μπαταρίας ορίζεται η ποσότητα των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων που παράγονται από το ενεργό υλικό του αρνητικού ηλεκτροδίου και καταναλώνονται από το ενεργό υλικό του θετικού ηλεκτροδίου. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι η μετρούμενη χωρητικότητα μιας μπαταρίας ενδέχεται να διαφέρει σε μέγεθος με αυτήν που έχει δώσει ο κατασκευαστής. Η ονομαστική χωρητικότητα ενός ηλεκτροδίου υπολογίζεται από το βάρος του ενεργού υλικού του ηλεκτροδίου (είτε άνοδος, είτε κάθοδος) μέσω του νόμου Faraday :

$$C = \frac{w \cdot n \cdot F}{M}$$

όπου :

- C : η χωρητικότητα ενός ηλεκτροδίου [σε $A \cdot h$]
- w : το βάρος του ενεργού υλικού του ηλεκτροδίου
- n : ο αριθμός των εναλλασσόμενων ηλεκτρονίων
- F : η σταθερά του Faraday
- M : η γραμμομοριακή μάζα του ενεργού υλικού

Η πραγματική χωρητικότητα του συσσωρευτή εξαρτάται από την ποσότητα του ενεργού υλικού το οποίο μπορεί να καταναλωθεί κατά την εκφόρτιση και προσδιορίζεται μόνο πειραματικά.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας εξαρτάται από την ποσότητα των ενεργών υλικών του συσσωρευτή. Ένα πολύ μικρό ηλεκτροχημικό στοιχείο έχει μικρότερη χωρητικότητα από ένα μεγαλύτερο στοιχείο ίδιας χημικής σύστασης.

Άλλος ένα παράγοντας που επηρεάζει την χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι οι ρυθμοί φόρτισης - εκφόρτισης. Στην πραγματικότητα η ονομαστική τιμή της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή προκύπτει πειραματικά από τον χρόνο t_{20} που αντιστοιχεί στην πλήρη εκφόρτιση του συσσωρευτή υπό σταθερό ρεύμα 20A όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του είναι 20°C. Στην περίπτωση αυτή, η χωρητικότητα προκύπτει από το γινόμενο :

$$C = 20 \cdot t_{20}$$

Η διαδικασία της εκφόρτισης δεν είναι μια γραμμική διαδικασία αλλά μια καμπύλη κατά την οποία, το δυναμικό του συσσωρευτή με το πέρας του χρόνου είναι ελαφρώς ελαττωμένο. Όταν ωστόσο το δυναμικό αποκτήσει την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή τάσεως του κελλιού, ($E_{cell-min}$) παρατηρείται απότομη πτώση της καμπύλης αυτής.

Όσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός εκφόρτισης τόσο η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από την μπαταρία μειώνεται. Αυτό γίνεται διότι τα απαραίτητα για την αντίδραση στοιχεία δεν προλαβαίνουν να πάρουν τις απαραίτητες θέσεις. Μόνο ένα κλάσμα των αντιδραστηρίων στοιχείων καταφέρνει να φτάσει στις προβλεπόμενες θέσεις με αποτέλεσμα την μειωμένη παραγωγή ενέργειας.

Αντιθέτως, αν ο συσσωρευτής εκφορτίζεται με πολύ αργούς ρυθμούς χρησιμοποιώντας χαμηλό ρεύμα, μπορεί να εξαχθεί περισσότερη ενέργεια ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης χωρητικότητας.

Οι κατασκευαστές μπαταριών ορίζουν τους ρυθμούς φόρτισης με αντίστοιχους εκφόρτισης και συνδέονται μεταξύ τους με ώρες. Για παράδειγμα η ονομαστική χωρητικότητα για τις μπαταρίες μολύβδου οξέος συνήθως ορίζεται για ρυθμούς 8, 10 ή και 20 ωρών. Για το συγκεκριμένο είδος μπαταριών η πραγματική χωρητικότητα του ηλεκτροδίου ενδέχεται να είναι να είναι αρκετά κάτω από την προβλεπόμενη τιμή λόγω της δημιουργίας $PbSO_4$ κατά την εκφόρτιση, το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλή αγωγιμότητα και δημιουργεί φράγμα μεταξύ του ηλεκτραγώγιμου PbO_2 και του ρευματοσυλλέκτη με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η συνέχεια της αναγωγής. Η χωρητικότητα των μπαταριών μολύβδου οξέος μειώνεται στις χαμηλές θερμοκρασίες λόγω της αυξημένης αντίστασης και επομένως του μειωμένου ρυθμού διάχυσης στον ηλεκτρολύτη [17].

Στις χωρητικότητες των οποίων τα στοιχεία δίνονται από τον κατασκευαστή πρέπει να αναφέρεται η τελική τάση στην οποία αυτές εφαρμόζονται. Οι μπαταρίες που προορίζονται για φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ονομαστική τελική τάση μεταξύ 1,75 V και 1,85V ανά στοιχείο. Όταν συγκρίνονται δύο διαφορετικές μπαταρίες πρέπει οι χωρητικότητες προς σύγκριση να είναι ως προς την ίδια τελική φάση. Όσο πιο μειωμένη είναι η τελική τάση τόσο μεγαλύτερη θα είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την χωρητικότητα είναι και η θερμοκρασία. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες η χωρητικότητα είναι τυπικά και μεγαλύτερη. Ωστόσο η εσκεμμένη αύξηση της θερμοκρασίας δεν είναι αποδοτική μέθοδος βελτίωσης της χωρητικότητας καθώς έτσι μειώνεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Η ηλικία καθώς και τυχόν προηγούμενες χρήσεις της μπαταρίας επηρεάζουν την χωρητικότητα της. Ακόμα και αν οι κατασκευαστικές προδιαγραφές του βάθους εκφόρτισης (ως βάθος εκφόρτισης ορίζεται το ποσό της ενέργειας που διέρχεται σε μια μπαταρία μέσα σε έναν δεδομένο κύκλο) δίνονται, η χωρητικότητα της μπαταρίας θα παραμείνει σε αυτές τις τιμές για έναν περιορισμένο αριθμό κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης. Τέλος προηγούμενες χρήσεις της μπαταρίας θα έχουν είτε οδηγήσει στην μείωση του βάθους εκφόρτισης είτε δεν θα υπάρχουν τα στοιχεία αυτά [17][23].

3.3.2 Δυναμικό - Ρεύμα

Το δυναμικό μεταξύ των πόλων ενός συσσωρευτή εξαρτάται από την αλλαγή της ελεύθερης ενέργειας στη συνολική ηλεκτροχημική αντίδραση του κελιού. Το λαμβανόμενο δυναμικό μεταξύ των πόλων του συσσωρευτή πρέπει να είναι θετικό και υψηλό. Ανάμεσα στο θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο εμφανίζεται διαφορά δυναμικού και κατα συνέπεια το ηλεκτρικό ρεύμα διατίθεται στο κύκλωμα. Ως θεμελιώδης μονάδα της τάσης ή διαφορά δυναμικού ορίζεται το 1V και αντιστοιχεί στην τάση του στοιχείου ή της μπαταρίας και ακολουθεί τον παρακάτω τύπο :

$$E_{cell} = Ee^c - Ee^A - |nA| - |nC| - i \cdot R_{cell}$$

όπου :

- E_{cell} η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο
- Ee^c το δυναμικό της καθόδου ως προς ένα κατάλληλο ηλεκτρόδιο αναφοράς
- Ee^A το δυναμικό της ανόδου ως προς ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς
- $|nA|$ η υπέρταση που παρατηρείται στην άνοδο κατά τα αρχικά στάδια της εκφόρτισης
- $|nC|$ η υπέρταση που παρατηρείται στην κάθοδο κατά τα αρχικά στάδια της εκφόρτισης
- $i \cdot R_{cell}$ η πτώση τάσης στο εσωτερικό του κελιού
- i το ρεύμα εκφόρτισης
- R_{cell} η ηλεκτρική αντίσταση του κελιού, η οποία εξαρτάται από την γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής του κελιού.

Η τάση ισορροπίας ενός στοιχείου είναι η συνάρτηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη και της θερμοκρασίας. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος μπορεί να μετρηθεί

εφόσον κανένα εξωτερικό ρεύμα δεν διαρρέει την μπαταρία, ενώ αντίστοιχα η τάση κλειστού κυκλώματος είναι η τάση του κελιού όταν αυτό είναι υπό φορτίο [17].

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος μιας μπαταρίας εξαρτάται από το πρότυπο δυναμικό των χρησιμοποιούμενων ενεργών υλικών και το ποσό του φορτίου που απομένει. Επίσης μπορεί να ταυτιστεί με την τάση ισορροπίας αν όλες οι εσωτερικές υπερτάσεις έχουν σταθεροποιηθεί. Με τον όρο υπερτάσεις εννοούμε την εκδήλωση μεγάλων αυξήσεων του δυναμικού κατά την λειτουργία του συσσωρευτή και οι οποίες προκαλούνται από διαδικασίες διάχυσης. Πιο συγκεκριμένα η ενεργός μάζα στο θετικό ηλεκτρόδιο πρέπει να ανάγεται πολύ εύκολα ενώ αντίστοιχα η ενεργός μάζα στο αρνητικό ηλεκτρόδιο να οξειδώνεται ταχέως. Οι δύο αυτές αντιδράσεις πρέπει να συμβαίνουν με τον απαιτούμενο ρυθμό χωρίς την εκδήλωση υπερτάσεων ενώ το ηλεκτροχημικό κελί πρέπει να ελαχιστοποιεί την πτώση τάσης στο εσωτερικό του. Για να είναι πραγματοποιήσιμο αυτό αρκεί τα ηλεκτρόδια να είναι κοντά το ένα με το άλλο και ο ηλεκτρολύτης να παρέχει υψηλή αγωγιμότητα.

Ένα στοιχείο μολύβδου οξέος έχει διαφορά δυναμικού κατά κανόνα 2V υπό φορτίο ενώ σε περίπτωση που αυτό είναι πλήρως εκφορτισμένο η διαφορά του μειώνεται στο 1,75V, ανάλογα με τον ρυθμό φόρτισης. Το λίθιο που χρησιμοποιείται εξίσου ως άνοδος σε πρωτογενείς και δευτερογενείς μπαταρίες γιατί προσφέρει το υψηλότερο πρότυπο δυναμικό σε σχέση με τις υπόλοιπες μπαταρίες [43].

Η τελική φάση φόρτισης (end-of-charge voltage) καθορίζει ένα ανώτατο όριο για την τάση. Το ρεύμα φόρτισης μειώνεται κατάλληλα για να διατηρεί την τελική τάση φόρτισης με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα η φόρτιση της μπαταρίας να μην φτάνει σε τερματικό στάδιο.

3.3.3 Στάθμη φόρτισης και βάθος εκφόρτισης

Η στάθμη φόρτισης μιας μπαταρίας εκφράζει την χωρητικότητα που μπορεί να εκφορτιστεί από μια μπαταρία μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και εκφράζεται μέσω ποσοστού. Η εμφάνιση ποσοστού 100% δείχνει μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία, ενώ η εμφάνιση ποσοστού 0% μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Η μέγιστη στάθμη φόρτισης που μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά την φυσιολογική λειτουργία του συστήματος ονομάζεται στάθμη φόρτισης πλήρους ακτινοβολίας [44]. Η στάθμη φόρτισης καθορίζεται από την ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή η οποία ορίζεται ως το η χωρητικότητα για εκφόρτιση 10 ωρών και δεν μεταβάλλεται με το πέρασμα του χρόνου σε αντίθεση με την μετρούμενη χωρητικότητα.

Ως βάθος εκφόρτισης ορίζεται το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Το βάθος εκφόρτισης ενός συσσωρευτή εξαρτάται από τον τύπο της ηλεκτροδικής αντίδρασης και από τις ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος. Η επιλογή του βάθους εκφόρτισης γίνεται ανάλογα με τις ημέρες αυτονομίας. Όταν καθοριστεί το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος φόρτισης των συσσωρευτών, μπορεί να νε εκτιμηθεί και ο αναμενόμενος αριθμός κύκλων λειτουργίας. Για συσσωρευτές τύπου μολύβδου-οξέος το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης επί τον αριθμό των κύκλων λειτουργίας παραμένει σταθερό και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1200 - 1500. Για συσσωρευτές τύπου Νικελίου - Καδμίου αυτή η τιμή γίνεται περίπου 2500.

3.3.4 Κύκλος λειτουργίας

Στην αγορά μπορεί κανείς να βρει τόσο επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές όσο και μη. Οι επαναφορτιζόμενοι προορίζονται για επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης. Ως κύκλος ζωής μια μπαταρίας θεωρείται ο αριθμός των κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης που είναι δυνατόν να υποστεί ένας συσσωρευτής πριν την καταστροφή του. Κατά κανόνα αυτό αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο αριθμό των κύκλων εκφόρτισης για ένα συγκεκριμένο DOD που η μπαταρία μπορεί να πραγματοποιήσει πριν την μείωση της χωρητικότητας στο 80% περίπου της αρχικής τιμής της.

Ο κύκλος ζωής εξαρτάται άμεσα από το βάθος του κάθε κύκλου. Για έναν επαναφορτιζόμενο συσσωρευτή είναι απαραίτητη η αναδόμηση του ενεργού υλικού σε κατάλληλο βαθμό ώστε να παρέχεται επιπλέον εκφόρτιση. Συχνά σχετίζεται με το ποσοστό της κάθε εκφόρτισης και επομένως υποδεικνύει ότι όταν γίνεται συχνά πλήρης εκφόρτιση του συσσωρευτή, καταστρέφονται τα ηλεκτρόδια. Συνεπώς ο συσσωρευτής μπορεί να μην είναι βέλτιστα λειτουργικός ή και να σταματήσει την λειτουργία του [17][23].

3.3.5 Απόδοση

Για την ομαλή και εύρυθμη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι αναγκαία η ύπαρξη επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Για τον έλεγχο της λειτουργίας τους χρειάζεται να οριστεί η έννοια της απόδοσης τους από ενεργειακή άποψη. Ως απόδοση ενός συσσωρευτή ορίζεται ο λόγος των απερ-ωρών που εκφορτίζονται από την μπαταρία προς τις αμπερ-ώρες που απαιτούνται για την φόρτισή του για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόδοση ενέργειας \%} = \frac{100 \cdot \text{Ενέργεια που αποδίδεται στην εκφόρτιση}}{\text{Απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης}}$$

Η ενεργειακή απόδοση συνδέεται με τον βαθμό απόδοσης του ρεύματος των ηλεκτροδιακών αντιδράσεων αλλά και από τις υπερτάσεις κατά τις αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης καθώς και από την ηλεκτρική αντίσταση του συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα για τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος και νικελίου - καδμίου οι χημικές αντιδράσεις όπως η παραγωγή αερίων οξυγόνου από το νερό στο θετικό ηλεκτρόδιο και για τις ανοιχτές μπαταρίες η παραγωγή υδρογόνου από το νερό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο καταναλώνουν το επιπρόσθετο φορτίο και τις υπερτάσεις. Με την έννοια επιπρόσθετο φορτίο εννοούμε τις παραπάνω Ah που χρειάζεται να τροφοδοτηθεί η μπαταρία σχ σχέση με όσες καταναλώνονται λόγω του ότι η αποδοτικότητα των αμπερ-ωρών είναι ελάχιστα μικρότερη της μονάδος [17].

