



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Συστοιχίες συσσωρευτών φωτοβολταϊκών συστημάτων»

«Photovoltaic system battery arrays»



Υπό

**Μαραγκός Ιωάννης**

Επιβλέπων Καθηγητής

**Νταφόπουλος Βασίλειος**

**ΛΑΡΙΣΑ, 2023**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Νταφόπουλο Βασίλειο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τον σπουδαστή Μαραγκό Ιωάννη του τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022 – 2023.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στην οικογένειά μου, για την ολόψυχη αγάπη και την υποστήριξη τους οικονομικά και ψυχολογικά κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στις μέρες μας βλέπουμε ότι η ενέργεια έχει καθοριστικό ρόλο στη ζωή μας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η ενέργεια βρήκε το στήριγμα στο να ανακάμψει και να εξελιχθεί δημιουργώντας διαφόρους τομείς. Κάθε χώρα του πλανήτη χρησιμοποιεί την ενέργεια για να λύσει στην κοινωνία προβλήματα όπως είναι τα οικονομικά και τα περιβαλλοντικά. Υπάρχουν διάφορα είδη ενέργειας και μπορούν να ανακαλυφθούν περισσότερες αφού ο άνθρωπος εξελίσσεται συνεχώς.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στους συσσωρευτές, καθώς και στην λειτουργία τους στα φωτοβολταϊκά. Σκοπός, της συγκεκριμένης εργασίας είναι να μελετηθούν τα διάφορα είδη συσσωρευτών και συγκεκριμένα να επισημανθούν τα βασικά μέρη μιας μπαταρίας, καθώς επίσης θα επισημανθούν και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση μιας μπαταρίας . Ακόμη, επισημαίνονται οι πιθανοί τρόποι σύνδεσής των συσσωρευτών. Στη συνέχεια, μελετάτε ο ρόλος του συσσωρευτή σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Επίσης, επισημαίνονται οι κατηγορίες που διακρίνονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και αναλύονται οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται σε αυτά. Επιπρόσθετα, γίνονται έρευνες για την εξέλιξη των φωτοβολταϊκών αλλά και ποιες είναι οι προϋποθέσεις έτσι ώστε να εγκατασταθούν. Τέλος, παρουσιάζονται αριθμητικά παραδείγματα φωτοβολταϊκών, σε αυτόνομο και διασυνδεδεμένο σύστημα.

### **Λέξεις – κλειδιά**

Συσσωρευτές, ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών, τρόποι σύνδεσης συσσωρευτών, φωτοβολταϊκά συστήματα

## **ABSTRACT**

These days we can see that energy has a crucial role in our lives. With the evolution of technology, energy has found its support to recover and evolve by creating different sectors. Every country in the world uses energy to solve problems in society such as economic and the environment problems. There are different types of energy and more can be discovered since man is constantly evolving.

This thesis refers to accumulators, and their operation in photovoltaics. The purpose of this project is to study different types of accumulators and in particular to identify the basic parts of a battery. The possible ways of connecting the accumulators are also indicated. Afterward, the role of the accumulator in a photovoltaic system was studied. Also, the categories of photovoltaic systems and the converters used in them are analysed. In addition, research is done on the development of photovoltaic system and what are the requirements for their installation. Finally, numerical examples of photovoltaics, in stand – alone and interconnected system are presented.

## **Keywords**

Accumulators, cells and battery classification, ways of connecting accumulators, solar system

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη συσσωρευτών στα φωτοβολταικά συστήματα. Κύριος στόχος της εργασίας είναι αρχικά να γίνει μια εισαγωγή ως προς την δομή και τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συσσωρευτή και στη συνέχεια να ερευνηθούν οι πιθανοί τρόποι σύνδεσης μιας μπαταρίας αλλά η χωρητικότητά της έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα κεφάλαια τα οποία αναπτύσσονται παρακάτω παρουσιάζουν πληροφορίες που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της ιστορικής αναδρομής μιας μπαταρίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στον ορισμό και την δομή μπαταρίας, αλλά και στην ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την ανάπτυξη διάφορων ειδών μπαταρίας και τις νέες τεχνολογίες που θα εφαρμοστούν στις μπαταρίες.

Στο τρίτο κεφάλαιο επισημαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συσσωρευτή και αναπτύσσεται ο ρόλος του ελεγκτή φόρτισης - εκφόρτισης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ερευνούνται οι τρεις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης μπαταριών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κατηγορίες μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και οι λειτουργία τους σχετικά με σύστημα αυτό.

Στο έκτο κεφάλαιο θα αναπτυχθεί ο ορισμός του φωτοβολταϊκού συστήματος, οι τρόποι σύνδεσής τους καθώς και οι επιμέρους κατηγορίες που αυτό διακρίνεται. Ακόμα, αναφέρεται οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταικά συστήματα, η νομοθεσία που υπάρχει για να γίνει η εγκατάστασή τους αλλά και ποια θα είναι η εξέλιξη των φωτοβολταικών στο μέλλον.

Στο έβδομο κεφάλαιο υπάρχουν αριθμητικά παραδείγματα σχετικά με την εγκατάσταση και την μελέτη ενός φωτοβολταικού συστήματος σε σπίτι.

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| Κεφάλαιο 1 Ιστορική αναδρομή μπαταριών .....                     | 6  |
| Κεφάλαιο 2 Γενικές πληροφορίες για τις μπαταρίες .....           | 8  |
| 2.1 Ορισμός και δομή στοιχείων μπαταρίας .....                   | 8  |
| 2.2 Κατηγοριοποίηση στοιχείων και μπαταριών .....                | 9  |
| 2.2.1 Πρωτεύουσες μπαταρίες .....                                | 9  |
| 2.2.2 Δευτερεύουσες μπαταρίες .....                              | 10 |
| 2.2.3 Μπαταρίες αποθήκευσης .....                                | 11 |
| 2.3 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος .....                             | 11 |
| 2.4 Μπαταρίες νικελίου – καδμίου .....                           | 13 |
| 2.5 Μπαταρίες λιθίου – ιόντος .....                              | 15 |
| 2.6 Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση της μπαταρίας; ..... | 17 |
| 2.7 Νέες τεχνολογίες μπαταριών .....                             | 18 |
| Κεφάλαιο 3 Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας .....                 | 19 |
| 3.1 Χωρητικότητα .....   | 19 |
| 3.2 Τάση .....   | 20 |
| 3.3 Ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης .....                         | 20 |
| 3.4 Κύκλος και Κύκλος ζωής .....                                 | 21 |
| 3.5 Αποδοτικότητα .....  | 22 |
| 3.6 Ρεύμα μπαταρίας .....  | 25 |
| 3.7 Ελεγκτές φόρτισης – εκφόρτισης μπαταριών .....               | 25 |
| 3.7.1 Η βασική λειτουργία ελεγκτή φόρτισης .....                 | 25 |
| 3.7.2 Αποφυγή της υπερφόρτισης .....                             | 26 |
| 3.7.3 Περιορισμός των εξωτερικών επιδράσεων .....                | 27 |
| 3.8 MPPT ελεγκτής φόρτισης .....                                 | 27 |
| 3.9 Αριθμητικό παράδειγμα μπαταρίας .....                        | 28 |
| Κεφάλαιο 4 Τρόποι σύνδεσης μπαταριών .....                       | 29 |
| 4.1 Σύνδεση σε σειρά .....                                       | 29 |
| 4.2 Παράλληλη σύνδεση .....                                      | 29 |
| 4.3 Μικτή σύνδεση .....  | 30 |
| 4.4 Μπαταρίας και δίκτυο .....                                   | 31 |
| 4.5 Παράδειγμα σύνδεσης σε σειρά .....                           | 31 |
| 4.6 Παράδειγμα παράλληλης σύνδεσης .....                         | 32 |
| 4.7 Παράδειγμα μεικτής σύνδεσης .....                            | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Κεφάλαιο 5 Ο ρόλος της μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....      | 34 |
| 5.1 Η λειτουργία της μπαταρίας .....                                   | 34 |
| 5.2 Είδη μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων .....                      | 35 |
| 5.3 Ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκού.....                        | 37 |
| 5.4 Κλειστού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών .....                       | 37 |
| Κεφάλαιο 6 Φωτοβολταϊκό σύστημα.....                                   | 39 |
| 6.1 Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκών .....                              | 39 |
| 6.2 Ορισμός φωτοβολταϊκού συστήματος .....                             | 40 |
| 6.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκού συστήματος.....        | 40 |
| 6.4 Συστοιχίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....                           | 41 |
| 6.5 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου .....                    | 42 |
| 6.6 Κατηγορίες φωτοβολταϊκού πάνελ .....                               | 42 |
| 6.7 Φωτοβολταϊκό στοιχείο – Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....                | 44 |
| 6.7 Μέρη που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....                   | 45 |
| 6.8 Χαρακτηριστικές καμπύλες στο φωτοβολταϊκό σύστημα .....            | 46 |
| 6.9 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ.....                                   | 49 |
| 6.9.1 Σύνδεση σε σειρά .....   | 49 |
| 6.9.2 Σύνδεση φωτοβολταϊκών παράλληλα .....                            | 50 |
| 6.10 Μετατροπείς.....  | 51 |
| 6.11 Βάσεις φωτοβολταϊκών .....  | 53 |
| 6.12 Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση φωτοβολταϊκών πάνελ | 55 |
| 6.13 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....                          | 57 |
| 6.13.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.....                            | 57 |
| 6.13.2 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα .....                     | 58 |
| 6.13.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα .....                           | 59 |
| 6.13.4 Ενεργειακός συμψηφισμός(Net Metering).....                      | 60 |
| 6.14 Το μέλλον των φωτοβολταϊκών.....                                  | 61 |
| 6.15 Νομοθεσία φωτοβολταϊκών.....                                      | 63 |
| Κεφάλαιο 7 Αριθμητικά παραδείγματα.....                                | 64 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ .....   | 70 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....   | 71 |

## Κατάλογος Εικόνων

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 1.1 Συσσωρευτής του 1748 από τον Βενιαμίν Φράκλιν.....            | 6  |
| Εικόνα 1.2 Μπαταρία Energizer από το 2010.....                           | 6  |
| Εικόνα 2.1 Μέρη του στοιχείου.....                                       | 8  |
| Εικόνα 2.2 Δομή μπαταρίας μολύβδου – οξέος.....                          | 11 |
| Εικόνα 2.3 Μπαταρία λιθίου – ιόντος.....                                 | 15 |
| Εικόνα 4.1 Μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά.....                          | 24 |
| Εικόνα 4.2 Παράλληλη σύνδεση μπαταριών.....                              | 25 |
| Εικόνα 4.3 Μεικτή σύνδεση μπαταριών.....                                 | 26 |
| Εικόνα 4.4 Διάγραμμα εκφώνησης συνδεσμολογίας (σειρά) μπαταριών..        | 32 |
| Εικόνα 4.5 Διάγραμμα εκφώνησης συνδεσμολογίας (παράλληλη) μπαταριών..... | 32 |
| Εικόνα 4.6 Διάγραμμα εκφώνησης συνδεσμολογίας (μεικτή) μπαταριών..       | 33 |
| Εικόνα 5.1 Επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου.....                         | 31 |
| Εικόνα 5.2 Υβριδική μπαταρία νικελίου.....                               | 31 |
| Εικόνα 5.3 Μπαταρία ανοιχτού τύπου.....                                  | 32 |
| Εικόνα 5.4 Μπαταρία κλειστού τύπου.....                                  | 33 |
| Εικόνα 6.1 Ηλιακή συστοιχία.....   | 41 |
| Εικόνα 6.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φ/β στοιχείου.....                | 41 |
| Εικόνα 6.3 Μονοκρυσταλλικό πάνελ.....                                    | 42 |
| Εικόνα 6.4 Πολυκρυσταλλικό πάνελ.....                                    | 43 |
| Εικόνα 6.5 Πάνελ άμορφου πυριτίου.....                                   | 43 |
| Εικόνα 6.6 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....                                   | 44 |
| Εικόνα 6.7 Μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....                       | 45 |
| Εικόνα 6.10 Σύνδεση φωτοβολταϊκών σε σειρά.....                          | 48 |
| Εικόνα 6.13 Σύνδεση φωτοβολταϊκών παράλληλα.....                         | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 6.14 Μετατροπέας DC-AC.....                   | 51 |
| Εικόνα 6.15 Μετατροπέας DC-DC.....                   | 52 |
| Εικόνα 6.16 Σταθερή βάση φωτοβολταϊκών.....          | 53 |
| Εικόνα 6.17 Σύστημα ανίχνευσης ήλιου.....            | 54 |
| Εικόνα 6.20 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....       | 57 |
| Εικόνα 6.21 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα..... | 58 |
| Εικόνα 6.22 Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα.....       | 58 |
| Εικόνα 6.23 Ενεργειακός συμψηφισμός.....             | 62 |
| Εικόνα 6.27 Νομοθεσία φωτοβολταϊκών.....             | 65 |

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

|  |    |
|--|----|
| Διάγραμμα 2.4 Καμπύλες εκφόρτισης μιας μπαταρίας.....                                      | 16 |
| Διάγραμμα 3.1 Φόρτιση μπαταρίας σε 4 στάδια.....   | 21 |
| Διάγραμμα 3.2 Διάγραμμα τάσης – χωρητικότητας, εκφόρτισης.....                             | 22 |
| Διάγραμμα 3.3 Διάγραμμα χωρητικότητας – κύκλων ζωής.....                                   | 23 |
| Διάγραμμα 3.4 Διάγραμμα σύγκρισης μπαταριών μολύβδου – οξέος με ιόντων λιθίου.....         | 24 |
| Διάγραμμα 3.5 Στάδια φόρτισης μπαταρίας μολύβδου – οξέος.....                              | 26 |
| Διάγραμμα 6.7 Καμπύλη ρεύματος – τάσης.....  | 41 |
| Διάγραμμα 6.8 Καμπύλη ρεύματος τάσης & καμπύλη ισχύς – τάσης.....                          | 46 |
| Διάγραμμα 6.11 Διάγραμμα ρεύματος – τάσης για σύνδεση σε σειρά.....                        | 47 |
| Διάγραμμα 6.12 Διάγραμμα ρεύματος – τάσης για παράλληλη σύνδεση.....                       | 49 |
| Διάγραμμα 6.18 Η μεταβολή της καμπύλης ρεύματος – τάσης λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας..... | 55 |
| Διάγραμμα 6.19 Η μεταβολή της καμπύλης ρεύματος – τάσης λόγω της θερμοκρασίας.....         | 55 |
| Διάγραμμα 6.24 Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά χρόνο.....                                 | 62 |
| Διάγραμμα 6.25 Εξέλιξη των φωτοβολταϊκών ανά χρόνο.....                                    | 63 |
| Διάγραμμα 6.26 Εξέλιξη των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών ανά χρόνο.....                    | 63 |

## Κεφάλαιο 1 Ιστορική αναδρομή μπαταριών

Μια μπαταρία η οποία είναι στην πραγματικότητα ένα ηλεκτρικό στοιχείο είναι μια συσκευή που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μια χημική αντίδραση.

Το χρονοδιάγραμμα ιστορικό μπαταρίας:

**1748:** Ο όρος «μπαταρία» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Βενιαμίν Φράνκλιν για να εξηγήσει μια σειρά φορτισμένων γυάλινων πλακών.

**1800 Voltaic Pile:** Ο Alessandro Volta ανακάλυψε το Voltaic Pile με αποτέλεσμα να εφευρεθεί η πρώτη στοχευμένη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το Voltaic Pile έχει κατασκευαστεί από εναλλασσόμενους δίσκους ψευδαργύρου και χαλκού με κομμάτια από χαρτόνι εμποτισμένο σε άλμη μεταξύ των μετάλλων και το αποτέλεσμα ήταν ότι άρχισε να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα.

**1859 Επαναφορτιζόμενη μπαταρία:** Ο Gaston Plante ήταν Γάλλος εφευρέτης και ανακάλυψε την πρώτη μπαταρία μολύβδου – οξέος η οποία έχει την ικανότητα να επαναφορτίζεται. Έτσι, σήμερα αυτός ο τύπος μπαταρίας αξιοποιείται στα αυτοκίνητα.

**1901 Alkaline Storage:** Το 1901 ανακαλύφθηκε η αλκαλική μπαταρία από τον επιστήμονα Thomas Alva Edison. Συγκεκριμένα, η μπαταρία αυτή συντελείται από σίδηρο στην ανόδου και από νικελικό οξείδιο στην υλικό καθόδου.

**1954 Ηλιακά κύτταρα:** Η πρώτη ηλιακή μπαταρία ανακαλύφθηκε από τους επιστήμονες Gerald Pearson, Calvin Fuller και Daryl Chapin. Ο ρόλος μιας ηλιακής μπαταρίας είναι να μετατρέπει την ενέργεια του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ερευνητές έτσι, χρησιμοποίησαν μια σειρά από λωρίδες πυριτίου τις οποίες έβαλαν στο ηλιακό φως με αποτέλεσμα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και να αλλάξουν σε ηλεκτρικό ρεύμα. Στη Νέα Υόρκη η Bell Laboratories ανακοίνωσε την νεωτερική κατασκευή μιας νέας ηλιακής μπαταρίας. Τέλος, η δοκιμή της Bell Solar Battery ξεκίνησε στις 4 Οκτωβρίου 1955 με τηλεφωνικό σύστημα.

**2000:** Η εταιρία Energizer δημοσίευσε για πρώτη φορά την Energizer Titanium Technology η οποία διαθέτει ένα βελτιωμένο σχεδιασμό μπαταρίας και τεχνολογίας τιτανίου καθώς ο ρόλος της είναι να παρέχει ισχύ και αξιοπιστία.

**2010:** Ανακαλύφθηκε η πρώτη βιομηχανοποιημένη παραγωγή μπαταρία αυτοκινήτου ιόντων λιθίου.



Εικόνα 1.1: Συσσωρευτής του 1748 από Βενιαμίν Φράκλιν



Εικόνα 1.2: Μπαταρία Energizer του 2010

## Κεφάλαιο 2 Γενικές πληροφορίες για τις μπαταρίες

### 2.1 Ορισμός και δομή στοιχείων μπαταρίας

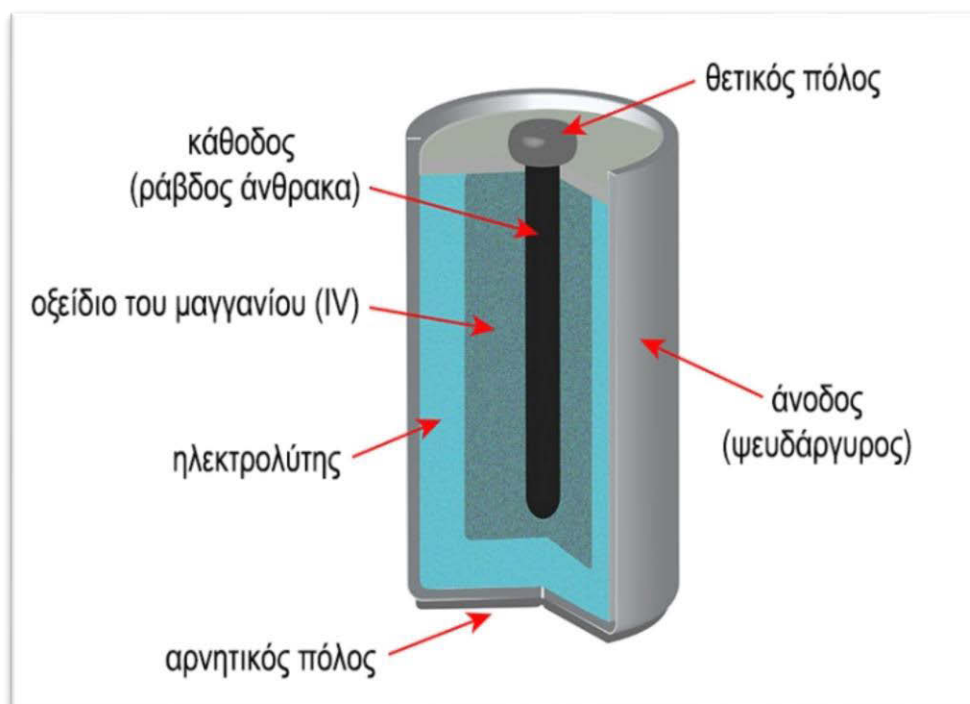
Η μπαταρία είναι ένας συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μικρότερη μονάδα της είναι ένα στοιχείο. Κατά κανόνα μια μπαταρία αποτελείται από μια σειρά στοιχείων τα οποία είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η χημική ενέργεια συσσωρεύεται μέσα τους μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, αν συνδεθεί ένας ηλεκτρικός καταναλωτής. Η απόδοσή της εξαρτάται από τον τύπο κατασκευής.

Ο όρος «μπαταρία» έχει χρησιμοποιηθεί αρκετές φορές, όμως η στοιχειώδη ηλεκτροχημική μονάδα στην οποία επισημαίνεται είναι το «στοιχείο». Η μπαταρία συντελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια στοιχεία, και η συνδεσμολογία μπορεί να είναι σειράς ή παράλληλη ή συνδυασμό των δύο ανάλογα με την απαιτούμενη τάση και τη χωρητικότητα εξόδου. Το στοιχείο διακρίνεται από τα παρακάτω συστατικά:

Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ή ηλεκτρόδιο ανόδου: ο ρόλος του είναι να δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και να οξειδώνεται στη συνέχεια κατά την διάρκεια της ηλεκτροχημικής διαδικασίας.

Το ηλεκτρόδιο καθόδου ή θετικό ηλεκτρόδιο: ο ρόλος του είναι να δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και να μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής διαδικασίας.

Τον ηλεκτρολύτη: ο ρόλος του είναι να δίνει το μέσο για τη μεταφορά του φορτίου χρειάζεται να έχει τη μορφή ιόντων, εντός του στοιχείου δια μέσου της ανόδου και της καθόδου. Ακόμη, ο ηλεκτρολύτης είναι ένα υγρό, δηλαδή για παράδειγμα το νερό ή άλλοι διαλύτες, με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια έχουν την ικανότητα να μεταδίδουν την ιοντική αγωγιμότητα. Ορισμένοι συσσωρευτές αξιοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες, καθώς, μπορούν να είναι στη θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου ιοντικοί αγωγοί.



Εικόνα 2.1: Μέρη του στοιχείου

## 2.2 Κατηγοριοποίηση στοιχείων και μπαταριών

### 2.2.1 Πρωτεύουσες μπαταρίες

Οι πρωτεύουσες μπαταρίες δεν διαθέτουν την εύκολη ή την αποτελεσματική ηλεκτρική επαναφόρτιση με αποτέλεσμα στην αρχή να εκφορτίζονται και στη συνέχεια να παραλείπονται. Ακόμη, «ξηρά στοιχεία» ονομάζονται τα πρωτεύοντα στοιχεία όταν ηλεκτρολύτης εμπεριέχεται στο απορροφητικό ή διαχωριστικό υλικό.

Η πρωτεύουσα μπαταρία είναι μια ελαφριά πηγή «συσκευασμένης» ενέργειας, εύχρηστη και όχι ακριβή η οποία έχει αρκετές εφαρμογές όπως είναι φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές παιχνίδια, φωτισμό και αρκετές ακόμη.

Τα οφέλη των πρωτευουσών μπαταριών:

A) είναι μεγάλη διάρκεια ζωής

B) μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλές έως μεσαίες τιμές εκφόρτισης

Γ) ευκολία στη χρήση και περιορισμένη ανάγκη συντήρησης

### 2.2.2 Δευτερεύουσες μπαταρίες

Η δευτερεύουσα μπαταρία έχει την ικανότητα να επαναφορτίζεται ηλεκτρικά, αφού πρώτα πραγματοποιηθεί η εκφόρτισή της, διαρρέοντας ρεύμα διά μέσου της αντίθετης όμως φοράς από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Η μπαταρία αυτή είναι γνωστή ως αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εφαρμογές που αξιοποιούνται οι δευτερεύουσες μπαταρίες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Εφαρμογές που ο ρόλος μιας δευτερεύουσας μπαταρίας είναι μια συσκευή αποθήκευση ενέργειας. Ακόμη, αυτές οι μπαταρίες είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες, φορτίζονται από την κύρια πηγή ενέργειας και έχει την δυνατότητα όταν της ζητηθεί να μεταφέρει την ενέργειά της στο φορτίο. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι: συστήματα αυτοκινήτων και αεροσκαφών, πηγές ενέργειας αναμονής (UPS) και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα.

