



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥΣ ΜΕΤΑ
ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΗΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥΣ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΛΑΜΠΡΙΝΑ

ΜΑΣΤΟΡΑΚΗ ΕΥΦΡΟΣΥΝΗ

A.M

1663

1770

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: ΚΑΤΣΑΜΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....	7
ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	7
1.1 Η έννοια και τα χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας – Ζητήματα που αναφέρονται στη χρήση των μπαταριών στις μέρες μας	7
1.2 Τρόπος κατασκευής και λειτουργίας μιας μπαταρίας	9
1.3 Τρόπος λειτουργίας μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας	10
1.4 Διαχείριση ενέργειας από τις μπαταρίες.....	10
1.5 Η μελλοντική εξέλιξη του σχεδιασμού της μπαταρίας.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ.....	13
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
2.1 Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών	13
2.2 Βασικά τμήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος	19
2.3 Στοιχεία σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	28
ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΕΤΑΙ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ ΑΠΟΣΥΡΣΗΣ	28
3.1 Χρόνος ζωής μπαταριών.....	28
3.2 Ο παράγοντας της ταχύτητας περιστροφής φόρτισης που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα.....	29
3.3 Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία των μπαταριών για φωτοβολταϊκά συστήματα.....	31
3.4 Αίτια απόσυρσης μπαταριών	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ	42
ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	42
4.1 Τύποι και ταξινομήσεις μπαταριών	42

4.2	Χημικά στοιχεία της μπαταρίας μολύβδου-οξέος	47
4.3	Αντίδραση κυττάρων μολύβδου-οξέος	47
4.4	Πρότυπα μπαταρίας φωτοβολταϊκών συστημάτων	48
ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		49
Μελλοντικές Επεκτάσεις και Βελτιώσεις		50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται και σχολιάζονται στις ακόλουθες σελίδες της εργασίας, βασικός σκοπός της εν λόγω εργασίας, είναι η παρουσίαση και ανάλυση θεμάτων που σχετίζονται με τη συλλογή, αξιολόγηση και ανάλυση δεδομένων για τη χρήση μπαταριών και την αποθήκευση ενέργειας από Φ/Β συστήματα και μεθόδους διαχείρισης μετά το τέλος της χρήσιμης ζωής τους.

Πιο συγκεκριμένα η εργασία χωρίζεται σε τέσσερα (4) κεφάλαια:

- το **Κεφάλαιο 1** να αναφέρεται στα Είδη και Χαρακτηριστικά Μπαταριών καθώς και Υλικά και Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων,
- το **Κεφάλαιο 2** οριοθετεί τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, τη Λειτουργία, τα Χαρακτηριστικά τους και τη Χρήση Μπαταριών για Αποθήκευση Ενέργειας,
- το **Κεφάλαιο 3** αναφέρεται στο Χρόνο Ζωής των Μπαταριών, στο πως Επηρεάζεται αλλά και στα Αίτια Απόσυρσης και
- το **Κεφάλαιο 4** αναφέρεται σε Τύπους και Κατηγορίες Μπαταριών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων που Μπορούν να Χρησιμοποιηθούν σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

ABSTRACT

According to what will be mentioned and commented on in the following pages of this dissertation, the main purpose of this work is related to the collection, presentation, evaluation and analysis of data related with the use of batteries and storage from PV systems and management methods after the end of their useful life.

Therefore, the current dissertation is divided into four (4) chapters, namely:

- **Chapter 1** dealing with Battery Types and Characteristics as well as Photovoltaic Materials and Applications,
- **Chapter 2** defines Photovoltaic Systems - Function and Features and Use of Batteries for Energy Saving,
- **Chapter 3** deals with Battery Life Time and How is Affected, and also with the Reasons of Withdrawal and
- **Chapter 4** is referred in Types and Categories of Batteries in Photovoltaic Systems that can be used in Photovoltaic.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αποτελεί γεγονός πως σε παγκόσμιο επίπεδο, υπάρχουν απομονωμένες περιοχές όπου η πρόσβαση σε ηλεκτρικό δίκτυο είναι υπερβολικά δαπανηρή. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται μικρές και μεσαίες γεννήτριες ντίζελ για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτές τις απομονωμένες περιοχές. Οι γεννήτριες ντίζελ έχουν χαμηλό αρχικό κόστος αγοράς αλλά υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Η γεννήτρια ντίζελ ρυπαίνει το περιβάλλον με την παραγωγή 3 kg αερίου CO₂ για κάθε λίτρο καυσίμου ντίζελ (Chen et al., 2009). Για να αποφευχθεί η περιβαλλοντική ρύπανση, η υπερθέρμανση του πλανήτη και η καταστροφή του όζοντος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις. Μεταξύ όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια κ.λπ.) η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον εξαιτίας της καθαρότητας και της άνευ ρύπανσης και έκτασης φύσης της.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος φωτοβολταϊκών μπορεί να είναι αυτόνομου τύπου. Στο σύστημα παραγωγής ισχύος φωτοβολταϊκών, η απαιτούμενη ισχύς τροφοδοσίας και η ισχύς φορτίου δεν είναι ίσες. Ως εκ τούτου, αναγκάζεται να λειτουργεί ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για να περιορίσει την επίδραση της μεταβολής της ηλιακής ενέργειας λόγω της μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας.

Εάν χρησιμοποιείται αυτόνομη παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας, η χωρητικότητα λειτουργίας της μπαταρίας πρέπει να είναι υψηλή για να παρέχει ενέργεια χωρίς διακοπή κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Το ελάχιστο μέγεθος της μονάδας αποθήκευσης για το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι παροχή ενέργειας για μία νύχτα. Το μέγιστο μέγεθος εξαρτάται από τις ημέρες της αυτονομίας που απαιτείται (Chen et al., 2009).

Τα πρώτα συμβατικά φωτοβολταϊκά κύτταρα παρήχθησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και σε όλη τη δεκαετία του 1960 χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την παροχή ηλεκτρικής ισχύος για τους δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη. Στη δεκαετία του 1970, οι βελτιώσεις στη μεταποίηση, τις επιδόσεις και την ποιότητα των φωτοβολταϊκών μονάδων βοήθησαν στη μείωση του κόστους και άνοιξαν ορισμένες ευκαιρίες για την τροφοδοσία απομακρυσμένων επίγειων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της χρέωσης της μπαταρίας για βοηθήματα πλοήγησης, σήματα, τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό και άλλες κρίσιμες λειτουργίες.

Στη δεκαετία του '80, τα φωτοβολταϊκά έγιναν μια δημοφιλή πηγή ενέργειας για καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως αριθμομηχανές, ρολόγια, ραδιόφωνα, φανάρια και άλλες μικρές εφαρμογές φόρτισης μπαταρίας. Μετά τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970, ξεκίνησαν επίσης σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων για οικιακές και εμπορικές χρήσεις, τόσο για αυτόνομη, όσο και για εφαρμογές που συνδέονται με το δίκτυο.

Κατά την ίδια περίοδο τέλος, οι διεθνείς εφαρμογές για φωτοβολταϊκά συστήματα για την εξουσία των κλινικών αγροτικής υγείας, της ψύξης, της άντλησης νερού, των τηλεπικοινωνιών και των νοικοκυριών εκτός δικτύου έχουν αυξηθεί δραματικά και παραμένουν ένα σημαντικό τμήμα της σημερινής παγκόσμιας αγοράς για φωτοβολταϊκά προϊόντα.

Σήμερα, η παραγωγή φωτοβολταϊκών μονάδων στη βιομηχανία αυξάνεται με ρυθμό περίπου κατά 25% ετησίως, ενώ σημαντικά προγράμματα στις Η.Π.Α., την Ιαπωνία και την Ευρώπη επιταχύνουν ταχέως την υλοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια και τη διασύνδεση με δίκτυα κοινής ωφελείας (Larsson, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1 Η έννοια και τα χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας – Ζητήματα που αναφέρονται στη χρήση των μπαταριών στις μέρες μας

Αποτελεί γεγονός πως οι μπαταρίες προκαλούν συγκεκριμένα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σύμφωνα με τη γνώμη και των ειδικών (Larsson, 2017). Με την παροχή ενός μεγαλύτερου μεριδίου ανανεώσιμης ενέργειας στον τομέα της παροχής ενέργειας, οι μπαταρίες συμβάλλουν στην αποφυγή των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα ή πυρηνική ενέργεια, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι αντίστοιχες επιπτώσεις της στην ανθρώπινη και οικολογική υγεία, καθώς και τα αέρια θερμοκηπίου (greenhouse gas - GHG). Επιπλέον, τα υλικά στις μπαταρίες μπορούν να ανακτηθούν και να ανακυκλωθούν, μερικά από αυτά ανεξάρτητα - σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία καίγονται και χάνονται για πάντα όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας (Savage, 2015).

Ωστόσο, η κατασκευή και χρήση μπαταριών, καθώς και ο τρόπος επεξεργασίας τους στο τέλος της χρήσιμης ζωής τους, έχουν επίσης περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Πολλές από αυτές τις εκτιμήσεις, αφορούν τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μπαταριών όπου φαίνεται να υπάρχουν επαρκή αποθέματα των περισσότερων βασικών συστατικών των μπαταριών ιόντων λιθίου για την κάλυψη της βραχυπρόθεσμης και προβλεπόμενης αύξησης της ζήτησης για μπαταρίες που προέρχεται από την ταχεία αύξηση των κινούμενων ηλεκτρονικά στοιχείων και οχημάτων (Savage, 2015). Ωστόσο, δεν μπορούμε να στηριχθούμε σε αυτά τα αποθέματα μακροπρόθεσμα ή σε περίπτωση δραματικής, απροσδόκητης αύξησης της ζήτησης πόρων. Πρέπει επίσης να αναγνωριστούν οι ευάλωτες αλυσίδες εφοδιασμού για πολλά από αυτά τα υλικά.

Επιπλέον, εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την τοξικότητα και την ασφάλεια (π.χ. ικανότητα αποσύνθεσης) ορισμένων εξαρτημάτων μιας μπαταρίας. Για παράδειγμα, υπάρχουν θέματα σχετικά με ορισμένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες ιόντων λιθίου, συμπεριλαμβανομένων των ενεργών υλικών στα ηλεκτρόδια και τους ηλεκτρολύτες, κυρίως κοβάλτιο, καθώς και των ουσιών που συνδέουν μαζί τα υλικά των ηλεκτροδίων (Savage, 2015).

Υπάρχουν επίσης πολλά μέσα αντιμετώπισης αυτών των σημαντικών ζητημάτων στα μελλοντικά σχέδια κατασκευής και χρήσης μπαταριών. Για παράδειγμα, η αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών, όχι μόνο αποφέρει σημαντικά οφέλη για την απόδοση της μπαταρίας, αλλά επίσης μειώνει

την πίεση στους πόρους και τις επιπτώσεις από την παραγωγή μπαταριών, όπου το συνολικό υλικό είναι απαραίτητο για την παραγωγή της ίδιας χωρητικότητας της μπαταρίας.

Οι τεχνολογίες που βασίζονται σε αυτά τα υλικά, θα μπορούσαν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να αυξήσουν την απόδοση μπαταριών, αλλά πρέπει να ξεπεράσουν μερικά σημαντικά εμπόδια στην έρευνα πριν μπορέσουν να θεωρηθούν έτοιμες προς χρήση στην αγορά. Θεωρούνται επίσης προκλήσεις, καθώς και ελπιδοφόρες εξελίξεις, για την επίτευξη κατάλληλων υποκαταστάσεων για το κοβάλτιο, που χρησιμοποιούνται σε κάθοδο ιόντων λιθίου και συνδυετικών μέσων (Larsson, 2017).

Η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή και τη φόρτιση των μπαταριών, είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα. Η ενεργειακή παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου, συνδέεται με υψηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικούς ρύπους. Κατά συνέπεια, μπορούν να αξιοποιηθούν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη από την τροφοδότηση των εγκαταστάσεων παραγωγής μπαταριών με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από τον εντοπισμό μονάδων ηλεκτροπαραγωγής σε χώρες με σχετικά καθαρά ενεργειακά μείγματα (Chen et al., 2009).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών μπαταριών, μπορούν να μειωθούν αυξάνοντας την κυκλοφοριακή δραστηριότητα, δηλαδή την αναλογία ενέργειας που απορρίπτεται από μια μπαταρία σε σύγκριση με το πόσο φορτίζεται κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Ένας σημαντικός στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα ενέργειας που χάνεται κατά τη διάρκεια αυτών των κύκλων φόρτισης.

Η επέκταση της διάρκειας ζωής των μπαταριών είναι επίσης βασική προϋπόθεση για τη μείωση του κόστους, των πιέσεων στους πόρους και των αρνητικών επιπτώσεων τόσο της κατασκευής όσο και της ανακύκλωσης, μειώνοντας τις φορές που χρειάζεται η αντικατάσταση μιας μπαταρίας. Η διάρκεια ζωής μπορεί να επεκταθεί μέσω τεχνολογικών βελτιώσεων, καθώς και με την επαναχρησιμοποίηση παλαιότερων μπαταριών, για παράδειγμα, η επανατοποθέτηση μπαταριών από οχήματα εκ των προτέρων για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σε στάση (Savage, 2015).

Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση αποτελούν μέρος μιας προσέγγισης κυκλικής οικονομίας. Είναι ωστόσο μικρότερες οι επιπτώσεις της κατανάλωσης και της παραγωγής πόρων, παρέχουν ασφαλή εφοδιασμό με δευτερογενή υλικά (στην περίπτωση της ανακύκλωσης) και αποφεύγονται οι ενδεχόμενες τοξικές επιπτώσεις της αποτέφρωσης. Τα χαρακτηριστικά σχεδίασης που καθιστούν τις μπαταρίες εύκολο να αποσυναρμολογηθούν είναι σημαντικά για την υποστήριξη της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης.

Οι μπαταρίες αναμένεται να εκπληρώνουν ταυτόχρονα έναν μεγάλο αριθμό κριτηρίων, προκειμένου να ανταποκριθούν σε δύσκολους συνδυασμούς καταναλωτικών απαιτήσεων, όπως η υψηλή ισχύς και η πυκνότητα υψηλής ενέργειας, η μεγάλη διάρκεια ζωής, το χαμηλό κόστος και η εξαιρετική ασφάλεια με

ελάχιστες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όπως αποδεικνύει η έκθεση αυτή, υπάρχουν σίγουρα πολλές ευκαιρίες για τη βελτίωση των υφιστάμενων τεχνολογιών.

Πολλές υποσχόμενες εξελίξεις συμβαίνουν ωστόσο στη συνεχή εξέλιξη των μπαταριών όπως παρουσιάζονται μέσα από μελέτες περιπτώσεων αναδυόμενων μορφών μπαταρίας: στερεάς κατάστασης λιθίου-ιόντων και τυπωμένες μπαταρίες, όπου απεικονίζονται οι δυνατότητες των νέων τεχνολογιών των μπαταριών για την κάλυψη των κοινωνικών αναγκών, όπως η ενεργειακή αποθήκευση ενέργειας, και η δημιουργία νέων ευκαιριών για νέα είδη προϊόντων. Μελέτες περίπτωσης επιδεικνύουν επίσης μερικά από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων συνδυασμών παραμέτρων σχεδιασμού.

Είναι όλο και πιο εμφανές ότι, για τις μπαταρίες, ένα μέγεθος δεν είναι το ιδανικό για όλες τις χρήσεις που απαιτούνται. Επομένως, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ο καταλληλότερος τύπος μπαταρίας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, όσον αφορά τόσο την απόδοση όσο και την ποιότητα της χρήσης για την οποία απαιτείται. Οι χημικές αντιδράσεις κατά τη λειτουργία των μπαταριών, προκαλούν τη δημιουργία ηλεκτρονίων και ιόντων στην άνοδο. Επίσης, μέσω του ηλεκτρολύτη που διαχωρίζει την άνοδο (γνωστό ως αρνητικό ηλεκτρόδιο) και την κάθοδο (γνωστό και ως θετικό ηλεκτρόδιο) τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια συνδυάζονται εκ νέου στην κάθοδο για να ολοκληρώσουν το κύκλωμα και να διατηρήσουν τις αντιδράσεις σε λειτουργία (Savage, 2015).

1.2 Τρόπος κατασκευής και λειτουργίας μιας μπαταρίας

Η άνοδος, η κάθοδος και ο ηλεκτρολύτης συνθέτουν ένα κύτταρο, μαζί με άλλα βασικά συστατικά, όπως το συνδετικό υλικό, το οποίο συγκρατεί σωματίδια του δραστικού υλικού μαζί στο εσωτερικό των μπαταριών. Μια μπαταρία μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα κύτταρα που συνδέονται για να αυξάνουν την τάση ή/και τη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας (Larsson, 2017).

Τα κύτταρα μπαταριών μπορούν να συναρμολογηθούν σε ένα δομοστοιχείο και τα επιμέρους δομοστοιχεία τοποθετούνται έπειτα σε μια συσκευασία για να εισαχθούν στην εφαρμογή (π.χ. ένα αυτοκίνητο). Μπορούν να χρειαστούν και άλλα βασικά βοηθητικά εξαρτήματα, όπως ο εξοπλισμός ψύξης ή ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών (ένα ηλεκτρονικό σύστημα εντός της μπαταρίας για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της μπαταρίας) ως μέρος του συνολικού συστήματος μπαταριών. Επομένως, υπάρχουν πολλά σημαντικά στοιχεία των συσσωρευτών και των συσσωρευτών που δεν συμμετέχουν άμεσα στις χημικές αντιδράσεις, αλλά τα οποία εξακολουθούν να είναι απαραίτητα για την καλή λειτουργία τους (Savage, 2015).

1.3 Τρόπος λειτουργίας μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα ηλεκτρόδια και τον ηλεκτρολύτη μπαταριών, καθορίζουν τη διάρκεια ζωής και την επαναφόρτιση μιας μπαταρίας. Σε γενικές γραμμές, οι μπαταρίες απορρίπτονται επειδή οι αντιδράσεις μετασχηματίζουν με αργό ρυθμό τα υλικά σε άλλες χημικές ουσίες, έως ότου δεν μπορούν πλέον να αντιδράσουν. Ωστόσο, είναι δυνατό να αντιστραφεί αυτός ο χημικός μετασχηματισμός με την πρόβλεψη ηλεκτρικής ενέργειας που αλλάζει την κατεύθυνση, τόσο των ηλεκτρονίων όσο και των ιόντων. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, οι οποίες είναι σε θέση να φιλοξενούν τις χημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται σε δύο κατευθύνσεις, είναι επίσης γνωστές ως δευτερεύουσες μπαταρίες. Οι μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, είναι γνωστές ως μπαταρίες μιας χρήσης (Savage, 2015).

Ιστορικά, οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος έχουν χρησιμοποιηθεί για να παρέχουν βραχυπρόθεσμη, ανεξάρτητη από το δίκτυο, ενέργεια σε φορητές εφαρμογές όπως φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Μέχρι πρόσφατα, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (με βάση τις τεχνολογίες μολύβδου-οξέος) χρησιμοποιούνταν κυρίως στις εφαρμογές αυτοκινήτων. Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε επίσης η εμφάνιση ελαφρύτερων, ενεργειακά πυκνών δευτερευουσών συσσωρευτών, βασισμένων κυρίως σε τεχνολογίες λιθίου, οι οποίες συνέβαλαν στη διάδοση συνδεδεμένων συσκευών επικοινωνίας, όπως τα smartphones και οι φορητοί υπολογιστές.

1.4 Διαχείριση ενέργειας από τις μπαταρίες

Οι διαφορετικές μορφές μπαταρίας, έχουν διαφορετικούς σκοπούς αποθήκευσης και διαχείρισης ενέργειας. Η ισχύς αναφέρεται στην ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να απελευθερωθεί στιγμιαία από μια μπαταρία, ενώ η ενέργεια είναι η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται με την πάροδο του χρόνου. Ο λόγος της ενέργειας, καθορίζεται από τη διάταξη, τα υλικά και άλλους παράγοντες, καθώς και την καταλληλότητα της μπαταρίας για διαφορετικές εφαρμογές.

Για παράδειγμα, η υψηλή ενέργεια αποτελεί πρωταρχική μέριμνα για τα φορητά ηλεκτρονικά, για να επεκταθεί ο χρόνος χρήσης μεταξύ των φορτίων, ενώ οι σταθερές μπαταρίες στο ηλεκτρικό δίκτυο - κυρίως οι μπαταρίες για την εξισορρόπηση της προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος έξοδο - χρησιμοποιούνται για σύντομους χρόνους. Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν υψηλή ισχύ (για επιτάχυνση) και υψηλή ενέργεια (για να καταστεί δυνατή μια μακρά διαδρομή οδήγησης) (Larsson, 2013).

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες χρησιμοποιούνται επίσης στον ενεργειακό τομέα για την αποθήκευση ενέργειας από εξωτερικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. αιολική ή ηλιακή) και την απελευθέρωση όταν απαιτείται. Σε αυτήν τη χρήση, οι μπαταρίες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στις εκπομπές για την άμβλυση της κλιματικής αλλαγής και αναφέρονται ως συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, αν και, από τεχνική άποψη, όλες οι μπαταρίες

αποθηκεύουν ενέργεια. Η αποθήκευση υψηλής ενέργειας αποτελεί κρίσιμη θεώρηση για αυτές τις μπαταρίες. Οι δυνατότητες εξόδου ισχύος είναι μικρότερες για τέτοιες εφαρμογές (Chen et al., 2009).

1.5 Η μελλοντική εξέλιξη του σχεδιασμού της μπαταρίας

Για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών της κοινωνίας η τεράστια βελτίωση των επιδόσεων των μπαταριών, είναι βασική, με νέα σχέδια που ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένους σκοπούς. Αν και οι μπαταρίες ήταν αρχικά μια απλή τεχνολογία η ανάπτυξή τους ήταν πολύ αργή σε σύγκριση με άλλες περιοχές της ηλεκτρονικής. Ένα σημαντικό ερευνητικό εμπόδιο αφορά την κατασκευή κατάλληλων υλικών για ηλεκτρόδια και ηλεκτρολύτες - που λειτουργούν πραγματικά καλά μαζί χωρίς συμβιβασμούς με άλλες πτυχές του σχεδιασμού μιας μπαταρίας. Υπάρχει μεγάλη δοκιμή και λάθος στην επιλογή του καλύτερου συνδυασμού παραμέτρων σχεδίασης (Savage, 2015).

Η ανταγωνιστικότητα των ηλεκτρικών στοιχείων μπαταριών, εξαρτάται επίσης από το αν ανταποκρίνονται σε δύσκολες απαιτήσεις καταναλωτών, είτε πρόκειται για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με ανταγωνιστικές τιμές με μεγάλη εμβέλεια οδήγησης είτε για την παροχή περισσότερων αξιόπιστων τεχνολογιών χωρίς συντήρηση για την αποθήκευση δικτύου (Gray, Tarascon, 2017). Σε πολλές περιπτώσεις και ασφαλώς για τις ηλεκτρικές κινούμενες μπαταρίες, αυτό σημαίνει ταυτόχρονα την πλήρωση ορισμένων κριτηρίων, όπως την υψηλή ισχύς, την πυκνότητα ενέργειας, τη μακρά αυτονομία, τη μεγάλη διάρκεια ζωής, το χαμηλό κόστος, την εξαιρετική ασφάλεια και τις επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας για παράδειγμα ότι είναι εύκολο να επαναχρησιμοποιηθούν και να ανακυκλωθούν και να βασίζονται σε άφθονους πόρους. Ωστόσο, σημειώνεται πρόοδος στον σχεδιασμό μιας μπαταρίας και υπάρχουν πολλά υποσχόμενες εξελίξεις στη συνεχιζόμενη εξέλιξη των μπαταριών που επιτρέπουν βελτιωμένες επιδόσεις και την καλύτερη περιβαλλοντική πρόοδο. Όπως υπογραμμίζεται από τη βιβλιογραφία, πολλές ευκαιρίες για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των μπαταριών συνοδεύονται από καλύτερες επιδόσεις.

Τελικά, ενδέχεται να μην είναι δυνατή η ανάπτυξη της «ιδανικής» μπαταρίας, η οποία πληροί όλα τα επιθυμητά κριτήρια και η επιλογή της μπαταρίας για οποιαδήποτε δεδομένη χρήση θα συνεπάγεται κάποιο συμβιβασμό. Είναι ολοένα και πιο προφανές ότι για τις μπαταρίες δεν ταιριάζει ένα μέγεθος σε κάθε περίπτωση, οπότε είναι σημαντικό να εντοπιστεί ο καταλληλότερος τύπος μπαταρίας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, όσον αφορά τόσο την απόδοση όσο και την περιβαλλοντική ποιότητα.

Από την άποψη της βελτίωσης των περιβαλλοντικών επιδόσεων, οι εκτιμήσεις για την κυκλική οικονομία είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση μπορούν να μετριάσουν πολλές περιβαλλοντικές πιέσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής των μπαταριών - συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τοξικών εκπομπών κατά τη διάρκεια της παραγωγής, της χρήσης και της κατανάλωσης πόρων. Για να συμπεριληφθούν πλήρως αυτές οι σκέψεις, απαιτείται μια νέα προσέγγιση για την ανάπτυξη μιας μπαταρίας, στην οποία τα χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση ενσωματώνονται στη βασική σχεδίασή της (Savage, 2015).