3.3.6 Διάρκεια ζωής

Η γήρανση των ηλεκτροχημικών κελιών των μπαταριών οδηγεί σε μείωση της χωρητικότητας και εξομάλυνση του το οποίο αναφέρεται και ως απώλεια της διαθέσιμης

ενέργειας και ισχύος. Η μείωση της ισχύος της μπαταρίας προκαλείται από την αύξηση της εσωτερικής αντίστασης, η οποία με την σειρά της μειώνει την λειτουργική τάση του κελιού. Καθώς η απώλεια ενέργειας είναι αποτέλεσμα της αλλαγής του ενεργού υλικού σε ανενεργό, η διαδικασία υποβάθμισης ή γήρανσης περιλαμβάνει μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας [23].

3.3.7 Αυτοεκφόρτιση

Ως αυτοεκφόρτιση σε μια μπαταρία ορίζεται η απώλεια φορτίου αν αυτή αφεθεί σε κατάσταση ανοιχτοκυκλώματος για υπολογίσιμο χρονικό διάστημα. Για μπαταρίες επαναφορτιζόμενες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό χωρητικότητας που χάνεται ανά μήνα (θεωρώντας ότι μπαίνει σε λειτουργία ούσα σε συνθήκες πλήρους φόρτισης) και πρέπει να αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας μαζί με την θερμοκρασία της μπαταρίας.

Κατά κανόνα θεωρείται ότι η αυτοεκφόρτιση κυμαίνεται μεταξύ του 1 - 4% ανά μήνα σε θερμοκρασία 20 -25 °C. Η αυτοεκφόρτιση απαιτεί σε σχέση με το φορτίο ελάχιστο ποσοστό επιπρόσθετης φόρτισης [45].

3.3.8 Ρυθμός φόρτισης / εκφόρτισης

Ο ρυθμός φόρτισης είναι ένας τρόπος μέτρησης του ρυθμού με τον οποίο το φορτίο απάγεται από το κελί. Κατά κανόνα αναφέρεται ως C/n ή ως n-ωριαίος ρυθμός ο οποίος είναι το ρεύμα το οποίο εκφορτίζει την ονομαστική χωρητικότητα C του συσσωρευτή σε n ώρες. Γενικά ακολουθείται ο παρακάτω τύπος :

$$\text{Ρυθμός} = \frac{\text{Χωρητικότητα (Ah)}}{\text{Χρόνος (h)}} \quad [17]$$

3.4 Εξαρτήματα συσσωρευτών

Ένας συσσωρευτής ως μονάδα αποτελείται από επιμέρους τμήματα. Τα τμήματα αυτά καθορίζουν και τον τύπο της μπαταρίας που μελετάται. Ένα ηλεκτροχημικό κελί είναι μια “συσκευή” η οποία μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια ως χημική ενέργεια. Μέσα στο κελί συναντώνται δύο ηλεκτρόδια, το ένα εκ των οποίων χάνει ηλεκτρόνια (οξειδώνεται) ενώ το άλλο λαμβάνει ηλεκτρόνια, διατηρώντας το σύστημα ταυτόχρονα σε ισορροπία. Καθώς τα ηλεκτρόδια δεν πρέπει να έρθουν σε επαφή, ένας ηλεκτρολύτης είναι αναγκαίος για να παράσχει ηλεκτρική μόνωση διότι ταυτόχρονα λειτουργεί και ως μέσο για την διάχυση των ιόντων [39].

3.4.1 Περίβλημα

Το περίβλημα του συσσωρευτή πρέπει να έχει αντοχή σε περιβαλλοντικές συνθήκες εξωτερικά αλλά και αντοχή σε διαβρωτικές συνθήκες στο εσωτερικό του. Ταυτόχρονα

χρειάζεται και μηχανική αντοχή, να είναι οικονομικά προσιτό, ελαφρύ αλλά και απλό στον τροπο σφραγίσματος του.

3.4.2 Διαχωριστικό υλικό

Κατά την επιλογή των κατάλληλων υλικών χρειάζεται να ληφθεί υπόψη και η μεταξύ συμβατότητά τους. Η μείωση της γρήγορης επανένωσης των ηλεκτρονίων και επομένως η αύξηση της μετατροπής ενέργειας και η χημική αντίδρασή των υλικών μεταξύ τους προκειμένου να υπάρξει η μακροπρόθεσμη ευστάθεια είναι μόνο μερικές παράμετροι που μελετώνται.

Στο εσωτερικό των συσσωρευτών κατά κανόνα χρησιμοποιούνται υγροί ηλεκτρολύτες ώστε να παρέχουν στα ιόντα ένα “μονοπάτι” να κινούνται ώστε να αποφεύγονται πιθανές απώλειες ή εξουδετέρωσή τους η οποία θα έθετε την συσκευή σε μη κανονική λειτουργία [17]. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου γίνονται έρευνες και ενέργειες προκειμένου οι υγροί ηλεκτρολύτες να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά τους αυτά ή ακόμα και να αντικατασταθούν από στερούς ηλεκτρολύτες [39].

3.4.3 Ρευματοσυλλέκτης

Ο ρευματοσυλλέκτης είναι κατά κανόνα ένα πλατύ φύλλο ή πλέγμα, το οποίο παρέχει έναν αγωγίμο δρόμο μέσα στην πάστα με αποτέλεσμα να μειώνει την ηλεκτρική αντίσταση του συσσωρευτή. Οι ρευματοσυλλέκτες λειτουργούν και ως μηχανική υποστήριξη της μάζας του υλικού, το οποίο συνήθως χαρακτηρίζεται από εύθραυστη δομή. Αναγκαίο για την ομαλή λειτουργία του είναι η χημική του σταθερότητα τόσο ως προς τον ηλεκτρολύτη όσο και ως προς το ενεργό υλικό. Αυτή η απαίτηση κάνει τον μόλυβδο το μόνο ενδεδειγμένο υλικό ρευματοσυλλέκτη για τους συσσωρευτές μολύβδου. Το συγκεκριμένο τμήμα του συσσωρευτή είναι και αυτό που ευθύνεται κατά κύριο λόγο, και πιο συγκεκριμένα η διάβρωση του ρευματοσυλλέκτη και η διασκόρπιση της αποδομημένης πάστας, για την αστοχία της μπαταρίας.

3.4.4 Ηλεκτρολύτης

Η επιλογή του ηλεκτρολύτη ορίζεται από τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις των ηλεκτροδίων και την επιθυμητή συγκέντρωσή του. Μ αυτόν τον τρόπο ελέγχονται τα δυναμικά των πλακών, η αντίσταση του ηλεκτρολύτη, το ιξώδες του και επομένως ο ρυθμός διάχυσης και οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των φορέων μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού των πόρων της ενεργού πάστας.

3.4.5 Ενεργό υλικό

Για την λειτουργία ενός συσσωρευτή χρειάζεται τα ηλεκτραρνητικά σωματίδια να είναι άμεσα διαθέσιμα σε ικανές ποσότητες στις θέσεις όπου εκδηλώνεται η μεταφορά των ηλεκτρονίων. Στους περισσότερους συσσωρευτές οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται με την χρήση στερεών αντιδρώντων συστατικών [17].

3.5 Τύποι μπαταριών

Στο εμπόριο μπορεί κανείς να βρει αρκετά είδη μπαταριών για να χρησιμοποιήσει σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Ωστόσο οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες είναι οι μολύβδου - οξέος και οι ιόντων λιθίου

3.5.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος ήταν η πρώτη διαθέσιμη αποθηκευτική μπαταρία ηλεκτροχημικών μπαταριών. Αυτή η τεχνολογία αποθήκευσης αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στα μέσα του 1800 και σύντομα υιοθετήθηκε για εμπορικές εφαρμογές. Σε μια μπαταρία μολύβδου-οξέος, η κάθοδος είναι κατασκευασμένη από διοξείδιο του μολύβδου και η άνοδος από μεταλλικό μόλυβδο. Τα δύο ηλεκτρόδια χωρίζονται με ηλεκτρολύτη θεικού οξέος. Καθώς η μπαταρία φορτίζεται, το θεικό οξύ αντιδρά με τον μόλυβδο στην άνοδο και την κάθοδο για να παράγει θεικό μόλυβδο. Μια αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει όταν η μπαταρία αποφορτίζεται. Η παραγωγή και η αποσύνθεση αυτής της χημικής ουσίας παράγουν σύντομες και ισχυρές εκρήξεις ενέργειας, αρκετές για να ξεκινήσουν ένα αυτοκίνητο, σκάφος ή αεροπλάνο. Ωστόσο, η σταδιακή κρυστάλλωση και η συσσώρευση θεικού μολύβδου στον πυρήνα της μπαταρίας μειώνουν σημαντικά τον κύκλο ζωής αυτών των μπαταριών. Ως αποτέλεσμα, δεν αποτελούν ιδανική τεχνολογία για διάφορες υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας. Λόγω της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας, αυτή η τεχνολογία έχει επίσης μεγαλύτερο αποτύπωμα από άλλες μπαταρίες [46]. Η εξέλιξη τους έγινε με τις μπαταρίες τύπου VRLA (Valve Regulated Lead Acid).

Οι σύγχρονες μπαταρίες μολύβδου - οξέος παράγονται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών, σχημάτων και τύπων για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων. Η ποικιλία των χρήσεων μπαταριών και των διαδικασιών παραγωγής έχει αλλάξει τη συμβατική τεχνολογία κράματος μολύβδου. Η προηγμένη ανάπτυξη κράματος μολύβδου πρέπει να ταιριάζει με τις προδιαγραφές για πλέγματα μπαταριών μολύβδου - οξέος, στύλους, ιμάντες και εξωτερικούς συνδετήρες και τα κράματα πρέπει να ενισχύουν τις σύγχρονες διαδικασίες για την παραγωγή πλέγματος, τους ιμάντες χύτευσης και την κατασκευή μπαταριών. Διακρίνονται ανάλογα με τα στοιχεία με τα οποία συνεργάζονται καθώς και αν είναι ανοιχτού ή κλειστού τύπου σε:

- Μολύβδου αντιμονίου
- Μολύβδου ασβεστίου
- Flooded μολύβδου ασβεστίου open vent
- Flooded μολύβδου ασβεστίου sealed vent
- Μολύβδου αντιμονίου - μολύβδου ασβεστίου hybrid
- Μολύβδου οξέος ηλεκτρολυτών (VRLA) : Αυτού του τύπου οι συσσωρευτές εμφανίζουν κάποιους λειτουργικούς περιορισμούς. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι η περιορισμένη πραγματική χωρητικότητα η οποία αντιστοιχεί στο 30 - 50% της ονομαστικής, ώστε να αποφευχθεί η απότομη υποβάθμιση της μπαταρίας, η διάρκεια ζωής τους (αντιστοιχεί σε 3-5 χρόνια - αριθμός μικρός σε σχέση με τα 25 χρόνια ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος), ο περιορισμένος αριθμός κύκλων (300 - 500 κύκλοι με 80% βαθμό εκφόρτισης κατά την διάρκεια ζωής της

μπαταρίας). Επίσης σημαντική είναι η υψηλή ευαισθησία στην κλίμακα Peukert κάτι το οποίο ερμηνεύεται πως όταν η ισχύς εξόδου που απαιτείται είναι μεγαλύτερη από αυτήν που έχει ορίσει ο κατασκευαστής, η παρεχόμενη χωρητικότητα είναι χαμηλότερη από την αναμενόμενη. Παρ'όλα τα μειονεκτήματά τους προτιμώνται λόγω του οικονομικού τους κόστους για μεγάλης χωρητικότητας εγκαταστάσεις [47].

- Absorbed glass mat (AGM): Στις μπαταρίες AGM ανάμεσα στις πλάκες μολύβδου, υπάρχει ένα πορώδες υλικό από ίνες γυαλιού εμποτισμένο με το διάλυμα θεικού οξέος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παράγονται ελάχιστα αέρια κατά την χημική αντίδραση. Οι πλάκες περιέχουν ασβέστιο, το οποίο απορροφά τα αέρια του ηλεκτρολύτη [48].

Οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος διακρίνονται ανάλογα με την κατασκευή τους σε ανοικτής (αεριζόμενες - flooded) ή κλειστής κατασκευής (sealed - VRLA - Valve Regulated - Lead - Acid).

Στις αεριζόμενες μπαταρίες μολύβδου οξέος τα ηλεκτρόδια είναι βυθισμένα στον ηλεκτρολύτη και κατά την λειτουργία απελευθερώνουν αέρια υδρογόνου και οξυγόνου. Επομένως πρέπει να παρέχεται επαρκής εξαερισμός τόσο για τα συστήματα μπαταριών όσο και για τα σφραγισμένα συστήματα. Δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις εξαερισμού. Λόγω του ότι τα αέρια διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα χρειάζεται ανά διαστήματα η προσθήκη απεσταγμένου νερού για να επανέλθει ο ηλεκτρολύτης στο επιθυμητό επίπεδο. Στο τέλος της διαδικασίας φόρτισης ο ηλεκτρολύτης υποβάλλεται σε ηλεκτρόλυση για την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου με αποτέλεσμα το επίπεδο του ηλεκτρολύτη να μειώνεται και η συγκέντρωση θεικού οξέος να αυξάνεται με αποτέλεσμα να χρειάζεται ομοίως προσθήκη απεσταγμένου νερού. Αυτή η ανάγκη πλήρωσης έχει οδηγήσει σε περιορισμό αυτού του τύπου μπαταριών.

Στις κλειστής κατασκευής μπαταρίες ο ηλεκτρολύτης έχει σαν μοναδική έξοδο μια βαλβίδα η οποία ενεργοποιείται μόνο στην περίπτωση που η πίεση από τα αέρια ξεπεράσει μια συγκεκριμένη τιμή και η οποία καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας. Το οξυγόνο που παράγεται δεν διαφεύγει και ανασυνδυάζεται στην μπαταρία. Το οξυγόνο που παράγεται στο θετικό ηλεκτρόδιο μπορεί να φτάσει στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και να μετατραπεί σε νερό καθώς το κενό μεταξύ των πλακών δεν είναι πλήρως γεμάτο με οξύ. Η διαδικασία αυτή λειτουργεί όσο ο ρυθμός φόρτισης δεν είναι πολύ μεγάλος. Στην περίπτωση που το ρεύμα φόρτισης αυξηθεί τότε το οξυγόνο δημιουργεί πίεση στο εσωτερικό και η βαλβίδα τίθεται εντός λειτουργίας [43][48][49].