Εφαρμογές που ο ρόλος μιας δευτερεύουσας μπαταρίας είναι να χρησιμοποιείται ή εκφορτίζεται όπως κάνει μια πρωτεύουσα μπαταρία. Αλλά, η διαφορά μεταξύ των δευτερευουσών και πρωτευουσών είναι ότι οι δευτερεύουσες μπαταρίες μπορούν να επαναφορτίζονται μετά τη χρήση τους και όχι να απορρίπτονται. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες έτσι εφαρμόζονται για παράδειγμα σε φορητές ηλεκτρονικές καταναλώσεις, ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικά οχήματα κλπ, με σκοπό τη μείωση του κόστους (αφού δεν μπορούν να επαναφορτιστούν αντί να αντικατασταθούν) και σε εφαρμογές που απαιτούν άντληση ενέργειας πέρα από τα όρια μιας πρωτεύουσας μπαταρίας.

Τα χαρακτηριστικά των δευτερευουσών μπαταριών (εκτός από την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται) διακρίνονται σε:

- 1) μεγάλη πυκνότητα ισχύος
- 2) ο ρυθμός εκφόρτισης είναι υψηλός,
- 3) διαθέτουν επίπεδες καμπύλες φόρτισης
- 4) σε χαμηλές θερμοκρασίες καλές επιδόσεις.

Η πυκνότητα ενέργειας των δευτερευουσών μπαταριών σε σχέση με αυτή των πρωτευουσών μπαταριών είναι χαμηλότερη. Ακόμη, η κατακράτηση φορτίου είναι χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή της πρωτεύουσας μπαταρίας. Τέλος, η

δευτερεύουσα μπαταρία έχει την ικανότητα με την επαναφόρτιση να διατήρηση την χωρητικότητα της.

### 2.2.3 Μπαταρίες αποθήκευσης

Σε αυτό το είδος μπαταρίας πριν ξεκινήσει να λειτουργεί το βασικό συστατικό της απομακρύνεται από την υπόλοιπη μπαταρία. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να χαθεί η χημική φθορά, έτσι η μπαταρία έχει την δυνατότητα να αποθηκευτεί για αρκετό χρόνο. Το συστατικό το οποίο έχει το ρόλο να απομακρύνεται είναι ο ηλεκτρολύτης. Σε ένα άλλο σύστημα, για παράδειγμα στην θερμική μπαταρία ο ρόλος της είναι να λιώσει την στερεό ηλεκτρολύτη όταν θερμανθεί ο οποίος στη συνέχεια γίνεται αγώγιμος.

### 2.3 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος

Το 1859 ανακαλύφθηκαν οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος οι οποίες διαθέτουν την παλαιότερη και ταυτόχρονα την πιο γνωστή μορφή επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών μπαταριών. Ο τομέας στον οποίο έχουν εφαρμοστεί είναι στα αυτόνομα υβριδικά συστήματα και σήμερα έχουν έναν βασικό ρόλο στην τεχνολογία. Η μπαταρία μολύβδου – οξέος έχει γίνει αρκετά γνωστή επειδή δεν είναι ακριβή σε σχέση με άλλες μπαταρίες (π.χ. 100 – 300€/kwh). Ακόμη, οι συσσωρευτές αυτές διαθέτουν αρκετά μεγάλη αξιοπιστία και μεγάλους βαθμούς απόδοσης οι οποίοι κυμαίνονται στο 80 με 85%. Έχει παρατηρηθεί ότι η αστοχία αυτής της μπαταρίας είναι στο 0,25% περίπου. Οι τομείς που έχουν χρησιμοποιηθεί οι μπαταρίες αυτές είναι στις τεράστιες συστοιχίες μπαταριών καθώς και στις μπαταρίες αυτοκίνητων και οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ηλεκτρική αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας.

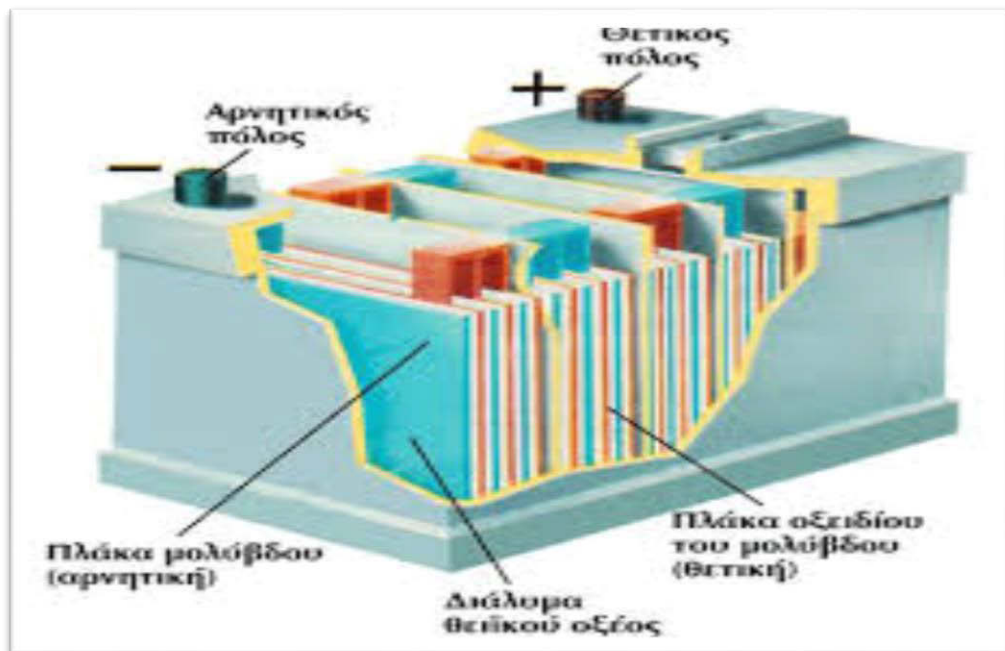
**Τα πλεονεκτήματα της μπαταρίας μολύβδου – οξέος είναι τα εξής:**

- Το κόστος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας δεν είναι υψηλό
- Ανακυκλώσιμη
- Διατίθεται σε έκδοση χωρίς συντήρηση
- Η κατασκευή είναι εύκολη: μαζική παραγωγή
- Η απόδοση της επαναφόρτισης «αγγίζει» περίπου το 70%
- Διατίθεται σε διάφορων μορφών χωρητικότητας, μεγεθών και σχεδίων

- Υπάρχει καλή λειτουργία σε υψηλό εύρος θερμοκρασιών (-40°C έως 60°C)
- Σε ένα στοιχείο υπάρχει καλή τάση σχεδόν 2V (σε ανοιχτό κύκλωμα τάσης)
- Η ένδειξη φόρτισης – εκφόρτισης είναι εύκολη

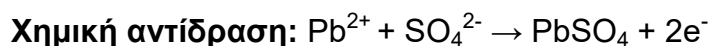
**Τα μειονεκτήματα της μπαταρίας μολύβδου – οξέος είναι τα ακόλουθα:**

- Η διάρκεια ζωής είναι χαμηλή (περίπου 500 κύκλοι βαθιάς φόρτισης)
- Η πυκνότητα ενέργειας (σχεδόν 30 έως 40 Wh/kg)
- Όταν υπάρχει σε μεγάλο χρονικό διάστημα αποθήκευση τότε μπορεί να υπάρξει γείωση του ηλεκτροδίου της με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μη αναστρέψιμη βλάβη.
- Το αντιμόνιο και το αρσενικό αποτελούν το πλέγμα, τα οποία είναι επιβλαβή για την υγεία.
- Μπαταρίες μικρού μεγέθους (<500mAh, μπαταρία μεγέθους AA) είναι δύσκολο να γίνει
- Αν υπάρξει βραχυκύκλωμα τότε θα δημιουργηθεί μη αναστρέψιμη βλάβη της μπαταρίας.



Εικόνα 2.2: Δομή της μπαταρίας μολύβδου – οξέος

Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας μολύβδου – οξέος στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχουμε τις εξής αντιδράσεις:



Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας μολύβδου – οξέος στο θετικό ηλεκτρόδιο έχουμε τις εξής αντιδράσεις:



Οπότε η **συνολική αντίδραση** είναι:  $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

## 2.4 Μπαταρίες νικελίου – καδμίου

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου έχουν υψηλές τιμές ειδικής ενέργειας, καθώς και διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη (2000 έως 2500 κύκλοι). Επίσης, διαθέτουν υψηλούς ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Ακόμα, απόδοσή τους είναι μικρή (περίπου 60% με 75%) και έχουν ακριβό κόστος. Επιπρόσθετα, στα πλεονεκτήματά τους ανήκουν και η αυξημένη αξιοπιστία καθώς και οι πολύ μικρές ανάγκες για συντήρηση σε ψυχρά κλίματα. Τέλος, οι μπαταρίες αυτές έχουν την ικανότητα να εφαρμοστούν για τον φωτισμό έκτακτης ανάγκης, για φορητές συσκευές, UPS και εκκίνηση κινητήρων.

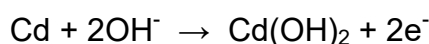
Όπως επισημάνθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, ένα πολύ βασικό μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος (περίπου 800€/kwh) επειδή η κατασκευαστική διαδικασία είναι ακριβή. Ακόμη, το κάδμιο αποτελεί ένα από το πιο βαρύ τοξικό μέταλλο το οποίο δημιουργεί προβλήματα διάθεσης και ανακύκλωσης των συσσωρευτών νικελίου – καδμίου. Επίσης, το φαινόμενο μνήμης συντελεί αρνητικό χαρακτηριστικό, διότι όταν ένας συσσωρευτής νικελίου – καδμίου αρκετές φορές φορτίζεται και εκφορτίζεται σε ένα ορισμένο ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας, τότε τείνει να το έχει συκρατήσει και στο τέλος μπορεί να εκφορτιστεί επαρκώς μόνο μέχρι το συγκεκριμένο ποσοστό αυτό. Δηλαδή, στο οποίο ξεκινούσε η επαναφόρτιση φαίνεται η μείωση της τάσης της μπαταρίας να είναι μεγάλη σαν να ήταν εκφορτισμένη πλήρως, ενώ δεν μειώνεται αρκετά η αρχική χωρητικότητα. Αλλά, το σύστημα

δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει όλη την αποθηκευμένη ενέργεια ,εάν το σύστημα το οποίο ηλεκτροδοτείται από την μπαταρία δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει κατά τη διάρκεια της χαμηλής τιμής της τάσης, έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι χαμηλή. Τέλος, σε περίπτωση που εμφανιστεί το φαινόμενο μνήμης τότε μπορεί να αντιμετωπιστεί από μια αλληλουχία πύρων εκφορτίσεων της μπαταρίας.

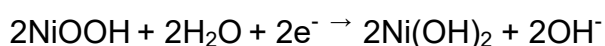
### **Περιγραφή λειτουργίας της μπαταρίας νικελίου – καδμίου:**

- Οι θετικές πλάκες περιέχουν ενώσεις Ni
- Οι αρνητικές πλάκες περιέχουν ενώσεις Cd
- Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες λαμβάνουν μέρος για τον συσσωρευτή NiCd είναι:

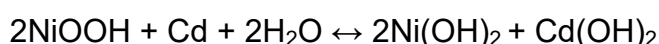
#### **1) Στο ηλεκτρόδιο του καδμίου:**



#### **2) Στο ηλεκτρόδιο του νικελίου:**



#### **3) Συνολικά:**



Μελετώντας την χημική αντίδραση από αριστερά προς τα δεξιά έχουμε την εκφόρτιση της μπαταρίας, ενώ από δεξιά προς τα αριστερά έχουμε την φόρτιση.

### **Πλεονεκτήματα νικελίου – καδμίου:**

- Ο χρόνος ζωής είναι πολύ υψηλός, ο αριθμός κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης είναι περίπου 3500. Ακόμα, όταν το βάθος εκφόρτισης είναι μικρό περίπου 10% τότε ο αριθμός κύκλων αγγίζει τους 50000.
- Η παροχή ισχύος είναι γρήγορη.
- Η μπαταρία είτε είναι στο 100% είτε στο 10% για κατάσταση φόρτισης. ο χρόνος αποθήκευσης θα είναι καλός.

- Είναι οι μοναδικές οι οποίες λειτουργούν ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες αγγίζουν τους 20°C.

#### **Μειονεκτήματα νικελίου – καδμίου:**

- Το κάδμιο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα υγείας στους ανθρώπους επειδή είναι τοξικό χημικό στοιχείο. Το 2003 η Ευρωπαϊκή Ένωση είχε βγάλει νόμο στον έλεγχο ότι το 75% των μπαταριών αυτών έπρεπε να ανακυκλωθούν.
- Χρειάζονται αρκετά κελιά έτσι ώστε να υπάρχουν μεγάλες τάσεις, η τάση του κελιού είναι σχεδόν 1,2V.
- Όταν μια μπαταρία νικελίου – καδμίου αρχίζει να επαναφορτίζεται συνεχώς πριν αποφορτιστεί, τότε υπάρχει πτώση τάσης στην κυψέλη και έτσι επηρεάζεται η χωρητικότητα της μπαταρίας. Το φαινόμενο αυτό λέγεται φαινόμενο «μνήμης».

### **2.5 Μπαταρίες λιθίου – ιόντος**

Οι μπαταρίες λιθίου – ιόντος διαθέτουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (σχεδόν 300 – 400 kWh/m<sup>3</sup>), ο βαθμός απόδοσής της είναι μεγάλος οποίος μπορούν να φτάσει το 100%, καθώς επίσης έχουν κύκλο ζωής είναι υψηλός (σχεδόν 3000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%). Επίσης, επειδή το λίθιο ορίζεται ως το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι συσσωρευτές οι οποίοι στηρίζονται σε αυτό έχουν την ικανότητα να είναι ελαφρύτερες σε σχέση με τις συνηθισμένες. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω και επειδή η αποτελεσματικότητά τους είναι μεγάλη αποτελεσματικότητάς, οι τομείς που μπορούν να εφαρμοστούν είναι τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές. Ακόμη, ο ρυθμός εκφόρτισης είναι χαμηλός (περίπου 5% το μήνα), η ικανότητα παροχής ρεύματος είναι υψηλή και η ύπαρξη συντήρησης είναι επίσης μικρή.

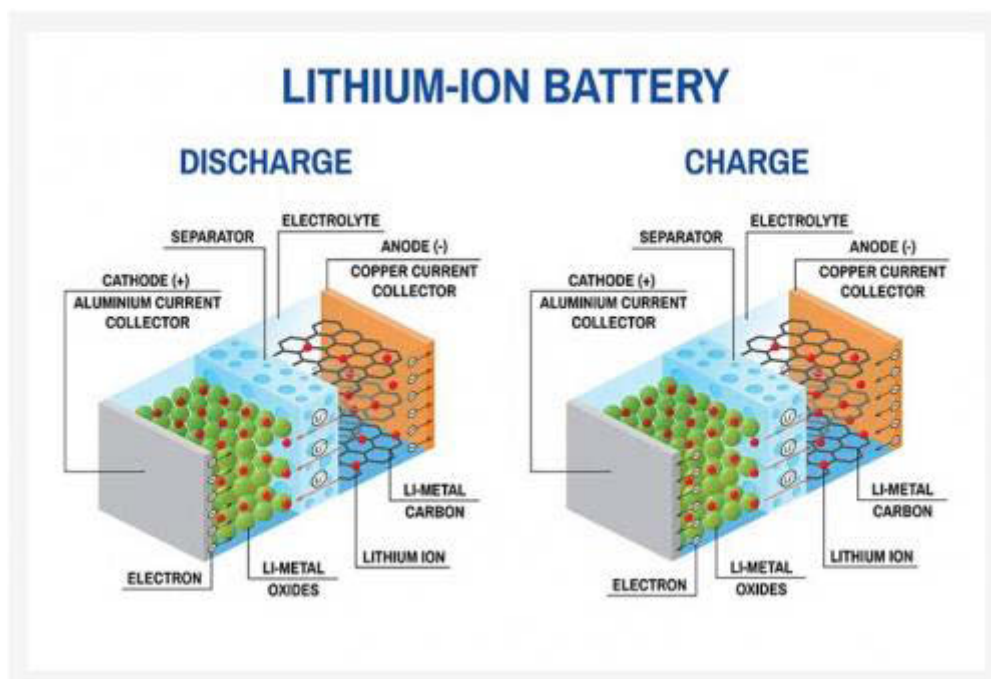
Όμως, οι υψηλές θερμοκρασίες επιδρούν αρνητικά στη διάρκεια ζωής τους, αλλά αν υπάρξει βαθιά εκφόρτιση υπάρχει η το ενδεχόμενο να μειωθεί σημαντικά, έτσι το συμπέρασμα είναι ότι ορίζονται ακατάλληλες για εφαρμογές εφεδρείας. Αν υπάρξει υπερφόρτιση τότε η μπαταρία λιθίου – ιόντος θα έχει υψηλή ευαισθησία. Τέλος, ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης είναι μικρός.

### Πλεονεκτήματα της μπαταρίας λιθίου – ιόντος:

- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα συγκεκριμένα είναι πενταπλάσια από αυτήν της μπαταρίας μολύβδου – οξέος. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι η μπαταρία λιθίου – ιόντος έχει μικρό όγκο και μικρή μάζα.
- Ο χρόνος ζωής είναι μεγάλος, δηλαδή οι τιμές είναι από 1000 μέχρι 4000 κύκλους φόρτισης / εκφόρτισης με περίπου 80% να είναι το βάθος εκφόρτισής της.
- Ο βαθμός απόδοσης είναι αρκετά υψηλός σχεδόν 98%.

### Μειονεκτήματα της μπαταρίας λιθίου – ιόντος:

- Λόγω της χημικής σύστασής της χρειάζεται συγκεκριμένη συσκευασία και συστήματα ασφάλειας από τυχόν εκρήξεις.
- Όταν οι θερμοκρασίες είναι μικρότερες από τους 0°C τότε δεν υπάρχει γρήγορη φόρτιση / εκφόρτιση.
- Το κόστος είναι πολύ υψηλό και για τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου θεωρούνται ότι είναι το μέλλον για οποιαδήποτε κλίμακα εφαρμογής είτε μικρή είτε μεγάλη.



Εικόνα 2.3: Μπαταρία λιθίου – ιόντος

## 2.6 Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση της μπαταρίας;

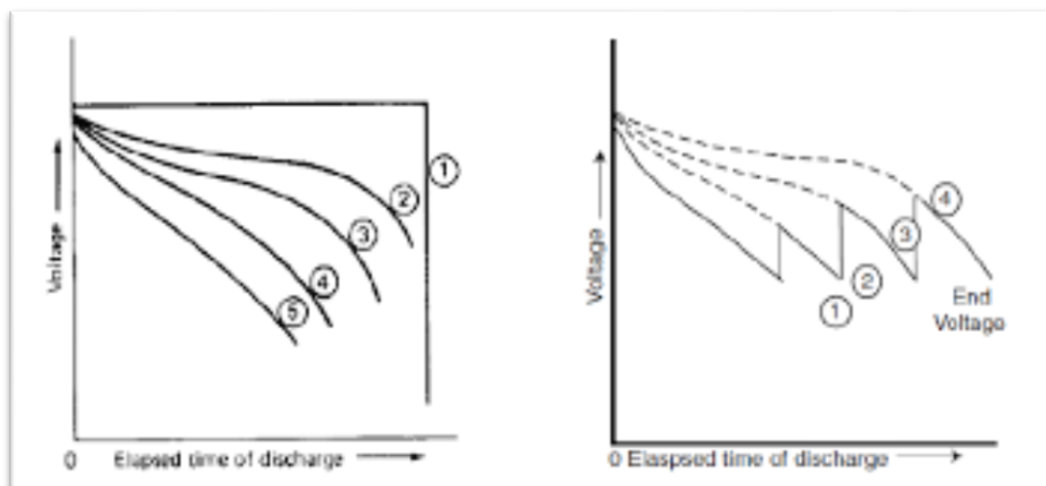
### 1) Τάση μπαταρίας

Για μια μπαταρία υπάρχουν διαφορετικές τάσεις συγκεκριμένα:

- Η θεωρητική τάση εξαρτάται από τα υλικά της ανόδου και της καθόδου, από τον ηλεκτρολύτη και την θερμοκρασία στους 25°C.
- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος παρουσιάζεται όταν δεν εμφανίζεται κάποιο φορτίο και η τιμή αυτής της τάσης είναι σχεδόν ίδια με την θεωρητική.
- Η τάση κλειστού κυκλώματος παρουσιάζεται όταν υπάρχει φορτίο.
- Η ονομαστική τάση αναφέρεται στην λειτουργία τάσης μιας μπαταρίας.
- Η μέση τάση παρατηρείται στην εκφόρτιση της μπαταρίας και υπολογίζεται από την μέση τιμή των τάσεων.

### 2) Κατανάλωση ρεύματος

Οι ωμικές απώλειες και τα φαινόμενα πόλωσης αυξάνονται, όταν αυξάνεται η κατανάλωση ρεύματος. Η εκφόρτιση γίνεται σε χαμηλή τάση με αποτέλεσμα ο χρόνος ζωής της μπαταρίας να μειώνεται.



Διάγραμμα 2.4: Καμπύλες εκφόρτισης μιας μπαταρίας

Στο σχήμα παρουσιάζονται οι καμπύλες εκφόρτισης σε σχέση με το ρεύμα το οποίο δαπανάται. Στην δεύτερη καμπύλη φαίνεται το χαμηλό ρεύμα που υπάρχει και ότι κατά την διάρκεια της εκφόρτισης υπάρχει θεωρητική

χωρητικότητα και τάση. Τέλος, στο διάγραμμα φαίνεται όταν η δαπάνη ρεύματος αρχίζει να αυξάνει η κλίση της καμπύλης μεγαλώνει. Η τάση εκφόρτισης φθίνει καθώς μειώνεται ο χρόνος λειτουργίας μιας μπαταρίας.

### **3) Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία επηρεάζει την μπαταρία αρνητικά στον χρόνο λειτουργίας της όταν αυτή εκφορτίζεται. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στις χαμηλές θερμοκρασίες λόγω της αύξησης της εσωτερικής αντίστασης του συσσωρευτή και επίσης κατά την διάρκεια της χημικής αντίδρασης και συγκεκριμένα στην αναγωγή.

## **2.7 Νέες τεχνολογίες μπαταριών**

Οι φωτοβολταϊκές μπαταρίες αποτελούν το μέλλον για την χρησιμότητα απόδοσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε). Σύμφωνα, με την εταιρεία Bloomberg New Energy Finance το 2018 μελέτησε τα νούμερα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και προβλέπει ότι θα είναι το μέλλον για την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

Το 2050 προβλέπεται ένα μεγάλο ποσοστό περίπου 50% η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα οφείλεται από την ηλιακή και αιολική ενέργεια. Σημαντικό αποτελεί ακόμη η αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές.

Η αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες είναι πολύ σημαντική γιατί όταν τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά δεν θα μπορούν να λειτουργήσουν στο βέλτιστο βαθμό τους, τότε η κατανάλωση θα προέρχεται από την μπαταρία και έτσι θα μειωθούν τα ορυκτά καύσιμα. Τέλος, η λειτουργία του δικτύου θα λειτουργεί σε βέλτιστο βαθμό με αποτέλεσμα να μειώνονται οι απώλειες λόγω της διακίνησης ισχύος.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση θα αυξηθεί η ζήτηση για ηλεκτρικά αυτοκίνητα, οπότε θα αναπτυχθεί περισσότερο και τομέας των μπαταριών μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Για να επιτευχθεί αυτό θα εφευρευθούν οι μπαταρίες βαρύτητας στην οποία θα αποθηκεύεται μία μεγάλη ποσότητα ενέργειας στην μέχρι στιγμής δεν γινόταν. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι θα υπάρχει ένα ορυχείο που διαθέτει τροχαλία στην κορυφή καθώς επίσης και

έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος θα χρησιμοποιεί την ενέργεια για να σηκώσει έναν μεγάλο όγκο συγκεντρώνοντας ενέργεια. Έτσι, με αυτήν την μέθοδο όταν θα υπάρχει ανάγκη για ενέργεια ο ηλεκτροκινητήρας θα αφήνει τον όγκο χρησιμοποιώντας ενέργεια μέσω εναλλάκτη. Η έρευνα δείχνει ότι η μπαταρία βαρύτητας θα είναι ένα αρκετά οικονομικό και καινοτόμο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο μέλλον.