Είναι σαφές ότι η τεχνολογία αποτελεί μόνο μέρος της λύσης για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μπαταριών. Πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη οι κοινωνικοοικονομικές αλλαγές, όπως η συμπεριφορά ανακύκλωσης, η συμπεριφορά των καταναλωτών, η υποδομή διαχείρισης αποβλήτων και οι οικονομικοί παράγοντες που καθορίζουν εάν ένα ανακυκλώσιμο υλικό ανακυκλώνεται ή όχι. Τόσο η πολιτική όσο και η τεχνολογική έρευνα είναι, ως εκ τούτου, καθοριστικές. Επιπλέον, μπορούν επίσης να διερευνηθούν οι δυνατότητες αποφυγής των μπαταριών χρησιμοποιώντας εναλλακτικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Ένας συνδυασμός τεχνολογιών μπαταριών, είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον, παρόλο που δεν είναι ακόμη δυνατό να αναφερθεί ποιες θα είναι αυτές, ή να προσδιοριστεί ποιος τύπος θα είναι ο πιο περιβαλλοντικά βιώσιμος. Ωστόσο, είναι δυνατό να επισημανθεί ποιες περιοχές σχεδιασμού μπαταριών χρειάζονται προσοχή προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι μελλοντικές τεχνολογίες μπαταριών είναι όσο το δυνατόν πιο βιώσιμες, ενώ παράλληλα θα συνεχίσουν να πληρούν τον πολύτιμο σκοπό τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές (Φραγκιαδάκης, 2008).

Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιούν προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον (Καπλάνης, 2005).

Αν η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοραστεί και πως είναι δυνατό να γίνει αυτό και να αγοραστούν ακόμα και μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρυνθεί η χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν σε κάθε περίπτωση τις “έξυπνες” επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτήν καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας και δομικά υλικά μπορεί να επιτευχθεί και μείωση του συνολικού κόστους της κατασκευής. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν κύρος στον χρήστη τους και βελτιώνουν την εικόνα των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν (Καρυδογιάννης, 2010).

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και την άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό

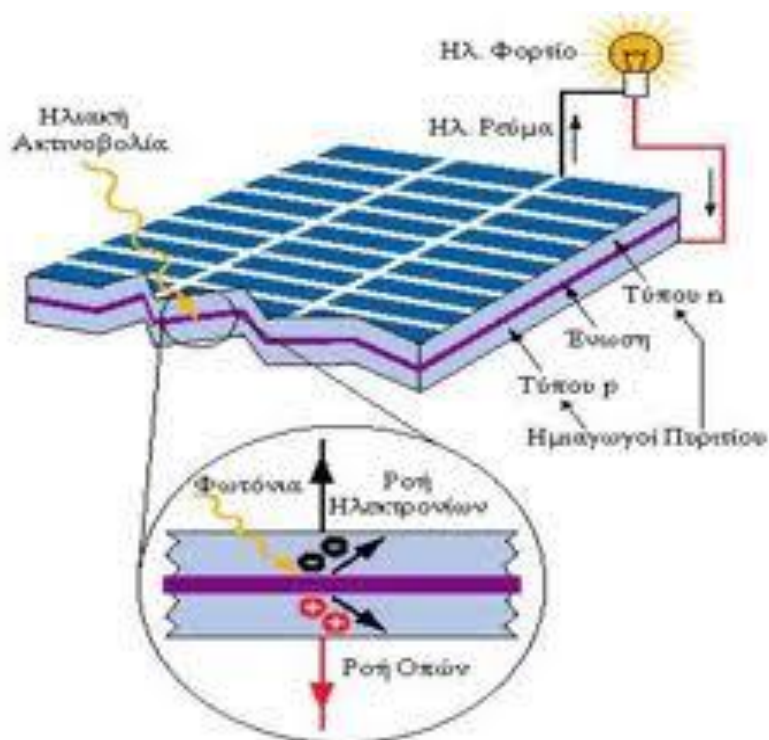
τον τρόπο που καταναλώνεται η ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση (Swanson, et al, 2005).

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η μονάδα ηλεκτρικής ενέργεια είναι η κιλοβατώρα (kilowatt-hour). Μία κιλοβατώρα θεωρητικά αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώθηκε από μια συσκευή ισχύος 1kilowatt (κιλοβάτ) που λειτούργησε για την διάρκεια της μιας ώρας (1hour).

$$1 kWh = 1 kW \times 1h = 1 \text{ kilowatt-hour} = 1 \text{ κιλοβατώρα}$$

Οι υποδιαιρέσεις μονάδας ενεργού ισχύος, αναφέρονται ως εξής (Swanson, et al, 2005):

- 1 kW (kilowatt) = 1000 W (watt)
- 1 MW (megawatt) = 1000 kW (kilowatt)
- 1 GW (gigawatt) = 1000 MW (megawatt)



Εικόνα 2: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Στην πραγματικότητα το kilowatt (κιλοβάτ) είναι η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης ή παραγωγής ενεργού ισχύος. Στην πράξη οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στη συνολική ενέργεια «απορροφούν», «καταναλώνουν» ή «παράγουν» και ένα άλλο ποσοστό ενέργειας ανάλογα με τα ποιοτικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (χωρητικά, επαγωγικά φορτία). Αυτή είναι η άεργος ισχύς (reactive power) η οποία είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ μάλιστα χρεώνει τους μεγάλους καταναλωτές όταν ξεπεράσουν κάποιο όριο «έγχυσης» ή «κατανάλωσης» (συντελεστής ισχύος, $\cos\phi \leq 0.85$) άεργου ισχύος στο δίκτυο. Βελτίωση του «συνημίτονου» μιας εγκατάστασης που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με την προσθήκη φορτίων πυκνωτών ή με την προσθήκη καταναλώσεων επαγωγικών ρευμάτων (πηνίων) ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης (επαγωγική συμπεριφορά ή χωρητική αντιστοίχως).

Η μονάδα της άεργου ισχύος είναι το Volt Ampere Reactive (VAR). Η συνολική ισχύς λέγεται και «φαινόμενη» και έχει μονάδα το Volt-Ampere (VA). Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος είναι $S=VI=(\text{τετραγωνική ρίζα του}(P^2+Q^2))$ Volt Ampere (Pingel, et al, 2010).

Σε ιστορικό επίπεδο, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες (Pingel, et al, 2010).



Εικόνα 2.1 : Φωτοβολταϊκά Πάνελ



Εικόνα 2.2: Φωτοβολταϊκά Πάνελ

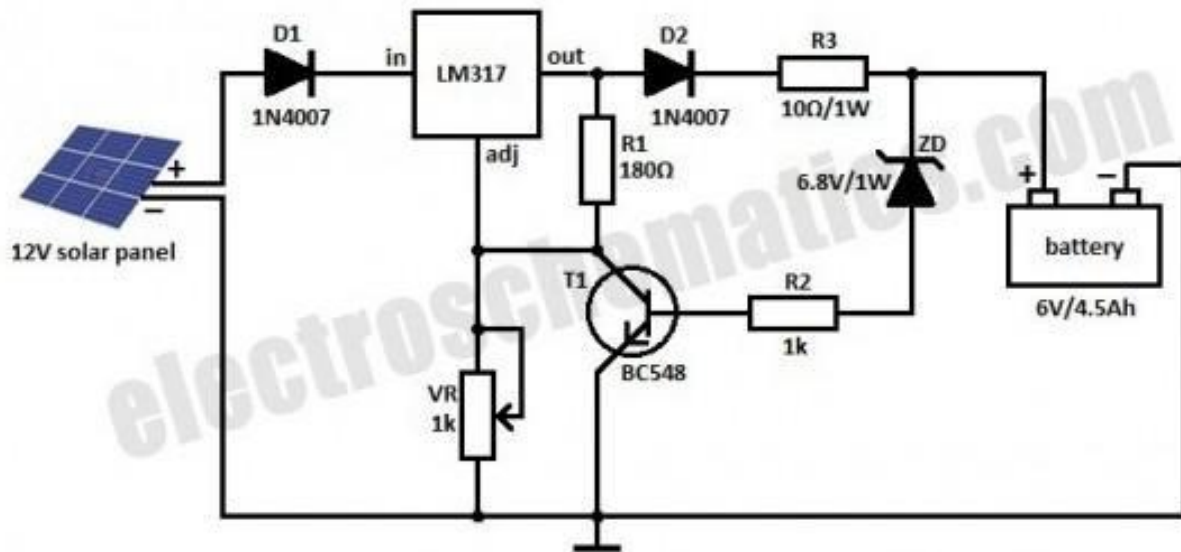
Καθώς το κόστος των Φ/Β συστημάτων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερες Φ/Β εφαρμογές γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικές, σε σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μορφές. Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις περισσότερο υποσχόμενες ενεργειακές τεχνολογίες.

Όπως έχει προκύψει από τη διεθνή εμπειρία, το μεγάλο μερίδιο της αγοράς των Φ/Β συστημάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες βρίσκεται σε αστικά κέντρα, σε εγκαταστάσεις όπως κτίρια, συμπλέγματα οικιών, δημόσια κτίρια, εξωτερικοί χώροι, κ.λπ.

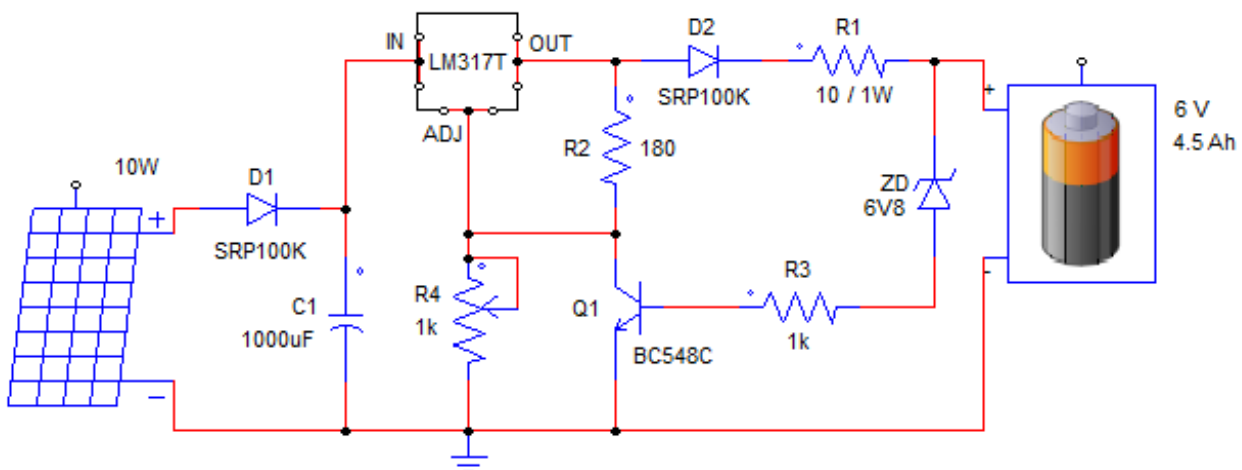
Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, μετατρέπει την ακτινοβολία του ήλιου σε χρησιμοποιήσιμο ηλεκτρικό ρεύμα. Περιλαμβάνει την ηλιακή συστοιχία και την ισορροπία των στοιχείων του συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν από διάφορες πτυχές, όπως συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο έναντι αυτόνομων συστημάτων, συστήματα ενσωματωμένα σε κτιριακά συστήματα, συστήματα οικιστικών έναντι συστημάτων κοινής ωφέλειας, καταμεμημένα εναντίον κεντρικών συστημάτων, συστήματα στέγασσης έναντι εδάφους, συστήματα παρακολούθησης έναντι συστημάτων σταθερής κλίσης και συστήματα που έχουν κατασκευαστεί έναντι άλλων συσκευών (Pingel, et al, 2010).

Άλλες διακρίσεις μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα με μικροεπεξεργαστές έναντι κεντρικού αναστροφέα, συστήματα που χρησιμοποιούν κρυσταλλικό πυρίτιο έναντι τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης

και συστήματα με μονάδες από κινέζους εναντίον ευρωπαϊκών και αμερικανικών κατασκευαστών (Fox, et al. 2015).



Εικόνα 2.3: Κύκλωμα Φόρτισης Μπαταρίας



Εικόνα 2.4: Κύκλωμα Φόρτισης Μπαταρίας

Περίπου το 99% όλων των Ευρωπαϊκών και το 90% όλων των ηλιακών συστημάτων της Η.Π.Α. συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ τα συστήματα εκτός δικτύου είναι κάπως πιο συνηθισμένα στην Αυστραλία και τη Νότια Κορέα (Fox, et al. 2015). Αυτό μπορεί να αλλάξει σύντομα, καθώς εφαρμόζονται κυβερνητικά κίνητρα για καταμετρημένη ενεργειακή αποθήκευση και οι επενδύσεις σε λύσεις αποθήκευσης καθίστανται σταδιακά οικονομικά βιώσιμες για μικρά συστήματα (Swanson, et al, 2005).