3.5.2 Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Ο πιο συνηθισμένος τύπος μπαταρίας στην αγορά για αποθήκευση ενέργειας είναι οι μπαταρίες λιθίου. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου τροφοδοτούν όλα τα είδη καθημερινών συσκευών από κινητά μέχρι αυτοκίνητα. Ονομάζονται έτσι επειδή λειτουργούν μετακινώντας τα ιόντα λιθίου μέσω ενός ηλεκτρολύτη στο εσωτερικό της μπαταρίας. Δεδομένου ότι τα ιόντα είναι σωματίδια που έχουν αποκτήσει ή χάσει ένα ηλεκτρόνιο, η μετακίνηση ιόντων λιθίου από μια άνοδο σε κάθοδο παράγει ελεύθερα ηλεκτρόνια, δηλαδή ηλεκτρόνια που έχουν απελευθερωθεί από άτομα λιθίου. Η συσσώρευση αυτών των ηλεκτρονίων είναι ο λόγος που οι μπαταρίες φορτίζουν και αποθηκεύουν ηλεκτρική

ενέργεια. Όταν αποφορτίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία, η ροή των ιόντων λιθίου αντιστρέφεται, πράγμα που σημαίνει ότι η διαδικασία είναι επαναλαμβανόμενη.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται στα αποθηκευτικά συστήματα οικιών συνδυάζουν πολλαπλά κελιά / κύτταρα μπαταριών ιόντων λιθίου με αντίστοιχα ηλεκτρονικά συστήματα ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος απόδοσης και ασφάλειας του όλου συστήματος μπαταρίας. Προτείνονται ως βιώσιμη λύση λόγω της υψηλότερης πυκνότητας ισχύος που εμφανίζουν σε σχέση με του μολύβδου - οξέος και του νικελίου καδμίου αλλά και του πιο προσιτού κόστους τους καθώς η τιμή του πλέον έχει μειωθεί κατά 73% στην περίοδο 2010-2016 [30].

Ωστόσο οι μπαταρίες του συγκεκριμένου τύπου έχουν χαμηλό κύκλο ζωής καθώς και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και πυκνότητα ισχύος ενώ είναι και αρκετά πιο ακριβή επιλογή. Οι μηχανισμοί γήρανσης των μπαταριών ιόντων λιθίου διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, αποικοδόμηση που προκαλείται από χημικούς μηχανισμούς και αποικοδόμηση που προκαλείται από χημική καταπόνηση.

3.5.3 Σύγκριση μπαταριών μολύβδου οξέος - λιθίου

Οι μπαταρίες τύπου μολύβδου οξέος είναι οι πιο συνήθεις. Ωστόσο οι τύποι ιόντων λιθίου αρχίζουν και γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες.

Μπαταρίες λιθίου	Μπαταρίες μολύβδου οξέος
Στα οικιακά συστήματα αποθήκευσης που συνδέονται με το δίκτυο	Στα συστήματα αποθήκευσης εκτός δικτύου όπου απαιτείται επιπλέον αποθήκευση
Πιο ακριβό	Λιγότερο ακριβό
Πιο ελαφρύ και μικρότερο	Βαρύτερο και μεγαλύτερο
Απαιτεί ενσωματωμένο χειριστήριο για την διαχείριση φόρτισης - εκφόρτισης	Απαιτεί καλή διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης για την διατήρηση της υγείας της μπαταρίας
Πιο αποδοτική	Λιγότερο αποδοτική
Μεγαλύτερη αναμενόμενη διάρκεια ζωής	Μικρότερη αναμενόμενη διάρκεια ζωής
Μπορεί να αποφορτίσει περισσότερη αποθηκευμένη ενέργεια	

3.5.4 Μπαταρίες Νικελίου - Καδμίου (NiCd)

Οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου χαρακτηρίζονται από υψηλή ενέργεια και πυκνότητα ισχύος ενώ ταυτόχρονα έχει και καλύτερο κύκλο ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος.

Στα χαρακτηριστικά τους προστίθενται επίσης το εφέ μνήμης το οποίο περιορίζει την χωρητικότητα της μπαταρίας ανάλογα με την χρήση της και τις υψηλές τιμές αυτοεκφόρτισης. Στα μειονεκτήματα των μπαταριών αυτών εντάσσεται και το γεγονός ότι περιέχουν το εξαιρετικά τοξικό κάδμιο [50].

3.5.4 Μπαταρίες τύπου gel

Στις μπαταρίες gel το θεικό οξύ είναι αναμεμιγμένο με καπνισμένο πυρίτιο (πυρογενές διοξείδιο του πυριτίου). Το αποτέλεσμα είναι ένα παχύρευστο υγρό που μοιάζει με ζελέ. Η χημική σύσταση είναι ίδια με τις μπαταρίες υγρών οξέων ανοιχτού τύπου, με την μόνη διαφορά πως στις πλάκες μολύβδου των μπαταριών gel αντί για το στοιχείο αντιμόνιο χρησιμοποιείται ασβέστιο. Το ασβέστιο απορροφά τα αέρια που εκλύονται κατά την χημική αντίδραση και τα ανακυκλώνει μέσα στην μπαταρία [48].

Κατασκευαστικά οι gel μπαταρίες μπορεί να είναι κατασκευασμένες ελιτε με επίπεδες είτε με σωληνωτές πλάκες στο θετικό ηλεκτρόδιο. Το gel παρέχει καλύτερο μέσο για την θερμική αγωγιμότητα από τις πλάκες στα τοιχώματα του στοιχείου με αποτέλεσμα η θερμότητα που μπορεί να παραχθεί από την υπερφόρτιση να χάνεται πιο αποτελεσματικά.

Κεφάλαιο 4 - Αντιστροφείς - Ρυθμιστές Φόρτισης

Οι οικιακές συσκευές όταν συνδέονται με τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνουν ενέργεια μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Ωστόσο οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρέχουν στο δίκτυο συνεχή τάση. Για αυτό το λόγο χρειάζεται ένα σύστημα το οποίο να μπορεί να μετατρέψει μια συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Αυτή η συσκευή είναι ο αντιστροφέας. Οι αντιστροφείς γενικά μπορούν να είναι μονοφασικοί, τριφασικοί, με διόδους ή με θυρίστορ.

4.1 Κατηγορίες αντιστροφέων

Ο αντιστροφέας τάσης (Inverter) είναι μια διάταξη ισχύος που χρησιμοποιούμε στα φωτοβολταϊκά συστήματα και χάρη στη βοήθειά του μετατρέπεται το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Ο αντιστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτόνομα συστήματα ενέργειας με συσσωρευτές, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12V ή 24V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS. Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αντιστροφείς "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων". Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να τροφοδοτήσουμε από το συσσωρευτή του φωτοβολταϊκού συστήματος, όλες τις ηλεκτρικές συσκευές ενός σπιτιού.

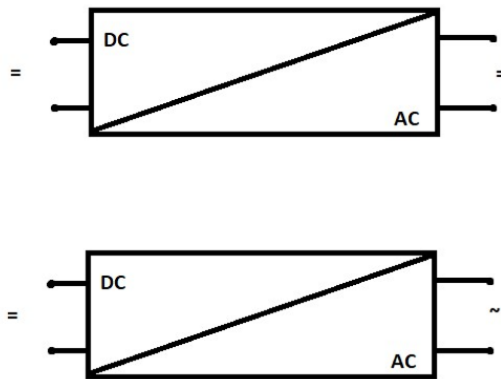
Τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των αντιστροφέων είναι :

- η ονομαστική ισχύς (P_{nom})
- η ονομαστική τάση εισόδου (V_{DC})
- η ονομαστική τάση εξόδου (V_{rms})
- η συχνότητα εξόδου (Hz)
- ο αριθμός των φάσεων (μονοφασικοί - τριφασικοί)

Για τις διατάξεις των αντιστροφέων ενίοτε χρησιμοποιείται και ο όρος “μετατροπέας τάσεως”. Όμως, ο όρος << μετατροπέας/converter >> θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για τις διατάξεις μετατροπής της τάσεως π.χ. από DC χαμηλής τιμής σε DC υψηλότερης τιμής, προκειμένου να οδηγηθεί στον αντιστροφέα μεγαλύτερη τιμή τάσεως και να διασφαλιστεί καλύτερη απόδοση αναστροφής. Ως απόδοση για την αναστροφή (η) ορίζεται ο λόγος της ισχύος AC (P_{AC}) προς την ισχύ DC (P_{DC}), δηλαδή:

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Στην παρακάτω εικόνα μπορούν να διακριθούν πως σχεδιάζονται οι μετατροπείς τάσης (DC - DC) και οι αντιστροφείς αντίστοιχα (DC - AC) πιο απλουστευμένα σε ένα σύστημα.

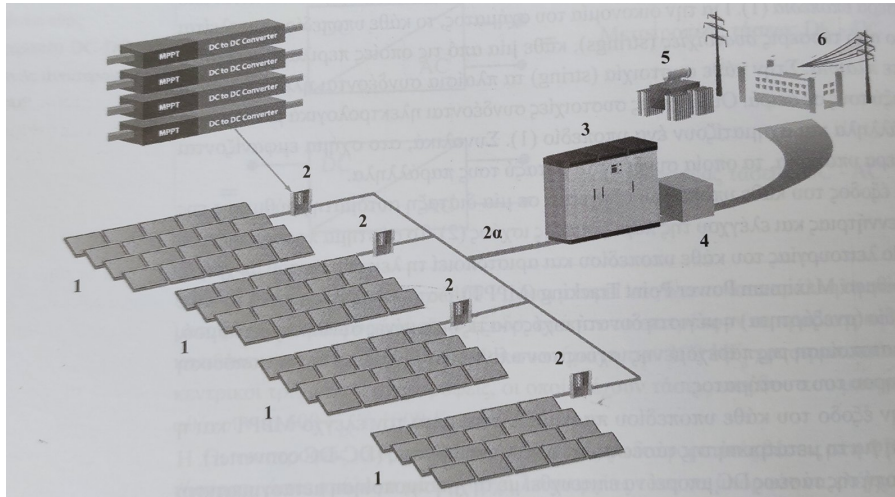


Εικόνα 4.1 Απλουστευμένη σχεδίαση μετατροπέα και αντιστροφέα

Η τάση εισόδου V_{DC} των αντιστροφέων εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ τους. Για ισχύ μερικών εκατοντάδων Wp οι τάσεις εισόδου μπορεί να είναι τα 12 V, 24 V ή και τα 48 V. Για μεγαλύτερες τιμές ισχύος του αντιστροφέα (π.χ. μερικά kW) η τάση εισόδου αυξάνεται στα $150 V_{DC}$ - $400 V_{DC}$ και μπορεί να γίνεται και παράλληλη σύνδεση μεταξύ των αντιστροφέων στην έξοδο, εφόσον το επιτρέπουν οι προδιαγραφές του κατασκευαστή. Για μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά συστήματα των 100 kWp χρησιμοποιούνται οι κεντρικοί τριφασικοί αντιστροφέες, οι οποίοι έχουν τάσεις εισόδου που μπορούν να φτάνουν τα $600 V_{DC}$ ή $1000 V_{DC}$.

Οι αναστροφείς μπορούν να παρεμβληθούν σε διαφορετικές στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, ώστε ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους να μπορούν να ελέγχουν την παραγόμενη ισχύ από:

- Ολόκληρο το φωτοβολταϊκό πεδίο (central inverter): Ολόκληρη η ισχύς της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων αποδίδεται προς έναν κύριο αντιστροφέα, οπότε έχουμε τη διάταξη του κεντρικού αντιστροφέα. Οι σχεδιασμοί των εγκαταστάσεων που βασίζονται τη λειτουργία τους σε κεντρικούς αναστροφείς προτιμώνται κυρίως για τα πολύ μεγάλα φωτοβολταϊκών συστήματα. (> 100kWp ΦΒ ισχύος)



Εικόνα 4.2 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μεγάλης ισχύος που βασίζει λειτουργία σε κεντρικό αντιστροφέα

- Ένα υποπεδίο, δηλαδή παράλληλες συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων (string inverter): Ο αντιστροφέας συλλέγει την ηλεκτρική ισχύ από μερικές παράλληλες φωτοβολταϊκές συστοιχίες πλαισίων (strings). Το κάθε string περιλαμβάνει όμοια πλαίσια τα οποία είναι ηλεκτρολογικά συνδεδεμένα σε σειρά. Στην περίπτωση αυτή έχουμε τους επονομαζόμενους <<αντιστροφεείς πολλαπλών συστοιχιών>> (multi-string inverters).
- Το κάθε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ανεξάρτητα (micro - inverter): Ο κάθε αντιστροφέας πλαισίου ελέγχει ένα μόνο φωτοβολταϊκό πλαίσιο ανεξάρτητα, οπότε έχουμε τα επονομαζόμενα << AC - πλαίσια / AC Modules>>. Οι αντιστροφεείς πλαισίων αναφέρονται πλέον και ως μικρο-αντιστροφεείς (micro - inverters). Προς το παρόν, η επιλογή των μικροαντιστροφέων ενδείκνυται για αξιόπιστες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μικρής ισχύος. Το κύριο μειονέκτημα της άμεσης σύνδεσης των μετατροπέων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι ότι συνήθως οι αποδόσεις τους είναι μικρότερες από τις αποδόσεις των άλλων μετατροπέων π.χ. αντιστροφεείς συστοιχιών (string inverters) [17].

4.2 Χαρακτηριστικά και λειτουργίες αντιστροφέων

Οι βασικές κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα (Inverter) είναι να αποτελείται από εύκολα συναρμολογούμενα μέρη για να γίνονται εύκολα μετατροπές και αναβαθμίσεις, ενώ πρέπει να είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να μη σταματάει η λειτουργία του σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες. Ακόμα, πρέπει να υπάρχει πλήρης γαλβανική απομόνωση του κυκλώματος από τα κυκλώματα ελέγχου και προστασίας ώστε να έχει τη δυνατότητα ο αντιστροφέας να συνδέεται με άλλα ψηφιακά συστήματα.

Οι βασικές λειτουργικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα τάσης είναι να μπορεί να μετατρέπεται εύκολα η λειτουργία του από μονοφασική σε τριφασική, να είναι απλός ο επαναπρογραμματισμός του χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγηση του, ώστε να

εξασφαλιστεί η ανάπτυξη και ο έλεγχος λειτουργίας. Επίσης, πρέπει να έχει τη δυνατότητα, σε περίπτωση προβλήματος όπως κάποιο βραχυκύκλωμα, ή υπέρταση, να σταματάει τη λειτουργία του κυκλώματος και να υπάρχει μια ένδειξη η οποία να μας προσδιορίζει το πρόβλημα [17][51].

4.3 Ρυθμιστές Φόρτισης

Ο ρυθμιστής επιτελεί δύο βασικές λειτουργίες:

- ελέγχει το φωτοβολταϊκό πεδίο για την παροχή της μέγιστης ισχύος εφαρμόζοντας συστήματα αλγορίθμων MPPT
- φορτίζει τους συσσωρευτές back-up

Όταν διακόπτεται η τροφοδοσία από το τοπικό δίκτυο (ΔΕΗ), τα κρίσιμα φορτία εξακολουθούν να τροφοδοτούνται. Στην περίπτωση αυτή, στην DC είσοδο του αντιστροφέα η ηλεκτρική ισχύς αντλείται άμεσα από τους συσσωρευτές και όχι από το φωτοβολταϊκό πεδίο. Αναφορικά για ένα σύστημα που βασίζει την λειτουργία του σε αντιστροφή τύπου <<battery backup>>, θα πρέπει να διευκρινιστούν τα ακόλουθα:

- Το βασικό στάδιο φόρτισης των συσσωρευτών ελέγχεται από το ρυθμιστή. Το στάδιο αυτό οδηγεί στο 80% - 90% της κατάστασης πλήρους φόρτισης των συσσωρευτών.
- Το τελικό στάδιο φόρτισης των συσσωρευτών ελέγχεται από τον αντιστροφέα back-up και πρέπει να πραγματοποιείται με χαμηλούς ρυθμούς. Στο στάδιο αυτό η τάση διατηρείται σταθερή, στην τιμή της τάσεως επίπλευσης, ενώ το ρεύμα μειώνεται προοδευτικά. Ο αντιστροφέας αντλεί την απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ για το σκοπό αυτό από το δίκτυο AC.
- Η φόρτιση εξισορρόπησης τελείται περιοδικά (εβδομαδιαία ή μηνιαία), όταν ο αντιστροφέας back-up εκκινήσει μια ειδική διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών, υπό περιορισμένη τιμή ρεύματος και σε υψηλότερο δυναμικό από την τιμή της τάσεως επίπλευσης.

Γενικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα που εγχέουν την ενέργειά τους στο δίκτυο XT, ενώ συγχρόνως προβλέπουν για τη φόρτιση των συσσωρευτών με σκοπό την αδιάλειπτη τροφοδοσία ισχύος σε κάποια ευαίσθητα φορτία, χαρακτηρίζονται από μικρές εγκατεστημένες φωτοβολταϊκές ισχείς και είναι κατάλληλα και για οικιακές εγκαταστάσεις. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου των αντιστροφέων τύπου <<back-up>> είναι περισσότερο πολύπλοκο από αυτό των αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται στα απλά διασυνδεδεμένα ή τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Οι αντιστροφείς τύπου <<battery back-up>> εμπεριέχουν τα επιμέρους τμήματα (blocks) που αναφέρονται στη συνέχεια:

- το σύστημα αντιστροφής DC/AC
- το σύστημα ελέγχου της τελικής κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών τροφοδοτούμενο από το AC δίκτυο
- το σύστημα ελέγχου της αδιάλειπτης παροχής προς τον ηλεκτρολογικό υποπίνακα που περιλαμβάνει τα ευαίσθητα φορτία [17]

Κεφάλαιο 5 - Συνδεσιμότητα φωτοβολταϊκού συστήματος

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελείται από λειτουργικές μονάδες όπως τα πάνελ, τους συσσωρευτές, τους ρυθμιστές τάσης και φόρτισης, τους αντιστροφείς ενώ στη έξοδο συνδέονται με το φορτίο. Επιπρόσθετα του φορτίου (δηλαδή τον καταναλωτή), το σύστημα μπορεί να συνδεθεί και με το δίκτυο. Επομένως μπορεί ένα σύστημα να διακριθεί σε δύο είδη ανάλογα με την διασύνδεσή του: το αυτόνομο σύστημα κατά το οποίο το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν συνδέεται με το δίκτυο και το μη αυτόνομο, γνωστό και ως net metering, κατά το οποίο ο καταναλωτής συνδέεται με το δίκτυο.

5.1 Το μοντέλο της ιδιοκατανάλωσης

Ως ιδιοκατανάλωση ηλεκτρισμού ορίζεται όταν καταναλωτές (ατομικοί ή εταιρικοί) καταναλώνουν ενέργεια παραγόμενη από κοντινές τους εγκαταστάσεις και συνδέονται με αυτούς με φωτοβολταϊκά πάνελ ή ακόμα και μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες.

Σε αυτήν την εργασία θα ασχοληθούμε με την ιδιοκατανάλωση με την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για την μελέτη της ιδιοκατανάλωσης πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κάποιες παράμετροι :

- *Βαθμός ιδιοκατανάλωσης*

Το ιδανικό σενάριο θα ήταν για έναν καταναλωτή είτε με οικιακό είτε με εταιρικό προφίλ να καταναλώνει όση ενέργεια παράγει κάτι το οποίο ωστόσο δεν είναι πάντα εφικτό. Επομένως η ιδιοκατανάλωση μπορεί να καλύψει ένα τμήμα της ζήτησης.

- *Σύνδεση με το δίκτυο ή αυτόνομο σύστημα*

Η σύνδεση με το δίκτυο είναι επιθυμητή ώστε να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση όταν η παραγωγή από το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν είναι επαρκής λόγω των απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών. Επίσης η σύνδεση αυτή επιτρέπει και την εισαγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο με την εναλλακτική να είναι η αποθήκευση της σε κάποιο συσσωρευτή. Ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις (απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο όπου η διασύνδεση είναι δύσκολη) καταναλωτές επιλέγουν να είναι ενεργειακά αυτόνομοι και να μην συνδέονται στο δίκτυο.

- *Ατομική ή συλλογική προσέγγιση*

Η ιδιοκατανάλωση μπορεί να αφορά τόσο ατομικούς όσο και εταιρικούς καταναλωτές [12].

Η ιδιοκατανάλωση μπορεί να διευκολύνει την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών στο δίκτυο και να μειώσει το κόστος του ενεργειακού συστήματος μέσω της μετατόπισης του φορτίου καθώς πλέον τις ώρες αιχμής η απαραίτητη ενέργεια καλύπτεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης αυξάνει τον αριθμό ιδιοκατανάλωσης, αποφεύγοντας έτσι περικοπές οικονομικές και ενεργειακές στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στην συνέχεια η πώληση της ενέργειας που δεν καταναλώνεται μειώνει επιπλέον το κόστος [30]. Με την μετατροπή των παθητικών σε ενεργητικούς χρήστες ωστόσο πρέπει να εξασφαλιστεί η ομαλή ενσωμάτωση αυτής της υπερπαραγωγής τους στο δίκτυο καθώς και να εξισορροπιστεί η κατανομή των χρεώσεων δικτύου, φόρων

και εισφορών αναμεσα τους . Η αυτοκατανάλωση είναι επικερδής για τους καταναλωτές όσο το κόστος των τοπικών ανανεώσιμων πηγών είναι χαμηλότερο από τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας λιανικής [52]. Πιο συγκεκριμένα όταν οι καταναλωτές καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια τότε ο όγκος της προς πώλησης ενέργειας σε KWh μειώνεται και ομοίως μειώνεται και το κέρδος. Ως αποτέλεσμα η “ταρίφα” (tariff) αυξάνεται δίνοντας ακόμα μεγαλύτερο κίνητρο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και λιγότερη εξάρτηση από το κυρίως δίκτυο [30].

5.2 Αυτόνομο σύστημα

5.2.1 Εισαγωγή

Σε πολλές περιοχές οι οποίες είναι απομακρυσμένες από το δίκτυο ή η διασύνδεση με το δίκτυο είναι δύσκολη οι καταναλωτές στρέφονται στην εγκατάσταση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Ένα αυτόνομο σύστημα όπως προδίδει και η ονομασία του δεν συνδέεται με το δίκτυο του παρόχου. Εν αντιθέσει υπολογίζεται και εγκαθίστανται με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει και να αποθηκεύει την απαραίτητη του ενέργεια.

5.2.2 Καθορισμός μεταβλητών υπολογιστικού αυτόνομων φωτοβολταϊκού συστήματος

Σκοπός της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος κάθε φορά είναι η μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο μπορεί να είναι είτε στατικό είτε να ακολουθεί την πορεία του Ηλίου για ακόμα καλύτερη απόδοση. Τα πάνελ που μελετώνται σε αυτήν την διπλωματική αφορούν πλαίσια που εγκαθίστανται σε οικίες υπό γωνία χωρίς την δυνατότητα περιστροφής.. Για την βέλτιστη παραγωγή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προτείνονται να είναι με κλίση μοιρών ανάλογη του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής εγκατάστασης και με νότιο προσανατολισμό για την περιοχή της Ελλάδας ειδικά.

Σε ένα αυτόνομο σύστημα για τον ορθό υπολογισμό της εγκατάστασης χρειάζεται και η εισαγωγή των ημερών αυτονομίας. Ο προτεινόμενος αριθμός των ημερών αυτονομίας κατασκευαστικά προτείνεται να είναι από 1 έως 6 ημέρες. Οι ημέρες αυτονομίας είναι απαραίτητες ώστε σε περίπτωση που οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για την παραγωγή ενέργειας να υπάρχει εναλλακτική για να μην μείνει ο καταναλωτής χωρίς παροχή ενέργειας.

Τέλος απαραίτητη είναι η εισαγωγή μηνιαίας κατανάλωσης για τον ηλιακά δυσμενέστερο μήνα, ο οποίος στην περίπτωση της Ελλάδας είναι ο μήνας του Δεκεμβρίου.

5.2.3 Αποθήκευση ενέργειας στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Σε ένα αυτόνομο σύστημα λόγω της μη σύνδεσής του με το δίκτυο κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ενός συστήματος αποθήκευσης για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει η ηλιακή ακτινοβολία. Η αυτονομία επομένως των συστημάτων αυτών απαιτεί την εγκατάσταση των μπαταριών στις οποίες θα αποθηκεύεται

η ενέργεια και θα καταναλώνεται κατά τις βραδινές ώρες είτε σε περιόδους όπου η ηλιακή ακτινοβολία δεν δύναται να καλύψει τις ανάγκες του καταναλωτή.

5.2.4 Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Για τον παρακάτω υπολογισμό είναι βασικό να θεωρήσουμε δύο παραδοχές. Αρχικά θεωρούμε ότι πρόκειται για επίπεδη περιοχή και αγνοούμε οποιαδήποτε ανομοιομορφία του εδάφους ή τυχόν σκιάσεις από στηθαία, συσκευές που τοποθετούνται στις ταράτσες των κατοικιών καθώς και σκιάσεις από διπλανά κτίρια. Η δεύτερη παραδοχή που γίνεται είναι ότι πρόκειται για καταναλώσεις AC 240V.

Για τον υπολογισμό πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω μεθοδολογία προκειμένου να ληφθούν όσο το δυνατόν πιο ορθά αποτελέσματα.

- Εισαγωγή της περιοχής εγκατάστασης προκειμένου να ληφθεί το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και επομένως η γωνία τοποθέτησης.
- Εισαγωγή της μηνιαίας θερμοκρασίας κατά τον μήνα του Δεκεμβρίου το οποίο στην συνέχεια διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των ημερών του τρέχοντος μήνα.
- Καθορισμός συνολικών απωλειών φωτοβολταϊκού πλαισίου ($\sigma_{\Sigma\text{ΑΦΠ}}$)

$$\sigma_{\Sigma\text{ΑΦΠ}} = \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa} \text{ όπου,}$$

σ_{θ} : ορίζεται ως ο συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης. Κατά την λειτουργία του συστήματος τα στοιχεία εκτίθενται σε θερμοκρασίες από 25 - 35 °C. Ωστόσο οι υπολογισμοί λαμβάνουν μέση θερμοκρασία των πλαισίων τους 30°C σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Θεωρώντας μέση μηνιαία θερμοκρασία T_{μ} , ο συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(T_{\mu} + 30^{\circ}\text{C}) - 25^{\circ}\text{C}] \cdot 0,004/^{\circ}\text{C}$$

σ_{ρ} : ορίζεται ως ο συντελεστής ρύπανσης. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λόγω της εγκατάστασής τους σε ανοιχτό χώρο υποβάλλονται σε καιρικές συνθήκες, σκόνη, γύρη κλπ τα οποία με την σειρά τους μειώνουν την απόδοσή τους . Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής ρύπανσης εκφράζει το λόγο της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει ένα ρυπασμένο πλαίσιο προς την ισχύ ηλεκτρικής ισχύος που θα παρήγαγε το ίδιο καθαρό πλαίσιο για τις ίδιες συνθήκες φωτισμού. Όσο μικρότερη είναι η κλίση τοποθέτησης των πλαισίων τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η επίδραση της ρύπανσης. Όσο πιο καθαρό είναι ένα πλαίσιο τόσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής ρύπανσης. Επομένως κυμαίνεται σε τιμές 0,85 - 0,95 με κλίμακα από το πιο ακάθαρμο ή οριζόντια τοποθετημένο πλαίσιο έως το πιο καθαρό ή συχνά καθαριζόμενο πλαίσιο. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο καθαρίζεται με ειδικό τρόπο με απιονισμένο νερό. Στην παρούσα διπλωματική θεωρούμε πως τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι καθαρά και τοποθετημένα με κλίση αντίστοιχη του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας το οποίο

κυμαίνεται από 35°00'Β έως 42°00'Β [53] και επομένως ο συντελεστής ρύπανσης είναι στην καλύτερη δυνατή τιμή του 0,95.

σ_γ : ορίζεται ως συντελεστής γήρανσης. Κατά την λειτουργία του συστήματος όπως και σε κάθε σύστημα υπόκεινται σε σταδιακή γήρανση των υλικών του. Η γήρανση αυτή μειώνει την απόδοση του συστήματος η οποία αυξάνεται κατά 1% για κάθε χρόνο λειτουργίας του. Στον πρώτο χρόνο λειτουργίας του ο συντελεστής είναι $\sigma_\gamma = 0,99$ και αντίστοιχα τον δεύτερο χρόνο $\sigma_\gamma = 0,98$. Κατά μέσο όρο προκύπτει ότι ο συντελεστής παίρνει την τιμή $\sigma_\gamma = 0,9$.

σ_δ : ορίζεται ως ο συντελεστής απωλειών διόδου. Η δίοδος αντεπιστροφής χρησιμοποιείται στα συστήματα με αποθήκευση (όπως είναι ένα αυτόνομο σύστημα) ώστε να εμποδίσει την εκφόρτιση των συσσωρευτών μέσω των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά την διάρκεια των ωρών που δεν παράγεται ενέργεια (απογευματινές και βραδινές ώρες). Οι απώλειες αυτές είναι περίπου 1% και επομένως ο συντελεστής παίρνει την τιμή $\sigma_\delta = 0,99$.

σ_α : ορίζεται ως ο συντελεστής ανομοιογένειας. Η ανομοιογένεια των πλαισίων προκύπτει από τα διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους καθώς και από εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες όπως σκιάσεις από στηθαία ή φυτά ή κτίρια. Ως αποτέλεσμα μειώνεται η απόδοση της συστοιχίας κατά 2% και ο συντελεστής παίρνει την τιμή $\sigma_\alpha = 0,98$.

σ_κ : ορίζεται ως ο συντελεστής καλωδιώσεων. Τα υποσυστήματα που αποτελούν το ολοκληρωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια τα οποία εμφανίζουν απώλειες. Σε αυτές τις απώλειες συμπεριλαμβάνονται και οι απώλειες καλωδιώσεων μεταξύ των συστοιχιών. Η τιμή του συντελεστή κυμαίνεται από 1% έως και 3%. Επομένως ως μέσο όρο για τον υπολογισμό θεωρούμε την τιμή του συντελεστή $\sigma_\kappa = 0,98$.

- Καθορισμός συντελεστή απωλειών μεταφοράς ενέργειας (σ_{MHE})

Για να υπολογιστεί η συνολική ισχύς στην έξοδο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος πέρα από τις απώλειες του πλαισίου χρειάζεται να υπολογιστούν και οι απώλειες που εμφανίζονται και κατά την μεταφορά της ενέργειας στα επιμέρους τμήματα. Χαρακτηριστικά αποδίδονται στους συσσωρευτές (εφόσον υπάρχουν), στον αντιστροφέα, στις διασυνδέσεις με τους ζυγούς και τον καταναλωτή. Οι απώλειες αυτές μειώνουν την απόδοση του συστήματος κατά 20% με 30% ενώ με κάθε χρόνο λειτουργίας αυτή αυξάνεται βαθμιαία κατά 1% με 2%. Στα προς εγκατάσταση συστήματα που προτείνονται περιλαμβάνονται συσσωρευτές, ρυθμιστής τάσεως και φόρτισης και αντιστροφέας και για αυτό θεωρούμε $\sigma_{\text{MHE}} = 0,85$.