## Κεφάλαιο 3 Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας

### 3.1 Χωρητικότητα

Το μέγεθος που μας δίνει το ολικό φορτίο που δίνεται από μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία όταν επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες εκφόρτισης όπως τον ρυθμό εκφόρτισης, την τάση και την θερμοκρασία λέγεται χωρητικότητα. Ο συμβολισμός για την χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι με το γράμμα «C» (capacity). Τα υλικά της ανόδου και της καθόδου είναι συνδεδεμένα με τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας όπου τα περιέχει. Επίσης, η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας ενός στοιχείου/μπαταρίας είναι αμπέρ - ώρες και το ρεύμα εκφόρτισης ρυθμίζει την εκφόρτιση της μπαταρίας για μια συγκεκριμένη τιμή τάση εκφόρτισης η οποία μπορεί να είναι περίπου 1.75V. Το ρεύμα εκφόρτισης και η θερμοκρασία είναι μεγέθη που επηρεάζουν άμεσα την χωρητικότητα. Η χωρητικότητα είναι το γινόμενο της τιμής του ρεύματος εκφόρτισης με τον χρόνο που απαιτείται ώστε η μπαταρία να φτάσει στην τελική τάση. Οι κατασκευαστές μπαταριών έχουν ως βάση τον ρυθμό εκφόρτισης για ορίσουν την χωρητικότητα των μπαταριών. Για παράδειγμα, η χωρητικότητα μιας μπαταρίας μπορεί να είναι 500Ah και ο ρυθμός εκφόρτισης C/20. Έτσι, η παρακάτω εξίσωση καθορίζει τον ρυθμό εκφόρτισης:

$$\frac{C}{20} = \frac{500Ah}{20h} = 25A$$

Τέλος, η χωρητικότητα ενός στοιχείου είναι άμεσα εξαρτημένη από τον ρυθμό εκφόρτισης. Αύξηση του ρυθμού εκφόρτισης επιφέρει μείωση στην χωρητικότητα, αντίστοιχα μείωση του ρυθμού εκφόρτισης προκαλεί αύξηση της χωρητικότητας.

Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος η χωρητικότητα μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας, ο λόγος που παρατηρείται αυτό το φαινόμενο είναι λόγω της

αύξησης της αντίστασης και επειδή στον ηλεκτρολύτη έχει μειωθεί ο ρυθμός διάχυσης. Ακόμα, μία άλλη περίπτωση είναι όταν οι μπαταρίες μολύβδου οξέος έχουν μεγάλο όγκο οξέος να χάνουν μεγάλη ποσότητα χωρητικότητας σε αντίθεση με αυτές που μικρό όγκο οξέος. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι 20°C για τις ονομαστικές χωρητικότητες.

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα οι μπαταρίες που εφαρμόζονται έχουν τάση 1.75V με 1.85V. Συγκεκριμένα, όταν γίνεται σύγκριση δύο μπαταριών χρειάζεται οι χωρητικότητες των μπαταριών να συγκρίνονται με κριτήριο την ίδια τελική τάση. Οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όσο μειώνεται η τελική τάση τόσο θα αυξάνεται η χωρητικότητα.

### 3.2 Τάση

Είναι απαραίτητο να υπάρχει διαφορά δυναμικού ή αλλιώς τάση του στοιχείου μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου έτσι ώστε η μπαταρία να έχει την δυνατότητα να διαδώσει το ηλεκτρικό ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Η τάση της μπαταρίας μετριέται σε volts (V). Επιπλέον, η διαφορά δυναμικού ενός στοιχείου μολύβδου – οξέος είναι 2V. Ακόμη, η διαφορά δυναμικού ενός εκφορτισμένου στοιχείου μολύβδου – οξέος είναι 1.75V, που καθορίζεται βέβαια και από τον ρυθμό εκφόρτισης.

Η συγκέντρωση ηλεκτρολύτη και η θερμοκρασία καθορίζουν την τάση ισορροπίας του στοιχείου. Για να υπολογιστεί η τάση ανοιχτού κυκλώματος (Open Circuit Voltage) δεν πρέπει να υπάρχει εξωτερικό ρεύμα το οποίο να διαρρέει τη μπαταρία. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος ταυτίζεται με την τάση ισορροπίας όταν όλες οι εσωτερικές υπερτάσεις που προκαλούνται κυρίως από διαδικασίες διάχυσης σταθεροποιηθούν. Ο χρόνος απαιτείται για αυτή τη διαδικασία μπορεί να είναι από λίγα δευτερόλεπτα έως πολλές ώρες. Αυτό εξαρτάται από την τεχνολογία της μπαταρίας και τις συνθήκες λειτουργίας. Το δυναμικό των εφαρμοζόμενων ενεργών υλικών και η ποσότητα του φορτίου που έχει απομείνει επηρεάζουν την λειτουργία της τάσης μιας μπαταρίας.

### 3.3 Ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης

Ο ρόλος του ρυθμού εκφόρτισης και φόρτισης είναι ευνοϊκές κλίμακες οι οποίες χρησιμοποιούνται για να συγκριθούν ρεύματα στα οποία οι μπαταρίες φορτίζονται ή εκφορτίζονται αντίστοιχα χωρίς να χρειαστεί να λάβουμε υπόψιν

την χωρητικότητά τους. Δηλώνονται ως ένας αριθμός ωρών, για παράδειγμα ρυθμός 20 ωρών, 280 ωρών. Ο υπολογισμός του ρεύματος είναι το πηλίκο της ολικής χωρητικότητας διά τον απαιτούμενο χρόνο.

$$\text{Ρυθμός} = \frac{Q}{t}$$

Q = χωρητικότητα (Ah)

t = χρόνος (s)

### 3.4 Κύκλος και Κύκλος ζωής

Η χρήση της λέξης «κύκλος», γίνεται για περιγραφεί η συνεχής διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης μιας μπαταρίας όταν είναι σε κατάσταση λειτουργίας. Ένας κύκλος ορίζεται από την διάρκεια εκφόρτισης και εκφόρτισης ενός συσσωρευτή.

Πριν η διαθέσιμη χωρητικότητα της μπαταρίας μειωθεί σε ένα ποσοστό σχεδόν 80% της αρχικής έχει πραγματοποιηθεί ένας αριθμός κύκλων εκφόρτισης για συγκεκριμένο βάθος εκφόρτισης. Αυτό ονομάζεται «κύκλος ζωής».

Το βάθος του κάθε κύκλου καθορίζει τον κύκλο ζωής σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Όταν ένας κύκλος ζωής μετριέται για κάποιο πείραμα σε ένα μεγάλο βαθμό εκφόρτισης, τότε αν έχουμε χαμηλό βαθμό εκφόρτισης θα προκύψει ότι το γινόμενο του αριθμού των κύκλων επί το βάθος εκφόρτισης θα παραμείνει ίδιο. Οπότε συμπεραίνουμε ότι σε χαμηλούς βαθμούς εκφόρτισης ο κύκλος ζωής χωρητικότητας παραμένει σχεδόν ίδιος.

Κάθε κατασκευαστής προτείνει ένα συγκεκριμένο κύκλο ζωής στην μπαταρία. Αυτό έχει προκύψει κατά την μέτρηση σε υψηλά ρεύματα, άρα σε μικρό χρόνο εκφόρτισης. Ο βαθμός εκφόρτισης δηλώνει τη χωρητικότητα η οποία χρησιμοποιείται όταν ο χρόνος εκφόρτισης είναι μικρός.

Στις μπαταρίες μετά από την εκφόρτιση γίνεται η επαναφόρτισή της, για τον έλεγχο του κύκλου ζωής. Συγκεκριμένα, η επαναφόρτιση δεν είναι πλήρης στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Έχει αποδειχθεί κατά την διάρκεια δοκιμών ότι συνήθως χρησιμοποιείται περίπου το 80% του κύκλου ζωής της μπαταρίας.

Έτσι, συμπεραίνουμε ότι χρειάζεται να βλάπτεται ο κύκλος ζωής όταν αξιοποιείται για την μέτρηση του χρόνου ζωής στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

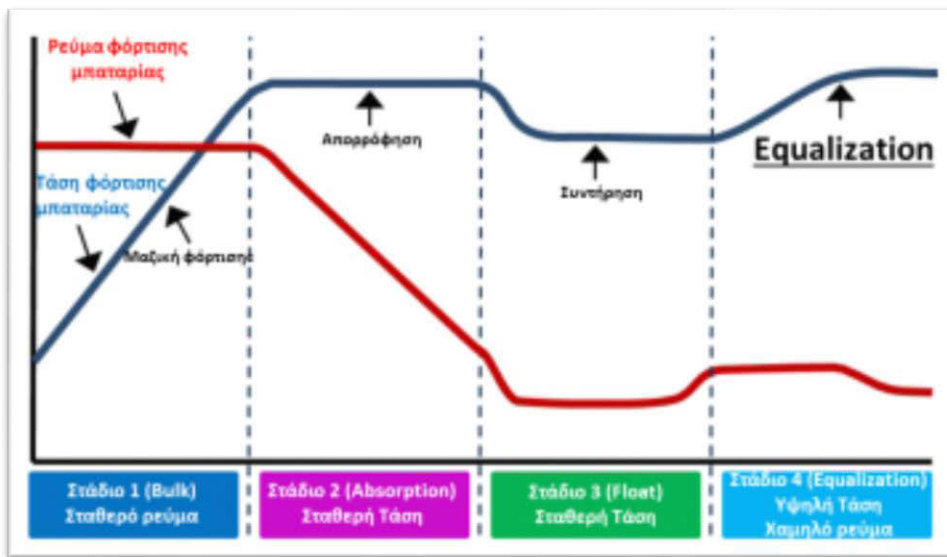
Στα φωτοβολταϊκά συστήματα όταν η ζωή της μπαταρίας ήταν χαμηλή σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνταν μπαταρία με υψηλό κύκλο ζωής. Όμως, ο κύκλος ζωής δεν αποτελούσε τον καθοριστικό παράγοντα ο οποίος ρυθμίζει τη λειτουργία μιας μπαταρίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα με αποτέλεσμα κάποιες φορές η αλλαγή αυτή να σημαίνει μικρότερο χρόνο ζωής.

### 3.5 Αποδοτικότητα

Ο υπολογισμός για την αποδοτικότητα  $\text{amber} - \text{hours}$  ( $n_{Ah}$ ) προκύπτει από τον λόγο των αμπέρ – ωρών μιας μπαταρίας στην κατάσταση της εκφόρτισης προς τις αμπέρ – ώρες μιας μπαταρίας στην κατάσταση της φόρτισης για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να είναι για ένα μήνα ή για έναν χρόνο. Όμως, αρκετές φορές εφαρμόζεται ο παράγοντας φόρτισης αντί να χρησιμοποιείται η αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών. Ο παράγοντας φόρτισης υπολογίζεται από το  $1/n_{Ah}$ . Έτσι οι παράγοντες φόρτισης χρειάζεται να είναι πάνω από την μονάδα για να έχει μια μπαταρία βέλτιστη λειτουργία.

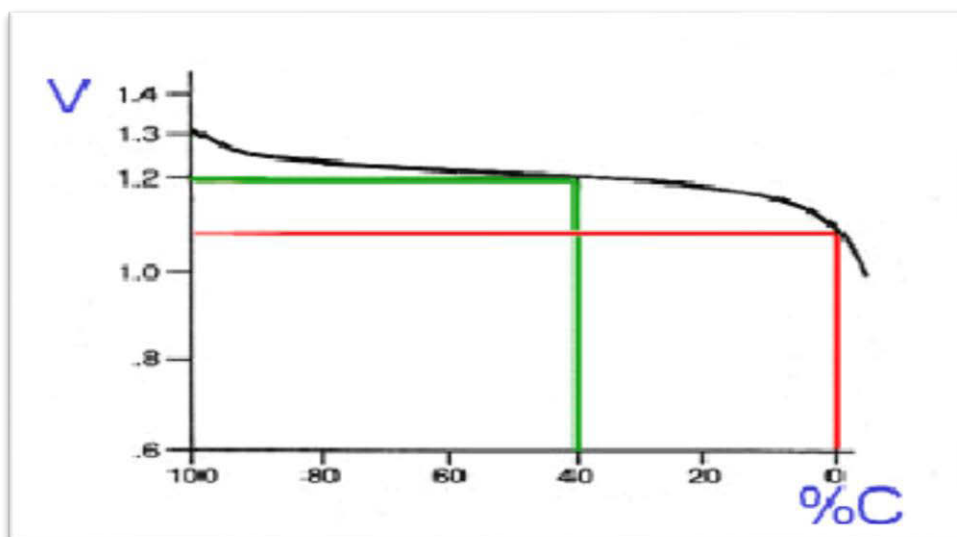
Ο υπολογισμός ενεργειακής αποδοτικότητας συμβολίζεται με  $n_{wh}$  και είναι το πηλίκο της ενέργειας όταν η μπαταρία βρίσκεται σε κατάσταση εκφόρτισης προς την ενέργεια φόρτισης της μπαταρίας σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Συγκρίνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα με την αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών παρατηρείται ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι μικρότερη γιατί η εκφόρτισή των μπαταριών γίνεται σε πιο χαμηλή τάση από ότι της φόρτισης. Η τιμή της αποδοτικότητας αμπέρ – ωρών είναι σχεδόν ίση με την μονάδα. Έτσι, είναι πιο εύκολο να εργαζόμαστε σε Ah όταν μας ζητείται η εύρεση της ποσότητας φόρτισης που απαιτείται για να συμπληρωθεί η ποσότητα εκφόρτισης φωτοβολταϊκούς υπολογισμούς. Όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι απαιτούνται επιπλέον Ah έτσι ώστε η αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών για μια ολοκληρωμένη επαναφόρτιση να είναι ακριβώς στην μονάδα. Απαιτείται επιπλέον Ah τροφοδότησης της μπαταρίας ώστε να παρατηρηθεί

το φαινόμενο της υπερφόρτισης αλλά το φορτίο αυτό θα καταναλωθεί από τις χημικές αντιδράσεις εντός της μπαταρίας.



Διάγραμμα 3.1: Φόρτιση μπαταρίας σε 4 στάδια

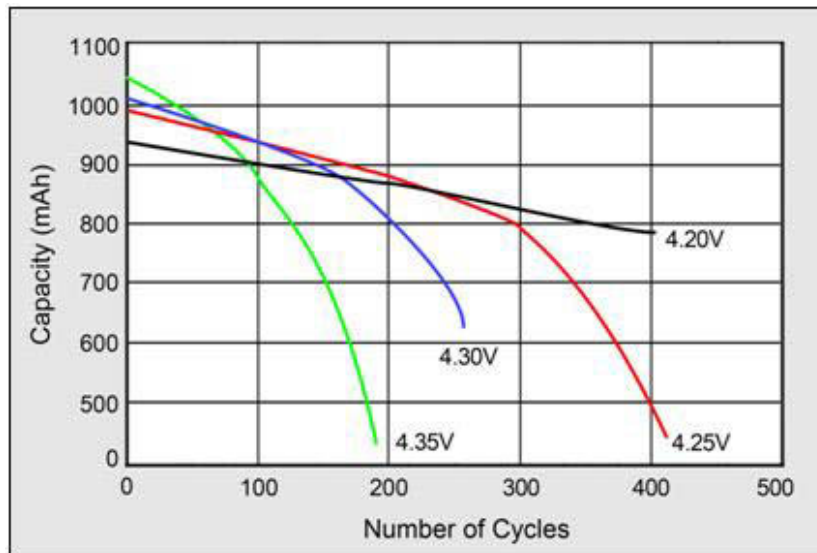
Στο διάγραμμα παρατηρείται ότι στο πρώτο στάδιο η τάση αρχίζει να αυξάνεται και το ρεύμα είναι σταθερό, στο δεύτερο στάδιο η τάση φτάνει μέχρι ένα σημείο και εκεί σταθεροποιείται ενώ το αρχίζει να μειώνεται, στο τρίτο στάδιο σταθερή τάση και τέλος στο τέταρτο στάδιο η τάση αυξάνεται.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα τάσης – χωρητικότητας, εκφόρτισης

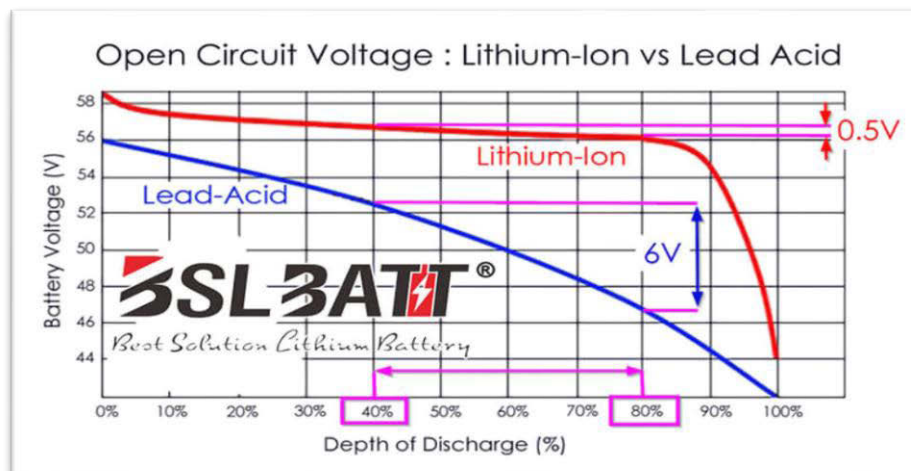
Στο διάγραμμα τάσης – χωρητικότητας παρουσιάζεται η καμπύλη εκφόρτισης ενός στοιχείου και παρατηρείται ότι:

Η τιμή τάσης ενός στοιχείου κατευθείαν μετά την φόρτιση είναι 1,3 Volt. Στη συνέχεια, όπως φαίνεται η καμπύλη εκφόρτισης αρχίζει να μειώνεται. Έπειτα, η καμπύλη παραμένει σταθερή και η τιμή της είναι περίπου 1,2 Volt. Τέλος, η καμπύλη γυρίζει προς τα κάτω, έτσι λίγο πριν εξασθενήσει το φορτίο του στοιχείου η τάση είναι σχεδόν 1,1 Volt και αν δεν σταματήσει τότε θα φτάσει στο μηδέν.



Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα χωρητικότητας – κύκλων ζωής

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι όταν η τάση της μπαταρίας είναι μεγαλύτερη από 4,2V, τότε τα στοιχεία της μπαταρίας αρχίζουν να βλάπτονται αρκετά.



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα σύγκρισης μπαταρίας μολύβδου οξέος με ιόντων λιθίου

### 3.6 Ρεύμα μπαταρίας

Το μέγεθος της μπαταρίας καθορίζει τα ρεύματα της μπαταρίας. Αυτό γίνεται γιατί οι εντάσεις και οι ηλεκτρικές ιδιότητες οι οποίες εξαρτώνται από το ρεύμα ταυτίζονται με τα κατάλληλα φορτία στα ηλεκτρόδια σχετικά με τα ενεργά υλικά. Η μεγάλες χωρητικότητες οι οποίες έχουν γίνει λόγω της παράλληλης σύνδεσης ηλεκτροδίων ή από μεγάλα ηλεκτρόδια, έχουν ως αποτέλεσμα τη κανονικοποίηση του ρεύματος με βάση την χωρητικότητα. Τέλος, τα ρεύματα μπαταρίας διατυπώνονται ως πολλαπλάσια της χωρητικότητας η έχει μονάδα μέτρησης αμπέρ – ώρες.

Για παράδειγμα έχουμε μια μπαταρία με χωρητικότητα  $C = 200\text{Ah}$  και ένα ρεύμα  $I = 20\text{A}$ . Ακόμη, το  $I_{20}$  δηλώνει το ρεύμα της εκφόρτισης μιας φορτισμένης μπαταρίας εντός 20 ωρών σε μια συγκεκριμένη τάση εκφόρτισης. Η χωρητικότητα συμβολίζεται με  $C_x$  και το  $x$  δείχνει τον χρόνο στον οποίο εκφορτίζεται η μπαταρία. Δηλαδή,  $C_{20} = 200\text{Ah}$ .

### 3.7 Ελεγκτές φόρτισης – εκφόρτισης μπαταριών

Ένα σύστημα αποθήκευσης θέτεται εκτός λειτουργίας όταν ο ελεγκτής φόρτισης – εκφόρτισης μπαταρίας «παρατηρήσει» το φαινόμενο της υπερφόρτισης στο σύστημα παραγωγής ενέργειας αλλά και όταν «εμφανιστεί» το φαινόμενο της υπερεκφόρτισης στο σύστημα της κατανάλωσης. Αυτές είναι οι περιπτώσεις όπου το σύστημα δεν λειτουργεί διότι ο συσσωρευτής στα άκρα του έχει τάση υψηλότερη ή χαμηλότερη από τα επιτρεπτά όρια με αποτέλεσμα στην συνέχεια οι ηλεκτρικοί διακόπτες να ξεκινήσουν να λειτουργούν.

#### 3.7.1 Η βασική λειτουργία ελεγκτή φόρτισης

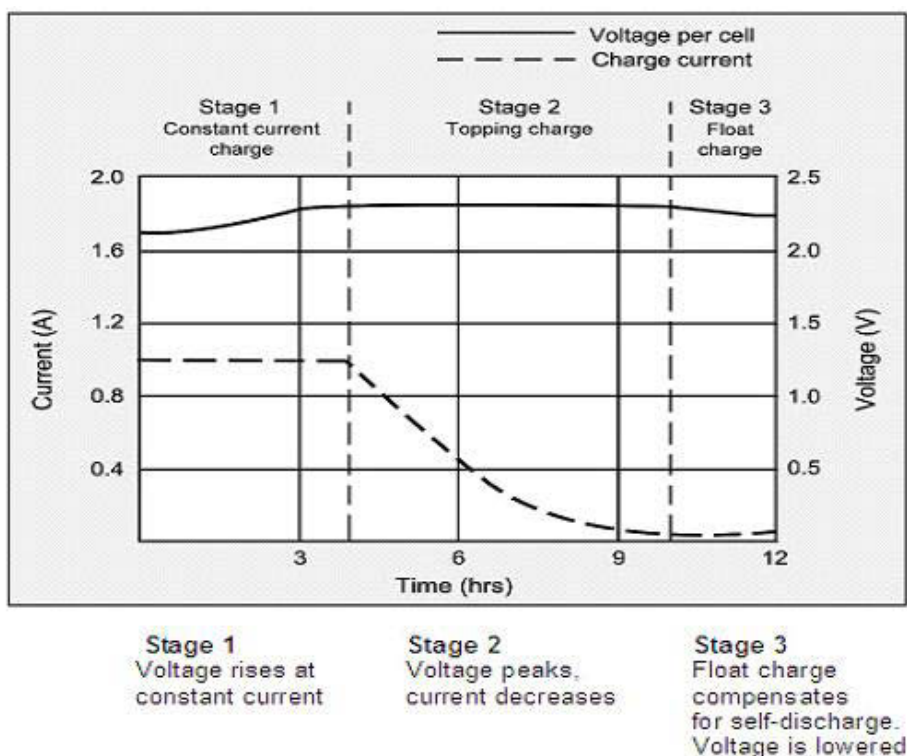
Ο ελεγκτής φόρτισης προστατεύει την μπαταρία από τυχόν υπερφόρτιση ή βαθιά εκφόρτιση. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχει ένα σύστημα το οποίο μετράει την τάση και σύμφωνα με το επίπεδο λειτουργίας ο συσσωρευτής ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται. Αρκετά συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας κυρίως τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούν μπαταρία αποθήκευσης και ένα σύστημα για να ελέγχονται τα όρια τάσης της μπαταρίας. Τα συστήματα αυτά είναι:

Ο ρόλος του ρυθμιστή φόρτισης μικρής ισχύος είναι η ελάχιστη τιμή τάσης για να αποτραπεί η υπερφόρτιση της μπαταρίας. Εμφανίζουν ηλεκτρονική προστασία έτσι ώστε να μην παρατηρηθεί το φαινόμενο βραχυκυκλώματος στο θέμα της κατανάλωσης και να υπάρξει θέμα ως προς την πολικότητα.