Μια ηλιακή συστοιχία μιας τυπικής οικιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι τοποθετημένη στην οροφή, αντί να ενσωματώνεται στην οροφή ή στην πρόσοψη του κτιρίου, καθώς αυτό είναι σημαντικά πιο ακριβό. Οι ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής είναι τοποθετημένοι σε έδαφος, με σταθερούς κεκλιμένους ηλιακούς συλλέκτες αντί να χρησιμοποιούν ακριβές συσκευές παρακολούθησης. Το κρυσταλλικό πυρίτιο είναι το κυρίαρχο υλικό που χρησιμοποιείται στο 90% των παγκοσμίως

παραγόμενων ηλιακών μονάδων, ενώ η ανταγωνιστική λεπτή μεμβράνη έχει χάσει το μερίδιο αγοράς (Yiting, 2013).

Περίπου το 70% όλων των ηλιακών κυψελών και μονάδων παράγονται στην Κίνα και την Ταϊβάν, αφήνοντας μόνο το 5% στους κατασκευαστές της Ευρώπης και των ΗΠΑ. Η εγκατεστημένη ισχύς τόσο για τα μικρά συστήματα στέγης όσο και για τους μεγάλους ηλιακούς σταθμούς αναπτύσσεται ταχέως και σε ίσα μέρη, αν και υπάρχει αξιοσημείωτη τάση προς την κλίμακα χρησιμότητας δεδομένου ότι η εστίαση σε νέες εγκαταστάσεις απομακρύνεται από την Ευρώπη σε ηλιόλουστες περιοχές, όπως η Sunbelt στις ΗΠΑ, οι οποίες είναι λιγότερο αντίθετες με τις εγκατεστημένες σε έδαφος ηλιακές εκμεταλλεύσεις και δίνεται μεγαλύτερη έμφαση από τους επενδυτές στην αποδοτικότητα από πλευράς κόστους (Yiting, 2013).

Με γνώμονα την πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση της κλίμακας και της πολυπλοκότητας της κατασκευής, το κόστος των φωτοβολταϊκών συνεχώς μειώνεται. Υπάρχουν αρκετά εκατομμύρια φωτοβολταϊκά συστήματα που διανέμονται σε ολόκληρο τον κόσμο, κυρίως στην Ευρώπη, με 1,4 εκατομμύρια συστήματα μόνο στη Γερμανία καθώς και στη Βόρεια Αμερική με 440.000 συστήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες (Yiting, 2013).

Σε τοποθεσίες με μεγάλη ακτινοβολία ή όταν χρησιμοποιείται τεχνολογία λεπτής μεμβράνης, ο λεγόμενος χρόνος αποπληρωμής ενέργειας μειώνεται σε ένα έτος ή και λιγότερο. Καθαρές μετρήσεις και οικονομικά κίνητρα, όπως τα προνομιακά τιμολόγια τροφοδοσίας για την ηλιακή ενέργεια - παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν επίσης υποστηρίξει σε μεγάλο βαθμό εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων σε πολλές χώρες (Yiting D., 2013). Το επίπεδο κόστους ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα μεγάλης κλίμακας έχει καταστεί ανταγωνιστικό με τις συμβατικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν εκτεταμένο κατάλογο γεωγραφικών περιοχών και η ισοτιμία του δικτύου έχει επιτευχθεί σε περίπου 30 διαφορετικές χώρες (Pingel, et al, 2010).

Από το 2015, η ταχέως αναπτυσσόμενη παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων προσεγγίζει ταχέως τα 200 GW - περίπου 40 φορές το εγκατεστημένο δυναμικό του 2006. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συνεισφέρουν σήμερα περίπου το 1% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι κορυφαίοι εγκαταστάτες φωτοβολταϊκών συστημάτων όσον αφορά τη χωρητικότητα σήμερα είναι η Κίνα, η Ιαπωνία και οι Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ το ήμισυ της παγκόσμιας δυναμικότητας εγκαθίσταται στην Ευρώπη, ενώ η Γερμανία και η Ιταλία τροφοδοτούν το 7% έως 8% της αντίστοιχης οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας αναμένει ότι η ηλιακή ενέργεια θα καταστεί η μεγαλύτερη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως μέχρι το 2050, ενώ η ηλιακή φωτοβολταϊκή και η ηλιακή θερμική ενέργεια θα συμβάλλουν κατά 16% και 11% στην παγκόσμια ζήτηση, αντίστοιχα (Yiting D., 2013).

2.2 Βασικά τμήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Η ισορροπία των συνιστωσών ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (balance of system, BOS), ισορροπεί το υποσύστημα παραγωγής ισχύος της ηλιακής γεννήτριας (αριστερή πλευρά) αντίστοιχα με την πλευρά που χρησιμοποιεί τις συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (alternative current, AC) και το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος (Pingel, et al, 2010). Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για οικιακή, εμπορική ή βιομηχανική παροχή ενέργειας, αποτελείται από την ηλιακή συστοιχία και μια σειρά από στοιχεία που συνοψίζονται συχνά ως το υπόλοιπο του φωτοβολταϊκού συστήματος (BOS).

Τα εξαρτήματα BOS περιλαμβάνουν εξοπλισμό κλιματισμού και δομές για τη συναρμολόγηση, συνήθως έναν ή περισσότερους μετατροπείς ισχύος συνεχούς ρεύματος (direct current, DC) σε AC, επίσης γνωστούς ως αντιστροφείς, μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, ένα σύστημα ραφιών που υποστηρίζει την ηλιακή συστοιχία, τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις, τις διασυνδέσεις και άλλα στοιχεία.

Προαιρετικά, η ισορροπία του συστήματος μπορεί να περιλαμβάνει κάποια ή όλα από τα παρακάτω:

- μετρητή ποιότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- συσκευή παρακολούθησης μέγιστης ισχύος (maximum power point tracking, MPPT),
- σύστημα μπαταριών και φορτιστή,
- ηλιακή συσκευή παρακολούθησης (global positioning system, GPS),
- λογισμικό διαχείρισης ενέργειας,
- αισθητήρες ηλιακής ακτινοβολίας, ή
- αξεσουάρ ειδικά για συγκεκριμένες εργασίες που έχουν σχεδιαστεί για να πληρούν εξειδικευμένες απαιτήσεις για έναν ιδιοκτήτη συστήματος.

Επιπλέον, ένα σύστημα CPV (concentrator photovoltaics) απαιτεί οπτικούς φακούς ή κάτοπτρα και μερικές φορές σύστημα ψύξης.

Οι όροι "ηλιακή συστοιχία" και "φωτοβολταϊκό σύστημα", χρησιμοποιούνται συχνά λανθασμένα εναλλακτικά, παρά το γεγονός ότι η ηλιακή συστοιχία δεν καλύπτει ολόκληρο το σύστημα. Επιπλέον, το "ηλιακό πάνελ" χρησιμοποιείται συχνά ως συνώνυμο της "ηλιακής μονάδας", αν και ένα πάνελ αποτελείται από μια σειρά από διάφορες μονάδες. Ο όρος "ηλιακό σύστημα" είναι επίσης μια συχνά χρησιμοποιούμενη εσφαλμένη ονομασία για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (Yiting D., 2013). Επίσης, τα συμβατικά ηλιακά κύτταρα c-Si, κανονικά συνδεδεμένα σε σειρά, είναι ενσωματωμένα σε μια ηλιακή μονάδα για να τα προστατεύσουν από τις καιρικές συνθήκες. Το δομοστοιχείο αποτελείται από ένα γυαλί με συγκόλληση ως κάλυμμα, ένα μαλακό και εύκαμπτο υλικό εγκλεισμού, ένα οπίσθιο κάτω φύλλο κατασκευασμένο από ανθεκτικό υλικό στον καιρό και τη φωτιά και ένα πλαίσιο αλουμινίου γύρω από την εξωτερική άκρη.

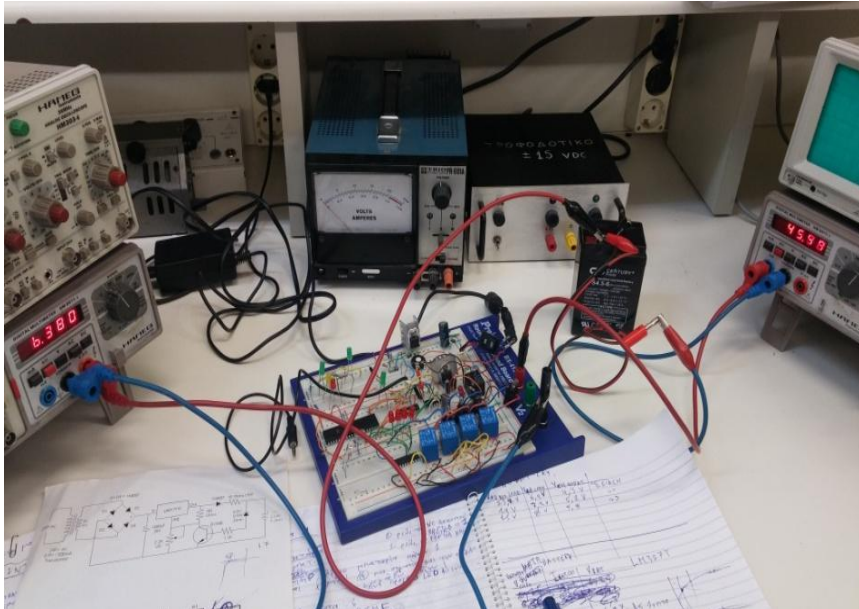
Οι ηλιακές μονάδες ηλεκτρικά συνδεδεμένες και τοποθετημένες σε μια δομή στήριξης, κατασκευάζονται από μια σειρά από δομοστοιχεία, συχνά αποκαλούμενα ηλιακά πάνελ. Μια ηλιακή συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια πάνελ. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ή μια ηλιακή συστοιχία είναι μια συνδεδεμένη συλλογή ηλιακών μονάδων. Η ισχύς που μπορεί να παράγει μία μονάδα είναι σπάνια αρκετή για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ενός σπιτιού ή μιας επιχείρησης, οπότε οι ενότητες συνδέονται μαζί για να σχηματίσουν έναν πίνακα.

Οι περισσότερες φωτοβολταϊκές συστοιχίες χρησιμοποιούν μετατροπέα για να μετατρέψουν την ισχύ DC που παράγεται από τις μονάδες σε εναλλασσόμενο ρεύμα που μπορεί να τροφοδοτήσει τα φώτα, τους κινητήρες και άλλα φορτία. Οι μονάδες σε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνήθως συνδέονται πρώτα εν σειρά για να αποκτήσουν την επιθυμητή τάση. Οι μεμονωμένες συστοιχίες συνδέονται στη συνέχεια παράλληλα για να επιτρέψουν στο σύστημα να παράγει περισσότερο ρεύμα.

Οι ηλιακοί συλλέκτες τυπικά μετρούνται υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής (standard test conditions, STC) ή συνθήκες δοκιμής PTC (PVUSA test conditions, όπου ο όρος PVUSA προέρχεται από τη φράση photovoltaics for utility scale applications), σε Watt. Οι τυπικές εκτιμήσεις των πάνελ κυμαίνονται από λιγότερο από 100 Watts έως πάνω από 400 Watts. Η ταξινόμηση των συστοιχιών αποτελείται από ένα άθροισμα των χαρακτηριστικών του πάνελ, σε βατ, κιλοβάτ ή μεγαβάτ (Fox, et al. 2015).



Εικόνα 2.5: Κύκλωμα Φόρτισης Μπαταρίας



Εικόνα 2.6: Πείραμα Φόρτισης Μπαταρίας

2.3 Στοιχεία σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας συνοψίζονται στη σχέση μεταξύ του ρεύματος εξόδου και της τάσης. Η ποσότητα και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακή ακτινοβολία) ελέγχει την ποσότητα ρεύματος εξόδου (I) και η θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών κυψελών επηρεάζει την τάση εξόδου (V) της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Οι καμπύλες χαρακτηριστικών ηλιακών κυψελών I - V που συνοψίζουν τη σχέση μεταξύ ρεύματος και τάσης παρέχονται γενικά από τον κατασκευαστή των πλαισίων και δίδονται όπως φαίνονται στη συνέχεια (Fox, et al. 2015):

Παράμετροι της ηλιακής συστοιχίας:

1. **VOC = τάση ανοικτού κυκλώματος (open circuit voltage)**

Είναι η μέγιστη τάση που παρέχει η σειρά όταν οι ακροδέκτες δεν είναι συνδεδεμένοι σε οποιοδήποτε φορτίο (κατάσταση ανοικτού κυκλώματος). Αυτή η τιμή είναι πολύ υψηλότερη από το V_{mp} (voltage at maximum power) που σχετίζεται με τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας η οποία καθορίζεται από το φορτίο. Αυτή η τιμή εξαρτάται από τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά.

2. **ISC = ρεύμα βραχυκυκλώματος (short circuit current)**

Το μέγιστο ρεύμα που παρέχεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια όταν τα βύσματα εξόδου είναι βραχυκυκλωμένα (κατάσταση βραχυκυκλώματος). Αυτή η τιμή είναι πολύ υψηλότερη από το I_{mp} (current or intensity at maximum power) που σχετίζεται με το κανονικό ρεύμα κυκλώματος λειτουργίας.