- Καθορισμός συντελεστή ημερήσιων αναγκών ενέργειας (σ_{YM})

Κάθε είδους υπολογισμός περιλαμβάνει συντελεστή διόρθωσης σφάλματος, ο οποίος αποδίδεται σε τυχόν εσφαλμένες εκτιμήσεις των αρχικών δεδομένων ή των υπολοίπων παραμέτρων. Τα περιθώρια των πιθανών σφαλμάτων κυμαίνονται μεταξύ του 15% με 25%. Για την περίπτωση μας θεωρούμε τον συντελεστή με τιμή $\sigma_{YM} = 1,2$.

Στο παράρτημα βρίσκονται οι τιμές των συντελεστών και των επί μέρους μεταβλητών τους που υπολογίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην βάση δεδομένων.

- Καθορισμός τιμής πυκνότητας ισχύος (P_{STC})

Θεωρούμε πρότυπες συνθήκες STC και επομένως η πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παίρνει την τιμή $P_{STC} = 1kW/m^2$.

- Υπολογισμός της ισχύος αιχμής του φωτοβολταϊκού συστήματος (P_a)

Ο υπολογισμός της ισχύος αιχμής προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$P_a = \sigma_{YM} \cdot \frac{E_T \cdot P_{STC}}{\Pi \cdot \sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Pi} \cdot \sigma_{MHE}} \cdot \frac{N}{N-n}$$

Ωστόσο λόγω του ότι από τον χρήστη δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί και να εισαχθεί η ημερήσια ποσότητα ενέργειας για τον δυσμενέστερο μήνα, ζητείται η μηνιαία ποσότητα ενέργειας και αυτή με την σειρά της διαιρείται με τις συνολικές μέρες του Δεκεμβρίου. Έτσι ο παραπάνω τύπος γίνεται :

$$P_a = \sigma_{YM} \cdot \frac{E_T \cdot P_{STC}}{31 \cdot \Pi \cdot \sigma_{\Sigma\Lambda\Phi\Pi} \cdot \sigma_{MHE}} \cdot \frac{N}{N-n}$$

- Επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Κατά την έρευνα των διαθέσιμων στην αγορά πλαισίων έγινε η επιλογή του πλαισίου Sharp 445W τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου με τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου Sharp 445W	
P_{STC}	445W
I_{MPP}	10,77A
V_{MPP}	41,32V
I_{SC}	11,55A
V_{OC}	49,04V
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος	- 0,347% / °C

Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσης	- 0,263% / °C
Ασφάλεια ρεύματος στοιχειοσειράς	20A
Προτεινόμενη μέγιστη τάση συστήματος	1500V _{DC}

- Καθορισμός συνολικού αριθμού πλαισίων

Για τον συνολικό υπολογισμό του αριθμού πλαισίων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος συνδεσμολογίας χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$N_{\text{πλασίων}} = \frac{P_a}{445 \text{ W}}$$

όπου P_a η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού συστήματος και 445W η ισχύς του πλαισίου.

- Προσδιορισμός τάσης συσσωρευτών

Για να γίνει ο προσδιορισμός της τάσης των μπαταριών που θα εγκατασταθούν στο κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα χρειάζεται πρώτα να έχει υπολογιστεί η ισχύς. Κατόπιν ανάλογα την τιμή αυτής της παραμέτρου μπορεί να καθοριστεί και η τάση των μπαταριών. Τελικά προκύπτει ο παρακάτω πίνακας τον οποίο και ακολουθεί το προγραμματιστικό κομμάτι.

Ισχύς P_a	Τάση συσσωρευτών V_B
0 - 3 kWp	12 V
3 - 10 kWp	24 V
10 - 15 kWp	48 V
> 15 kWp	Δεν υποστηρίζεται στην πλατφόρμα

Λόγω του ότι η μελέτη της διπλωματικής αφορά οικίες και όχι εγκαταστάσεις υψηλών καταναλώσεων (π.χ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία), μελέτες έδειξαν ότι δεν δύνανται να υπάρξει οικία με κατανάλωση ισχύος μεγαλύτερη των 15 kWp.

- Καθορισμός βάθους εκφόρτισης (DOD)

Το βάθος εκφόρτισης ενός συσσωρευτή όπως έχει ήδη αναφερθεί εξαρτάται από τον τύπο της ηλεκτροδικής αντίδρασης και από τις ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος. Η επιλογή του βάθους εκφόρτισης γίνεται ανάλογα με τις ημέρες αυτονομίας. Στην συγκεκριμένη μελέτη λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας:

Ημέρες αυτονομίας	Βάθος εκφόρτισης (DOD)
-------------------	------------------------

1 - 3	35%
4 - 6	55%

- Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτών

Μετά την εισαγωγή των ζητούμενων δεδομένων από τον χρήστη και των υπολογισμών των παραπάνω στοιχείων μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη χωρητικότητα του συστήματος και η οποία προκύπτει από τον τύπο:

$$C = \sigma_{YM} \cdot \frac{E_T \cdot (n + l_D)}{\sigma_{\Gamma\Sigma} \cdot DOD \cdot V_B \cdot \sigma_{MHE} \cdot k_\theta}, \text{ όπου}$$

σ_{YM} : ο συντελεστής ημερήσιων αναγκών ενέργειας με τιμή $\sigma_{YM} = 1, 2$

l_D : το ποσοστό των φορτίων της κατανάλωσης που τροφοδοτούνται άμεσα από τους συσσωρευτές και λαμβάνει την τιμή $l_D=1$ για φορτία που τροφοδοτούνται από το σύστημα των μπαταριών και $l_D=0$ για φορτία που τροφοδοτούνται άμεσα από το φωτοβολταϊκό πεδίο

σ_{MHE} : ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας από τους συσσωρευτές μέχρι την κατανάλωση και λαμβάνει την τιμή $\sigma_{MHE} = 0, 91$

k_θ : ο συντελεστής θερμοκρασιακής αναπροσαρμογής της χωρητικότητας. Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών λαμβάνονται σε ιδανικές συνθήκες των 25°C. Όταν όμως η ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή της εγκατάστασης είναι διαφορετική από την συγκεκριμένη θερμοκρασία χρειάζεται αναπροσαρμογή της τιμής της ονομαστικής χωρητικότητας και η οποία υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$k_\theta = 1 - \frac{\Delta\theta}{160^\circ\text{C}}$$

όπου $\Delta\theta$: η διαφορά θερμοκρασίας κάτω από τους 25°C.

Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η τιμή λαμβάνεται $k_\theta = 1$

- Επιλογή συσσωρευτή

Κατά την έρευνα των διαθέσιμων στην αγορά συσσωρευτών έγινε η επιλογή του συσσωρευτή Unibat AGM 12V - 200 (240Ah @ C100) με τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

Τύπος συσσωρευτή	Ξηρού τύπου
Ονομαστική τάση συσσωρευτή	12 V
Ονομαστική χωρητικότητα (Ah)	100 Ah
Βάρος	67,2 kg
Μήκος	533 mm

Πλάτος	250 mm
Ύψος	250 mm

- Επιλογή κύκλων φόρτισης

Οι κύκλοι φόρτισης εξαρτώνται από το βάθος εκφόρτισης (DOD) που έχει επιλεγεί και ακολουθεί τις παρακάτω τιμές:

- Αν το DOD είναι 35% ο συσσωρευτής θα λειτουργεί σε 2500 κύκλους φόρτισης
- Αν το DOD είναι 55% ο συσσωρευτής θα λειτουργεί σε 1200 κύκλους φόρτισης

- Συνδεσμολογία συσσωρευτών

Οι συσσωρευτές δύνανται να συνδεθούν τόσο σε σειρά όσο και σε παράλληλη συνδεσμολογία. Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των σε σειρά συνδεδεμένων συσσωρευτών ακολουθούμε τον τύπο :

$$N_{BAT-P} = \frac{V_{NOM}}{V_{MAX-P}}, \text{ όπου}$$

V_{NOM} : είναι η τάση συσσωρευτών και παίρνει τις διακριτές τιμές 12V / 24V / 48V ανάλογα την τάση που έχει επιλεγεί

V_{MAX-P} : λαμβάνει την τιμή $V_{MAX-P} = 12 V$

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των παράλληλα συνδεδεμένων συσσωρευτών ακολουθούμε τον τύπο :

$$N_P = \frac{C}{100 Ah}, \text{ όπου}$$

C : η χωρητικότητα που έχει υπολογιστεί ήδη από παραπάνω

Σε περίπτωση που προκύψει δεκαδικό ψηφίο, αυτό πρέπει να στρογγυλοποιηθεί προς τα πάνω ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα πληρότητας ενέργειας σε περίπτωση διακοπής λόγω μη επαρκούς αποθηκευμένης ενέργειας.

Έτσι ο συνολικός αριθμός των συσσωρευτών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N_{BAT} = N_{BAT-P} \cdot N_P$$

- Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών

Προκειμένου να καλυφθούν και οι τρεις διαφορετικές τάσεις συσσωρευτών που μπορούν να εγκατασταθούν επιλέχθηκε ο ρυθμιστής φόρτισης XTRA 4415N με τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

Είσοδος ρυθμιστή (προς τα φωτοβολταϊκά πλαίσια)			
Μέγιστη ΦΒ ισχύς	520 W	1040 W	1560 W
Μέγιστη τάση DC	138 V		

Βέλτιστο εύρος τάσεως αλγορίθμου (MPPT)	Adaptive (θεωρούμε $V_{NOM} = 108V_{DC}$)		
Αριθμός ανιχνευτών σημείου μέγιστης ισχύος ανά ρυθμιστή	1		
Έξοδος ρυθμιστή (προς τους συσσωρευτές)			
Ονομαστική τάση συστήματος συσσωρευτών (V_B)	12 V	24 V	48 V
Εύρος ονομαστικής τάσεως	Adaptive		
Τύπος συσσωρευτών	All		
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης / ρεύμα συνεχούς φόρτισης	40 A		
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας	-25 to 45°C		

Ωστόσο χρειάζεται να ληφθούν υπόψη και κάποιοι περιορισμοί και αυτοί είναι οι παρακάτω:

- $V_{NOM} \geq 1,2 V_B$
- $I_{SC} \leq 35 A$ το οποίο όμως ισχύει καθώς $I_{SC} = 11,55 A$

- Συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αντίστοιχα με τους συσσωρευτές συνδεόνται με εν σειρά και παράλληλη συνδεσμολογία. Τα εν σειρά συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια υπολογίζονται από τον τύπο:

$$N_S = \frac{V_{NOM(DC)}}{V_{MP}} = \frac{108 V}{41.32} = 2 \text{ πλαίσια σε σειρά}$$

Τα παράλληλα φωτοβολταϊκά πλαίσια υπολογίζονται από τον τύπο:

$$N_P = \frac{N_{\text{ΠΛΑΙΣΙΩΝ}}}{N_S}$$

Στην περίπτωση που ο αριθμός των παράλληλων συστοιχιών είναι μονός αριθμός τότε πρέπει να μετατραπεί στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο ζυγό αριθμό. Επομένως ο συνολικός αριθμός πλαισίων της εγκατάστασης προκύπτει :

$$N_{\text{ΠΛΑΙΣΙΩΝ}} = N_S \cdot N_P$$

- Επιλογή αντιστροφέα τάσεως AC - DC

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγουν εναλλασσόμενη τάση η οποία για να μπορέσει να φτάσει στον καταναλωτή χρειάζεται να μετατραπεί σε συνεχή, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται μέσω του αντιστροφέα. Ο κατάλληλος αντιστροφέας επιλέγεται σύμφωνα με την ισχύ P_a σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ισχύς P_a	0 – 3 kWp	3,1 – 5,4 kWp	5,5 – 10 kWp	10,1 – 15 kWp
Μοντέλο αντιστροφέα	Victron Phoenix 1200 VA 24V	Victron Phoenix 1200 VA 24V	Victron Phoenix 3000 VA	Victron Phoenix 5000 VA
Εύρος τάσης εισόδου (V DC)	9.5-17V	19-33 V	19-33 V	38 - 66 V
Τάση εξόδου (V)	230	230	230	230
Μετατρεπόμενη ισχύς στους 25°C (VA)	1200	1200	3000	5000
Μετατρεπόμενη ισχύς στους 25°C (W)	1000	1000	2500	4500
Μέγιστη ισχύς (W)	2400	2400	6000	10000

Για τιμές ισχύος μεγαλύτερες από 15,1 kWp η πλατφόρμα δεν υποστηρίζεται.

Στον χρήστη τελικά θα εμφανίζονται :

- Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων σε παράλληλη διασύνδεση
- Αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων σε διασύνδεση σε σειρά
- Συνολικός αριθμός συσσωρευτών
- Ο ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών
- Ο αντιστροφέας τάσης

5.3 Αυτοπαραγωγή ενέργειας - Net metering

Μέχρι το 2018 - 2019 η αυτοπαραγωγή με συμψηφισμό μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Πλέον η αυτοπαραγωγή έχει επεκταθεί και σε μικρές ανεμογεννήτριες, σταθμούς βιομάζας, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και σταθμούς συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας.

5.3.1 Συμψηφισμός παραγόμενης - καταναλισκόμενης ενέργειας

Ο συμψηφισμός παραγόμενης - καταναλισκόμενης ενέργειας (net metering) αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το net metering δίνει την δυνατότητα στους καταναλωτές, ιδιώτες, επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες, να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος των ιδιοκαταναλώσεων τους ενώ παράλληλα χρησιμοποιεί το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας. Ο όρος net προκύπτει από την διαφορά καταναλισκόμενης και

παραγόμενης ενέργειας σε μια ορισμένη χρονική περίοδο. Η περίοδος αυτή είναι συνήθως ο κάθε κύκλος καταμέτρησης και τιμολόγησης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. στην περίπτωση που υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή δεν χάνεται για τον καταναλωτή αλλά πιστώνεται για τον επόμενο κύκλο καταμέτρησης, μέχρις ότου γίνει η τελική καταμέτρηση. Ως μέγιστη περίοδος ενεργειακού συμψηφισμού ορίζονται 12 μήνες [54].

Τα μη αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, σε αντίθεση με τα αυτόνομα συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο. Το ρεύμα που παράγεται, απορροφάται από το δίκτυο του διαχειριστή ενέργειας και στην συνέχεια συμψηφίζεται με το ρεύμα που καταναλώνεται από τις υποδομές της εγκατάστασης. Για την μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετείται μετρητής διπλής κατεύθυνσης ο οποίος μετράει την ενέργεια που απορροφά η εγκατάσταση και καταναλώνεται στις υποδομές της. Διακρίνονται τρία πιθανά μετρητικά αποτελέσματα :

- *Πλεονασματική διαφορά :*

Παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση > Κατανάλισκόμενη ενέργεια από το δίκτυο

Σε αυτήν την περίπτωση η περίσσεια ενέργεια μεταφέρεται στον επόμενο λογαριασμό μέχρι να κλείσει ο κύκλος καταμέτρησης και τιμολόγησης της καταναλισκόμενης ενέργειας και να γίνει η εκκαθάριση.

- *Ελλειμματική διαφορά :*

Παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση < Κατανάλισκόμενη ενέργεια από το δίκτυο

Σε αυτήν την περίπτωση η διαφορά της ενέργειας χρεώνεται στην εκκαθάριση

- *Μηδενική διαφορά :*

Παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση = Κατανάλισκόμενη ενέργεια από το δίκτυο

Σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει χρέωση για ρεύμα που καταναλώθηκε [12].