Ο ρόλος του ρυθμιστή φόρτισης χαμηλής ισχύος είναι η ελάχιστη τιμή χαμηλής τάσης για να αποτραπεί η πλήρης εκφόρτιση της μπαταρίας. Για να μην υπάρξει πρόβλημα με την εκφόρτιση διαθέτει τα εξής: συγκεκριμένη τιμή στην τάση, η τιμή φόρτισης της μπαταρίας να είναι σταθερό.

### 3.7.2 Αποφυγή της υπερφόρτισης

Η φόρτιση των μπαταριών μολύβδου – οξέος εμφανίζεται σε τρία στάδια στο παρακάτω διάγραμμα: 1) όταν το ρεύμα φόρτισης παραμένει σταθερό, 2) όταν υπάρχει μέγιστη φόρτιση και 3) όταν η φόρτιση είναι επίπεδη. Πιο αναλυτικά, στην περίπτωση το ρεύμα φόρτισης παραμένει σταθερό για αρκετό χρονικό διάστημα. Κατά το χρονικό διάστημα μεγιστοποίησης της τάσης η ένταση του ρεύματος μειώνεται έτσι ώστε να επέλθει η πληρότητα της φόρτισης. Εν κατακλείδι, στο τελευταίο στάδιο παρατηρείται η επίπεδη φόρτιση όπου ο ρόλος της είναι να ισορροπήσει την βλάβη η οποία προκύπτει από την αυτοεκφόρτιση.



Διάγραμμα 3.5: Στάδια φόρτισης μπαταρίας μολύβδου - οξέος

### 3.7.3 Περιορισμός των εξωτερικών επιδράσεων

- Αποφυγή εσφαλμένης σύνδεσης: κατά την εγκατάσταση του ελεγκτή φόρτισης το λάθος που παρατηρείται είναι η αλλαγή των πόλων στις συνδέσεις. Έτσι, για να περιοριστεί το φαινόμενο είναι απαραίτητη η προστασία των εισόδων στην γεννήτρια και την μπαταρία και αυτό θα επιτευχθεί με τη βοήθεια των διόδων.
- Αποφυγή υπέρτασης: είναι αναγκαία η προστασία του ελεγκτή φόρτισης κατά την διάρκεια εισόδου και εξόδου, λόγω της απότομης αύξησης της τάσης σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Αποφυγή της υγρασίας: ο ελεγκτής φόρτισης θα πρέπει να προστατεύεται εξωτερικά με περίβλημα έτσι ώστε να αποφεύγεται η επαφή από την υγρασία η οποία μπορεί να προέλθει από έμμεσους ή άμεσους παράγοντες.

### 3.8 MPPT ελεγκτής φόρτισης

Ο ελεγκτής φόρτισης χρειάζεται να προστατέψει την μπαταρία από την υπέρταση, αλλά και από την εκφόρτιση. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν ενισχύονται πάντα με την μέγιστη ισχύ. Για αυτό τον λόγο για να είναι πιο αποδοτική η μεταφορά ισχύος εφαρμόζεται ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Το πρόβλημα που προκύπτει κατά την διάρκεια αυτής της λειτουργίας είναι ότι υπάρχουν απώλειες οι οποίες μπορεί να είναι ελάχιστες ή και μέχρι 10%. Έτσι, για να περιοριστεί αυτό το φαινόμενο χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα όπου ο ρόλος του θα είναι να εντοπίζει το μέγιστο σημείο ισχύος.

Στο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα χρειάζεται οι συσσωρευτές να φορτίζονται σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Αλλά, όταν πραγματοποιείται η μεταφορά ενέργειας ταχύτατα μπορεί να προκληθεί πρόβλημα στη λειτουργία της μπαταρίας. Έτσι, υπάρχουν τέσσερα στάδια φόρτισης τα οποία εφαρμόζονται από τις κατασκευαστικές των μπαταριών. Τα οποία είναι: 1) χαμηλή φόρτιση, 2) βασική φόρτιση, 3) υπερφόρτιση και 4) φόρτιση συντήρησης.

### 3.9 Αριθμητικό παράδειγμα μπαταρίας

Διαθέτουμε μια μπαταρία μολύβδου οξέος η οποία έχει ονομαστική τάση 24V με χωρητικότητα 200Ah για εκφόρτιση σε 20 ώρες (C/20).

#### Ερωτήματα:

- 1) Να υπολογιστεί η ενέργεια της μπαταρίας για εκφόρτιση σε 20 ώρες.
- 2) Εάν εκφορτίσουμε την μπαταρία σε 10 ώρες πως θα επηρεαστεί η χωρητικότητα ;
- 3) Να υπολογιστεί το ρεύμα εκφόρτισης.
- 4) Να υπολογιστεί το SoC, SoD και DoD εάν η μπαταρία έχει εκφορτιστεί για δύο ώρες και ο ρυθμός εκφόρτισης είναι 5A.
- 5) Αν ο ρυθμός εκφόρτισης είναι C/20 και η μπαταρία έχει εκφορτιστεί μέχρι DoD = 0,7 ποια είναι η ενέργεια της μπαταρίας ;
- 6) Να υπολογιστεί το βάρος της μπαταρίας αν η ειδική ενέργεια της μπαταρίας είναι 50 Wh/kg.

#### Λύση

$$1) E = C \cdot V (=) E = 200\text{Ah} \cdot 24\text{V} (=) \boxed{E = 4,8\text{kWh}}$$

2) Αν εκφορτίσουμε την μπαταρία σε 10 ώρες, τότε η χωρητικότητα θα μειωθεί άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι  $C_{10h} < C_{20h}$

$$3) I = \frac{C}{20} (=) I = \frac{200}{20} (=) \boxed{I = 10\text{A}}$$

$$4) \text{SoC}_{(t=2)} = C - \int_0^2 I(t) dt = 200 - 5 \cdot 2 (=) \boxed{\text{SoC}_{(t=2)} = 190\text{Ah}}$$

$$\text{SoD}_{(t=2)} = C - \text{SoC} (=) \text{SoD}_{(t=2)} = 200 - 190 (=) \boxed{\text{SoD}_{(t=2)} = 10\text{Ah}}$$

$$\text{DoD}_{(t=2)} = \frac{\text{SoD}}{C} (=) \text{DoD}_{(t=2)} = \frac{10}{200} (=) \boxed{\text{DoD}_{(t=2)} = 5\%}$$

$$5) \text{DoD} = \frac{\text{SoD}}{C} (=) \text{SoD} = C \cdot \text{DoD} (=) \text{SoD} = 200\text{Ah} \cdot 0,7 (=) \boxed{\text{SoD} = 140\text{Ah}}$$

$$E = \text{SoD} \cdot V (=) E = 140\text{Ah} \cdot 24\text{V} (=) \boxed{E = 3360\text{Wh}}$$

$$6) W = \frac{E}{SP} (=) W = \frac{4800\text{Wh}}{50\text{Wh/kg}} (=) \boxed{W = 96\text{kg}}$$

## Κεφάλαιο 4 Τρόποι σύνδεσης μπαταριών

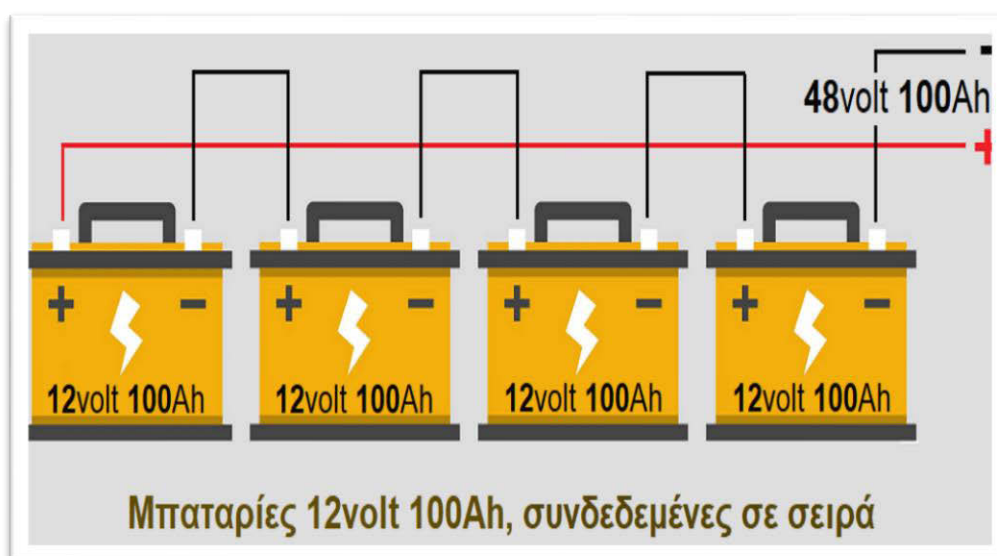
Η ολική χωρητικότητα ενός συσσωρευτή η οποία χρειάζεται όταν υπάρχουν μεγάλες εγκαταστάσεις είναι αδύνατον να αναπληρωθεί από έναν μοναδικό συσσωρευτή. Έτσι, γίνονται οι κατάλληλες συνδεσμολογίες για παράδειγμα σειρά ή παράλληλα για να αναπληρωθούν τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας.

### 4.1 Σύνδεση σε σειρά

Για να εφαρμοστεί η σύνδεση σε σειρά χρειάζεται να συνδεθεί ο θετικός πόλος του συσσωρευτή με τον αρνητικό πόλο. Έτσι, αθροίζοντας την τάση του κάθε συσσωρευτή που είναι σε σειρά τότε θα προκύψει η συνολική τάση. Ακόμη, είναι απαραίτητο για αυτή την συνδεσμολογία οι χωρητικότητες των συσσωρευτών να είναι πανομοιότητες.

Για την τάση:  $V = V_1 + V_2 + \dots = V_n$

Για την χωρητικότητα:  $C = C_1 + C_2 + \dots = C_n$

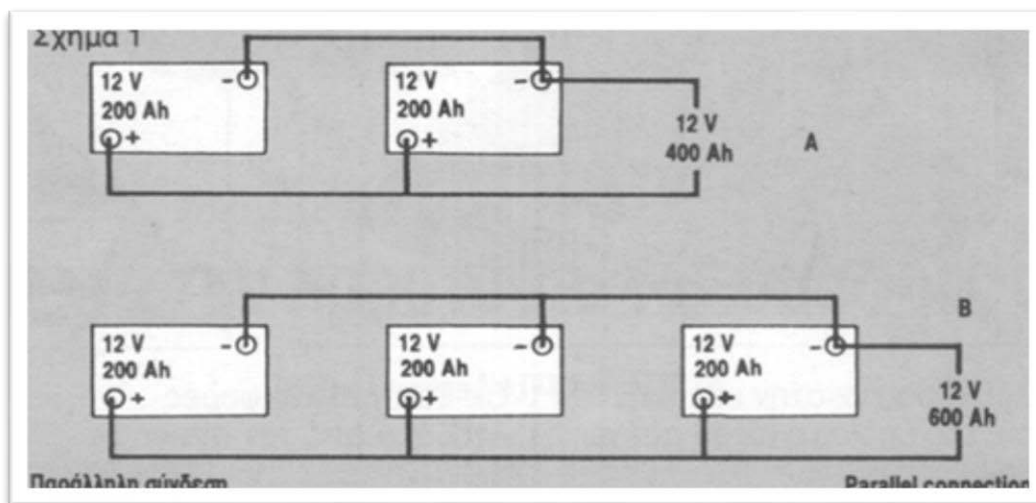


Εικόνα 4.1: Μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά

### 4.2 Παράλληλη σύνδεση

Για να εφαρμοστεί η παράλληλη σύνδεση χρειάζεται να συνδεθούν όλοι οι θετικοί πόλοι μεταξύ τους και ομοίως όλοι οι αρνητικοί πόλοι των μπαταριών. Έτσι, παρατηρούμε ότι η συνολική χωρητικότητα αυξάνεται. Η ολική χωρητικότητα ισούται με άθροισμα της κάθε χωρητικότητας του συσσωρευτή

χωριστά. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι οι κύρια τάση των συσσωρευτών χρειάζεται να είναι ίδιες.

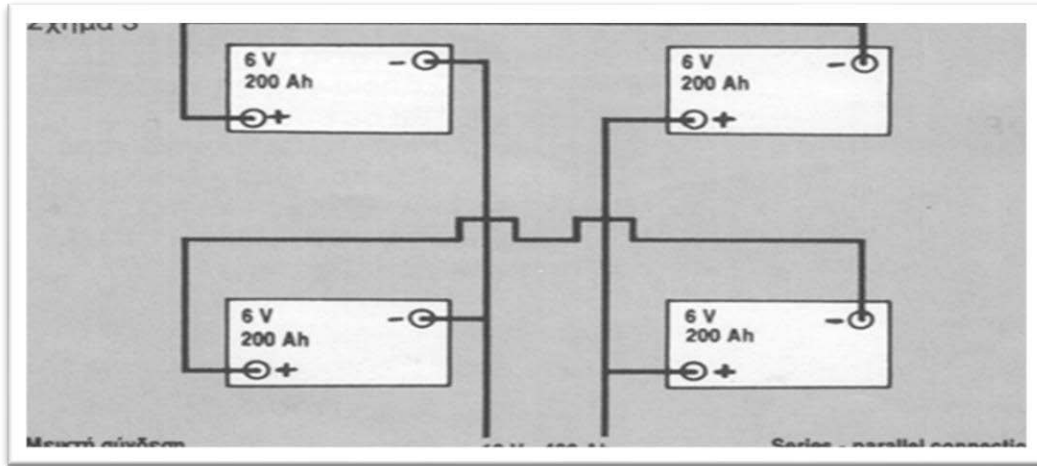


Εικόνα 4.2: Μπαταρίες συνδεδεμένες παράλληλα

Όταν εφαρμόζεται η παράλληλη σύνδεση παρατηρείται η ότι η τάση παραμένει σταθερή, ενώ η χωρητικότητα εξαρτάται από το πλήθος των συσσωρευτών και πολλαπλασιάζεται με αυτό. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1<sub>A</sub> έχουμε δύο μπαταρίες των 12Volt και η χωρητικότητά τους είναι από 200Ah. Έτσι, η συστοιχία μπαταριών των 12 Volt έχει χωρητικότητα 400Ah. Στο σχήμα 1<sub>B</sub> έχουμε 3 τρεις των 12Volt και η χωρητικότητά τους είναι από 200Ah για την κάθε μία. Έτσι, η συστοιχία μπαταριών των 12Volt έχει χωρητικότητα 600Ah.

### 4.3 Μικτή σύνδεση

Η μικτή σύνδεση είναι ένας συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της σύνδεσης παράλληλα για να μελετηθούν οι πιο δύσκολες συστοιχίες μπαταριών.



Εικόνα 4.3: Μικτή σύνδεση μπαταριών

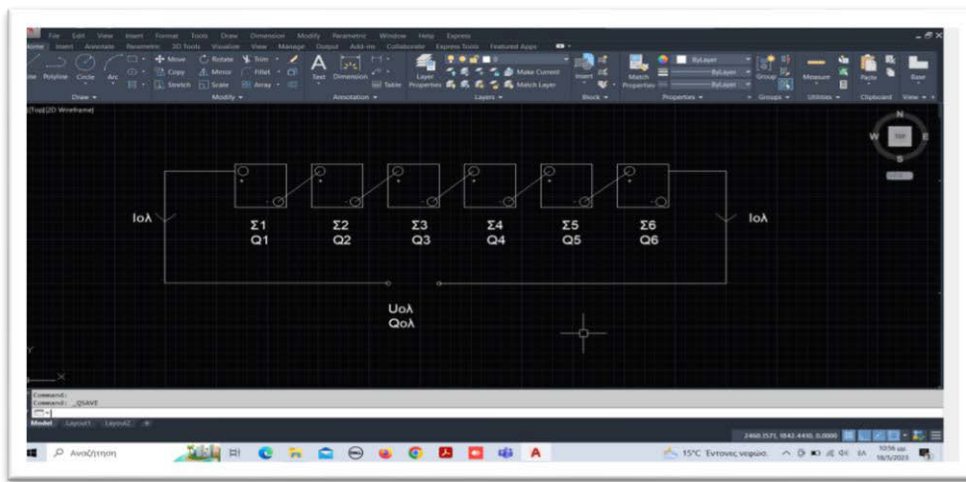
Στο σχήμα βλέπουμε δύο διαφορετικά συστήματα σύνδεσης μπαταριών των 6 Volt. Οι δύο μπαταρίες είναι συνδεδεμένες σειρά οπότε έχουμε σύστημα 12 Volt και χωρητικότητα 200Ah και το άλλο σύστημα αποτελείται από την παράλληλη σύνδεση οπότε έχουμε 12Volt και χωρητικότητα 400Ah.

#### 4.4 Μπαταρίας και δίκτυο

Στην αρχή χρειάζεται να συνδεθούν οι ακροδέκτες της μπαταρίας σε ένα αντιστροφέα(DC/AC) με την τάση εισόδου να είναι η τάση της μπαταρίας. Στη συνέχεια, στην έξοδο του αντιστροφέα την ενσωματώνουμε στο δίκτυο χρησιμοποιώντας ένα τριφασική αντίσταση. Τέλος, ο στόχος είναι να γίνει η αλλαγή της dc τάσης σε ac και έπειτα η να μεταφερθεί η ισχύς από την dc στην ac λειτουργία, οπότε έτσι η ισχύς θα ακολουθήσει την διαδρομή από την μπαταρία προς το δίκτυο.

#### 4.5 Παράδειγμα σύνδεσης σε σειρά

Διαθέτουμε μια συστοιχία συσσωρευτών στην οποία η τελική τάση εξόδου είναι  $U_{ολ} = 72V$ . Υπάρχουν έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία:  $U_{ον} = 12V$  και  $Q_{ον} = 100Ah$ . Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι 72V. Ποια είναι η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας και ποια η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια ;



Εικόνα 4.4: Διάγραμμα εκφώνησης συνδεσμολογίας (σειρά) μπαταριών

**Λύση:**  $U_{ολ} = U_1 * n (=) U_{ολ} = 12*6 (=)$

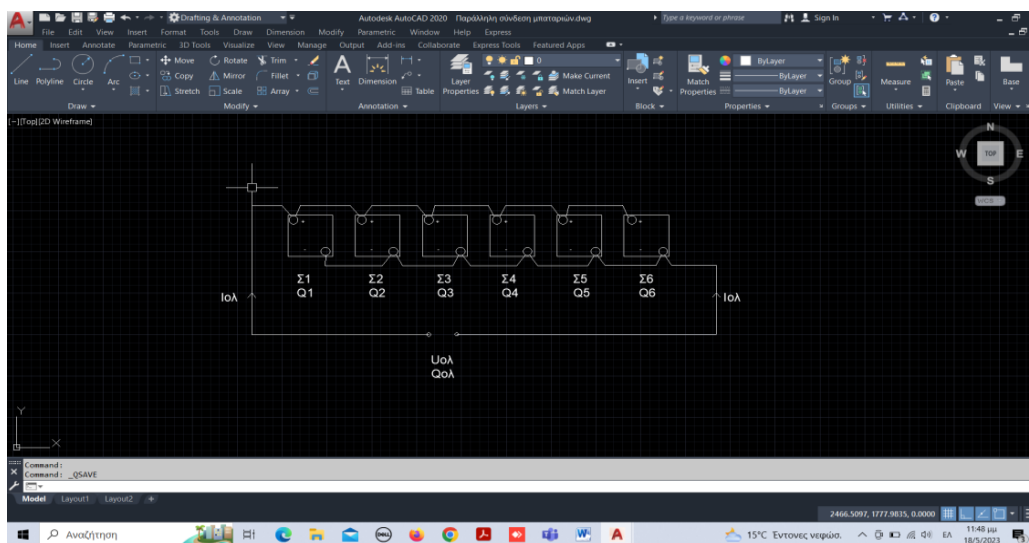
Όπου «n» ο αριθμός των συσσωρευτών.

$Q_{ολ} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q_6 = 100Ah.$

$E = Q_{ολ} * U_{ολ} (=) E = 100 * 72 (=)$   **$E = 7200Wh$  ή  $7,2kWh$**

#### 4.6 Παράδειγμα παράλληλης σύνδεσης

Διαθέτουμε μια συστοιχία συσσωρευτών στην οποία η ολική χωρητικότητα είναι  $Q_{ολ} = 500Ah$  με ολική τάση  $U_{ολ} = 24V$ . Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία  $U_{ov} = 24V$  και  $Q_{ολ} = 200Ah$ . Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι  $500Ah$ . Ποια είναι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια ;



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα εκφώνησης συνδεσμολογίας (παράλληλη) μπαταριών

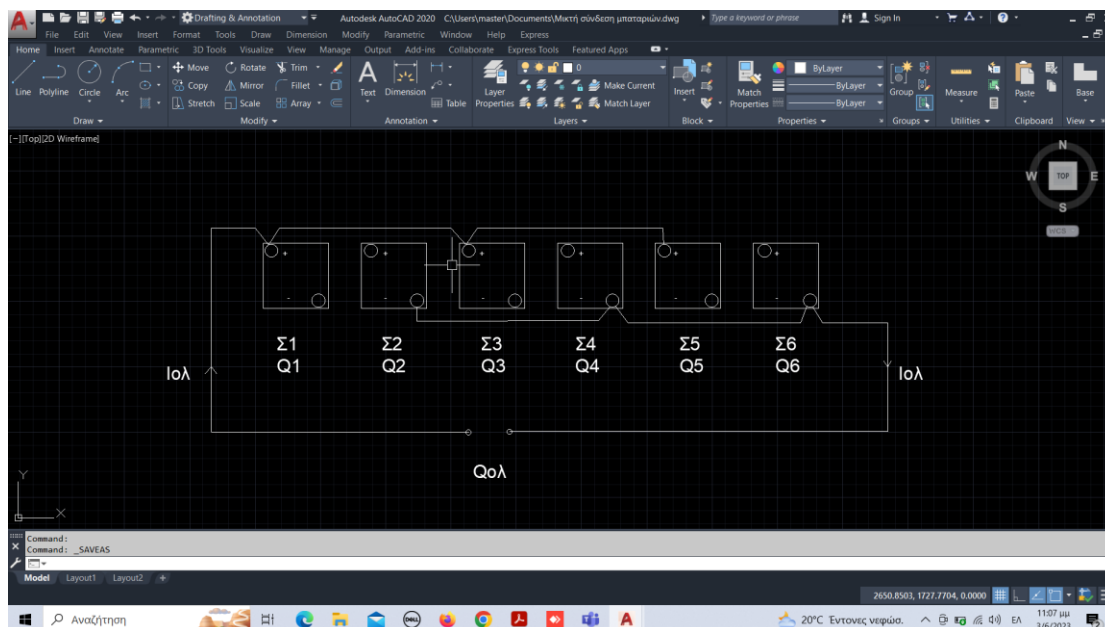
**Λύση:**  $Q_{o\lambda} = 200 \cdot 6 (=)$   $Q_{o\lambda} = 1200Ah$

$U_{o\lambda} = U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = 24V$

$E = Q_{o\lambda} \cdot U_{o\lambda} (=)$   $E = 500 \cdot 24 (=)$   $E = 12000Wh$  ή  $12kWh$

#### 4.7 Παράδειγμα μεικτής σύνδεσης

Διαθέτουμε μια συστοιχία συσσωρευτών στην οποία η ολική τάση είναι  $U_{o\lambda} = 48V$  και ολική χωρητικότητα  $Q_{o\lambda} = 500Ah$ . Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία  $U_{o\lambda} = 24V$  και  $Q_{o\lambda} = 200Ah$ . Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι  $24V$  και η ολική χωρητικότητα  $500Ah$ . Ποια είναι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια ;



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα εκφώνησης συνδεσμολογίας (μεικτή) μπαταριών

**Λύση:**  $U_{1,2} = U_1 + U_2 = 24 + 24 = 48V.$

$U_{3,4} = U_3 + U_4 = 24 + 24 = 48V.$

$U_{5,6} = U_5 + U_6 = 24 + 24 = 48V.$

$U_{o\lambda} = U_{1,2} = U_{3,4} = U_{5,6} = 48V.$

$Q_{1,2} = Q_1 = Q_2 = 200Ah.$

$Q_{3,4} = Q_3 = Q_4 = 200Ah.$

$$Q_{5,6} = Q_5 = Q_6 = 200\text{Ah.}$$

$$E = Q_{\text{ολ}} * U (=) E = 24 * 500 (=) \boxed{E = 12000\text{Wh ή } 12\text{kWh}}$$

## Κεφάλαιο 5 Ο ρόλος της μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

### 5.1 Η λειτουργία της μπαταρίας

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ο ρόλος της μπαταρίας διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- Όταν η εμφάνιση του ήλιου δεν είναι αισθητή κατά την διάρκεια της ημέρας λόγω της συννεφιάς που θα υπάρχει, τότε χρησιμοποιείται η μπαταρία ως αποθεματικό ενέργειας έτσι ώστε να υπάρχει η αυτονομία του συστήματος. Ακόμη, αυτός ο ρόλος μπαταρίας αξιοποιείται όταν εμφανιστεί ζημιά σε κάποιο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος.
- Για να μειωθεί η συσχέτιση μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας ισχύος από την διαθέσιμη και του φορτίου ισχύος από το αναγκαίο, ο συσσωρευτής τότε εφαρμόζεται σαν ένα βοηθητικό ποσό ενέργειας. Κατά την διάρκεια παραγωγής ισχύος από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παρατηρείται ότι μερικές φορές η ισχύς ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα ακτινοβολίας η οποία συγκρούεται με αυτή, συγκεκριμένα το βράδυ ισούται με μηδέν. Επίσης, τα ηλεκτρικά φορτία είναι αναγκαίο να διαθέτουν σταθερή ισχύ. Ακόμη, η χρήση της μπαταρίας έχει καθοριστικό ρόλο για την παραγωγή ισχύος το βράδυ όταν το φωτοβολταϊκό δεν παράγει ισχύ ή όταν την ημέρα ισχύς είναι λιγότερη από αυτή που χρειάζεται το ηλεκτρικό φορτίο. Τέλος, όταν το φωτοβολταϊκό πάνελ παράγει περισσότερη ισχύ από αυτή που χρειάζεται το φορτίο, τότε η μπαταρία δέχεται την ισχύ που περισσεύει.
- Η μπαταρία «σώσει» την τάση από την μεγάλη διαφορά των τιμών της. Το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει την ικανότητα να δώσει ισχύ σε όλα τα σημεία μεταξύ του βραχυκυκλώματος και του ανοιχτού κυκλώματος, ανάλογα όμως με τα χαρακτηριστικά του φορτίου το οποίο θα είναι συνδεδεμένο σε αυτήν. Για παράδειγμα, όταν ένα σύστημα με ονομαστική τάση 12V, σημαίνει ότι οι τιμές από 0V μέχρι 20V είναι πιθανές να δημιουργηθούν από την φωτοβολταϊκή συστοιχία. Επίσης, αρκετά φορτία δεν έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν σε τόσο υψηλές τάσεις.

Υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά που χρειάζονται να έχουν τα συστήματα αποθήκευσης σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ισχύος. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά έρχονται σε «σύγκρουση» με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εφαρμοστούν ταυτόχρονα. Μερικά από αυτά είναι:

- 1) Η ενεργειακή απόδοσή τους να είναι υψηλή.
- 2) Ο χρόνος ζωής να είναι μεγάλος.
- 3) Η ανάγκη για συντήρηση να είναι ελάχιστες.
- 4) Τα υλικά κατασκευής τους να μην είναι υψηλής χωρητικότητας.
- 5) Το κόστος αγοράς να μην είναι υψηλό.

## 5.2 Είδη μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Οι μπαταρίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι εξής:

- Νικελίου καδμίου
- Νικελίου σιδήρου
- Μολύβδου οξέος
- Επαναφορτιζόμενες λιθίου
- Υβριδικές νικελίου

Το ιδανικό είδος μπαταρίας το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η μπαταρία μολύβδου οξέος και σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις μπορεί εφαρμόζεται η μπαταρία νικελίου καδμίου. Ακόμα, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης της μπαταρίας νικελίου σιδήρου είναι υψηλός για αυτό το λόγω χρησιμοποιούνται σε ελάχιστες φορές. Επίσης, με την εξέλιξη της τεχνολογίας ανακαλύφθηκαν δύο νέες μπαταρίες οι οποίες είναι οι επαναφορτιζόμενες λιθίου και οι υβριδικές νικελίου. Αυτές οι μπαταρίες σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι ακριβότερες ανά kWh και έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπως είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών. Επιπρόσθετα, ότι οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αντικείμενα υψηλής αξίας όπως είναι για παράδειγμα οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα. Παρόλα αυτά, οι χρήση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών θα

εξελιχθεί και στον μέλλον θα χρησιμοποιούνται τόσο στα φωτοβολταικά συστήματα όσο και στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας.



Εικόνα 5.1: Επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου



Εικόνα 5.2: Υβριδική μπαταρία νικελίου

### 5.3 Ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκού

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται οι μπαταρίες ανοιχτού τύπου οι οποίες είναι οι κλασσικές μπαταρίες με πώματα. Ένα από τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν είναι το χαμηλό κόστος αγοράς και για αυτό το λόγω συντελούν την πιο οικονομική λύση για οποιαδήποτε περίπτωση. Το ρεύμα που μπορούν να δώσουν είναι λιγότερο από οι μπαταρίες κλειστού τύπου. Ακόμη, στον τομέα της κατασκευής οι μπαταρίες ανοιχτού τύπου έχουν χαμηλές προδιαγραφές συγκριτικά με τις μπαταρίες κλειστού τύπου. Επίσης, είναι απαραίτητο να γίνεται αρκετά συχνά συντήρηση και να η τοποθέτησή τους να γίνεται προσεκτικά έτσι ώστε να μην γίνει κάποια ζημιά λόγω των υπερχειλήσεων. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα φωτοβολταϊκά συστήματα και στις πολλαπλές φορτίσεις.



Εικόνα 5.3: Μπαταρία ανοιχτού τύπου

### 5.4 Κλειστού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών

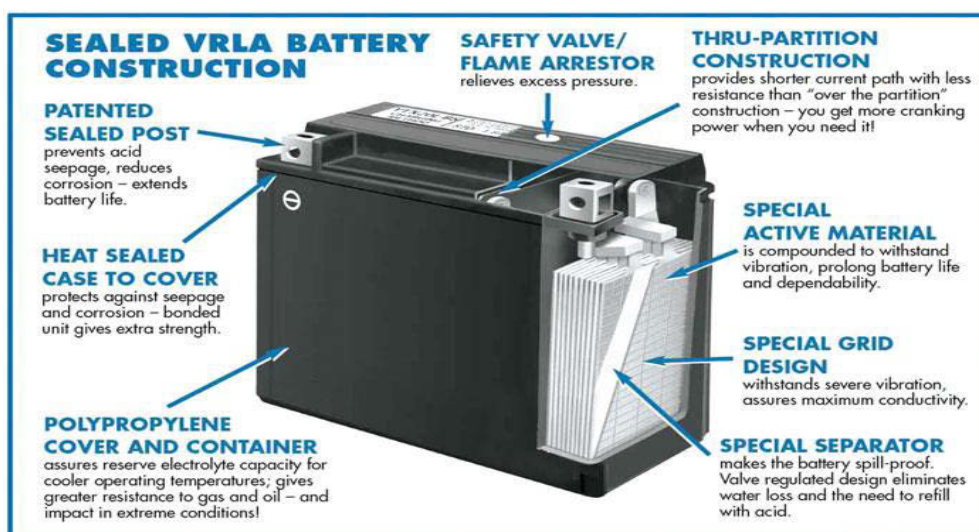
Οι μπαταρίες κλειστού τύπου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: 1) AGM και 2) GEL

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται επίσης και οι μπαταρίες κλειστού τύπου AGM οι οποίες ανάμεσα στις πλάκες τους έχουν Boron – Silicate Glass Mat. Ο ηλεκτρολύτης είναι ενσωματωμένος στο Glass Mat,

οπότε το ενδεχόμενο να σπάσει η μπαταρία και να υπάρξει διαρροή είναι απίθανο. Ακόμη, μέσα στην μπαταρία δεν υπάρχουν υγρά έτσι δεν υπάρχει περίπτωση να παγώσει. Για οποιοδήποτε είδος μπαταρίας η τάση φόρτισης παραμένει ίδια. Η εσωτερική αντίσταση είναι μικρή οπότε δεν υπάρχει περίπτωση η μπαταρία να υπερθερμανθεί είτε υπάρξει το φαινόμενο φόρτισης ή εκφόρτισης. Όσον αφορά τον ρυθμό αυτοεκφόρτισης είναι χαμηλός δηλαδή κυμαίνεται από 1 έως 3% και παρατηρούμε ότι ακόμη και αν το χρονικό διάστημα που θα είναι εκτός φόρτισης είναι μεγάλο η απόδοσή της δεν θα μειωθεί σημαντικά. Τέλος, οι μπαταρίες κλειστού τύπου είναι συμπαγείς και αντέχουν αρκετούς κραδασμούς συγκριτικά με άλλες μπαταρίες.

Οι μπαταρίες κλειστού τύπου GEL διαθέτουν οξύ το οποίο έχει την μορφή ζελέ. Αυτές οι μπαταρίες έχουν το πλεονέκτημα ότι ακόμα και αν σπάσει η μπαταρία το οξύ δεν θα χυθεί. Το μειονέκτημά τους είναι ότι σε περίπτωση που φορτιστούν σε έναν συμβατικό φορτιστή αυτοκινήτου τότε υπάρχει περίπτωση να πάθουν βλάβη.

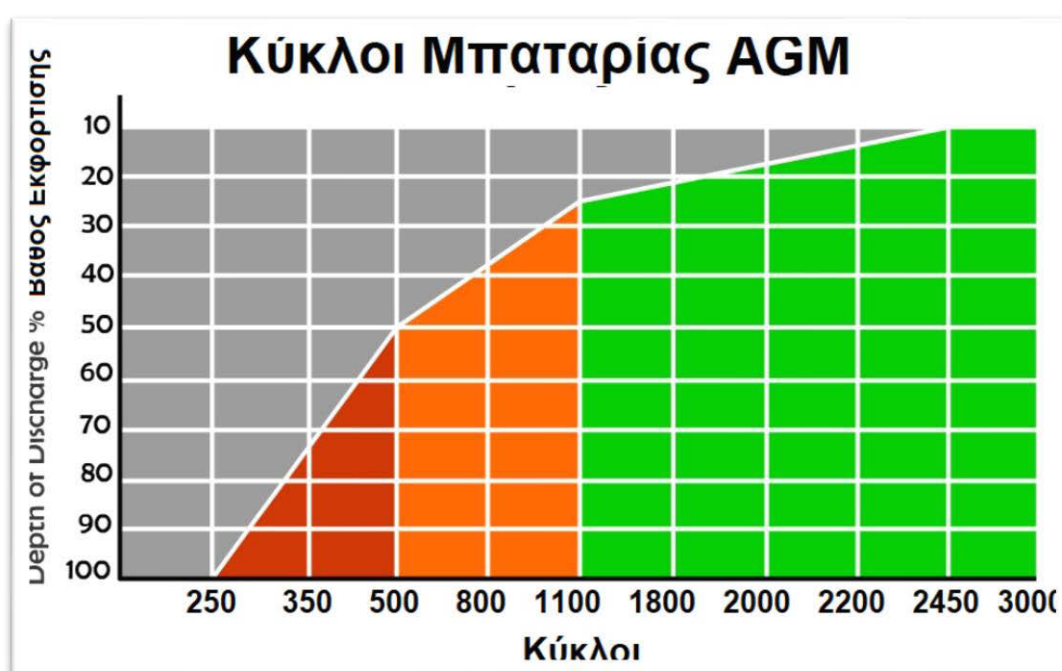
Στη συνέχεια, οι μπαταρίες κλειστού τύπου GEL είναι απαραίτητο να φορτίζονται χαμηλή τάση από ότι φορτίζονται η AGM του υγρού τύπου μπαταρίες διότι μπορεί έτσι να υπάρξουν κενά μέσα στο GEL τα οποία δεν θα κλείσουν ποτέ με αποτέλεσμα η μπαταρία να έχει μειωμένη χωρητικότητα. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών GEL και AGM είναι περίπου 10 με 12 χρόνια και είναι ο ρόλος τους είναι στα φωτοβολταϊκά συστήματα και για πολλαπλές φορτίσεις.



Εικόνα 5.4: Μπαταρία κλειστού τύπου

Το πιο βασικό χαρακτηριστικό σε μια μπαταρία είναι ο κύκλος λειτουργίας. Συγκεκριμένα, είναι μία διεργασία η οποία αποτελείται από μία πλήρη φόρτιση και από μία εκφόρτιση για ένα συγκεκριμένο ποσοστό χωρητικότητας και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Επίσης, όσο αυξάνεται το ποσοστό εκφόρτισης τόσο θα μειώνεται ο χρόνος λειτουργίας μιας μπαταρίας. Ακόμα, αν η εκφόρτιση γίνεται σε μεγάλο ποσοστό βύθισης το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η μείωση της ζωής της μπαταρίας.



Επιπρόσθετα, η διάρκεια ζωής των μπαταριών AGM βασίζεται στον βάθος εκφόρτισης.

## Κεφάλαιο 6 Φωτοβολταϊκό σύστημα

### 6.1 Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκών

Το ιστορικό χρονοδιάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού:

**1839 Edmond Becquerel:** Γάλλος φυσικός ο οποίος μελέτησε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειράματος και συγκεκριμένα ερευνούσε μια ηλεκτρολυτική επαφή η οποία είχε δύο ηλεκτρόδια κατασκευασμένα από μέταλλο.

**1876 Adams και Day:** Μελέτησαν το χημικό στοιχείο σελήνιο, στο οποίο όταν το φως αντανακλούσε τότε παραγόταν ηλεκτρικό ρεύμα.

**1918 Czochralski:** Ασχολήθηκε με την έρευνα του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

**1954 Bell Laboratories:** Στο εργαστήριο Bell Laboratories κατασκευάστηκε το πρώτο φωτοβολταϊκό με απόδοση περίπου 6%.

**1960:** Υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη στον κλάδο των φωτοβολταϊκών, με αποτέλεσμα να κατασκευαστούν νέα πάνελ όπου η απόδοσή τους άγγιξε το 14%.

**1963:** Η Ιαπωνία έκανε την μεγαλύτερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε φάρους.

**1983:** Η παραγωγή φωτοβολταϊκών στον κόσμο είναι 21.3MW.

**1999:** Η παραγωγή φωτοβολταϊκών στον κόσμο είναι 1,000MW.

**2002:** Η παραγωγή φωτοβολταϊκών στον κόσμο είναι 2,000MW.

**2015:** Η ισχύς φωτοβολταϊκών στον κόσμο είναι 229,300MW.

## 6.2 Ορισμός φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει την ικανότητα να μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα αυτό χωρίζεται από διάφορα μέρη, ένα από τα πιο χρήσιμα είναι το πάνελ. Ο ρόλος του πάνελ είναι να απορροφά την ηλιακή ενέργεια, το σχήμα του είναι τετράγωνο και είναι αναγκαίο έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να μετατραπεί. Το φωτοβολταϊκό πάνελ μπορεί να τοποθετηθεί σε οροφές κτηρίων, σε δώματα και στο έδαφος. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες που διακρίνεται το φωτοβολταϊκό πάνελ και αυτές είναι: μονοκρυσταλλικό πυριτίου, πολυκρυσταλλικό πυριτίου και άμορφου πυριτίου.

## 6.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκού συστήματος

### Πλεονεκτήματα:

- Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη.
- Δεν εκπέμπουν κάποια αέρια προς το περιβάλλον οπότε δεν το ρυπαίνουν.

- Είναι αξιόπιστα συστήματα έχουν την ικανότητα να λειτουργούν αυτόνομα.
- Η συντήρηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν χρειάζεται να γίνεται καθημερινά.
- Ο χρόνος ζωής τους είναι περίπου τα 30 έτη.

#### **Μειονεκτήματα:**

Χρειάζονται μεγάλο χώρο για να πραγματοποιηθεί η εγκατάστασή τους.

Το κόστος επένδυσης είναι αρκετά υψηλό και δυστυχώς στην Ελλάδα δεν υπάρχουν αρκετά προγράμματα τα οποία να επιδοτούν αυτά τα έργα.

Ο βαθμός απόδοσής τους δεν είναι πού υψηλός παρόλο που η τεχνολογία έχει εξελιχθεί.

### **6.4 Συστοιχίες φωτοβολταϊκών συστημάτων**

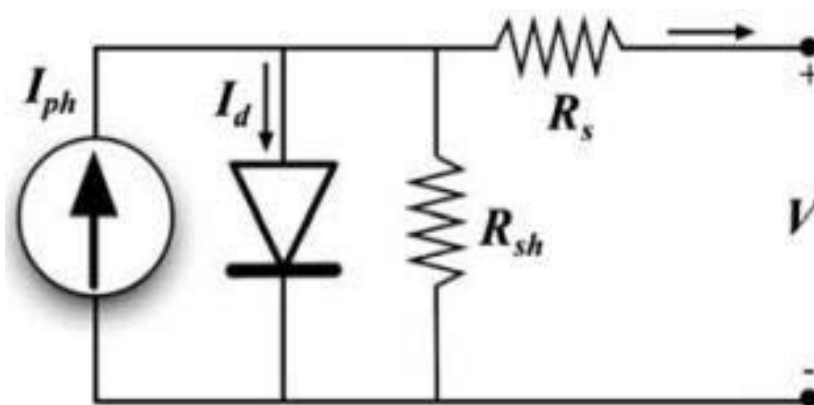
Με τον όρο «συστοιχία» επισημαίνονται τα πλαίσια του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο αποτελούν. Επίσης, αναφέρεται στην καλωδίωση, στις διόδους και στην βάση που στηρίζεται το πάνελ. Τέλος, μια ηλιακή κυψέλη ομαδοποιείται σε πλαίσια και στη συνέχεια τα πλαίσια αθροίζονται έτσι ώστε να δημιουργηθεί η συστοιχία. Η συστοιχία συντελείται είτε από μία κυψέλη, είτε από ένα πλαίσιο ή πολλά πλαίσια.



Εικόνα 6.1: Ηλιακή συστοιχία

## 6.5 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το κύκλωμα αποτελείται από το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο δεν μεταβάλλεται μαζί με δίοδο και συμβολίζεται « $I_L$ ». Έπειτα υπάρχει η αντίσταση  $R_{sh}$  η οποία συνδέεται στα άκρα της διόδου παράλληλα στη συνέχεια η αντίσταση  $R_s$  η οποία συνδέεται με την δίοδο σε σειρά. Τέλος, το ρεύμα εξόδου συμβολίζεται με « $I$ » και η τάση εξόδου με « $V$ ».



Εικόνα 6.2: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φ/β στοιχείου

Οι τιμές της αντίστασης  $R_s$  για να έχουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία βέλτιστη λειτουργία κυμαίνονται από  $0,1\Omega$  μέχρι  $0,3\Omega$ . Η αντίσταση  $R_{sh}$  χρειάζεται να έχει τιμή μεγαλύτερη των  $500\Omega$ .

## 6.6 Κατηγορίες φωτοβολταϊκού πάνελ

A) Μονοκρυσταλλικό πάνελ: αποτελείται από ηλιακά κύτταρα τα οποία περιλαμβάνουν καθαρό πυρίτιο. Για να παραχθούν τα κύτταρα αυτά πραγματοποιείται μια δύσκολη διαδικασία από το πυρίτιο το οποίο είναι το ημιαγωγίμο υλικό. Ακόμη, το σχήμα του μονοκρυσταλλικού ηλιακού κυττάρου είναι τετράγωνο και για να δημιουργηθεί ο ηλιακός συλλέκτης συνδέονται μεταξύ τους. Τέλος, ο χρόνος ζωής αυτού του φωτοβολταϊκού είναι περίπου 30 χρόνια και η απόδοση που μπορούν να φτάσουν είναι σχεδόν 25%.



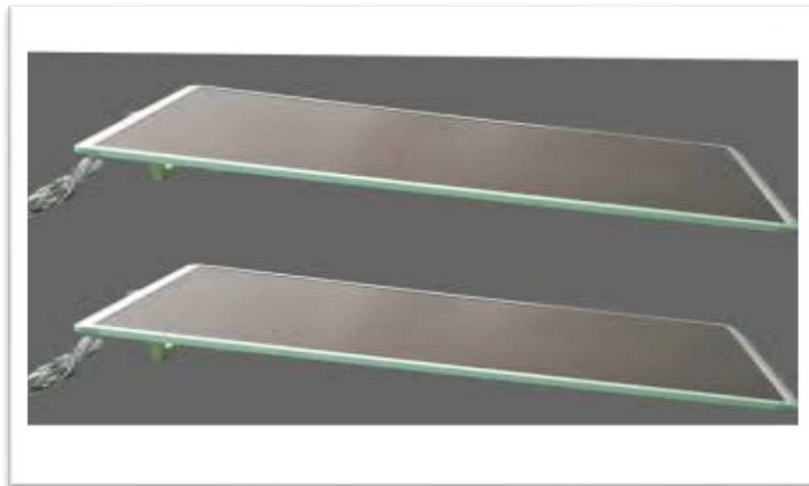
Εικόνα 6.3: Μονοκρυσταλλικό πάνελ

Β) Πολυκρυσταλλικό πάνελ: αποτελείται από ηλιακά κύτταρα τα οποία περιλαμβάνουν πυρίτιο, όχι τόσο καθαρό σε σύγκριση με το μονοκρυσταλλικό πάνελ. Για να παραχθούν τα κύτταρα αυτά μια συγκεκριμένη ποσότητα πυριτίου λιώνει και έπειτα ψύχεται. Στη συνέχεια, για να σχηματιστεί το ηλιακό στοιχείο τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους. Τέλος, το πολυκρυσταλλικό πάνελ έχει μικρότερη απόδοση σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό πάνελ.



Εικόνα 6.4: Πολυκρυσταλλικό πάνελ

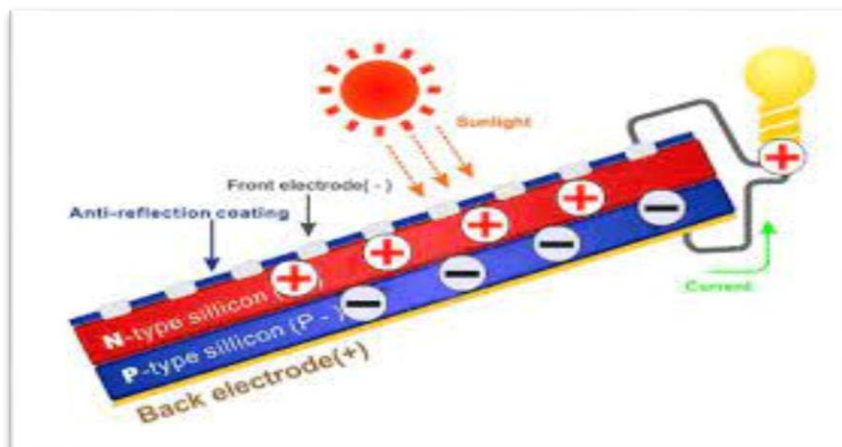
C) Πάνελ άμορφου πυριτίου: δημιουργείται από την διαδικασία ατμού ενός λεπτού στρώματος, το οποίο βασίζεται στο πυρίτιο. Το πάχος του στρώματος είναι περίπου 1μm και το υλικό υποστρώματος είναι μέταλλο (πυρίτιο). Επίσης, η μορφή του αποτελείται από μια σειρά στρωμάτων καρφίτσας. Στα κύτταρα του στρώματος υπάρχει μείωση της ισχύος στην έξοδο με αποτέλεσμα να μην αντέχουν όταν εκθέτονται στον ήλιο. Η απόδοση του φωτοβολταϊκού αγγίζει το 12%.