3. **MPP = μέγιστο σημείο ισχύος (maximum power point)**

Αυτό σχετίζεται με το σημείο όπου η ισχύς που τροφοδοτείται από τη συστοιχία που είναι συνδεδεμένη στο φορτίο (μπαταρίες, μετατροπείς) είναι στη μέγιστη τιμή της, όπου $MPP = I_{mp} \times V_{mp}$. Το μέγιστο σημείο ισχύος μίας φωτοβολταϊκής συστοιχίας μετράται σε Watt (W) ή μέγιστη Watt (Watt peak, Wp).

4. **FF = συντελεστής πλήρωσης (fill factor)**

Ο συντελεστής πλήρωσης είναι η σχέση μεταξύ της μέγιστης ισχύος που μπορεί να παράσχει ο πίνακας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και του προϊόντος της τάσης ανοικτού κυκλώματος για το ρεύμα βραχυκυκλώματος ($VOC \times ISC$). Η τιμή αυτού του συντελεστή πληρότητας δίνει μια ιδέα για την ποιότητα της συστοιχίας και όσο πιο κοντά είναι η τιμή του συντελεστή πληρότητας στο 1, τόσο περισσότερη δύναμη μπορεί να προσφέρει ο πίνακας. Οι τυπικές τιμές είναι μεταξύ 0,7 και 0,8.

5. **% eff = ποσοστό αποδοτικότητας (efficiency)**

Η απόδοση μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ο λόγος μεταξύ της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παράγει η συστοιχία σε σύγκριση με την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που χτυπά τη συστοιχία. Η απόδοση μιας τυπικής ηλιακής συστοιχίας είναι κανονικά χαμηλή σε περίπου 10-12%, ανάλογα με τον τύπο κυττάρων (μονοκρυσταλλική, πολυκρυσταλλική, άμορφη ή λεπτή μεμβράνη) που χρησιμοποιείται.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες ηλιακών κυψελών I-V, είναι γραφικές παραστάσεις της τάσης εξόδου σε σχέση με το ρεύμα για διαφορετικά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και μπορούν να πουν πολλά για την ικανότητα της φωτοβολταϊκής κυψέλης ή του πάνελ να μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι σημαντικότερες τιμές για τον υπολογισμό μιας συγκεκριμένης ονομαστικής ισχύος είναι η τάση και το ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (Yiting, 2013).

Ορισμένοι ηλιακοί συλλέκτες βαθμολογούνται σε ελαφρώς υψηλότερες ή χαμηλότερες τάσεις από άλλες με την ίδια τιμή ισχύος και αυτό επηρεάζει την ποσότητα ρεύματος που είναι διαθέσιμη και επομένως τα πάνελ MPP. Άλλες παράμετροι, επίσης σημαντικές, είναι οι τάσεις ανοικτού κυκλώματος και οι ονομαστικές τιμές ρεύματος βραχυκυκλώματος από την πλευρά της ασφάλειας, ιδιαίτερα η ονομαστική τάση. Μια σειρά έξι πάνελ σε σειρά, ενώ έχει ονομαστική τάση 72 βολτ (6x12), θα μπορούσε ενδεχομένως να παράγει τάση ανοικτού κυκλώματος πάνω από 120 βολτ DC, το οποίο είναι περισσότερο από αρκετά επικίνδυνο.

Οι καμπύλες χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκών I-V παρέχουν τις πληροφορίες που απαιτούνται για να διαμορφωθεί μια συστοιχία ηλιακής ενέργειας έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέγιστο σημείο ισχύος της. Το μέγιστο σημείο ισχύος μετρείται καθώς η φωτοβολταϊκή μονάδα παράγει τη μέγιστη ισχύ της όταν εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία ισοδύναμη με 1000 watts ανά τετραγωνικό μέτρο (1000 W/m^2 ή 1kW/m^2) (Yiting, 2013).

Τα συμβατικά ηλιακά κύτταρα c-Si, κανονικά ενσύρματα σε σειρά, είναι εγκλωβισμένα σε μια ηλιακή μονάδα για να τα προστατεύουν από τις καιρικές συνθήκες. Το δομοστοιχείο αποτελείται από ένα γυαλί με συγκόλληση ως κάλυμμα, ένα μαλακό και εύκαμπτο υλικό εγκλεισμού, ένα οπίσθιο φύλλο ράχης

ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, πυρίμαχο υλικό και ένα πλαίσιο από αλουμίνιο γύρω από την εξωτερική άκρη. Ηλεκτρικά συνδεδεμένες και τοποθετημένες σε δομή στήριξης, οι ηλιακές μονάδες κατασκευάζουν μια σειρά από δομοστοιχεία, συχνά αποκαλούμενα ηλιακά πάνελ. Μια ηλιακή διάταξη αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια πλαίσια (Yiting, 2013).

Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ή μια ηλιακή συστοιχία είναι μια συνδεδεμένη συλλογή των ηλιακών μονάδων. Η ισχύς που μπορεί να παράγει ένα δομοστοιχείο είναι σπάνια αρκετή για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ενός σπιτιού ή μιας επιχείρησης, έτσι ώστε οι ενότητες να συνδέονται μαζί για να σχηματίσουν μια συστοιχία. Οι περισσότερες φωτοβολταϊκές συστοιχίες χρησιμοποιούν μετατροπέα για να μετατρέψουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τις μονάδες σε εναλλασσόμενο ρεύμα που μπορεί να τροφοδοτήσει τα φώτα, τους κινητήρες και άλλα φορτία (Fox, et al. 2015). Οι μονάδες σε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνήθως συνδέονται πρώτα εν σειρά για να αποκτήσουν την επιθυμητή τάση. Οι μεμονωμένες ευθείες συνδέονται στη συνέχεια παράλληλα για να επιτρέψουν στο σύστημα να παράγει περισσότερο ρεύμα.

Μια τυπική φωτοβολταϊκή μονάδα "150 Watt" έχει μέγεθος περίπου τετραγωνικό. Μια τέτοια ενότητα μπορεί να αναμένεται να παράγει κατά μέσο όρο 0,75 κιλοβατώρες (kWh), λαμβάνοντας υπόψη τον καιρό και το γεωγραφικό πλάτος, για μια ηλιοφάνεια 5 ωρών/ημέρα. Τα τελευταία 10 χρόνια, η απόδοση των μέσων εμπορικών μονάδων κρυσταλλικού πυριτίου με βάση πλακίδια αυξήθηκε από περίπου 18-20% και η αποδοτικότητα της μονάδας CdTe αυξήθηκε από 9% σε 13% κατά την ίδια περίοδο. Η έξοδος της μονάδας και η διάρκεια ζωής υποβαθμίζονται λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας. Επιτρέποντας να ρέει ο αέρας του περιβάλλοντος και αν είναι δυνατόν πίσω, οι φωτοβολταϊκές μονάδες μειώνουν αυτό το πρόβλημα. Η πραγματική ζωή της μονάδας είναι συνήθως 25 έτη ή περισσότερο (Fox, et al. 2015).

Η περίοδος απόσβεσης για μια επένδυση σε μια ηλιακή φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ποικίλλει σημαντικά και είναι συνήθως λιγότερο χρήσιμη από τον υπολογισμό της απόδοσης της επένδυσης. Αν και συνήθως υπολογίζεται ότι είναι μεταξύ 10 και 20 ετών, η περίοδος οικονομικής αποπληρωμής μπορεί να είναι πολύ μικρότερη με κίνητρα. Λόγω της χαμηλής τάσης ενός μεμονωμένου ηλιακού κυττάρου (τυπικά περίπου 0,5V), αρκετά καλώδια είναι ενσύρματα (π.χ. με χαλκό που χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκά συστήματα) εν σειρά στην κατασκευή ενός "πολυστρωματικού πλαισίου".

Το έλασμα συναρμολογείται σε προστατευτικό στεγανό περίβλημα, σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο ή ένα ηλιακό πάνελ. Οι μονάδες μπορούν στη συνέχεια να συσπειρωθούν μαζί σε μια φωτοβολταϊκή διάταξη. Το 2012, οι ηλιακοί συλλέκτες που ήταν διαθέσιμοι για τους καταναλωτές μπορούσαν να έχουν απόδοση έως περίπου 17%, ενώ τα εμπορικά διαθέσιμα πάνελ μπορούσαν να φτάσουν μέχρι το 27%. Έχει καταγραφεί ότι μια ομάδα από το Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems δημιούργησε ένα κύτταρο που μπορεί να φτάσει σε απόδοση το 44,7%, πράγμα που κάνει τις ελπίδες των επιστημόνων να φθάσουν το όριο απόδοσης κατά 50% πολύ πιο εφικτό (Yiting, 2013).

Η ηλεκτρική έξοδος των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στη σκίαση. Τα αποτελέσματα αυτής της σκίασης είναι γνωστά. Όταν ακόμη και ένα μικρό τμήμα ενός κυττάρου, της μονάδας ή της συστοιχίας είναι σκιασμένο, ενώ το υπόλοιπο που είναι στο ηλιακό φως η έξοδος πέφτει δραματικά εξαιτίας του εσωτερικού «βραχυκυκλώματος» (αντιστρέφοντας την πορεία των ηλεκτρονίων μέσα από το σκιασμένο τμήμα της διακλάδωσης p-n).

Αν το ρεύμα που προέρχεται από τη σειριακή σειρά των κυττάρων δεν είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που μπορεί να παραχθεί από το σκιασμένο κύτταρο, η τρέχουσα τάση που αναπτύσσεται από τη στοιχειοσειρά είναι περιορισμένη. Εάν υπάρχει αρκετή τάση από τα υπόλοιπα κύτταρα σε μια συμβολοσειρά, το ρεύμα θα εξαναγκαστεί μέσω του κυττάρου διασπώντας τη διασταύρωση στο σκιασμένο τμήμα. Αυτή η τάση διάσπασης στα κοινά κύτταρα κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 βολτ. Αντί να προσθέτει στην ισχύ που παράγεται από το πάνελ, το σκιασμένο κύτταρο απορροφά την ισχύ, μετατρέποντάς το σε θερμότητα.

Δεδομένου ότι η αντίστροφη τάση ενός σκιασμένου στοιχείου είναι πολύ μεγαλύτερο από την τάση φωτός ενός φωτισμένου στοιχείου, ένα σκιασμένο κύτταρο μπορεί να απορροφήσει την ισχύ πολλών άλλων κυττάρων στη σειρά, επηρεάζοντας δυσανάλογα την έξοδο του πίνακα. Για παράδειγμα, ένα σκιασμένο κύτταρο μπορεί να πέσει 8 βολτ, αντί να προσθέσει 0,5 βολτ, σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ρεύματος, απορροφώντας έτσι την ισχύ που παράγεται από άλλα 16 κύτταρα. Είναι επομένως σημαντικό η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να μην σκιάζεται από δέντρα ή άλλα εμπόδια.

Αρκετές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό των απωλειών σκίασης από δέντρα σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε μεγάλες περιοχές χρησιμοποιώντας LiDAR (light detection and ranging), αλλά και σε επίπεδο επιμέρους συστήματος χρησιμοποιώντας το σχέδιο (Yiting, 2013). Οι περισσότερες μονάδες έχουν διόδους παράκαμψης μεταξύ κάθε κυττάρου ή σειράς κυττάρων που ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις της σκίασης και χάνουν μόνο τη δύναμη του σκιασμένου τμήματος της συστοιχίας.

Η κύρια εργασία της διόδου παράκαμψης είναι η εξάλειψη των καυτών σημείων που σχηματίζονται πάνω στα κύτταρα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν περαιτέρω βλάβες στη συστοιχία και να προκαλέσουν πυρκαγιές. Το φως του ήλιου μπορεί να απορροφηθεί από τη σκόνη, το χιόνι ή άλλες ακαθαρσίες στην επιφάνεια του δομοστοιχείου. Αυτό μπορεί να μειώσει το φως που πλήττει τα κελιά. Η διατήρηση μιας επιφάνειας καθαρής μονάδας θα αυξήσει την απόδοση εξόδου κατά τη διάρκεια ζωής της μονάδας. Η Google διαπίστωσε ότι ο καθαρισμός των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών μετά από 15 μήνες αύξησε την παραγωγή τους κατά περίπου 100%, αλλά ότι οι κλίσεις κατά 5% των συστοιχιών καθαρίστηκαν επαρκώς από τα όμβρια ύδατα (Yiting, 2013).