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό πρέπει να τηρούνται κάποιοι όροι και προϋποθέσεις :

- Ύπαρξη ενεργής μόνιμης παροχής ρεύματος στο όνομα του αυτοπαραγωγού μέσω της οποίας θα τροφοδοτείται η εγκατάσταση κατανάλωσης,
- Το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να αντιστοιχίζεται αποκλειστικά με έναν μετρητή κατανάλωσης, δηλαδή με τον μετρητή της εγκατάστασης κατανάλωσης την οποία τροφοδοτεί,
- Το φωτοβολταϊκό σύστημα εγκαθίστανται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης προς την οποία αντιστοιχίζεται. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι δεν επιτρέπεται ο συμψηφισμός με καταναλώσεις του ίδιου φυσικού προσώπου σε άλλες θέσεις εγκατάστασης,
- Ο ενδιαφερόμενος να έχει την νόμιμη χρήση του χώρου εγκατάστασης του συστήματος. Σε περίπτωση μεταβίβασης, αγοράς ή εμπλοκής τρίτου προσώπου μεταβιβάζονται και τα δικαιώματα εκμετάλλευσης,

- Ο ενδιαφερόμενος να έχει εξοφλήσει πλήρως τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου προμηθευτή ή να έχει ενταχθεί σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών. [12]

Το net metering θα μπορούσε να συνδυαστεί και με τα αντίστοιχα Feed-In-Tariff για να ισορροπήσει την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων λαμβάνοντας υπόψιν και παραμέτρους όπως την τοποθεσία του συστήματος, το είδος του, το κατά πόσο είναι επικερδές καθώς ακόμα και την ταρίφα [30].

5.3.2 Καθορισμός μεταβλητών υπολογιστικού μη αυτόνομων φωτοβολταϊκού συστήματος

Όμοια και με την εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προτείνονται να είναι με κλίση μοιρών ανάλογη του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής εγκατάστασης και με νότιο προσανατολισμό για την περιοχή της Ελλάδας.

Επιπρόσθετο δεδομένο και αναγκαίο για την ορθή λειτουργία είναι η ετήσια κατανάλωση της ενέργειας που καταναλώνεται.

5.3.3 Αποθήκευση ενέργειας στα μη αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα αυτόνομα συστήματα τα οποία λειτουργούν υπό το καθεστώς της ιδιοκατανάλωσης δεν χρειάζεται να έχουν εγκατεστημένα συστήματα αποθήκευσης. Σε περίπτωση που επιλεγεί η ύπαρξη ενός συστήματος αποθήκευσης, το σύστημα αυτό θα λειτουργεί ως βοηθητικό για να εξαλείψει την διαφορά ενέργειας μεταξύ της διαθέσιμης παραγωγής από το φωτοβολταϊκό και την απαιτούμενη ενέργεια από το φορτίο ισχύος. Οι συσσωρευτές θα παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ και ενέργεια στον καταναλωτή τις περιόδους μη παραγωγής (όπως οι βραδινές ώρες). Επίσης το σύστημα των μπαταριών απορροφά την περίσσεια ισχύ από την φωτοβολταϊκή συστοιχία όταν παράγει περισσότερη από την κατανάλωση ισχύ και έτσι αποτρέπει την απότομη και μεγάλη έγχυση ισχύος στο δίκτυο κατά τις πρωινές ώρες που υπάρχει υψηλότερη παραγωγή. Ωστόσο η ενέργεια που δεν δύνανται να αποθηκευτεί εγχέεται στο δίκτυο.

5.3.4 Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Για τον παρακάτω υπολογισμό είναι βασικό να θεωρήσουμε δύο παραδοχές. Αρχικά θεωρούμε ότι πρόκειται για επίπεδη περιοχή και αγνοούμε οποιαδήποτε ανομοιομορφία του εδάφους ή τυχόν σκιάσεις από στηθαία, συσκευές που τοποθετούνται στις ταράτσες των κατοικιών καθώς και σκιάσεις από διπλανά κτίρια. Η δεύτερη παραδοχή που γίνεται είναι ότι πρόκειται για καταναλώσεις AC 240V.

Για τον υπολογισμό πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω μεθοδολογία προκειμένου να ληφθούν όσο το δυνατόν πιο ορθά αποτελέσματα.

- Εισαγωγή της περιοχής εγκατάστασης προκειμένου να ληφθεί το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και επομένως η γωνία τοποθέτησης.

- Εισαγωγή της ετήσιας θερμοκρασίας προκειμένου να προταθεί ο αντίστοιχος τύπος αντιστροφέα και πλήθος πλαισίων.
- Επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου
Κατά την έρευνα των διαθέσιμων στην αγορά πλαισίων έγινε η επιλογή του πλαισίου Sharp 445W τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου με τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου Sharp 445W	
P_{STC}	445W
I_{MPP}	10,77A
V_{MPP}	41,32V
I_{SC}	11,55A
V_{OC}	49,04V
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος	- 0,347% / °C
Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσης	- 0,263% / °C
Ασφάλεια ρεύματος στοιχειοσειράς	20A
Προτεινόμενη μέγιστη τάση συστήματος	1500V _{DC}

- Επιλογή πακέτου σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ισχύς P_a	0 – 8500 kWh	8501 – 10000 kWh	100001 – 12700 kWh
Μοντέλο αντιστροφέα	Fronius Symo 5.0 Kw	Fronius Symo 6.0 Kw	Fronius 8.2 Kw
Πλήθος φωτοβολταϊκών πλαισίων	12 πλαίσια	14 πλαίσια	19 πλαίσια

Στον χρήστη τελικά θα εμφανίζονται:

1. Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων
2. Μοντέλο αντιστροφέα

5.4 Σύγκριση αυτόνομου συστήματος - Αυτοπαραγωγής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα αυτόνομο σύστημα κρίνεται αναγκαίο σε περιοχές απομακρυσμένες από το δίκτυο. Λόγω της ενεργειακής και οικονομικής κρίσης επίσης πολλοί καταναλωτές στρέφονται σε εγκαταστάσεις οι οποίες δεν απαιτούν διασύνδεση με το δίκτυο. Ωστόσο αυτό έχει το ρίσκο της μη επαρκούς ενέργειας σε συνεχόμενες μέρες ελάχιστης ή και μηδενικής παροχής ενέργειας λόγω μη ιδανικών καιρικών συνθηκών κάτι το οποίο αντισταθμίζεται με την εισαγωγή της παραμέτρου των ημερών αυτονομίας.

Σε αντίθεση η εγκατάσταση με το σύστημα της αυτοπαραγωγής (net metering) δίνει την σιγουριά στον καταναλωτή πως ακόμα και τις μέρες που οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ιδανικές θα έχει την απαιτούμενη ενέργεια από το δίκτυο με μειωμένο κόστος. Ταυτόχρονα κατά τις ημέρες που η ενέργεια που παράγει ο ίδιος είναι περισσότερη από την ενέργεια που καταναλώνει έχει την δυνατότητα να πουλήσει την περισσευούμενη ενέργεια στο δίκτυο.

Πιο συγκεντρωτικά μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω ανάλογα με την κάθε περίπτωση:

Αυτόνομο σύστημα	Μη αυτόνομο σύστημα
Εξαρτώμενο από καιρικές συνθήκες	Μη εξαρτώμενο από καιρικές συνθήκες
Ανάγκη εγκατάστασης συσσωρευτών	Προτείνεται αλλά δεν χρειάζεται η εγκατάσταση τους
Ιδανικό για οικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο (π.χ. εξοχικά, τροχόσπιτα, τροχοβίλες)	Ιδανικό για οικίες σε περιοχές με εύκολη πρόσβαση και διασύνδεση με το δίκτυο
Ιδανικό για μικρές καταναλώσεις	Ιδανικό για μεγαλύτερες καταναλώσεις
Ασφαλές για παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος ή black - out	Εξαρτώμενο απόλυτα από το δίκτυο σε περίπτωση μη εγκατάστασης συσσωρευτών
Η παραγωγή πρέπει να είναι αυστηρά δίπλα στην κατανάλωση	Η παραγωγή μπορεί να είναι ακόμα και σε άλλο νομό από την κατανάλωση

Ωστόσο πάντα η εγκατάσταση έγκειται στα θέλω και στις απαιτήσεις του καταναλωτή καθώς και το οικονομικό του προϋπολογισμό λόγω των περισσότερων στοιχείων του κυκλώματος που απαιτούνται στην εγκατάσταση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Κεφάλαιο 6 - Διαδικτυακή **Πλατφόρμα**

6.1 Web Platform

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αναπτύχθηκε με την προγραμματιστική γλώσσα της Java (έκδοση 17) και το προγραμματιστικό περιβάλλον της Angular (έκδοση 12). Η Πλατφόρμα αυτή λειτουργεί ως μια πλατφόρμα εισαγωγής στοιχείων και δεδομένων από έναν χρήστη - καταναλωτή με σκοπό την λήψη των πληροφοριών και ηλεκτρονικών διατάξεων που θα χρειαστεί για να προβεί στην εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η πλατφόρμα αυτή αναπτύχθηκε ως διαδικτυακή εφαρμογή λόγω της ευκολίας σχεδιασμού αλλά και της συνεχούς ανάγκης επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων με τους χρήστες. Επιπλέον με αυτόν τον τρόπο είναι πιο εύκολη και η πρόσβαση του καταναλωτή καθώς μπορεί να έχει πρόσβαση από οποιοδήποτε περιηγητή (browser) χωρίς να χρειάζεται η εγκατάσταση επιπρόσθετων προγραμμάτων οδήγησης - λογισμικού.

Η ανάπτυξη του λογισμικού διακρίνεται σε δύο κατηγορίες : την client - side (γνωστό και ως Front-end) και την server - side (γνωστή και ως Back-end).

6.2 Front-End

Το front-end αναπτύχθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Angular 12. Το συγκεκριμένο περιβάλλον έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια και είναι πλήρως συμβατό με την γλώσσα της Java η οποία έχει επιλεγεί για το back-end τμήμα της πλατφόρμας.

Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της Angular είναι η δυνατότητά της να μετατρέπει html documents σε δυναμικό περιεχόμενο.

6.3 Back-End

Όλα τα δεδομένα και ο κώδικας των λειτουργιών της πλατφόρμας αποτελούν το Back-end της εφαρμογής. Το back-end περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες συμπεριλαμβανομένης και της βάσης δεδομένων. Το back-end της εφαρμογής αναπτύχθηκε με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Java (έκδοση 17).

6.4 Αλληλεπίδραση Front-End / Back-end

Η δημιουργία της πλατφόρμας αναπτύχθηκε στην δημιουργία δύο ξεχωριστών repositories εκ των οποίων το κάθε ένα είναι σε ξεχωριστούς φακέλους (monorepo). Για την πρόσβαση στην πλατφόρμα χρειάζεται το αρχείο του κώδικα καθώς και η εγκατάσταση του προγράμματος Docker Desktop και είτε η εγκατάσταση του προγράμματος Git Bash είτε η ενεργοποίηση κάποιων λειτουργιών Linux στο περιβάλλον των Windows. Το Docker έχει

την δυνατότητα να φτιάξει από ένα container για κάθε folder (back-end, front-end). Η επιλογή του έγινε ώστε σε περίπτωση που ο κώδικας τρέξει από υπολογιστή που δεν έχει εγκατεστημένη την Java (στην συγκεκριμένη έκδοση) αλλά και το περιβάλλον της Angular, να μην υπάρχουν θέματα συμβατότητας.

Στην πλατφόρμα υπάρχουν τρεις πιθανοί ρόλοι που μπορεί να λάβει ένας εγγεγραμμένος χρήστης:

- Ρόλος Admin: Μπορεί να εισάγει και να τροποποιήσει πληροφορίες που αφορούν νέα φωτοβολταϊκά και να αλλάξει παραμέτρους στο υπολογιστικό καθώς και να έχει πρόσβαση στην βάση δεδομένων
- Ρόλος Moderator : Μπορεί να εισάγει νέα φωτοβολταϊκά και πληροφορίες
- Ρόλος User : κάνει είσοδο/εγγραφή και εισαγωγή δεδομένων για τον υπολογισμό της εγκατάστασης που επιθυμεί

6.5 Σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων

Το υπολογιστικό τμήμα της πλατφόρμας βασίζεται σε μια βάση δεδομένων. Η βάση είναι μια embedded SQL H2 στο σύστημα. Κατά την εκκίνηση ενεργοποιείται, ενώ όταν σβήνει η πλατφόρμα τίθεται εκτός και η βάση δεδομένων. Με την επανεκκίνηση της πλατφόρμας επανεκκινείται και η βάση και χρειάζεται επανεγγραφή του χρήστη.

6.6 Περιήγηση στην πλατφόρμα

Προκειμένου ο χρήστης να εκτελέσει με επιτυχία την εισαγωγή στοιχείων χρειάζεται να εγκαταστήσει το πρόγραμμα Docker Desktop. Στην συνέχεια εφόσον έχει κατεβάσει τον κώδικα εκτελεί τις παρακάτω εντολές:

- cd
- cd folder (στον οποίο έχει αποθηκεύσει το αρχείο)
- docker-compose up

Ο χρήστης θα βλέπει στην εφαρμογή του Docker Desktop την δημιουργία δύο containers. Στην συνέχεια ανοίγει έναν φυλλομετρητή στον οποίο πραγματοποιεί επίσκεψη στο url: <https://localhost:8083/>. Με αυτόν τον τρόπο σηκώνεται ένας τοπικός (local) server από τον οποίο μπορεί να τρέξει την εφαρμογή.

Με την είσοδο του χρήστη στην πλατφόρμα, ο χρήστης καλείται να κάνει sign in ή log in προκειμένου να έχει πρόσβαση στην υπολογιστική πλατφόρμα αλλά και στο πληροφοριακό τμήμα της.



Εικόνα 6.1 Είσοδος στην πλατφόρμα

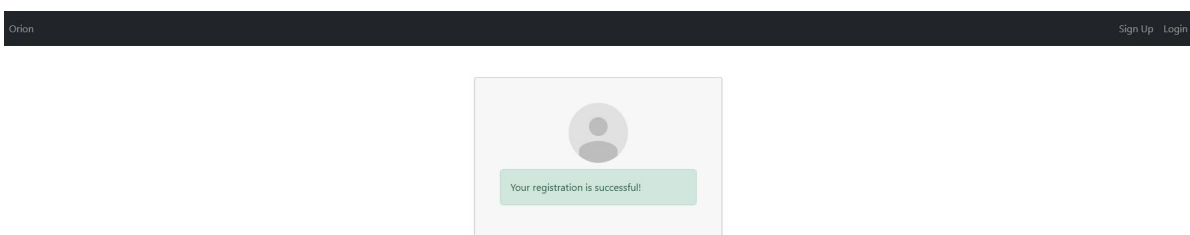
Ο χρήστης εισάγει οποιοδήποτε username θέλει αλλά και ένα email και κωδικό. Ο κωδικός χρειάζεται να είναι τουλάχιστον 6 χαρακτήρων για την επιτυχή εγγραφή.