Εικόνα 6.5: Πάνελ άμορφου πυριτίου

## 6.7 Φωτοβολταϊκό στοιχείο – Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

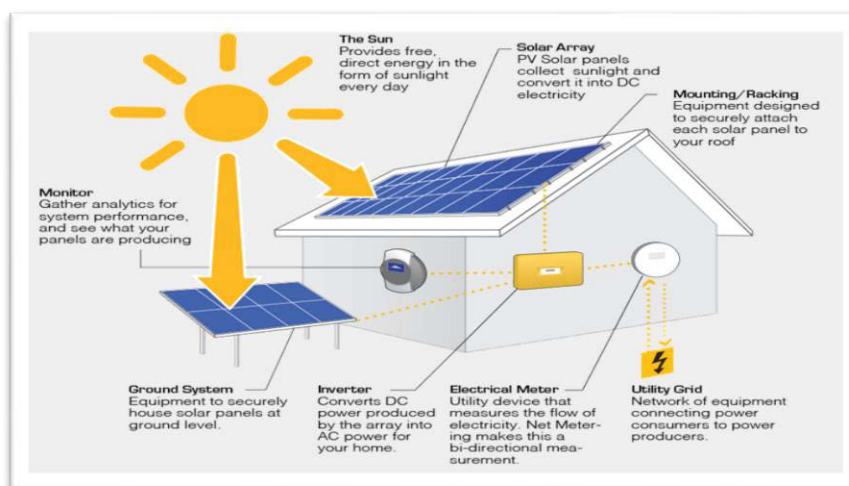
Ο ρόλος των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η κατασκευή τους βασίζεται σε ημιαγώγιμα υλικά που μερικές φορές παρατηρείτε να είναι μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά ή άμορφα. Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία στην επιφάνειά υπάρχει τοποθετημένη μια δίοδο ημιαγωγού χωρίς να επηρεάζεται η κρυσταλλική τους δομή. Επίσης, η δίοδος έρχεται σε επαφή με το στρώμα τύπου n και με το στρώμα τύπου p. Στην δίοδο p – n υπάρχουν τα κινούμενα ηλεκτρόνια τα οποία αλλάζουν κατεύθυνση και πηγαίνουν στο τμήμα τύπου n και οι οπές αλλάζουν επίσης κατεύθυνση και πηγαίνουν στο τμήμα τύπου p και έτσι εκδηλωνόταν η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου στοιχείου λόγω της συσσώρευσης του φορτίου που υπάρχει στις άκρες των δύο επιφανειών.



Εικόνα 6.6: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

### 6.7 Μέρη που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

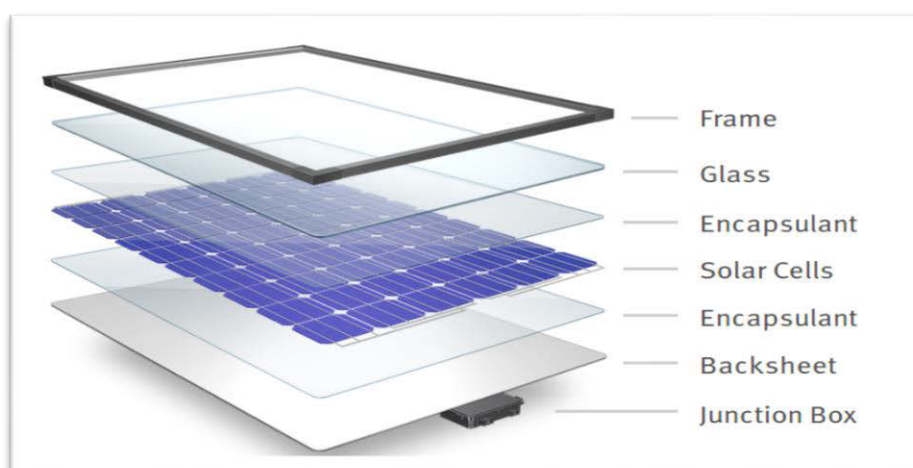
- **Φωτοβολταϊκά πάνελ:** έχουν καθοριστικό ρόλο για την συγκρότηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος καθώς χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.
- **Μονάδα ρύθμισης ισχύος:** ο ρόλος μιας μονάδας ρύθμισης ισχύος είναι να μετατρέπει το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει το φωτοβολταϊκό σε εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα σπίτια .
- **Σύστημα αποθήκευσης (μπαταρία):** όταν μελετάμε ένα υβριδικό σύστημα ή ένα σύστημα το οποίο είναι εκτός δικτύου, τότε εφαρμόζεται το σύστημα αποθήκευσης για να αποθηκευτεί η ηλεκτρική ενέργεια που έχει περισσέψει, η οποία χρησιμοποιείται το βράδυ ή όταν οι καιρικές συνθήκες δεν ευνοούν στην εμφάνιση του ήλιου.
- **Σύστημα τοποθέτησης:** αναφέρεται στην δομή η οποία είναι υπεύθυνη για την συγκράτηση του πάνελ σε μια οροφή ή στο έδαφος.
- **Καλωδίωση:** ο ρόλος της καλωδίωσης αναφέρεται στην σύνδεση του φωτοβολταϊκού πάνελ, της μονάδας κλιματισμού και τέλος στο σύστημα αποθήκευσης εάν υπάρχει.
- **Σύστημα παρακολούθησης:** χρησιμοποιείται για την μέτρηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και ελέγχει το σύστημα για το αν θα εμφανίσει κάποιο πρόβλημα.



Εικόνα 6.7: Μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Για να κατασκευαστεί ένα φωτοβολταϊκό πάνελ χρειάζεται:

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- Ένα υλικό τύπου EVA όπου ο ρόλος του είναι για την ενθυλάκωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.
- Ειδικό γυαλί στο μπροστά μέρος.
- Ειδικό γυαλί στο πίσω μέρος.
- Ένα πλαίσιο αλουμινίου
- Κουτί σύνδεσης



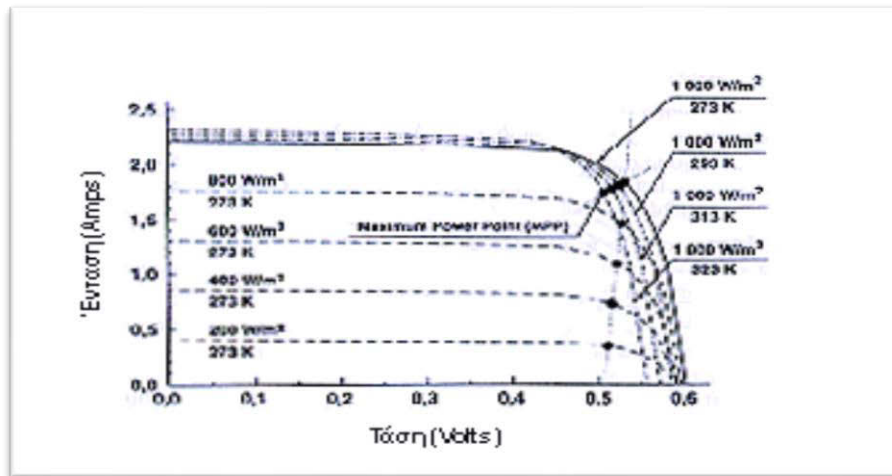
Εικόνα 6.7: Βασικά μέρη φωτοβολταϊκού πάνελ

## 6.8 Χαρακτηριστικές καμπύλες στο φωτοβολταϊκό σύστημα

Υπάρχουν δύο είδη χαρακτηριστικών καμπύλων:

- Καμπύλη ρεύματος – τάσης (I-V)

- **Καμπύλη ισχύς – τάσης (P-V)**



Διάγραμμα 6.8: Καμπύλη I-V

Στην παραπάνω διάγραμμα έχουμε την καμπύλη ρεύματος – τάσης και παρατηρούμε ότι όταν το ρεύμα ( $I$ ) = 0, τότε έχουμε  $V_{max}$  η οποία  $V_{max}$  είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος. Ενώ, όταν έχουμε την τάση ( $V$ ) = 0, τότε έχουμε  $I_{max}$  το οποίο είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ακόμη, στο παρατηρούμε ότι η απόδοση του φωτοβολταϊκού αυξάνεται όταν αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολίας και μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας.

- **Παράδειγμα:** Να βρεθεί ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με τα παρακάτω στοιχεία:

$$E \text{ (ηλιακή ακτινοβολία)} = 1000\text{W/m}^2 \text{ με } T=25^\circ\text{C}$$

$$V_L \text{ (τάση ανοιχτού κυκλώματος)} = 21,7\text{V}$$

$$I_{\beta\rho} \text{ (ρεύμα βραχυκύκλωσης)} = 5,29\text{A}$$

$$V_b \text{ (τάση λειτουργίας)} = 18,05\text{V}$$

$$I_b \text{ (ρεύμα λειτουργίας)} = 4,71\text{A}$$

- **Λύση**

$$P_{max}(\text{ισχύς}) = 18,05 \cdot 4,71 (=) \quad P = 85\text{W}$$

$$A \text{ (εμβαδόν πάνελ)} = 1,05 \cdot 0,6 (=) \quad A = 0,63\text{m}^2$$

$$\eta = \frac{P}{E \cdot A} \quad (1) \quad (=) \quad \eta = \frac{85}{1000 \cdot 1,05 \cdot 0,6} \quad (=) \quad \boxed{\eta = 13,5\%}$$

- Αν αυξηθεί η θερμοκρασία στους ( $T = 75^{\circ}\text{C}$ ), πως θα επηρεαστεί ο βαθμός απόδοσης ;

Άρα για  $T=25^{\circ}\text{C}$  και  $E=1000\text{W}/\text{m}^2$  έχουμε  $P_{\text{max}}= 85\text{W}$  και  $\eta=13,5\%$

Για  $T=75^{\circ}\text{C}$  και  $E=1000\text{W}/\text{m}^2$  , τότε  $\Delta\theta = 75^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} (=) \quad \boxed{\Delta\theta = 50^{\circ}\text{C}}$

Επίσης θα υπολογίσουμε το  $\Delta V$ (διαφορά τάσης) =  $-2,3\text{mV} \cdot 36 \cdot 50 (=) \quad \boxed{\Delta V = - 4,14\text{V}}$

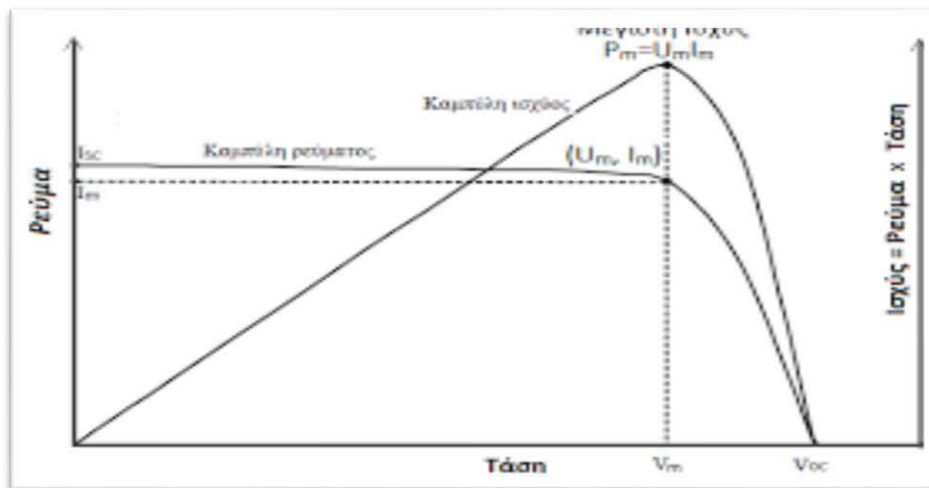
Το « $-2,3\text{mV} = -2,3 \cdot 10^{-3}$  » δηλώνει την μείωση της τάσης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας.

Το «36» δηλώνει το πλήθος των πάνελ.

Τότε  $P_{75}$  (ισχύς) =  $V_{75} \cdot I_b (=) P_{75} = (18,05 - 4,14) \cdot 4,71 (=) \quad \boxed{P_{75} = 65,51\text{W}}$

Άρα το  $\eta = \frac{P}{E \cdot A} (=) \eta = \frac{65,51}{1000 \cdot 0,63} (=) \quad \boxed{\eta = 10,39\%}$

Οπότε ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος θα μειωθεί.



Διάγραμμα 6.9: Καμπύλη I-V και Καμπύλη P-V

Στο παραπάνω διάγραμμα εκτός από την καμπύλη ρεύματος – τάσης έχουμε και την καμπύλη ισχύς – τάσης η οποία εξαρτάται από τα σημεία  $I_m, P_m$  και σε αυτό το σημείο έχουμε την μέγιστη ισχύ.

## 6.9 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ

Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα στην βάση στήριξης, τότε αποτελούν μια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Υπάρχουν δύο είδη σύνδεσης πάνελ: 1) σύνδεση σε σειρά και 2) σύνδεση παράλληλα.

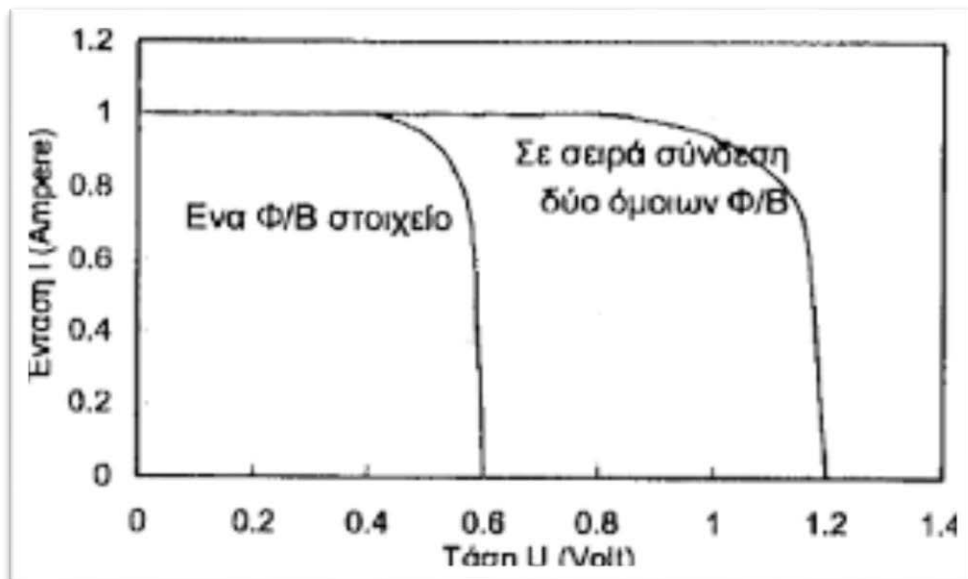
### 6.9.1 Σύνδεση σε σειρά

Με την σύνδεση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε σειρά αυξάνεται η τάση του συστήματος. Αυτή η σύνδεση εφαρμόζεται όταν ο ελεγκτής φορτίου χρειάζεται το λιγότερο 24 volt. Η σύνδεση των καλωδίων γίνεται με τον εξής τρόπο, ο θετικός ακροδέκτης με τον αρνητικό ακροδέκτη κάθε πίνακα μέχρι να μείνει κενή μια θετική και μια αρνητική σύνδεση.

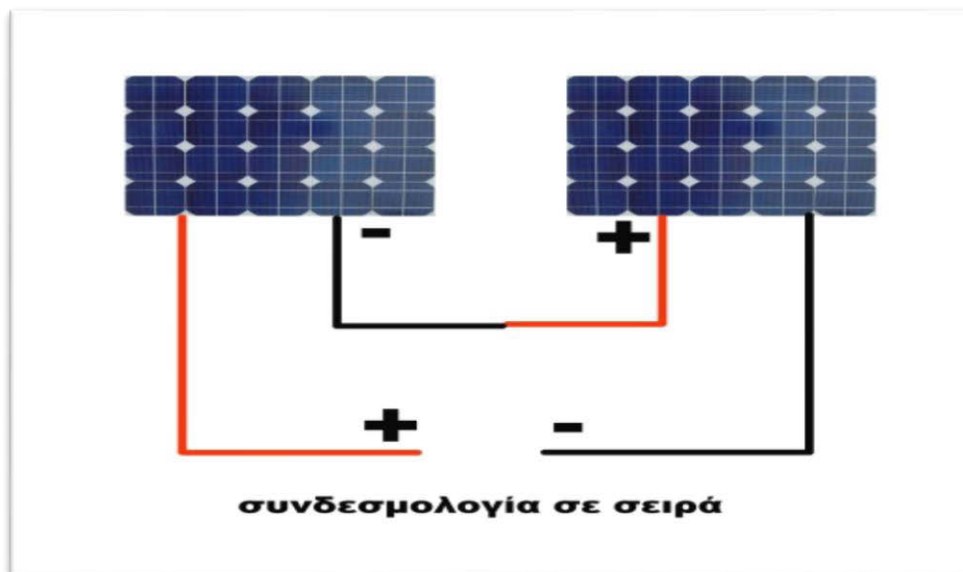
**Ρεύμα:**  $I_{\text{σειράς}} = I_{\text{max}}$

**Τάση:**  $V_{\text{σειράς}} = \text{Αριθμός κυψελών} * V_{\text{max}}$

**Ισχύς:**  $I_{\text{max}} * V_{\text{σειράς}}$



Διάγραμμα 6.10: Διάγραμμα I-V για σύνδεση σε σειρά



Εικόνα 6.11: Σύνδεση φωτοβολταϊκών σε σειρά

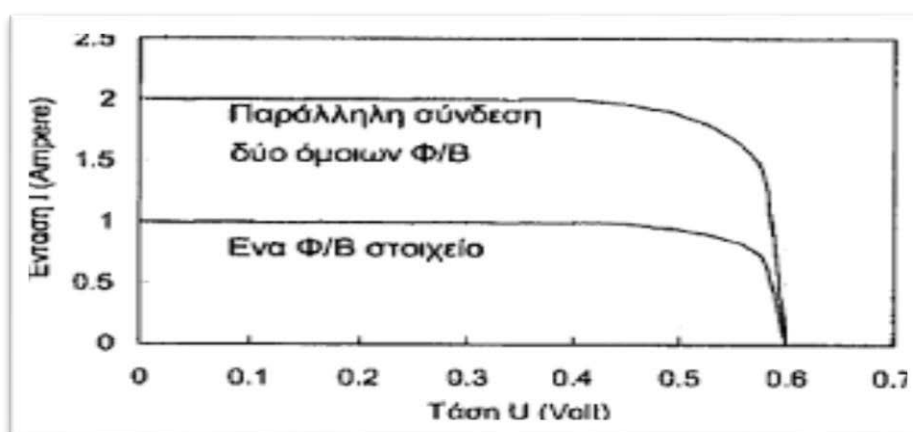
### 6.9.2 Σύνδεση φωτοβολταϊκών παράλληλα

Με την σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ παράλληλα αυξάνεται το ρεύμα του συστήματος. Η σύνδεση των καλωδίων γίνεται με εξής τρόπο, δηλαδή συνδέονται μεταξύ τους όλοι οι θετικοί ακροδέκτες μαζί και όλοι οι αρνητικοί ακροδέκτες μαζί έτσι ώστε στο τέλος να μείνει κενή μια θετική και μια αρνητική σύνδεση.

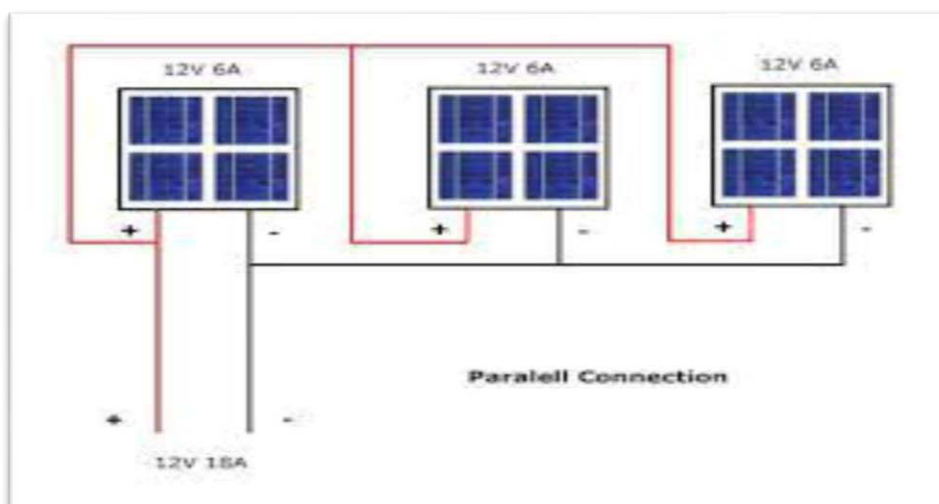
**Ρεύμα:**  $I_{\text{παράλληλα}} = \text{Αριθμός κυψελών} * I_{\text{max}}$

**Τάση:**  $V_{\text{παράλληλα}} = V_{\text{max}}$

**Ισχύς:**  $P_{\text{παράλληλα}} = I_{\text{παράλληλα}} * V_{\text{παράλληλα}}$



Διάγραμμα 6.12: Διάγραμμα I-V για παράλληλη σύνδεση



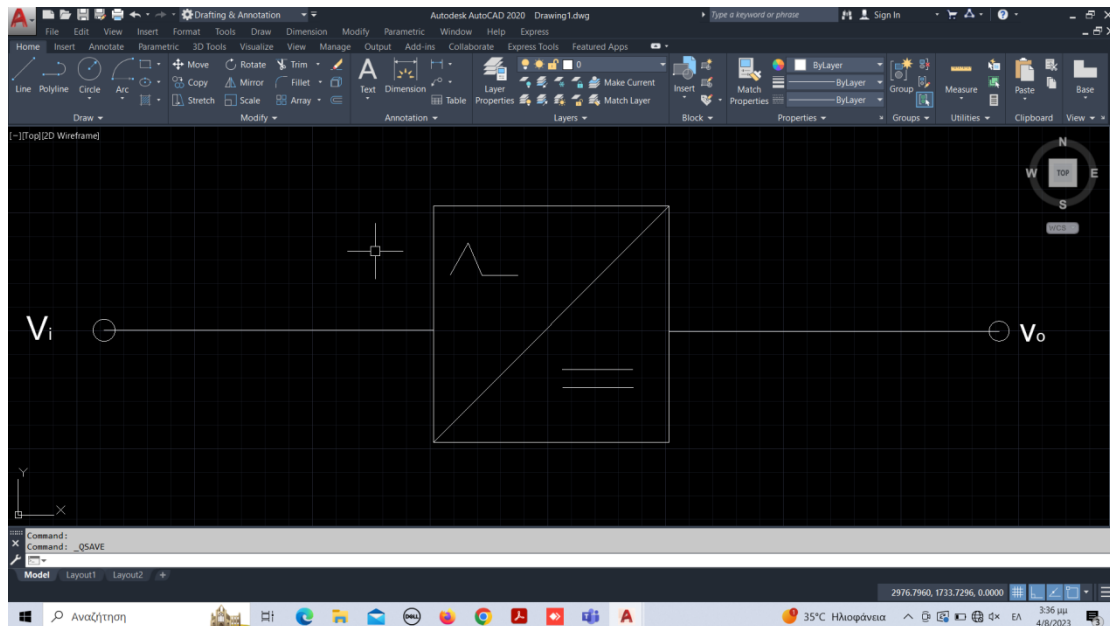
Εικόνα 6.13: Σύνδεση φωτοβολταϊκών παράλληλα

## 6.10 Μετατροπείς

Υπάρχουν τρία είδη μετατροπέων:

- 1) Συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC)
- 2) Συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC-DC)
- 3) Εναλλασσόμενη τάση σε συνεχές (AC-DC)

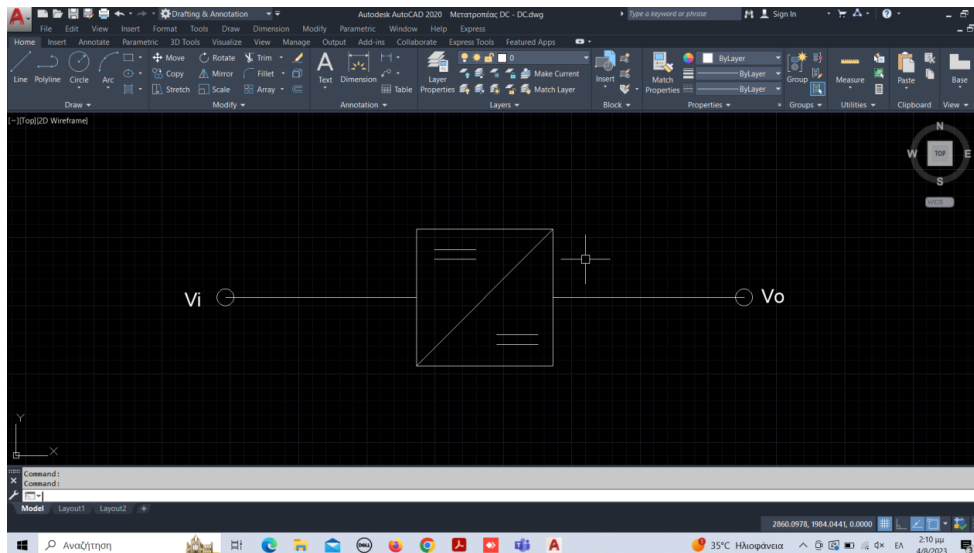
**Μετατροπέας DC-AC:** το εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και στα σπίτια για αυτό τον λόγο είναι αναγκαία η εγκατάσταση του μετατροπέα DC-AC. Ο ρόλος του είναι η μετατροπή της συνεχής τάσης σε εναλλασσόμενη. Επίσης, παρουσιάζει ένα μειονέκτημα και αυτό είναι ότι ενώ έχει αρκετά καλή απόδοση, εμφανίζουν υψηλό αριθμό αρμονικών μεγάλης συχνότητας. Έτσι, εμφανίζεται πρόβλημα κατά την διάρκεια σύνδεσης στο δίκτυο με αποτέλεσμα να είναι σημαντική η τοποθέτηση φίλτρων για να περιοριστεί το πρόβλημα αυτό.