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία. Ο συντελεστής απορρόφησης ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ορίζεται ως το κλάσμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το κύτταρο. Στο ψηλότερο μεσημέρι σε μια χωρίς σύννεφα ημέρα

στον ισημερινό, η ισχύς του ήλιου είναι περίπου μια kW/m^2 , στην επιφάνεια της Γης, σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

Ως εκ τούτου, οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες μπορούν να παρακολουθούν τον ήλιο κάθε μέρα για να βελτιώσουν σημαντικά τη συλλογή ενέργειας. Η γωνία κλίσης, σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να μεταβάλλεται για την εποχή, αλλά αν είναι σταθερή, θα πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να δίνει τη βέλτιστη έξοδο συστοιχίας κατά τη διάρκεια της αιχμής, τμήμα ηλεκτρικής ζήτησης ενός τυπικού έτους για ένα αυτόνομο σύστημα. Αυτή η βέλτιστη γωνία κλίσης του Φ/Β πλαισίου δεν είναι απαραίτητως η ίδια με τη γωνία κλίσης για μέγιστη ετήσια ενέργεια εξόδου Φ/Β συστοιχίας.

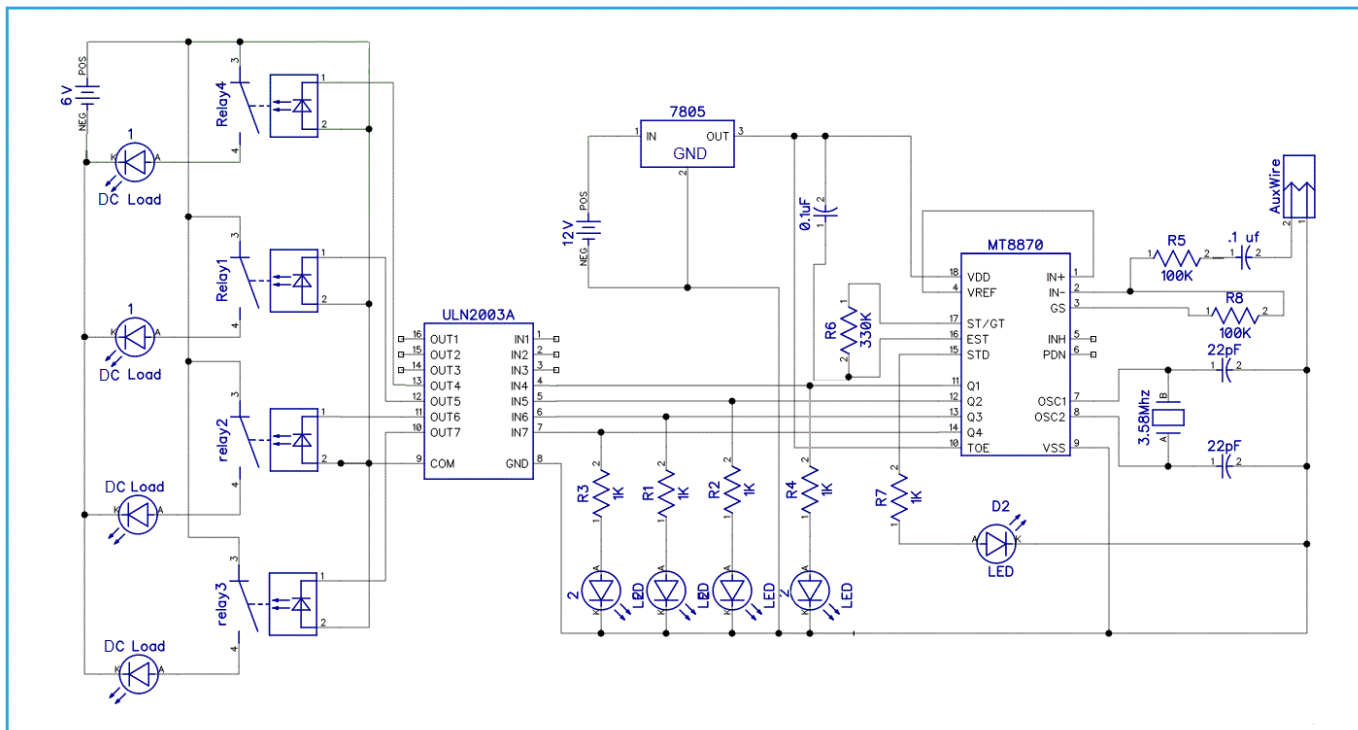
Η βελτιστοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί να είναι περίπλοκη καθώς θα πρέπει να τεθούν σε ισχύ ζητήματα ηλιακής ροής, ρύπανσης και απώλειας χιονιού. Επιπλέον, οι μεταγενέστερες εργασίες έχουν δείξει ότι τα φασματικά αποτελέσματα μπορούν να παίξουν ρόλο στη βέλτιστη επιλογή φωτοβολταϊκού υλικού. Για παράδειγμα, το φασματικό albedo (ή μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος) μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην έξοδο ανάλογα με την επιφάνεια γύρω από το φωτοβολταϊκό σύστημα και τον τύπο του υλικού των ηλιακών κυψελών.

Για τις καιρικές συνθήκες και τα γεωγραφικά πλάτη των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρώπης, η τυπική ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 4 $\text{kWh/m}^2/\text{ημέρα}$ σε βόρειες κλιματικές συνθήκες έως 6,5 $\text{kWh/m}^2/\text{ημέρα}$ στις ηλιόλουστες περιοχές. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στα νότια γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης ή των Ηνωμένων Πολιτειών μπορεί να αναμένει να παράγει 1 $\text{kWh/m}^2/\text{ημέρα}$. Μια τυπική φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 1 kW στην Αυστραλία ή στα νότια γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης ή των Ηνωμένων Πολιτειών μπορεί να παράγει 3,5-5 kWh ανά ημέρα, ανάλογα με την τοποθεσία, τον προσανατολισμό, την κλίση, την ηλιακή ακτινοβολία και άλλους παράγοντες (Yiting, 2013).

Στην έρημο της Σαχάρας, με λιγότερη κάλυψη από νέφος και καλύτερη ηλιακή γωνία, θα μπορούσε κανείς να βρεθεί ιδανικά πλησιέστερα στα 8,3 $\text{kWh/m}^2/\text{ημέρα}$, υπό τον όρο ότι ο σχεδόν πάντα παρών αέρας δεν θα έριχνε άμμο πάνω στις μονάδες. Η περιοχή της ερήμου της Σαχάρας όπου είναι πάνω από 9 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, 90.600 km^2 , ή περίπου 1%, θα μπορούσαν να παράγουν τόση ηλεκτρική ενέργεια όση και όλες οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο (Fox, et al. 2015).

Για τα ηλιακά πάρκα τοποθετείται ένα μεγάλο πλάτωμα στο έδαφος και οι μονάδες τοποθετούνται στο ράφι. Για κτίρια, έχουν σχεδιαστεί πολλά διαφορετικά ράφια για κεκλιμένες στέγες. Για επίπεδες στέγες έχουν σχεδιαστεί ράφια, κάδοι και ενσωματωμένες λύσεις για την κατασκευή. Τα ράφια των ηλιακών συλλεκτών που είναι τοποθετημένα στην κορυφή των στύλων μπορεί να είναι στάσιμα ή να κινούνται. Οι βραχίονες στήριξης είναι κατάλληλοι για καταστάσεις όπου ένας πόλος έχει κάτι άλλο συναρμολογημένο στην κορυφή του, όπως ένα φωτιστικό ή μια κεραία.

Τα πάνελ που είναι τοποθετημένα σε πόλο είναι ανοιχτά σε περισσότερο αέρα ψύξης στην κάτω πλευρά τους, γεγονός που αυξάνει την απόδοση. Μια πολλαπλότητα ράβδων κορυφής με ράβδους μπορεί να διαμορφωθεί σε ένα υπόστεγο στάθμευσης ή σε άλλη δομή σκιάς. Μια σχάρα που δεν ακολουθεί τον ήλιο από τα αριστερά προς τα δεξιά μπορεί να επιτρέψει την εποχική ρύθμιση προς τα επάνω ή προς τα κάτω (Pingel, et al, 2010).



Εικόνα 2.7: Κύκλωμα Φόρτισης Μπαταρίας



Εικόνα 2.8: Τελικό Κύκλωμα Φόρτισης Μπαταρίας με Φωτοβολταϊκό Πάνελ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΕΤΑΙ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ ΑΠΟΣΥΡΣΗΣ

3.1 Χρόνος ζωής μπαταριών

Ενώ οι μπαταρίες μπορούν να μετατρέψουν την οικονομία μιας χώρας πιο πράσινη μειώνοντας την εξάρτηση των ατόμων από τα ορυκτά καύσιμα, πρέπει επίσης κανείς να λάβει υπόψη το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ίδιων των μπαταριών για κάθε χρήση. Η μεγάλη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, μειώνει τον αριθμό των φορών που χρειάζεται για να αντικατασταθεί, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη χρήση στην αποθήκευση ενέργειας και τα ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ότι τα περισσότερα φορητά ηλεκτρονικά.



Εικόνα 3.1: Μπαταρίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Εκτός από τη μείωση του κόστους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, μειώνει τις πιέσεις στους πόρους και τις αρνητικές επιπτώσεις τόσο της μεταποίησης όσο και της ανακύκλωσης, όπως η κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, μπορεί να επεκτείνει τη χρήση της συσκευής στην οποία τοποθετείται η μπαταρία, για παράδειγμα, μπορεί να μειώσει τις περιπτώσεις καταναλωτών που απορρίπτουν τα smartphones που λειτουργούν εξαιτίας της λήξης της διάρκειας του χρήσιμου χρόνου ζωής (End-of-Life, EoL) της μπαταρίας. Η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους:

1. Σε «ημερολογιακά έτη», δηλαδή το χρονικό διάστημα που μπορεί να αποθηκεύει μια μπαταρία με ελάχιστες απορρίψεις πριν μειωθεί η χωρητικότητά της, και

2. Ως προς τη «διάρκεια ζωής του κύκλου» του, δηλαδή τον αριθμό των φορών που μπορεί να επαναφορτιστεί και να απορριφθεί πριν γίνει ακατάλληλη για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Αυτό συνήθως συμβαίνει όταν μπορεί να φορτιστεί μόνο μέχρι το 80% της αρχικής χωρητικότητας, δεδομένου ότι η μπαταρία υποβαθμίζεται γρήγορα σε αυτό το σημείο.

Κατά τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η αύξηση της διάρκειας ζωής, είναι μία από τις πιο σημαντικές πτυχές του σχεδιασμού μιας μπαταρίας για να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι νέες μέθοδοι για την παρακολούθηση των μπαταριών σε λειτουργία για ενδείξεις προστασίας της ενέργειας, δηλαδή για συστήματα παρακολούθησης εντός της μπαταρίας, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες που διευκολύνουν την επέκταση της διάρκειας ζωής αυτών με διάφορους τρόπους (Grey, Tarascon, 2017).

Η μέθοδος αξιολόγησης της διάρκειας ζωής μιας μπαταρίας γνωστή ως Life Cycle Assessment (LCA) – Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη συστημάτων περιβαλλοντικής επισήμανσης για αυτά τα προϊόντα και ως προς την χρήση τους σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι τεχνικές οδηγίες για τη διενέργεια αξιολογήσεων περιβαλλοντικών αποτυπώσεων προϊόντων για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες έχουν πρόσφατα θεωρηθεί.

Η LCA φέρει διάφορες αβεβαιότητες για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα αφού τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, δεν καταγράφουν την πλήρη εικόνα με διάφορους τρόπους, για παράδειγμα, απλοποιούν την αλυσίδα βιομηχανικής αξίας στη μπαταρία, τις εκπομπές που παράγονται κατά τη διάρκεια κάθε σταδίου της αλυσίδας αξίας, και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εκπομπών. Παρόλα αυτά, η μέθοδος LCA χρησιμεύει ως ένα χρήσιμο εργαλείο για να επισημανθούν τα «επικίνδυνα σημεία» των πιθανών περιβαλλοντικών προβλημάτων, παρέχοντας παράλληλα μια γενική εικόνα των συνολικών περιβαλλοντικών επιδόσεων των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τέλος χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα υλικών για την κατασκευή ηλεκτροδίων και ηλεκτρολυτών των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μπορούν να παρουσιάσουν ζητήματα σχετικά με τη διαθεσιμότητα πόρων, την τοξικότητα, την ασφάλεια, την παραγωγή και την ανακύκλωση ή τις επιπτώσεις διάθεσης. Τα υλικά ηλεκτροδίων είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών προτύπων των μπαταριών (Larcher, Tarascon, 2015).

3.2 Ο παράγοντας της ταχύτητας περιστροφής φόρτισης που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Η «ταχύτητα περιστροφής» φόρτισης μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα, αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας που εξέρχεται κατά τη διάρκεια της φόρτισης μιας μπαταρίας (π.χ. όταν χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία μιας συσκευής), σε σύγκριση με την ποσότητα της ενέργειας που

καταναλώθηκε. Η μπαταρία σε φωτοβολταϊκά συστήματα, χάνει κάποια ενέργεια κατά τη διάρκεια καθενός από αυτούς τους κύκλους φόρτισης.

Μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα φόρτισης, σημαίνει ότι μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια αυτών των κύκλων, γεγονός που μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την παραγωγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καύση ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, μειώνοντας την απώλεια θερμότητας, μια μεγάλη ταχύτητα φόρτισης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ενεργειακή πυκνότητα ολόκληρου του συστήματος συσσωρευτών, επειδή μειώνεται το μέγεθος του βοηθητικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ψύξη σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Οι τυπικές μπαταρίες μόλυβδου-οξέος σε φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν απόδοση άνω του 70-80% (Reddy, 2010), δηλαδή 20-30% της ενέργειας χάνεται κατά τη διάρκεια των κύκλων φόρτισης. Επίσης οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι πολύ αποτελεσματικές, σε ποσοστό άνω του 90%. Κατά τη διάρκεια της ζωής μιας μπαταρίας, μια απώλεια της τάξης του 10% εξακολουθεί να είναι υπεύθυνη για ορισμένες σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες μπορεί να είναι τόσο μεγάλες όσο οι επιπτώσεις της παραγωγής της ίδιας της μπαταρίας, όσον αφορά τη ζήτηση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι εσωτερικές ανησυχίες για κάθε 1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται στη μπαταρία προκαλούν 0,3 kWh ενεργειακής ζήτησης και εκπομπές 46,7 g CO₂eq (carbon dioxide equivalent), υποθέτοντας ένα μέσο Ευρωπαϊκό μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας για το 2012 (Peters et al., 2017).

Οι βελτιώσεις μικρής αποτελεσματικότητας μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Για παράδειγμα, μόνο μια βελτίωση της αποτελεσματικότητας κατά 2%, ως υποθέσουμε από 90% σε 92%, οδηγεί σε μείωση κατά 7% σε μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών στηλών σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Περιλαμβάνουν πιθανές τοξικές επιπτώσεις των ρύπων στους ανθρώπους, ευτροφισμό των θαλάσσιων και γλυκών υδάτων και επιπτώσεις των όξινων ρύπων στα οικοσυστήματα (Peters et al., 2016). Παρόλο που η σημασία της ταχύτητας περιστροφής της φόρτισης είναι σημαντική, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση μπαταριών οξειδίου του βαναδίου, για παράδειγμα, μπορεί να χρειαστούν επιπρόσθετα υλικά ή εισροές ενέργειας για την αύξηση της αποτελεσματικότητας σε φωτοβολταϊκά συστήματα, όπως η προσθήκη θειικού οξέος για τη μείωση της εσωτερικής αντίστασης (Arbabzadeh et al., 2016).

Όπως συμβαίνει με την κατασκευή, η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των δευτερευουσών συσσωρευτών - είτε με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα είτε με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα - θα επηρεάσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης της μπαταρίας. Αναμένεται ότι αυτές οι επιπτώσεις θα μειωθούν ανά μονάδα παραγωγής στο μέλλον, καθώς

το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται σε συνάρτηση με την εξέλιξη της μπαταρίας για την αποθήκευση ενέργειας.

3.3 Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία των μπαταριών για φωτοβολταϊκά συστήματα

Τύπος μπαταρίας

Οι μπαταρίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων υπόκεινται σε συχνή διαδικασία φόρτισης. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται συνήθως για φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Επίσης οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται για απομακρυσμένες εφαρμογές όπου απαιτείται λειτουργία συστημάτων χωρίς συντήρηση. Για φορητές εφαρμογές χρησιμοποιούνται μπαταρίες νικελίου-καδμίου ή υδριδίου. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών κυμαίνεται από 3 έως 5 χρόνια. Ο χρόνος ζωής εξαρτάται από τους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης, τη θερμοκρασία και άλλες παραμέτρους.

Οι μπαταρίες για φωτοβολταϊκές εφαρμογές πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να πληρούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Χαμηλό κόστος
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Χαμηλή συντήρηση, ισχυρή κατασκευή
- Καλή αξιοπιστία και λιγότερη αυτοεκφόρτιση
- Ευρεία θερμοκρασία λειτουργίας

Χαμηλό κόστος των μπαταριών

Το κόστος μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων, μπορεί να αντιπροσωπεύεται από το αρχικό ή το ετήσιο κόστος. Το αρχικό κόστος είναι το κόστος που έχει καθοριστεί κατά τη φάση σχεδιασμού για την αγορά των μπαταριών αποθήκευσης. Τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας δεν χρειάζεται να περιλαμβάνονται στο αρχικό κόστος. Ωστόσο, οι δαπάνες αυτές πρέπει να περιλαμβάνονται στον υπολογισμό του ετήσιου κόστους. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας επηρεάζει σημαντικά το κόστος του συστήματος. Εάν ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας είναι μικρότερος από 3,5 χρόνια, τότε η μπαταρία είναι το στοιχείο που έχει το υψηλότερο κόστος στο σύστημα.

Αποδοτικότητα μπαταριών

Οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν είναι πάντα ιδανικές για χρήση. Μπορεί να υπάρχουν απώλειες ενέργειας κατά τη φόρτιση, εκφόρτιση και αυτοεκφόρτιση κατά τη διάρκεια του αχρησιμοποίητου χρόνου.

Η αυτοεκφόρτιση εξαρτάται από τις εσωτερικές απώλειες διαρροής της μπαταρίας και τις εξωτερικές απώλειες λόγω της κατανάλωσης ενέργειας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Η αυτοεκφόρτιση μιας

μπαταρίας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Για να μειωθεί ισχύει ότι οι αυτοδύναμες μπαταρίες πρέπει να αποθηκεύονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Συντήρηση μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η λειτουργία χαμηλής συντήρησης της μπαταρίας, είναι προετοιμασμένη για μικρά συστήματα σε αγροτικές περιοχές. Για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια και για την παροχή ενέργειας σε ηλεκτρικά φορτία όπως και όταν χρειάζεται (κατά τη διάρκεια της νύχτας και τις ημέρες μη ηλιοφάνειας το χειμώνα).

Σταθεροποίηση της τάσης

Χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση ηλεκτρικών φορτίων σε σταθερές τάσεις, αντιμετωπίζοντας τις διακυμάνσεις τάσης στα φωτοβολταϊκά συστήματα και προστατεύοντας τα φορτία από ζημιές. Για την παροχή υψηλών ρευμάτων εκκίνησης σε ηλεκτρικά φορτία, όπως κινητήρα ή άλλα επαγωγικά φορτία. Η απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με την αποθήκευση της μπαταρίας εξαρτάται από το σχεδιασμό της μπαταρίας και τις παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος. Εάν η μπαταρία δεν έχει σχεδιαστεί για τις συνθήκες λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος τότε δεν θα λειτουργήσει πρόωρα.

Χωρητικότητα μπαταρίας

Η χωρητικότητα αποθήκευσης της μπαταρίας αναπαρίσταται σε Αμπερώρια. Εάν V είναι η τάση της μπαταρίας τότε η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας μπορεί να είναι $Ah \times V = \text{Watt-hour}$. Συνήθως η χωρητικότητα μιας μπαταρίας καθορίζεται για δεδομένη ποσότητα φόρτισης / εκφόρτισης ή βαθμολογίας C . Η πραγματική χωρητικότητα εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας όπως το φορτίο, η θερμοκρασία κ.λπ. Η τάση του ακροδέκτη κατά την κατάσταση λειτουργίας είναι γνωστή ως ονομαστική τάση ή τάση λειτουργίας. Αυτή η τάση καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Μπορεί να είναι 3V, 6V, 12V, 24V, κ.λπ.

Κύκλος ζωής μπαταρίας

Είναι ουσιαστικά ο αριθμός των πλήρων κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης που μπορεί να λειτουργήσει μια μπαταρία πριν η ονομαστική χωρητικότητα μειωθεί κάτω από το 80% της ονομαστικής αρχικής χωρητικότητάς της. Μετά τον καθορισμένο κύκλο ζωής, η μπαταρία λειτουργεί πλέον με μειωμένη χωρητικότητα.

Ρυθμός φόρτισης / εκφόρτισης ή ταχύτητα C

Η βαθμολογία C είναι η τιμή που προκύπτει από την αναλογία της χωρητικότητας της μπαταρίας με τον αριθμό ωρών για πλήρη φόρτιση ή εκφόρτιση που αντιπροσωπεύεται ως C / X , όπου το X είναι ο χρόνος σε ώρες για πλήρη φόρτιση ή εκφόρτιση. Εάν $X = 10$ ώρες τότε η βαθμολογία C είναι $C / 10$ ή $0,1C$. Το ρεύμα φόρτισης ή εκφόρτισης για βαθμολογία C μπορεί να υπολογιστεί με διαίρεση της

χωρητικότητας Ah από τις συνολικές ώρες φόρτισης και απόρριψης. Για μια μπαταρία χωρητικότητας 50Ah εάν η τιμή C είναι 0,1 C τότε το φορτίο ή το ρεύμα εκφόρτισης θα είναι $50/10 = 5A$.

Αυτοεκφόρτιση

Είναι η απώλεια ηλεκτρικής χωρητικότητας όταν μια μπαταρία δεν χρησιμοποιείται λόγω εσωτερικής ηλεκτροχημικής διαδικασίας με την μπαταρία. Η αυτοεκφόρτιση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οπότε οι μπαταρίες είναι καλύτερο να αποθηκεύονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για να μειώνεται η αυτοεκφόρτιση.

Μπαταρία ανοικτού τύπου

Αυτός είναι ο πλέον συνηθέστερος χρησιμοποιούμενος τύπος μπαταρίας για συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας σήμερα. Οι επίπεδες και σωληνωτές πλάκες είναι οι εκδόσεις των μη ορθών μπαταριών. Σε μπαταρίες ανοικτού τύπου τα ηλεκτρόδια είναι εντελώς βυθισμένα στον ηλεκτρολύτη. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης των συγκεκριμένων μπαταριών σε πλήρη κατάσταση φόρτισης, τα αέρια υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται από το νερό από τη χημική αντίδραση σε αρνητικές και θετικές πλάκες διέρχονται μέσω των αεραγωγών της μπαταρίας. Αυτό απαιτεί την περιοδική προσθήκη νερού στη μπαταρία.

Μπαταρία κλειστού τύπου

Αυτές οι μπαταρίες έχουν στέρεη μορφή ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες μολύβδου κλειστού τύπου χωρίς συντήρηση καλούνται επίσης μπαταρίες ρυθμισμένες με βαλβίδες οξέος (valve regulated lead acid, VRLA) ή με συσσωρευτές ηλεκτρολύτη δέσμευσης οξέος. Οι μπαταρίες κλειστού τύπου έχουν λιγότερα προβλήματα εξουδετέρωσης ηλεκτρολυτών σε σύγκριση με τις μπαταρίες ανοικτού τύπου. Κατά τη διαδικασία φόρτισης, τα αέρια υδρογόνου και οξυγόνου παράγονται από το νερό λόγω χημικών αντιδράσεων στις αρνητικές και θετικές πλάκες. Αυτά τα αέρια επανασυνδυάζονται για να σχηματίσουν νερό, επομένως εξαλείφεται η ανάγκη για προσθήκη νερού.

Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd)

Στη μπαταρία Ni-Cd θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από κάδμιο και το αρνητικό ηλεκτρόδιο με διαχωρισμό υδροξειδίου του Νικελίου από διαχωριστές Nylon βυθισμένους σε ηλεκτρολύτη υδροξειδίου του καλίου τοποθετημένους σε περίβλημα από ανοξείδωτο χάλυβα. Έχει μεγαλύτερο βάθος εκφόρτισης από τις μπαταρίες μολύβδου οξέος.

Μπαταρία νικελίου – υβριδίου μετάλλου (nickel-metal hybride battery - Ni-MH)

Πρόκειται για μια επέκταση των μπαταριών Ni-Cd με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Η άνοδος αποτελείται από μεταλλικό υδρίδιο αντί Ni-Cd. Έχει μικρότερο αποτέλεσμα μνήμης και παρέχει υψηλή ισχύ αιχμής. Είναι ακριβότερη από τις μπαταρίες Ni-Cd και η υπερφόρτιση καταστρέφει εύκολα την μπαταρία. Χαρακτηριστικά των μπαταριών νικελίου-υδριδίου μετάλλου είναι τα εξής:

- Εύκολη μεταφορά

- Κατάλληλες για απομακρυσμένες εφαρμογές
- Απαιτήση συντήρησης.
- Δεν υπάρχει ανάγκη για προσθήκη νερού.

Μπαταρίες με προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου

Η προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου στον ηλεκτρολύτη σχηματίζει ένα θερμό υγρό, το οποίο προστίθεται στη μπαταρία και γίνεται πήγμα μετά από ψύξη. Το υδρογόνο και το οξυγόνο που παράγονται κατά τη διαδικασία φόρτισης μεταφέρονται μεταξύ θετικών και αρνητικών πλακών διαμέσου των ρωγμών και των κενών στον ηλεκτρολύτη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτισης.