The image shows a registration form with a light gray background. At the top center is a circular icon representing a user profile. Below it are three input fields labeled 'Username', 'Email', and 'Password'. At the bottom of the form is a blue button with the text 'Sign Up'. In the top left corner, the word 'Orion' is written in a small font, and in the top right corner, the words 'Sign Up' and 'Login' are written in a small font.

localhost:8083/register

Εικόνα 6.2 Πλατφόρμα εγγραφής

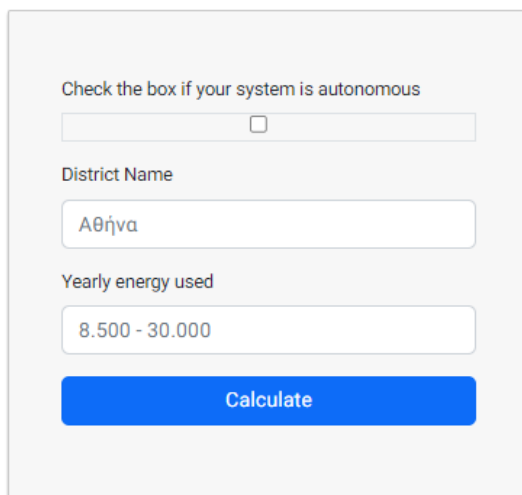
Μετά την επιτυχή εγγραφή ο χρήστης αντικρίζει την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.3 Επιτυχής εγγραφή

Πλέον ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θέλει να μελετήσει κάποιες γενικές πληροφορίες σχετικά με τα αυτόνομα και μη φωτοβολταϊκά συστήματα ώστε να καταλήξει στην επιθυμητή εγκατάσταση. Επίσης έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει απευθείας την πλατφόρμα υπολογισμού.

Στην πλατφόρμα υπολογισμού ο χρήστης έρχεται σε επαφή με το παρακάτω περιβάλλον:

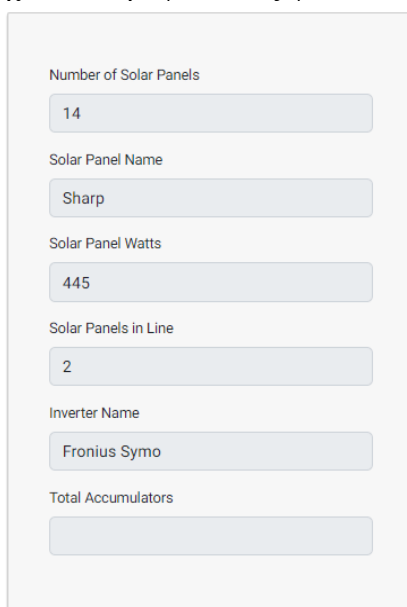


The image shows a web form with the following elements:

- A checkbox labeled "Check the box if your system is autonomous" which is currently unchecked.
- A text input field labeled "District Name" containing the text "Αθήνα".
- A text input field labeled "Yearly energy used" containing the text "8.500 - 30.000".
- A blue button labeled "Calculate".

Εικόνα 6.4 Πλατφόρμα υπολογιστικού για μη αυτόνομο σύστημα

Το πρώτο πεδίο που πρέπει να συμπληρωθεί είναι η επιλογή αυτόνομου ή μη αυτόνομου συστήματος. Στην περίπτωση που επιθυμεί μη αυτόνομο σύστημα χρειάζεται απλά να επιλέξει τον νομό εγκατάστασης και να εισάγει την ετήσια ποσότητα ενέργειας. Στην συνέχεια πατάει Calculate και του εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα στην οποία μπορεί να έχει έτοιμα σε ιδανικές συνθήκες τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων, τον σε σειρά αριθμό πάνελ και τον αντίστοιχο αντιστροφέα όπως φαίνεται και παρακάτω:

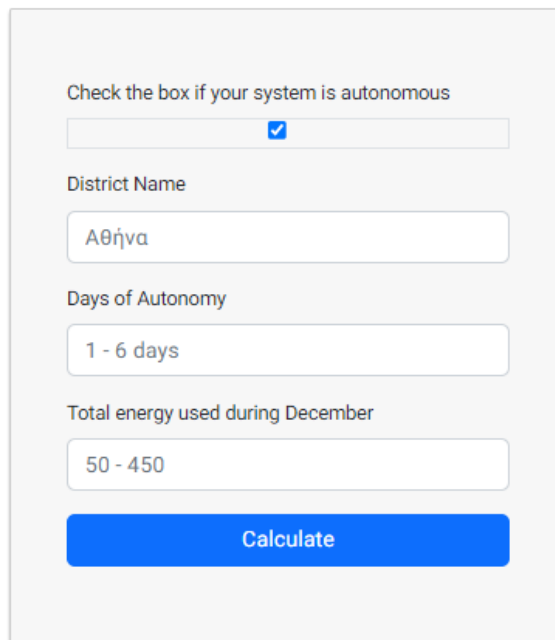


The image shows a web form with the following elements:

- A text input field labeled "Number of Solar Panels" containing the text "14".
- A text input field labeled "Solar Panel Name" containing the text "Sharp".
- A text input field labeled "Solar Panel Watts" containing the text "445".
- A text input field labeled "Solar Panels in Line" containing the text "2".
- A text input field labeled "Inverter Name" containing the text "Fronius Symo".
- A text input field labeled "Total Accumulators" which is currently empty.

Εικόνα 6.5 Παράδειγμα υπολογισμού μη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Στην περίπτωση που επιθυμεί αυτόνομο χρειάζεται να επιλέξει την αντίστοιχη επιλογή και έπειτα να εισάγει τον νομό, τις ημέρες αυτονομίας καθώς και μηνιαία κατανάλωση Δεκεμβρίου.

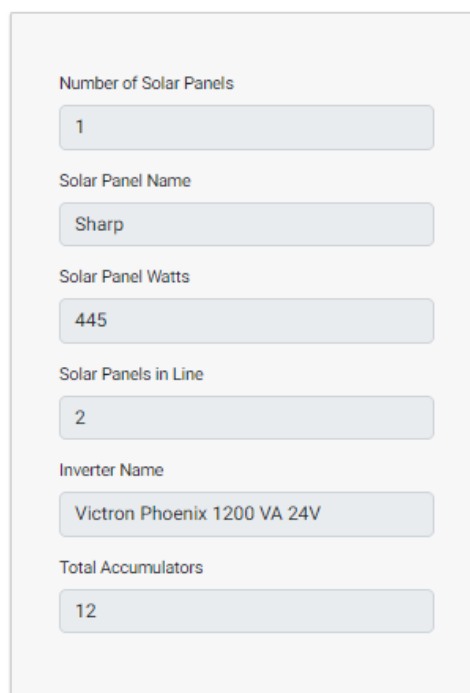


The screenshot shows a web form with the following fields and values:

- Check the box if your system is autonomous:
- District Name: Αθήνα
- Days of Autonomy: 1 - 6 days
- Total energy used during December: 50 - 450
- Calculate button

Εικόνα 6.6 Πλατφόρμα υπολογιστικού για αυτόνομο σύστημα

Στην συνέχεια πατάει Calculate και εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα στην οποία σε ιδανικές συνθήκες περιλαμβάνει τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πάνελ εν παραλληλία και σε σειρά καθώς και το είδος τους, τον αντιστροφέα και το πλήθος των συσσωρευτών όπως διακρίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



The screenshot shows a web form with the following fields and values:

- Number of Solar Panels: 1
- Solar Panel Name: Sharp
- Solar Panel Watts: 445
- Solar Panels in Line: 2
- Inverter Name: Victron Phoenix 1200 VA 24V
- Total Accumulators: 12

Εικόνα 6.7 Παράδειγμα υπολογισμού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Όσον αφορά το πληροφοριακό κομμάτι στην πλατφόρμα ο χρήστης μπορεί να δει τις διαφορές μεταξύ αυτόνομου και μη συστήματος προκειμένου να καταλήξει στην καλύτερη για εκείνον επιλογή.

HOW NET METERING WORKS

Τι είναι το Net Metering

Ο συμμετρησμός παραγόμενης - καταναλωσόμενης ενέργειας (net metering) αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το net metering δίνει την δυνατότητα στους καταναλωτές ιδιώτες επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος των ιδιοκαταναλώσεων τους ενώ παράλληλα χρησιμοποιεί το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας. Ο όρος net προκύπτει από την διαφορά καταναλωσόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μια ορισμένη χρονική περίοδο.

Τα μη αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, σε αντίθεση με τα αυτόνομα συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο. Το ρεύμα που παράγεται, απορροφάται από το δίκτυο του διαχειριστή ενέργειας και στην συνέχεια συμμετρήζεται με το ρεύμα που καταναλώνεται από τις υποδομές της εγκατάστασης. Για την μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετείται μετρητής διπλής κατεύθυνσης ο οποίος μετράει την ενέργεια που απορροφά η εγκατάσταση και καταναλώνεται στις υποδομές της.

Προϋποθέσεις Εγκατάστασης Μη Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος

- Υπαρξη ενεργής μόνιμης παροχής ρεύματος στο όνομα του αυτοπαραγωγού μέσω της οποίας θα τροφοδοτείται η εγκατάσταση κατανάλωσης.
- Το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να αντιστοιχεί αποκλειστικά με έναν μετρητή κατανάλωσης
- Ο ενδιαφερόμενος να έχει την νόμιμη χρήση του χώρου εγκατάστασης του συστήματος. Σε περίπτωση μεταβίβασης, αγοράς ή εμπλοκής τρίτου προσώπου μεταβιβάζονται και τα δικαιώματα σχετάλευσης.
- Ο ενδιαφερόμενος να έχει εξοφλήσει πλήρως τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου προμηθευτή ή να έχει ενταχθεί σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών
- Το φωτοβολταϊκό σύστημα εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης προς την οποία αντιστοιχείται. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι δεν επιτρέπεται ο συμμετρησμός με καταναλώσεις του ίδιου φυσικού προσώπου σε άλλες θέσεις εγκατάστασης.

Εικόνα 6.8 Πληροφορίες για την εγκατάσταση μη αυτόνομου συστήματος

Αυτόνομο Σύστημα

Ως ιδιοκατανάλωση ηλεκτρισμού ορίζεται όταν καταναλωτές (ατομικοί ή εταιρικοί) καταναλώνουν ενέργεια παραγόμενη από κοινότης τους εγκαταστάσεις και συνδέονται με αυτούς με φωτοβολταϊκά πάνελ ή ακόμα και μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες

- Βαθμός ιδιοκατανάλωσης

Το ιδανικό σενάριο θα ήταν για έναν καταναλωτή είτε με οικιακό είτε με εταιρικό προφίλ να καταναλώνει όση ενέργεια παράγει κάτι το οποίο ωστόσο δεν είναι πάντα ρεαλιστικό. Επομένως η ιδιοκατανάλωση μπορεί να καλύψει ένα τμήμα της ζήτησης.

- Σύνδεση με το δίκτυο ή αυτόνομο σύστημα

Η σύνδεση με το δίκτυο είναι επιθυμητή ώστε να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση όταν η παραγωγή από το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν είναι επαρκής λόγω των απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών. Επίσης η σύνδεση αυτή επιτρέπει και την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο με την εναλλακτική να είναι η αποθήκευση της σε κάποιο συσσωρευτή. Ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις (απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο όπου η διασύνδεση είναι δύσκολη) καταναλωτές επιλέγουν να είναι ενεργειακά αυτόνομοι και να μην συνδέονται στο δίκτυο

Ατομική ή συλλογική προσέγγιση

Η ιδιοκατανάλωση μπορεί να αφορά τόσο ατομικούς όσο και εταιρικούς καταναλωτές.

Εικόνα 6.9 Πληροφορίες για την εγκατάσταση αυτόνομου συστήματος

Επίσης μπορεί να δει και τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων επιμέρους στοιχείων του κυκλώματος όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τους συσσωρευτές, τους αντιστροφεείς και τους ρυθμιστές τάσεις / φόρτισης.

Σημαντικό επίσης είναι να αναφερθεί ξανά πως ο υπολογισμός στηρίζεται στις παραδοχές ότι το έδαφος είναι επίπεδο, οι καταναλώσεις είναι 240V AC και ότι γύρω από την περιοχή εγκατάστασης δεν υπάρχουν σκιάσεις, στηθαία, ακόμα και φυτά που ενδέχεται να εμποδίσουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα - Εξέλιξη

7.1 Συμπεράσματα

Η περιβαλλοντική πολιτική που τείνει να εφαρμόζεται και να εδραιώνεται τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η πιο εύκολα προσβάσιμη και εκμεταλλεύσιμη ενέργεια είναι αυτή από τον Ήλιο. Ειδικά σε χώρες όπως αυτή της Ελλάδος η ηλιακή ενέργεια είναι προσβάσιμη στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας και για μεγάλο χρονικό διάστημα του έτους. Η εκμετάλλευση αυτή γίνεται μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η εξέλιξη των συστημάτων αυτών έχει προσφέρει την ανάπτυξη δύο μεγάλων κατηγοριών συστημάτων: των αυτόνομων και των μη αυτόνομων συστημάτων. Ανάλογα την περίπτωση ο καταναλωτής έχει την εναλλακτική να επιλέξει ποιο σύστημα τον βοηθάει και να αξιοποιήσει στο μέγιστο τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας.

Η παρούσα διπλωματική είχε σαν κύριο θέμα την δημιουργία πλατφόρμας η οποία θα βοηθήσει τον καταναλωτή / χρήστη να κατανοήσει τις διαφορές μεταξύ αυτών των συστημάτων, να επιλέξει το ιδανικό για αυτόν σύστημα και να γνωρίζει τα επιμέρους τμήματα που θα χρειαστεί να εγκαταστήσει.

Ταυτόχρονα δημιουργήθηκε και μία βάση δεδομένων η οποία περικλείει όλη την πληροφορία που χρειάζεται προκειμένου να υπολογίσει τις αναγκαίες παραμέτρους και να προτείνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα στον χρήστη.

7.2 Πιθανή εξέλιξη της εργασίας

Η πλατφόρμα καθώς είναι στα πλαίσια μια διπλωματικής εργασίας προσφέρει ένα πιλοτικό περιβάλλον για τον χρήστη που θέλει να έρθει σε επαφή με την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στο μέλλον η πλατφόρμα μπορεί να λαμβάνει περισσότερες μεταβλητές όπως πιθανές σκιάσεις υπόψη προκειμένου να προσφέρει ένα πιο πλήρες και “σωστό” σύστημα στον καταναλωτή. Επίσης ιδανική θα ήταν και η προσθήκη περισσότερων επιμέρους τμημάτων ώστε να προσαρμόζεται και αναλόγως το οικονομικό κόστος στον καταναλωτή ο οποίος μπορεί να δύνανται να θέλει να κάνει μια πιο μεγάλη οικονομική επένδυση ή και όχι.

Στην βελτίωση της πλατφόρμας θα συνεισέφερε η ενεργοποίηση των ρόλων που ήδη υπάρχουν όπως με το να γίνουν πιο λειτουργικοί καθώς προς το παρόν δεν μπορεί να καθοριστεί καθαρά ένας χρήστης τι ρόλο θα έχει λόγω της βάσης δεδομένων η οποία απενεργοποιείται με την παύση του προγράμματος. Λόγω της συγκεκριμένης έκδοσης της Angular δεν ήταν δυνατόν να γίνει error handling. Τέλος όσον αφορά την βάση δεδομένων αυτή μπορεί να γίνει πιο αυτοματοποιημένη ώστε να μην λαμβάνει έτοιμες τις τιμές των παραμέτρων.

Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι η πλατφόρμα μπορεί να είναι πλήρως λειτουργική και για τον “έξω κόσμο” εφόσον μπορέσει με την βελτίωσή της να λάβει και εξωτερική IP.

Παράρτημα

ΝΟΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ ($\alpha = \varphi^\circ$) [55]	Μηνιαία ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας Δεκεμβρίου [56]	Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου για τον μήνα Δεκέμβριο(°C) [56]	Μέση ετήσια θερμοκρασία	Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης (σ_θ)	Συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκής γεννήτριας ($\sigma_{\text{ΑΣΦΠ}}$)	Ηλιακή πυκνότητα ενέργειας Δεκεμβρίου (Π)
Λασιθίου	35,19	105	13	18,02	0,928	0,754399578	3,387096774
Αθηνών	37,9838	108	12	16,88	0,932	0,757651301	3,483870968
Έβρου	40,8457	79	7	16,13	0,952	0,773909912	2,548387097
Φωκίδας	38,5267	79	7,7	13,56	0,9492	0,771633707	2,548387097
Κεφαλληνίας	38,1732	86	12,8	18,33	0,9288	0,755049923	2,774193548
Άρτας	39,1582	88	10,7	16,77	0,9372	0,76187854	2,838709677
Ημαθίας	40,5194	77	6,6	13,81	0,9536	0,775210601	2,483870968
Μαγνησίας	39,3666	78	9	16,93	0,944	0,767406468	2,516129032
Γρεβενών	40,0838	59	6	12,83	0,956	0,777161634	1,903225806
Δράμας	41,1502	73	8,6	16,07	0,9456	0,768707156	2,35483871
Πέλλας	40,8017	79	6,6	14,13	0,9536	0,775210601	2,548387097
Κυκλάδων	37,45	110	15	18,55	0,92	0,747896134	3,548387097

Ζακύνθου	37,7882	92	14,7	18,51	0,9212	0,74887165	2,967741935
Θεσπρωτίας	39,5061	79	9	16,48	0,944	0,767406468	2,548387097
Ηρακλείου	35,3387	103	12,5	18,66	0,93	0,756025439	3,322580645
Θεσσαλονίκης	40,6401	72	9,4	15,38	0,9424	0,766105779	2,322580645
Ιωαννίνων	39,665	72	6,9	13,28	0,9524	0,774235084	2,322580645
Καβάλας	40,9376	66	7	15,98	0,952	0,773909912	2,129032258
Μεσσηνίας	37,0366	97	13,7	18,88	0,9252	0,752123373	3,129032258
Καρδίτσας	39,364	72	8,6	15,31	0,9456	0,768707156	2,322580645
Ευρυτανίας	38,9121	76	6,4	12,57	0,9544	0,775860946	2,451612903
Άγιο Όρος	37,291	47	5	15,69	0,96	0,780413357	1,516129032
Καστοριάς	40,5193	62	5,2	12,59	0,9592	0,779763012	2
Πιερίας	40,2702	78	10,2	16,12	0,9392	0,763504401	2,516129032
Κέρκυρας	39,6243	79	12,6	17,18	0,9296	0,755700267	2,548387097
Κιλκίς	40,9937	71	7,8	15,47	0,9488	0,771308534	2,290322581
Κοζάνης	40,3006	74	5,2	12,38	0,9592	0,779763012	2,387096774
Ροδόπης	41,1224	92	8,3	14,83	0,9468	0,769682673	2,967741935
Κορινθίας	37,9386	95	10,8	16,73	0,9368	0,761553367	3,064516129
Φθιώτιδας	38,8997	81	8,8	14,68	0,9448	0,768056812	2,612903226

Λάρισας	39,639	85	9,5	16,51	0,942	0,765780606	2,741935484
Λευκάδας	38,8334	86	11,5	17,52	0,934	0,759277162	2,774193548
Βοιωτίας	38,4387	73	7	15,15	0,952	0,773909912	2,35483871
Αιτωλοακαρνανίας	38,3687	98	9,6	17,63	0,9416	0,765455434	3,161290323
Λέσβου	39,1067	90	12,2	17,35	0,9312	0,757000956	2,903225806
Αργολίδας	37,5673	93	9,5	17,34	0,942	0,765780606	3
Εάνθης	41,1363	81	8,4	14,67	0,9464	0,769357501	2,612903226
Αχαΐας	38,2466	107	10	15,54	0,94	0,764154745	3,451612903
Πειραιώς	37,943	98	12	16,88	0,932	0,757651301	3,161290323
Χαλκιδικής	40,3816	60	10,5	16,35	0,938	0,762528884	1,935483871
Πρέβεζας	39,2023	92	9	17,67	0,944	0,767406468	2,967741935
Ηλείας	37,67	102	11	17,4	0,936	0,760903023	3,290322581
Ρεθύμνης	35,3656	84	12	17,4	0,932	0,757651301	2,709677419
Δωδεκανήσου	36,435	103	16	19,91	0,916	0,744644411	3,322580645
Σάμου	37,7548	107	14	18,04	0,924	0,751147856	3,451612903
Σερρών	41,0864	72	8,9	16,77	0,9444	0,76773164	2,322580645
Λακωνίας	37,0745	93	9,2	15,04	0,9432	0,766756123	3
Τρικάλων	39,5557	73	8,8	15,89	0,9448	0,768056812	2,35483871

Αρκαδίας	37,5101	87	7,5	13,75	0,95	0,772284051	2,806451613
Φλώρινας	40,7845	62	3,5	10,23	0,966	0,78529094	2
Ευβοίας	38,4687	84	10,7	17,64	0,9372	0,76187854	2,709677419
Χανίων	35,5138	98	10,3	15,33	0,9388	0,763179229	3,161290323
Χίου	38,371	101	11,1	15,5	0,9356	0,760577851	3,258064516

Βιβλιογραφία

- [1]Χ. Κωνσταντίνου, “Το ενεργειακό πρόβλημα και η λύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας - Παράδειγμα δημιουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 100kW στο αεροδρόμιο της Ν.Αγχιάλου”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Σεπτέμβριος, 2008
- [2] Ναυτεμπορική, “Ενεργειακή κρίση και για δεύτερο χειμώνα; Τι αναμένεται για το πετρέλαιο”, Ναυτεμπορική, Σεπτ.2022
- [3] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, “Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα”, Αθήνα, Ιανουάριος, 2019
- [4] Γ.Κ. Γκούμας, “Το ενεργειακό τοπίο της Ελλάδας στις σημερινές συνθήκες | Υ.ΠΕ.ΘΕ. “, Υ.ΠΕ.ΘΕ, Σεπτ.2019
- [5]Βικιπαιδεία. Αιολική ενέργεια [Online]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια
- [6]Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, Ανεμογεννήτριες [Online]. Available: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm
- [7] Ν. Κελεπούρης, “Μελέτη υδροηλεκτρικού εργοστασίου ισχύος 0.5MW”, Διπλωματική, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2019
- [8]Βικιπαιδεία. Βιομάζα [Online]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Βιομάζα>
- [9]Agroenergy, Βιομάζα [Online]. Available: <https://agroenergy.gr/categories/βιομάζα>
- [10] Mary H. Dickson and Mario Fanelli, Μτφ Μιχάλης Φυτίκας, Μαρία Παπαχρήστου, “Τι είναι η Γεωθερμική ενέργεια”, Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy
- [11] Λ.Ι. Κούμπουλλα, “Η ενέργεια των ωκεανών και οι εφαρμογές της”, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Σέρρες, 2016
- [12]C.N. Stefanatos, “Redefining RES Project Capital Structure: Introduction of Parity, a crowdfunding platform”, Athens, 2018
- [13]Ι.Μ.Δημάκης και Μ.Σ.Σωτηροπούλου, “Μελέτη αξιοποίησης ελληνικών γεωργικών εκτάσεων με συνύπαρξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αγροτικής παραγωγής”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, Οκτώβριος, 2015
- [14]Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκών [Online]. Available: <https://pv.hmu.gr/history>
- [15] M.Newborough, S.D. Probert, P.A.Page, “Energy education in the UK problems and perspectives”, 2003
- [16] “Ηλεκτρονική 3”, [Online]. Available : <https://eclass.uoa.gr>
- [17] Κ.Θ.Δέρβος, Φωτοβολταϊκά συστήματα από την θεωρία στην πράξη, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π. , 2013

- [18]Α. Μπαρνάσας, “Παρασκευή και χαρακτηρισμός οξειδίων μεταβατικών μετάλλων σε μορφή λεπτών υμενίων”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα επιστήμης των υλικών, Πάτρα, 2018
- [19] Δ.Γ.Παπαγεωργίου, “Ημιαγωγοί”, Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, [Online]. Available: <http://pc164.materials.uoi.gr/dpapageo>
- [20] Γ. Λελοβίτης, “Φωτοβολταϊκά στοιχεία”, [Online]. Available : <https://ekfeprevezas.files.wordpress.com>
- [21] “Δομή και ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών ”, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών, [Online], Available : <https://mycourses.ntua.gr/courses/ECE1388>
- [22] Kafesaki, “Σύγχρονη φυσική”, “Ενότητα 7. Στερεά” [Online]. Available: <https://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics>
- [23] Κ.Χ. Παπακωνσταντίνου, “Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών-αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015
- [24] The Editors of encyclopedia Britannica, “p-n junction”, [Online]. Available : <https://www.britannica.com/technology/p-n-junction>
- [25] Physics and Radio~Electronics, “P-N junction semiconductor diode”, [Online]. Available : <https://www.physics-and-radio-electronics.com/electronic-devices-and-circuits>
- [26] Σ. Παυλόπουλος, “Ζώνη σθένους - Ζώνη αγωγιμότητας”
- [27] Energy education, “Photovoltaic effect”, [Online]. Available : https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect
- [28] Δ.Χ. Ριζάδης, “Αντιμετώπιση του φαινομένου ανύψωσης τάσης λόγω υψηλής διείσδυσης φωτοβολταϊκών στην Χαμηλή Τάση μέσω αποθήκευσης ενέργειας”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015
- [29]Μ. Παπαδημητρίου, “Σύστημα μετρήσεων I-V καμπυλών φωτοβολταϊκών κυψελών βασισμένο στον μικροελεγκτή MC68HC908GP32”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα φυσικής, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2008
- [30] Icaro Silvestre Freitas Gomes, Yannick Perez, Emilia Suomalainen, “Coupling small batteries and PV generation : a review. Renew Sustain Energy”, Rev. 2020
- [31] “Φωτοβολταϊκά συστήματα. Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου”, [Online]. Available : <https://micro-kosmos.uoa.gr>
- [32]“Πυρίτιο & Thin film. Φωτοβολταϊκά στοιχεία - Αποδόσεις φωτοβολταϊκών στοιχείων” [Online]. Available : <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika>
- [33] Vanika Sharma, M.H.Haque, Syed Mahfuzul Aziz “Effects of high solar photovoltaic penetration on distribution feeders and the economic impact”, October, 2020
- [34] Ling Ai Wong, Vigna K. Ramachandaramurthy, Sara L. Walker, Janaka B. Ekanayake, “Optimal placement and sizing of battery energy storage system considering the duck curve phenomenon”, Malaysia, 2020
- [35]Σ. Μ. Καφούρος, “Διερεύνηση της λειτουργίας και σχεδιασμός συστήματος ελέγχου του δυναμικού αποκαταστάτη τάσης (DVR) που χρησιμοποιείται στα δίκτυα διανομής”,

Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2010

[36] Β. Γ. Βασιλάκας, Δ.Ι.Μπρούμας, “Προβλήματα φωτοβολταϊκών συνδεδεμένα στο δίκτυο”, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2015

[37] Ι. Κουβελιώτης - Λυσίκατος, “Μελέτη αρμονικών σε δίκτυα χαμηλής τάσης με υψηλή διεύθυνση φωτοβολταϊκών”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013

[38] Ζ. Μυλωνά, Α. Πανάγου, “Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων σε συστήματα διανεμημένης παραγωγής με το λογισμικό EMTP-RV”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2011

[39] Victor Vega-Garita, Laura Ramirez,-Elizondo, Nishant Narayan, “Integrating a photovoltaic storage system in one device: a critical review”, Netherlands, 2018

[40] T. Markvart, L. Castaner, “Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications”, Elsevier Ltd, 2003

[41] Energy sage, [Online]. Available: energysage.com

[42] PV education . Battery Capacity, [Online]. Available: <https://www.pveducation.org>

[43] DOE, “Primer on Lead Acid Storage Batteries Handbook”, Department of Energy, United States of America, 09/1995

[44] A. Luque, S. Hegedus, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, John Wiley & Sons Ltd, 2003

[45] T. Markvart, L. Castaner, “Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications”, Elsevier Ltd, 2003

[46] Samuel C. Johnson, Michael E. Webber, “Selecting Favorable Energy Storage Technologies for Nuclear Power in Storage and Hybridization of Nuclear Energy”, 2019

[47] Wikipedia. VRLA battery [Online]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/VRLA_battery

[48] Smart Cover, “ Πληροφορίες για μπαταρίες”, [Online]. Available : <https://www.smart-cover.gr/plirofories-gia-mpataries/>

[49] Science Direct, [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/antimony-alloys>

[50] Vega Garita, “Integrating a Photovoltaic Panel and a Battery Pack in One Module From concept to prototype”, Netherlands, 2019

[51] Σ.Ν. Μανιάς, “Ηλεκτρονικά ισχύος”, 2η έκδοση, Αθήνα, εκδόσεις Συμείων, 2017

[52] Επίσημος ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, [Online]. Available : https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-5351_el.htm

[53] Βικιπαίδεια. Γεωγραφία της Ελλάδας [Online]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωγραφία_της_Ελλάδας

[54] Χ.Β. Καλλιοντοπούλου, “Σχεδιασμός και οικονομική ανάλυση συστήματος φωτοβολταϊκών με δεδομένο το θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα μηχανολόγων μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2010

[55] Βικιπαιδεία, Κατάλογος πόλεων της Ελλάδος, [Online]. Available : https://el.wikipedia.org/wiki/Κατάλογος_πόλεων_της_Ελλάδας

[56] European Commission, “Photovoltaic Geographical Information System” [Online platform]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

Πηγές εικόνων

Εικόνα 1.1 : www.xronikadramas.gr

Εικόνα 1.2 : www.farkadonapress.gr/

Εικόνα 1.3 : www.thessaliaeconomy.gr/

Εικόνα 1.4 : www.cres.gr

Εικόνα 1.5 : www.kpe-velvent.koz.sch.gr

Εικόνα 1.6 : www.theneweconomy.com

Εικόνα 1.7 : www.clearwater.gr

Εικόνα 2.2 : www.courseware.mech.ntua.gr

Εικόνα 2.3 : <https://slideplayer.gr/slide/5658717/>

Εικόνα 2.4 : <http://eclass.teipir.gr>

Εικόνα 2.5 : <https://nemertes.library.upatras.gr>

Εικόνα 2.6 : Α. Λούρος, Το φαινόμενο του σχήματος της πάπιας (Duck chart, Duck curve) στην Ελλάδα για τα έτη 2015 και 2016, Θεσσαλονίκη, 2017.

Εικόνα 4.1 : Κ.Θ.Δέρβος, Φωτοβολταϊκά συστήματα από την θεωρία στην πράξη, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π. , 2013 σελ.304

Εικόνα 4.2 : Κ.Θ.Δέρβος, Φωτοβολταϊκά συστήματα από την θεωρία στην πράξη, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π. , 2013 σελ.306