Εικόνα 6.14: Μετατροπέας DC-AC

**Μετατροπέας DC-DC:** ο ρόλος του είναι η μετατροπή της συνεχή τάση σε συνεχή και η τιμή της καθορίζεται ανάλογα με τις ανάγκες αν θα είναι μεγάλη ή μικρή με στόχο την μείωση των απωλειών κατά την διάρκεια της μεταφοράς ενέργειας. Στα φωτοβολταϊκά χρειαζόμαστε υψηλή τάση έτσι ώστε μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται σε χαμηλές απώλειες. Επίσης, για τους συσσωρευτές η τάση του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι απαραίτητο να ταιριάζει με την τάση της μπαταρίας για να μην υπάρξει υπερφόρτιση. Τέλος, ο συγκεκριμένος μετατροπέας αποτελείται και από έναν μικροελεγκτή για να εντοπίζει το μέγιστο σημείο ισχύος και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού να γίνεται σε αυτό το σημείο. Η απόδοση του μετατροπέα Dc-Dc είναι περίπου 90%.

Συγκεκριμένα, ένας μετατροπέας έχει σημαντικό ρόλο για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο με σκοπό οι συσκευές που υπάρχουν στο σπίτι μας να μπορέσουν να τεθούν σε λειτουργία. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι μετατροπείς εμφανίζουν αύξηση στην απόδοσή τους, το κόστος για την συντήρησή τους δεν είναι ακριβό και το ποσοστό εμφάνισης κάποιου προβλήματος είναι μικρό. Τέλος, σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό σύστημα που λειτουργεί επιλέγεται ο μετατροπέας που ταιριάζει.



Εικόνα 6.15: Μετατροπέας DC-DC

## 6.11 Βάσεις φωτοβολταικών

Οι βάσεις φωτοβολταικών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- 1) Να είναι οι βάσεις σταθερές και κλίση τους να είναι με κατεύθυνση προς την οριζόντιο.
- 2) Ανιχνευτής κατεύθυνσης ήλιου με σκοπό την παρακολούθηση του ήλιου.

### Βάσεις μη περιστρεφόμενες

Λόγω των συγκεκριμένων βάσεων ο προσανατολισμός των πλαισίων δεν αλλάζει με αποτέλεσμα κάθετα σε αυτά να «πέφτει» η ηλιακή ακτινοβολία. Στην Ελλάδα η κλίση που εφαρμόζεται είναι  $30^\circ$ . Το φωτοβολταικό πλαίσιο κατασκευάζεται από αλουμίνιο και συντελείται από αρκετά μέρη. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εγκατάστασή τους είναι η σκυροδέτηση ή η εδαφόμπτυξη. Έτσι, ο καλύτερος τρόπος γίνεται με μελέτη για να ληφθεί υπόψη και η στατική επάρκεια, όπως επίσης και οι ανεμοπιέσεις. Ακόμη, χρησιμοποιούνται για να περιοριστεί το φαινόμενο της οξειδωσης ή της ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά με σκοπό να γίνεται η στήριξη των πινάκων ή των αντιστροφών αλλά και να πραγματοποιείται και η αναχώρηση των καλωδίων. Τέλος, η εγκατάσταση των πλαισίων γίνεται μονή ή διπλή ή τριπλή ή τετραπλή σειρά.



Εικόνα 6.16: Σταθερή βάση φωτοβολταϊκών

### **Ανιχνευτής κατεύθυνσης του ήλιου**

Το σύστημα αυτό διαθέτει μεγάλη απόδοση αφού ο σκοπός του είναι να εντοπίζει την πορεία του ήλιου και στη συνέχεια να παρατηρείται η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- 1) Σύστημα μονού άξονα: η κατεύθυνση του πλαισίου είναι σε έναν άξονα και συγκεκριμένα Ανατολής – Δύσης.
- 2) Σύστημα διπλού άξονα: προσδιορίζεται η κλίση των πλαισίων με κατεύθυνση την οριζόντιο.

Υπάρχουν τα ηλεκτροδραυλικά ή τα ηλεκτρομηχανικά μέσα τα οποία έχουν τον ρόλο να μετατοπίζουν τα συστήματα αυτά. Η κατεύθυνση του ήλιου εντοπίζεται με δύο τρόπους:

- ηλιακοί συλλέκτες
- λογισμικό το οποίο εντοπίζει τη θέση του ήλιου σύμφωνα με τις συντεταγμένες της κάθε περιοχής.

Ο ανιχνευτής εγκαθιστάτε με την μέθοδο της σκυροδέτησης, έχει αρκετά μεγάλο ύψος και υψηλό κόστος αγοράς. Ακόμα, χρησιμοποιούν μεγάλους χώρους με αποτέλεσμα να περιορίζεται η σκίαση. Επίσης, εφαρμόζεται η μέθοδος της οριζοντίωσης με σκοπό την μείωση προβλημάτων από τις

ανεμοπιέσεις, έτσι τα φωτοβολταϊκά πάνελ εγκαθίσταται με παράλληλα προς το έδαφος. Τέλος, το μειονέκτημα χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα είναι χρειάζονται συντήρηση αλλά χρειάζεται οικοδομική άδεια επειδή βρίσκεται μεγάλο ύψος.

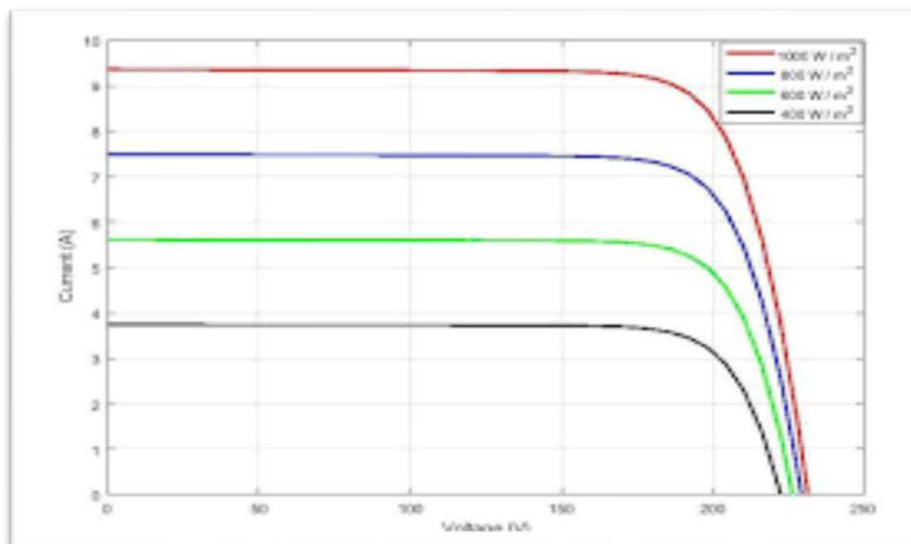


Εικόνα 6.17: Σύστημα ανίχνευσης ήλιου

## 6.12 Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση φωτοβολταϊκών πάνελ

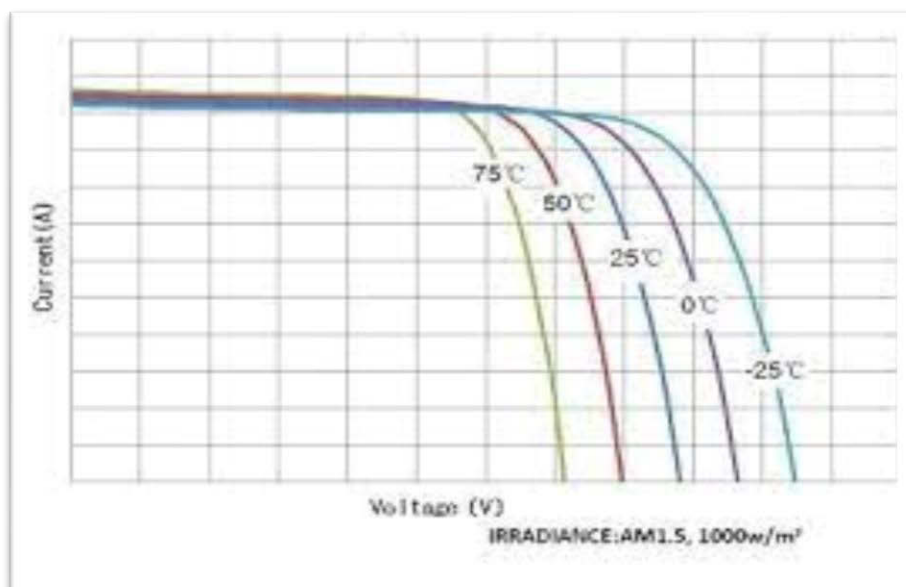
Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι έχουν αντίκτυπο στην απόδοση φωτοβολταϊκών είναι δύο:

- **Ηλιακή ακτινοβολία:** επηρεάζει το ρεύμα βραχυκύκλωσης του πάνελ, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται λόγω της αύξησης της έντασης. Συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλη είναι η ηλιακή ακτινοβολία τόσο πιο μεγάλη είναι η αύξηση του ρεύματος της βραχυκύκλωσης, οπότε και μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος.



Διάγραμμα 6.18: Η μεταβολή της καμπύλης I-V λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας

- **Θερμοκρασία:** επηρεάζει την τάση του πάνελ. Συγκεκριμένα, όταν η μειώνεται η θερμοκρασία η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης παρουσιάζει μια μικρή μείωση. Οπότε το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι και η ισχύς του πάνελ θα μειωθεί λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 6.19: Η μεταβολή της καμπύλης I-V λόγω της θερμοκρασίας

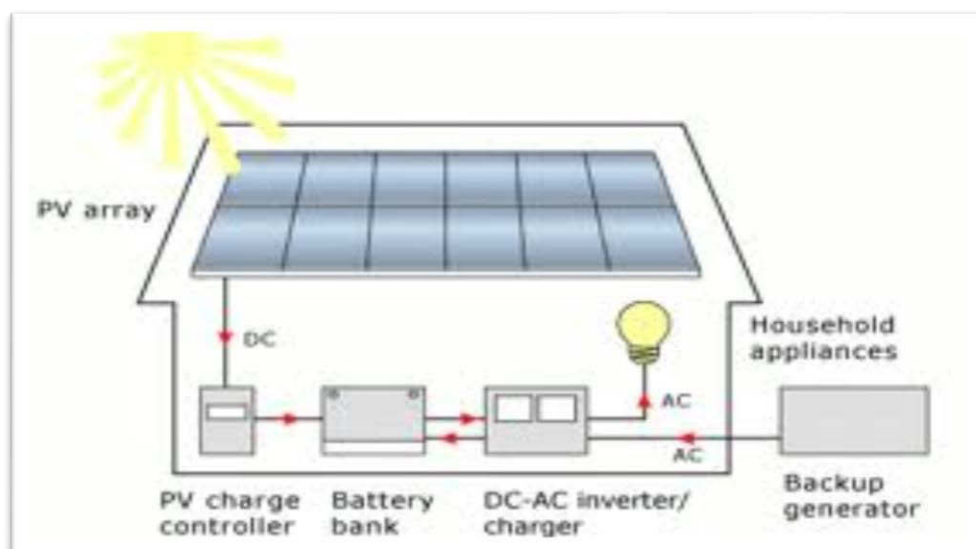
## 6.13 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

### 6.13.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο, χωρίς να χρειαστεί την βοήθεια από το δημόσιο δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ απορροφούν την ηλιακή ενέργεια, έτσι τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και στη συνέχεια όση ενέργεια περισσέψει αποθηκεύεται σε συσσωρευτή. Ακόμα, το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τον ελεγκτή ρύθμισης και ο ρόλος του είναι να ελέγχει την μπαταρία έτσι να μην υπερφορτιστεί. Τέλος, σε περίπτωση συννεφιάς οι ηλεκτρικές καταναλώσεις χρησιμοποιούν την μπαταρία.

**Ο ρόλος της μπαταρίας στο αυτόνομο σύστημα:** Για να λειτουργεί διαρκώς ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι αναγκαίο να χρησιμοποιείται η μπαταρία έτσι ώστε να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται και να την τροφοδοτεί στο κύκλωμα, σε περίπτωση που το σύστημα δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες που απαιτούνται. Η κατάλληλη μπαταρία επιλέγεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Υψηλό δείκτη φόρτισης: για να μην παρατηρηθεί το φαινόμενο της πτώσης τάσης χρειάζεται υψηλό ρεύμα έντασης.
- Να μην επηρεάζεται από τους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης: δηλαδή η μπαταρία να έχει την ικανότητα να φτάσει στον μέγιστο αριθμό φορτίσεων και εκφορτίσεων. Για να έχει μια μπαταρία μεγάλη διάρκεια ζωής χρειάζεται να διαθέτει μικρό βάθος εκφόρτισης, διότι το βάθος εκφόρτισης ελέγχει τους κύκλους ενός συσσωρευτή.



Εικόνα 6.20: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

### 6.13.2 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα δίνει την ηλεκτρική ενέργεια που απορροφά απευθείας στο δίκτυο διανομής. Επίσης, η σύνδεση μπορεί να γίνει είτε σε χαμηλή τάση είτε σε μεσαία τάση, εξαρτάται από την παραγόμενη ισχύ και το πάρκο που μελετάμε. Ακόμη, ηλεκτρική ενέργεια μοιράζεται στα φορτία όπου θα καταναλωθεί. Το διασυνδεδεμένο σύστημα διαθέτει έναν μετρητή όπου ο ρόλος του είναι να μετρά την ηλεκτρική ενέργεια τόσο όταν εισέρχεται αλλά και όσο όταν εξέρχεται. Τέλος, χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: α) χρησιμοποιώντας το δίκτυο ως πηγή ,β) χρησιμοποιώντας τη λειτουργία της αμφίδρομης κατάστασης.

**Για την περίπτωση (α):** το δίκτυο μπαίνει σε λειτουργία όταν η αποθηκευμένη ενέργεια του φωτοβολταϊκού δεν επαρκή για να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες της εγκατάστασης ή όταν προκύψει κάποιο τεχνικό πρόβλημα στο φωτοβολταϊκό.

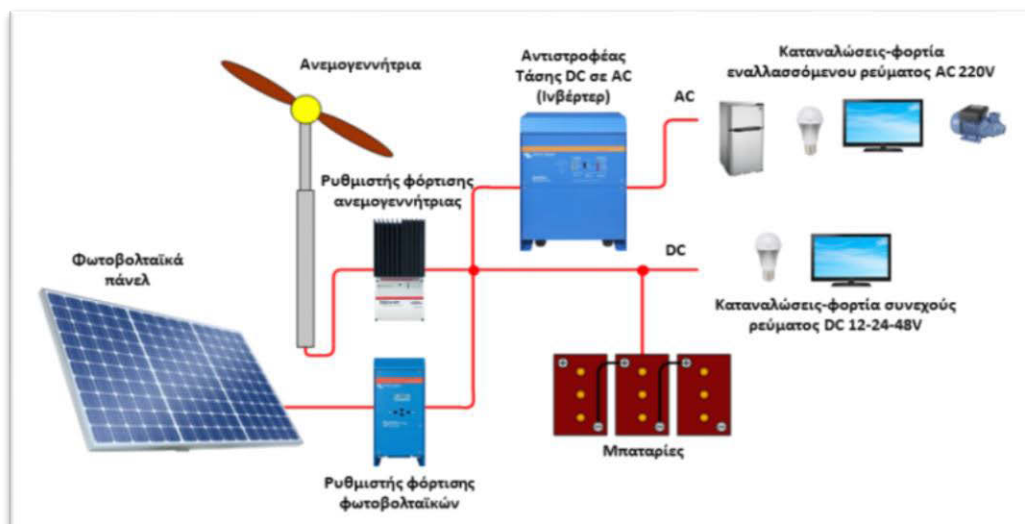
**Για την περίπτωση (β):** ο βασικός ρόλος του φωτοβολταϊκού είναι να παρέχει εξ ολοκλήρου την ενέργεια που απαιτείται σε μια εγκατάσταση. Μεταξύ δικτύου και φωτοβολταϊκού υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση, η περίσσεια ενέργεια του φωτοβολταϊκού δίνεται στο δίκτυο, ενώ αν το φωτοβολταϊκό δεν μπορεί να εφοδιάσει τις συσκευές κατανάλωσης τότε η ενέργεια ηλεκτρισμού παρέχεται από το δίκτυο.



Εικόνα 6.21: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

### 6.13.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, η ηλεκτρική ενέργεια δημιουργείται από έναν συνδυασμό της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με ανανεώσιμες πηγές οι οποίες μπορούν να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε μια μπαταρία. Επίσης, το σύστημα αυτό περιλαμβάνει έναν πίνακα αυτοματισμού ο οποίος καθορίζει την πηγή που η μπαταρία θα φορτιστεί. Τέλος, γίνεται ο διαμορισμός της στις συσκευές εγκατάστασης.



Εικόνα 6.22: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα

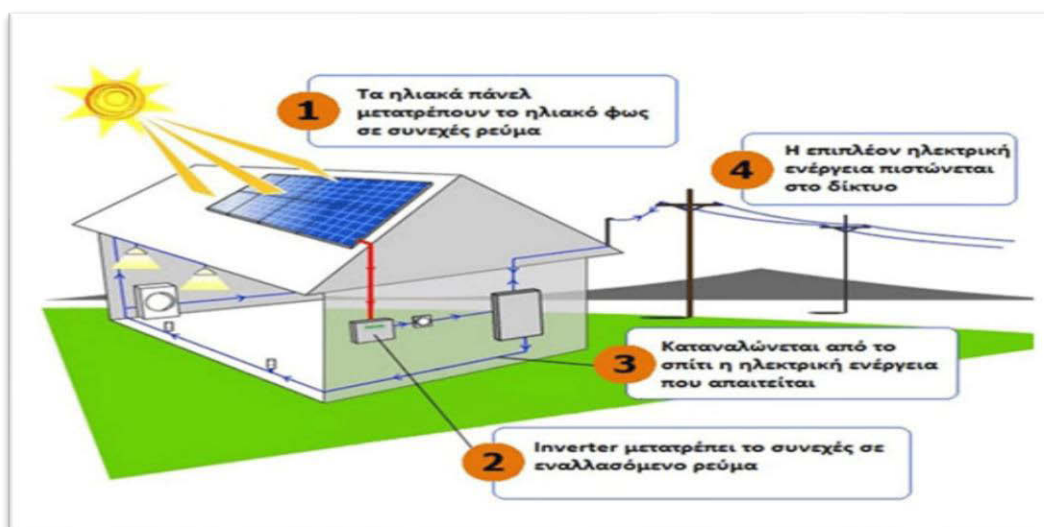
#### 6.13.4 Ενεργειακός συμψηφισμός(Net Metering)

Ο ενεργειακός συμψηφισμός αναφέρεται στο άθροισμα της παραγόμενης με την ενέργεια που καταναλώνεται σύμφωνα με την εγκατάσταση αυτοπαραγωγής. Ακόμα, ένας σταθμός παραγωγής μπορεί να εγκατασταθεί στην ίδια τοποθεσία με την μονάδα κατανάλωσης και επίσης στο κτήριο ή στο έδαφος γίνεται η εγκατάσταση συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται μόλις γίνει η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην στέγη ενός σπιτιού ή σε κάποιο χωράφι. Ο ρόλος των πάνελ είναι να απορροφήσουν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια να μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα. Έπειτα, με την βοήθεια του μετατροπέα πραγματοποιείται η μετατροπή του συνεχές ηλεκτρικού ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Συγκεκριμένα, το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα καταναλώνεται είτε για οικιακό λόγο είτε για εμπορικό.

Ένα σύστημα φωτοβολταϊκών χρησιμοποιεί την μπαταρία για την αποθήκευση ενέργειας. Έτσι, η ενέργεια η οποία δεν θα έχει καταναλωθεί θα χρησιμοποιείται την ώρα όπου τα πάνελ δεν θα έχουν την ικανότητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό συμβαίνει κατά την διάρκεια της νύχτας ή όταν οι καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν (π.χ συνεφεία).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το net metering είναι τα εξής:

- Μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα γιατί περιορίζεται η παραγωγή του λιγνίτη καθώς επίσης δεν χρειάζεται να υπολογιστεί το Εθνικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων (Ε.Τ.Μ.Ε.Α.Ρ)
- Με την εφαρμογή του net metering η Δημόσια Εταιρεία Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η) δεν θα μπορεί να κάνει αύξηση στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Λόγω της ηλιακής ενέργειας που παράγει ο αυτοπαραγωγός απαλλάσσεται από την φορολογία.



Εικόνα 6.23: Ενεργειακός συμψηφισμός

## 6.14 Το μέλλον των φωτοβολταϊκών

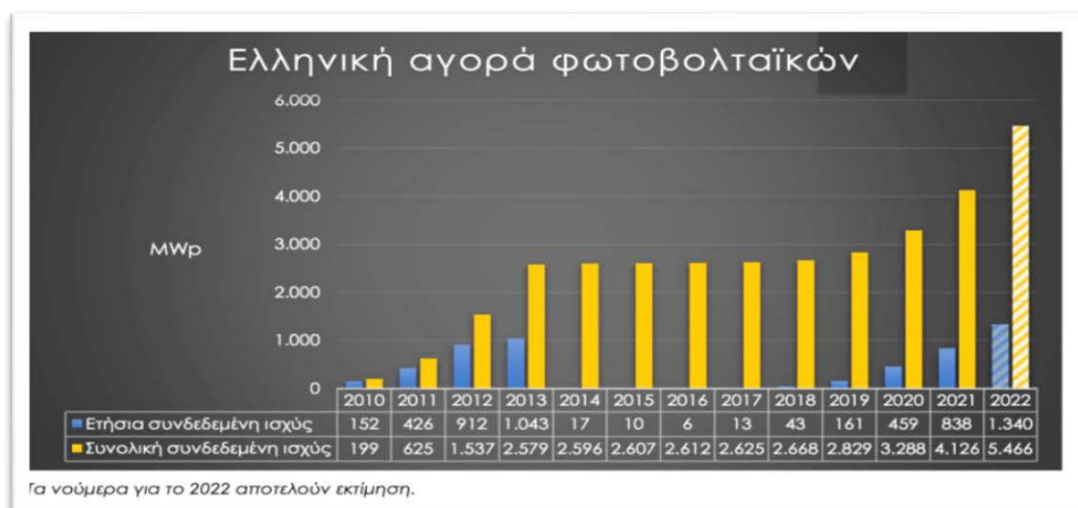
Σύμφωνα με έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε το 2020, παρατηρήθηκε ότι τα συστήματα αυτοπαραγωγής αυξήθηκαν συγκεκριμένα διπλασιάστηκαν συγκριτικά με τα προηγούμενα χρόνια. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται ότι έγινε εγκατάσταση 17 MWp καινούργιων συστημάτων ενεργειακού συμψηφισμού με αποτέλεσμα η συνολική ισχύς να αυξάνεται ραγδαία φτάνοντας στα 51 MWp. Τέλος, όσον αφορά τις θέσεις εργασίας ο κλάδος των φωτοβολταϊκών παρέιχε 42.200 θέσεις οι οποίες ήταν πλήρους απασχόλησης.



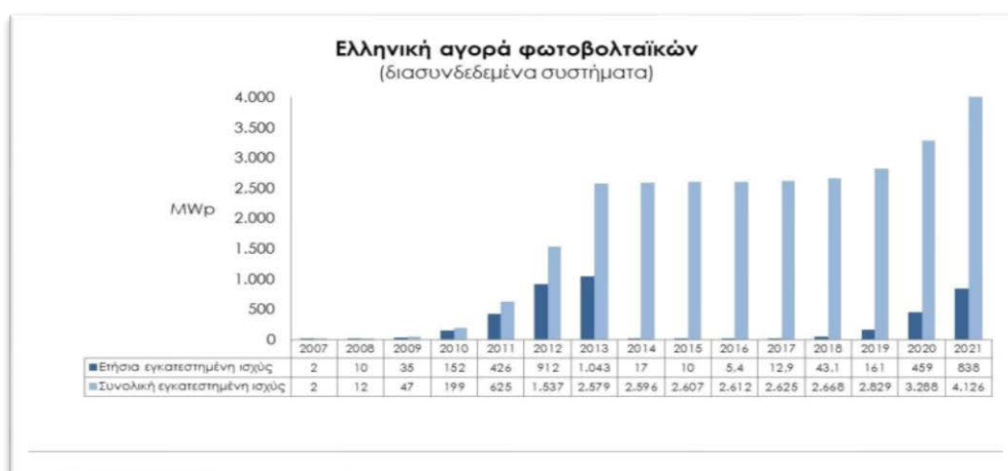
Διάγραμμα 6.24: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά χρόνο

Σύμφωνα με έρευνες το 2021 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά ήταν 5,26 TWh μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο των ορυκτών καυσίμων κατά 3,7 εκατομμύρια τόνων.

Η Ελλάδα το 2022 κατάφερε να εξελιχθεί σημαντικά στον χώρο της ενέργειας και έτσι αποτέλεσε πρότυπο για τις άλλες χώρες της Ευρώπης. Συγκεκριμένα, τον Οκτώβριο του 2022 η Ελλάδα κατάφερε και έσπασε κάθε ρεκόρ διότι η ενεργειακή ζήτηση για περίπου 5 ώρες το λιγότερο αναπληρώθηκε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ισχύς των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων το Δεκέμβριο του 2021 ήταν 3.660 MW, ενώ το Δεκέμβριο του 2022 έφτασε τις 4.570 MW.



Διάγραμμα 6.25: Εξέλιξη των φωτοβολταϊκών ανά χρόνο



Διάγραμμα 6.26: Εξέλιξη των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών ανά χρόνο

Τέλος, το 2021 σε διεθνές επίπεδο η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στέγης από 79 GW ενώ το 2022 έφτασε τα 118 GW. Για το 2023 θα υπάρξει αύξηση έως και 35% δηλαδή θα έχουμε 159 GW, ενώ το 2024 προβλέπεται αυξηθεί ακόμα περισσότερο να φτάσει σχεδόν τα 183 GW και το 2027 η εγκατεστημένη ισχύς ενδέχεται να είναι 268 GW.

## 6.15 Νομοθεσία φωτοβολταϊκών

Ο κλάδος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αναπτυχθεί σημαντικά με αποτέλεσμα τις τελευταίες δεκαετίες να έχουν γίνει σημαντικές επενδύσεις. Συγκεκριμένα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν σε κτήρια ή σε μη κτηριακές εγκαταστάσεις.

Η διαδικασία αδειοδότησης φωτοβολταϊκών ολοκληρώνεται εντός δύο μηνών, χωρίς να εκδοθεί κάποιο παραπάνω καταστατικό από την πολεοδομία. Οπότε η διαδικασία αυτή αποτελείται από:

- 1) Αίτηση Δ.Ε.Η
- 2) Υπογραφή συμφηφισμού και συμβάσεων σύνδεσης
- 3) Εγκατάσταση συστήματος
- 4) Ενεργοποίηση συστήματος

**Σύμβαση σύνδεσης:** αναφέρεται στην εγκατάσταση μετρητή για την παραγωγή ισχύος και υπογράφεται από την ΔΕΗ μετά από αίτηση που γίνεται.

**Σύμβαση συμφηφισμού:** αναφέρεται στην αγορά ενέργειας που παράγεται.

Στη συνέχεια, μόλις γίνει η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ξεκινάει η διαδικασία για την σύμβαση συμφηφισμού. Τέλος, η ΔΕΗ τοποθετεί έναν ηλεκτρονικό μετρητή στα σπίτια με σκοπό να σημειώνει την ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα.



Εικόνα 6.27: Νομοθεσία φωτοβολταϊκών

## Κεφάλαιο 7 Αριθμητικά παραδείγματα

- **Παράδειγμα 1:** Πόσα φωτοβολταϊκά πάνελ θα χρειαστεί να εγκατασταθούν σε μια κατοικία, σύμφωνα με τους καταναλωτές που υπάρχουν παρακάτω.

| α/α | Είδος κατανάλωσης    | Ισχύς(W) | Χρόνος λειτουργίας(h) | Καταναλισκόμενη Ενέργεια(Wh) |
|-----|----------------------|----------|-----------------------|------------------------------|
| 1   | Ψυγείο               | 300      | 200                   | 60000                        |
| 2   | Κλιματιστικό         | 3000     | 100                   | 300000                       |
| 3   | Λαμπτήρες φθορισμού  | 50       | 300                   | 15000                        |
| 4   | Πλυντήριο ρούχων     | 2500     | 10                    | 25000                        |
| 5   | Πλυντήριο πιάτων     | 1000     | 20                    | 20000                        |
| 6   | Τηλεόραση            | 100      | 200                   | 20000                        |
| 7   | Υπολογιστής          | 100      | 50                    | 5000                         |
| 8   | Φούρνος μικροκυμάτων | 1500     | 4                     | 6000                         |

Να υπολογιστεί η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συλλεκτών σε μια οικία με οικογένεια με σκοπό την κάλυψη των αναγκών της τον μήνα Αύγουστο για την περιοχή της Χαλκίδας. Ακόμα, να βρεθεί η συνολική χωρητικότητα που χρειάζεται να έχουν οι συσσωρευτές (12V χωρητικότητας 600Ah) έτσι ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της οικίας για διάρκεια 31 ημερών.

Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια για όλους τους μήνες είναι 451000Wh. Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς είναι  $P_m = 8550W$  ή 8,55kW.

Οι συσκευές κατανάλωσης δεν λειτουργούν ταυτόχρονα, έτσι υπολογίζουμε την μέγιστη ισχύ λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή ταυτοχρονισμού, ο οποίος για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε οικίες είναι περίπου  $\sigma_{\epsilon T} = 0,4$ .

$$\text{Άρα } P_{\max} = P_m \cdot \sigma_{\epsilon T} (=) P_{\max} = 8,55 \cdot 0,4 (=) \boxed{P_{\max} = 3,42kW}$$

Από τον πίνακα έχουμε  $E_a = 451kWh$ . Η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία είναι  $H_{mk} = 192,554kWh/m^2$  για κλίση συλλεκτών  $15^\circ$ . Επίσης, για τον μήνα Αύγουστο ο συντελεστής θερμοκρασίας περιβάλλοντος για τους καλοκαιρινούς μήνες είναι  $\sigma_\theta = 0,8$ . Ο συντελεστής ρύπανσης είναι  $\sigma_p = 0,8$ . Ο βαθμός απόδοσης λόγω των ηλεκτρονικών διατάξεων είναι  $n_\delta = 0,8$ . Τέλος, για τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια έχουμε  $n_{\pi\lambda} = 17\%$ .

#### Υπολογισμός βαθμού απόδοσης φωτοβολταϊκού συλλέκτη:

$$n_\sigma = n_{\pi\lambda} \cdot \sigma_p \cdot \sigma_\theta (=) n_\sigma = 0,17 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,108$$

#### Υπολογισμός συνολικού βαθμού απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος

$$n_{o\lambda} = n_\sigma \cdot n_\delta (=) n_{o\lambda} = 0,108 \cdot 0,8 = 0,086$$

#### Υπολογισμός επιφάνειας φωτοβολταϊκών πλαισίων

$$F_\sigma = \frac{E_a}{H_{mk} \cdot n_{o\lambda}} = \frac{451}{192,554 \cdot 0,086} = 27,235m^2 \text{ άρα } \boxed{F = 28m^2}$$

#### Για την μπαταρία

$$E_k = \frac{v \cdot E_a}{30} (=) E_k = \frac{31 \cdot 451000}{30} (=) \boxed{E_k = 466033Wh}$$

$$Q_{o\lambda} = \frac{E_k}{U \cdot \beta \cdot n_\sigma} (=) Q_{o\lambda} = \frac{466033}{48 \cdot 0,8 \cdot 0,8} (=) \boxed{Q_{o\lambda} = 15170Ah}$$

- **Παράδειγμα 2:** Διαθέτουμε ένα διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο τροφοδοτεί μια κατοικία με ημερήσια κατανάλωση 10kWh.

Το πάνελ που χρησιμοποιήσουμε έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

|                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| Τύπος φωτοβολταϊκού         | SM85            |
| Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας | $E=1000W/m^2$   |
| Θερμοκρασία πάνελ           | $T=25^{\circ}C$ |
| Μέγιστη ισχύς               | $P_{max}=85W$   |
| Τάση λειτουργίας            | $V_b=18,01V$    |
| Ρεύμα λειτουργίας           | $I_b=4,71A$     |
| Ρεύμα βραχυκύκλωσης         | $I_k=5,29A$     |
| Τάση ανοιχτού κυκλώματος    | $V_L=22V$       |
| Συνολική επιφάνεια          | $0,6m^2$        |

**PSH=5**, PSH είναι ο μέσος όρος των ωρών μέγιστης ηλιοφάνειας της περιοχής που θα τοποθετηθεί το σύστημα.

Να υπολογιστεί ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πάνελ, η συνολική επιφάνεια και να βρεθεί ο τρόπος σύνδεσης των πάνελ. Οι απώλειες του συστήματος είναι 7%.

- **Λύση:** Αρχικά  $10kWh + 7\% = 10,7kWh/ημέρα$

$$\frac{\text{Ενέργεια που καταναλώνει}}{PSH} = \frac{10,7kWh}{5h} = \boxed{2,14kw \text{ ή } 2140W}$$

$$N = \frac{2140}{85} = \boxed{N = 25,17 \text{ πάνελ}}$$

$$N_{\text{σειρά}} = \frac{220}{18,01} = \boxed{N_{\text{σειρά}} = 12,22}$$

Οπότε ο τρόπος σύνδεσης των πάνελ θα είναι 2 σειρές από 13 πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά.

Δηλαδή,  $13 \text{ πάνελ} \cdot 85 = 1105W + 13 \text{ πάνελ} \cdot 85 = 1105W$  έχουμε συνολικά  $2210W$ . Άρα, δεκτή η συνδεσμολογία και το αποτέλεσμα σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς.

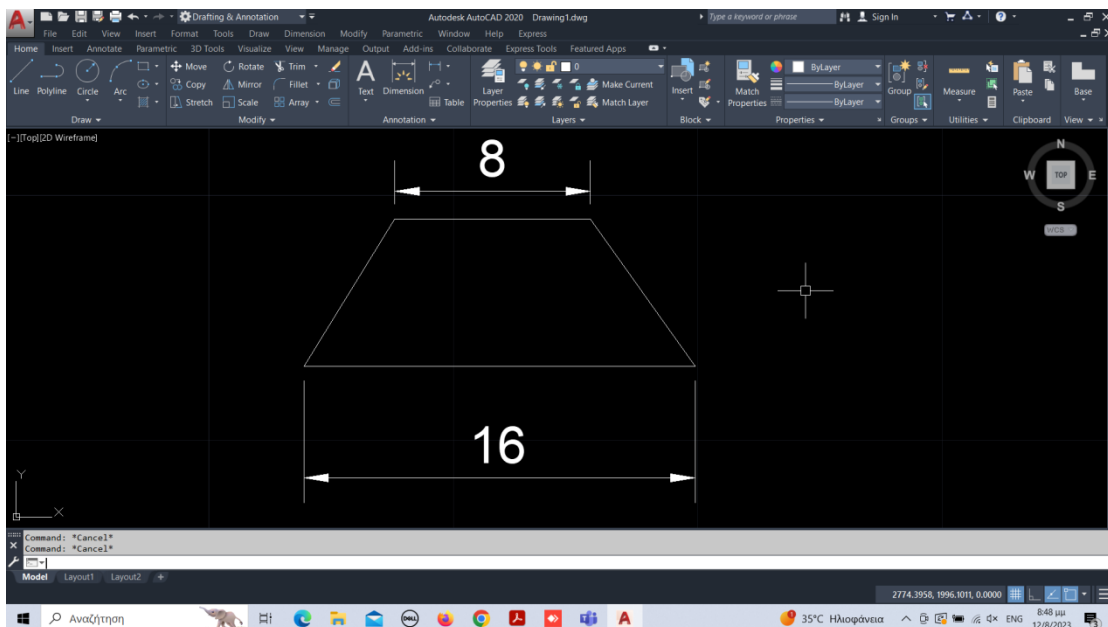
$$A_{\text{συνολικό}} = 26 \cdot 0,6 (=) \boxed{A_{\text{συνολικό}} = 15,6m^2}$$

$$I_{\Phi/\Gamma} = 2 \cdot 4,71A (=) I_{\Phi/\Gamma} = 9,42A$$

$$V_{\Phi/\Gamma} = 13 \cdot 18,01V (=) V_{\Phi/\Gamma} = 234,13V$$

$$N_{\Phi/\Gamma} = \frac{P}{E \cdot A} (=) N_{\Phi/\Gamma} = \frac{V \cdot I}{E \cdot A} (=) N_{\Phi/\Gamma} = \frac{234,13 \cdot 9,42}{1000 \cdot 15,6} (=) N_{\Phi/\Gamma} = 0,141 \text{ ή } 14,1\%$$

- **Παράδειγμα 3:** Μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε στέγη σπιτιού στην περιοχή της Χαλκίδας.



Εικόνα 7.1: Διάγραμμα εκφώνησης στέγης σπιτιού

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Ονομαστική ισχύς                 | 160Wp       |
| Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύς   | 56,9V       |
| Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύς | 2,81A       |
| Ρεύμα βραχυκύκλωσης              | 3,13A       |
| Τάση ανοιχτού κυκλώματος         | 70,4V       |
| Διαστάσεις                       | 1282x1070mm |

Η συνολική εγκατεστημένη φωτοβολταϊκής ισχύς είναι:

$$P_m = V \cdot P_{m1} (=) P_m = 72 \cdot 160 (=) P_m = 11,52kW$$

Τα φωτοβολταικά πάνελ θα συνδεθούν ανά 12 παράλληλα και 6 σε σειρά.

Άρα, η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύς :  $56,9 \cdot 6 = 357,6V$

η τάση ανοιχτού κυκλώματος :  $70,4 \cdot 6 = 422,4V$

η ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύς :  $2,81 \cdot 12 = 33,72A$

το ρεύμα βραχυκύκλωσης :  $3,13 \cdot 12 = 37,56A$

$$\text{Συντελεστής πληρότητας (F.F)} = \frac{V_b \cdot I_b}{V_L \cdot I_{\beta\rho}} (=) F.F = \frac{56,9 \cdot 2,81}{70,4 \cdot 3,13} (=) \boxed{F.F = 0,72}$$

$$\text{Βαθμός απόδοσης (n)} = \frac{P}{\varepsilon \cdot A} (=) n = \frac{160}{1,28 \cdot 1,07 \cdot 1000} (=) \boxed{n = 11,6\%}$$

- **Παράδειγμα 3:** Να υπολογιστεί η προσπίπτουσα ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο  $5m^2$  τον μήνα Μάιο ενός μη δίσεκτου έτους το οποίο έχει κλίση  $\beta = 10^\circ$  και βρίσκεται στην Εύβοια. Το γεωγραφικό πλάτος της Εύβοιας είναι  $\varphi = 38,5^\circ$  και το επίπεδο έχει τοποθετηθεί με νότιο προσανατολισμό πάνω σε τσιμεντένια επιφάνεια.

- **Λύση:**

**Ηλιακή απόκλιση:**

$$\delta = 23,45 \eta\mu \left( 360 \cdot \frac{D+284}{365} \right) (=)$$

$$\delta = 23,45 \eta\mu \left( 360 \cdot \frac{135+284}{365} \right) (=) \boxed{\delta = 18,79^\circ}$$

**Ωριαία γωνία δύσης ηλίου:**

$$\omega_s = \min \{ \text{Τοξ} \sin(-\varepsilon \varphi \cdot \varepsilon \varphi \delta), \text{Τοξ} [-\varepsilon \varphi (\varphi - \beta) \cdot \varepsilon \varphi \delta] \} (=)$$

$$\omega_s = \min \{ \text{Τοξ} \sin(-\varepsilon \varphi 38,5 \cdot \varepsilon \varphi 18,79), \text{Τοξ} [-\varepsilon \varphi (38,5 - 10) \cdot \varepsilon \varphi 18,79] \}$$

$$\omega_s = \min \{ \text{Τοξ} \sin(-0,268), \text{Τοξ} (-0,542) \cdot 0,34 \}$$

$$\omega_s = \min \{ 105,54, 100,6 \} (=) \boxed{\omega_s = 100,6^\circ}$$

**Γεωμετρικός παράγοντας ολικής ακτινοβολίας:**

$$R_b = \frac{[\sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta \cdot \eta \mu \omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \cdot \omega_s \cdot \eta \mu(\varphi - \beta) \cdot \eta \mu \delta]}{[\sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \eta \mu \omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \cdot \omega_s \cdot \eta \mu \varphi \cdot \eta \mu \delta]}$$

$$R_b = \frac{[\sigma\upsilon\nu(38,5-10)*\sigma\upsilon\nu(18,79)*\eta\mu(100,6)+\left(\frac{\pi}{180}\right)*100,6*\eta\mu(38,5-10)*\eta\mu(18,79)]}{[\sigma\upsilon\nu(38,5)*\sigma\upsilon\nu(18,79)*\eta\mu(100,6)+\left(\frac{\pi}{180}\right)*100,6*\eta\mu(38,5)*\eta\mu(18,79)]}$$

$$R_b = 0,983$$

**Λόγος διάχυτης ακτινοβολίας ( $H_d$ ) προς την ολική ηλιακή ακτινοβολία ( $H$ )**

$$\frac{H_d}{H} = 1,39 - 4,03*K_T + 5,53*K_T^2 - 3,11*K_T^3 (=)$$

$$\frac{H_d}{H} = 1,39 - 4,03*0,55 + 5,53*0,55^2 - 3,11*0,55^3 (=) \quad \frac{H_d}{H} = 0,34$$

**Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο**

$$H_T = R*H (=) H_T = 0,983*190 (=) \quad H_T = 186,77\text{kWhm}^2*\mu\eta\gamma\alpha$$

Όπου  **$H=190\text{kWh/m}^2*\mu\eta\gamma\alpha$** , μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.

Άρα, το κεκλιμένο επίπεδο των  $5\text{m}^2$  δέχεται ολική ηλιακή ακτινοβολία

$$H_T = 186,77*5 (=) \quad H_T = 933,85\text{kWh}$$

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν οι συστοιχίες συσσωρευτών φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο κλάδος των μπαταριών έχει εξελιχθεί σημαντικά και συγκεκριμένα οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος οι οποίες χρησιμοποιούνται έκτος από τα αυτοκίνητα και στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο τομέας των φωτοβολταϊκών έχει αναπτυχθεί αρκετά με αποτέλεσμα η οικονομία της χώρας να έχει βελτιωθεί σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Ακόμη, τα φωτοβολταϊκά πάνελ βοήθησαν στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και έτσι διευκολύνθηκαν οι ζωές των ανθρώπων. Τέλος, σύμφωνα με το παράδειγμα στο τελευταίο κεφάλαιο παρατηρούμε ότι η σωστή επιλογή της μπαταρίας έχει σημαντικό ρόλο έτσι ώστε το σύστημα να έχει αξιόπιστη λειτουργία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Απόστολος, Β. (2019-2020). *Λειτουργία φωτοβολταϊκών παρκών*. Χανιά: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ.
- [2] Αχιλλέας, Α. (2017). *Διαχρονική εξέλιξη της μπαταρίας*. Αθήνα: Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ.
- [3] Βασίλειος, Θ. (2013). *Συνεισφορά φωτοβολταϊκών παρκών στη ρύθμιση συχνότητας: Έμφαση σε ασθενή - αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα*. Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
- [4] Δεληγιάννης, Π. Γ. (2018). *Χρήση μπαταριών για αύξηση φωτοβολταϊκής διείσδυσης σε δίκτυο χαμηλής τάσης*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης - Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
- [5] Ελένη, Τ. (2012). *Συσσωρευτές στα φωτοβολταϊκά συστήματα - Αντιμετώπιση των συνηθισμένων προβλημάτων των συσσωρευτών μολύβδου οξέος στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα*. Πάτρα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.
- [6] Ελευθερία, Μ. (2021). *Ηλιακή ενέργεια στον αγροτικό τομέα*. Αμαλιάδα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ.
- [7] Ηλίας, Μ. (2013). *Σ.Α.Ε για την αδειάλειπτη ηλεκτροδότηση οικίας μέσω Α.Π.Ε*. Πειραιά : Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ.
- [8] Θωμάς, Σ. (2018). *Οικομοτεχνική αξιολόγηση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μικρής ισχύος για την ενεργειακή αυτονομία κτηρίου*. Χίος : ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ.
- [9] Ιωάννα, Μ. (2021). *Μλέτη αυτόνομο φωτοβολταϊκού συστήματος*. Πάτρα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.
- [10] Κλέαρχος, Π. Τ. (2016). *Μελέτη φόρτισης και εκφόρτισης μπαταριών ιόντων λιθίου*. Θεσσαλονίκη: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΑΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.
- [11] Κωνσταντίνος, Μ. (2018). *Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση οικίας και αντικειραυτική προστασία οικίας και εγκατάστασης*. Πειραιά: ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ.
- [12] Κωνσταντίνος, Μ. (2021). *Σχηματισμός συνάρτησης ελάχιστου ετησίου ισοδύναμου κόστους κατασκευής - λειτουργίας φωτοβολταϊκού σταθμού σε περίπτωση αυτόνομου συστήματος με χρήση μπαταριών*. Αθήνα - Αιγάλεω : ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ

ΜΗΧΑΜΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.

- [13] Νικηφόρος, Μ. (2013). *Φωτοβολταικά συστήματα*. Τρίπολη : Τ.Ε.Ι Πειραιά  
- Τμήμα Ηλεκτρολογίας.
- [14] Πασσιάς, Γ. (2023). *Αξιολόγηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας  
(μπαταρίες) με εφαρμογή σε συστήματα Α.Π.Ε.* Χανιά : Πολυτεχνείο  
Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.
- [15] Σωτηροπούλου, Ι. Μ. (2015). *Μελέτη Αξιοποίησης Ελληνικών Γεωργικών  
Εκτάσεων με Συνύπαρξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και  
Αγροτικής Παραγωγής.* Αθήνα : ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.