Μπαταρίες GAS MAT (absorbed glass mat, AGM)

Στις μπαταρίες AGM τα γυάλινα στρώματα τοποθετούνται μεταξύ των πλακών. Αυτές οι γυάλινες πλάκες απορροφούν τον ηλεκτρολύτη. Τα μόρια οξυγόνου από τη θετική πλάκα κινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη στον υαλοπίνακα και ανασυνδυάζουν το υδρογόνο στην αρνητική πλάκα για να σχηματίσουν νερό. Οι μπαταρίες gel και AGM απαιτούν ελεγχόμενη φόρτιση. Σε αυτές τις μπαταρίες γενικά χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια ασβεστίου για την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας αερίων και απώλειας νερού. Η τάση και το ρεύμα πρέπει να ελέγχονται κάτω από το ρυθμό C / 20.

Μπαταρίες λιθίου

Η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι 3 φορές μεγαλύτερη από αυτή των μπαταριών οξέος Pb. Η τάση κυψέλης είναι 3,5V και λίγα κελιά σε σειρά δίνουν την απαιτούμενη τάση μπαταρίας. Το ηλεκτρόδιο λιθίου αντιδρά με τον ηλεκτρολύτη δημιουργεί ένα φιλμ παθητικοποίησης κατά τη διάρκεια κάθε λειτουργίας εκφόρτισης και φόρτισης. Αυτό αντισταθμίζεται από τη χρήση ηλεκτροδίων μεγάλου πάχους. Λόγω αυτού του γεγονότος το κόστος της μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι υψηλότερο από τις μπαταρίες Ni-Cd. Η περαιτέρω υπερφόρτιση βλάπτει την μπαταρία. Σε αυτήν τη μπαταρία ο ηλεκτρολύτης στερεού πολυμερούς δρα ως ηλεκτρολύτης και διαχωριστής και η αντίδραση ηλεκτροδίου λιθίου με τον ηλεκτρολύτη είναι μικρότερη.

3.4 Αίτια απόσυρσης μπαταριών

Ημερομηνία ολοκλήρωσης του χρόνου χρήσιμης ζωής της μπαταρίας (EoL)

Η εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας στο τέλος του κύκλου χρήσιμης ζωής (EoL) των μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα, μέσα από επαναχρησιμοποίηση ή/και ανακύκλωση, μπορεί να δώσει οφέλη στο περιβάλλον. Η ανακύκλωση των μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα, παρέχει ασφαλή και εγχώρια πηγή δευτερογενών πρώτων υλών και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την εξόρυξη πρώτων υλών, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και οι οικολογικές και τοξικές επιπτώσεις της εξόρυξης. Με την αύξηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών, η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να

συμβάλει στην αποτελεσματικότερη χρήση των φυσικών και τεχνολογικών πόρων σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ανακύκλωση μπαταριών

Εκτός από την αύξηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα, η ανακύκλωση παρέχει άμεσο περιβαλλοντικό όφελος. Για παράδειγμα, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου, LMO, μπορούν να μειωθούν έως και κατά 50% καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής της, εάν χρησιμοποιεί ανακυκλωμένη κάθοδο, αλουμίνιο και χαλκό αντί για εντελώς παρθένα υλικά (Dunn et al., 2012). Επιπλέον, η ανακύκλωση των μπαταριών LCO έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση σχεδόν κατά 100% των εκπομπών SO_x, κυρίως επειδή αποφεύγει το στάδιο της τήξης του παρθένου κοβαλτίου με έντονο SO_x (Dunn et al., 2015).

Παρόλο που δεν κοινοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά στατιστικά στοιχεία, μπορεί να αναφερθεί ότι το επίπεδο ανακύκλωσης των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, μολύβδου-οξέος στην ΕΕ είναι πολύ υψηλό. Διάφοροι παράγοντες εξηγούν αυτό το υψηλό επίπεδο. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι σχετικά απλά προϊόντα, με λίγα υλικά και βασικό σχέδιο που τυποποιείται σε όλη την αγορά. Επιπλέον, ένα καλά εδραιωμένο επαγγελματικό δίκτυο εξασφαλίζει υψηλά επίπεδα συλλογής χρησιμοποιημένων μπαταριών, γεγονός που μειώνει το κόστος και αυξάνει τα οφέλη για τους ανακυκλωτές.

Αντίθετα, η ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου είναι τεχνολογικά μια δύσκολη διαδικασία, για πολλούς λόγους. Περιέχουν μεγάλο αριθμό αναμειγμένων υλικών, γεγονός που καθιστά την ανακύκλωση πιο περίπλοκη από ότι για απλούστερες τεχνολογίες όπως μολύβδου-οξέος και μια μπαταρία για ένα ηλεκτρικό όχημα ή για αποθήκευση ενέργειας είναι πιθανό να περιέχει 100 ή περισσότερα μεμονωμένα κύτταρα.

Η συστοιχία χημικών συνθέσεων για τα ηλεκτρόδια, η οποία ποικίλει ανάλογα με τη λειτουργία, τον κατασκευαστή και την μπαταρία, προσθέτει μια περαιτέρω επιπλοκή, ειδικά καθώς η σύνθεση δεν φέρει ετικέτα για τις πληροφορίες του ανακυκλωτή. Είναι σημαντικό να αναπροσαρμόζονται οι εταιρείες ώστε να προσαρμόζονται στη συνεχώς εξελισσόμενη σύνθεση ηλεκτροδίων, οι οποίες δεν μπορούν ποτέ να τυποποιηθούν (Gaines, 2014, Heelan et al., 2016). Επιπλέον, οι δύο κύριες μέθοδοι ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

Οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν μια επιτακτική ανάγκη, δεδομένου του μεγάλου αριθμού τους. Σε παγκόσμιο επίπεδο, προβλέπεται ότι υπάρχουν περισσότερες από 25 δισεκατομμύρια χρησιμοποιημένες μπαταρίες ιόντων λιθίου μέχρι το 2020, λόγω κυρίως της αύξησης των ηλεκτρικών οχημάτων (Zeng, Li, Singh, 2014). Εντός της ΕΕ, αυτές οι μπαταρίες δεν μπορούν να εναποτεθούν υπόγεια, καθώς εκπέμπουν ουσίες που είναι δυνητικά τοξικές και μπορούν επίσης να εκραγούν. Ομοίως,

δεν μπορούν να αποτεφρωθούν καθώς οι στάχτες παραμένουν τοξικές στη γη (Winslow, Laux, Townend, 2018).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανακύκλωση αποβλήτων μπαταριών ιόντων λιθίου για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, αποσκοπεί στην ανάκτηση του κοβαλτίου, του νικελίου και του χαλκού, καθώς αυτές θεωρούνται ως οι πιο οικονομικά πολύτιμες ουσίες. Τα υλικά ανακτώνται εν μέρει μόνο (Sonoc, Jeswiet, Soo, 2015, Peters, Weil, 2017). Οι περισσότερες άλλες ουσίες που περιέχονται στη μπαταρία για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα δεν ανακτώνται, ακόμη και όταν αυτό είναι τεχνικά εφικτό (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018). Για παράδειγμα, το λίθιο συνήθως καταλήγει στις σκουριές των διαδικασιών ανακύκλωσης που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά. Η φθίνουσα χρήση κοβαλτίου σε μπαταρίες ιόντων λιθίου πρέπει να αναβαθμιστεί, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες για το εάν η ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου θα μπορούσε να αποβεί οικονομικά ελκυστική χωρίς ανάκτηση κοβαλτίου. Με βάση τις προβλέψεις της ζήτησης και τις αυξανόμενες τιμές του λιθίου, αναμένεται ότι η ανακύκλωση λιθίου από απόβλητα μπαταριών θα αρχίσει σύντομα στην ΕΕ.

Επαναχρησιμοποίηση μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι μια σημαντική επιλογή που θα μπορούσε να υποστηρίξει μια κυκλική οικονομία και να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής τους. Οι μπαταρίες από ηλεκτρικά οχήματα που έχουν χάσει την αρχική τους χωρητικότητα έχουν φθάσει δηλαδή το 75-80% της αρχικής τους χωρητικότητας, μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες, λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές, ιδίως όταν αποσυναρμολογούνται και ανακατασκευάζονται η αποθηκεύουν ενέργεια (Richa, Babbitt, Gaustad, 2017).

Μερικά πιλοτικά έργα και μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η δεύτερη χρήση των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι τεχνικά εφικτή για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου και ότι μπορεί να προκύψουν οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Heymans et al., 2014, Bobba et al., 2018). Η έρευνα δείχνει επίσης ότι υποβάλλονται πολλαπλές και σύνθετες φυσικές και χημικές διεργασίες σε αυτές τις νέες χρήσεις, οι οποίες ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας. Επομένως, μία από τις κύριες προκλήσεις για την επαναχρησιμοποίηση των ηλεκτρικών μπαταριών ιόντων λιθίου για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι η σχεδίαση ενός συστήματος διαχείρισης μπαταριών που μπορεί να μετρήσει και να ποσοτικοποιήσει την εξέλιξη της απόδοσης και να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να προβλέψει με ακρίβεια την εναπομένουσα ωφέλιμη ζωή μιας μπαταρίας για μια δεδομένη εφαρμογή (Podias, 2018).

Είναι επίσης δυνατή η αποσυναρμολόγηση και στη συνέχεια η επανεπεξεργασία μιας μπαταρίας για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα στις αρχικές της προδιαγραφές που περιλαμβάνει λεπτομερή επιθεώρηση και καθαρισμό κάθε συστατικού (Ramoní και Zhang, 2013). Μια άλλη επιλογή για τις

χρησιμοποιημένες μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορεί να είναι η εκ νέου ενεργοποίηση των καθόδων, π.χ. μέσω λιθίωσης, μια χημική διαδικασία η οποία αποκαθιστά την περιεκτικότητα λιθίου στην κάθοδο (Ganter et al., 2014).

Σχεδιασμός για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Οι αρχές σχεδιασμού που καθιστούν τις μπαταρίες για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα ασφαλείς και βολικές για αποσυναρμολόγηση, θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αποφυγή των παγίδων που σχετίζονται με την ανακύκλωση τεχνολογιών ιόντων λιθίου και να ενθαρρύνουν την επαναχρησιμοποίησή τους. Υπάρχουν διάφορες πιθανές επιλογές εδώ: σχέδια που επιτρέπουν εύκολο διαχωρισμό των τμημάτων, αναστρέψιμη ένωση (παξιμάδια και μπουλόνια αντί για συγκόλληση), ετικέτες για εξαρτήματα, χρησιμοποιώντας έναν ελάχιστο αριθμό υλικών και εξαρτημάτων, τυποποίηση μορφών και υλικών, επιτρέποντας την εύκολη αφαίρεση της μπαταρίας από τη συσκευή (π.χ. το ηλεκτρικό όχημα) και την ελαχιστοποίηση της χρήσης επικίνδυνων υλικών. Στην ιδανική περίπτωση, οι μπαταρίες ενός δεδομένου τύπου για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφες (Gaines, 2014, Arbabzadeh et al., 2016, Ramoni and Zhang, 2013, Richa, Babbitt and Gaustad, 2017, Ahmadi et al., 2014).

Ο «σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση» απαιτεί σημαντική αλλαγή στον τρόπο κατασκευής των συσσωρευτών, καθώς οι αρχές του πρέπει να ενσωματωθούν στις αρχές της ανάπτυξης μιας νέας τεχνολογίας. Όπως ο Heelan (2016) παρατηρεί σε έρευνά του, προς το παρόν, αντιμετωπίζουμε την ανάκαμψη και την ανακύκλωση ως ένα σκεπτικό, οπότε το στενό πλαίσιο νοοτροπίας και η κατασκευή για αποσυναρμολόγηση θα πρέπει να θεωρούνται ακόμα σε εμβρυακό στάδιο.

Εναλλακτικά υλικά για κατασκευή μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Σε συνδυασμό με την επιδίωξη μεγαλύτερης ενεργειακής πυκνότητας, οι επιστήμονες διερευνούν επίσης τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ασφαλέστερα υλικά καθόδου των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, ακολουθώντας παραδείγματα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών, που απεικονίζουν τη χρήση ορισμένων από αυτά τα υλικά σε σχέση με την αφθονία, την τοξικότητα και την ενεργειακή τους πυκνότητα:

Λιθίου-θείου. Θεωρείται ως μία από τις πιο ελπιδοφόρες μπαταρίες επόμενης γενιάς για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Ενώ εξακολουθούν να περιέχουν λίθιο, αποφεύγουν το νικέλιο και το κοβάλτιο. Επιπλέον, χρησιμοποιούν θείο στην κάθοδο, το οποίο είναι φθινό και υπάρχει διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες. Υπολογίζεται ότι οι τοξικές επιδράσεις μιας μπαταρίας λιθίου-θείου είναι κατά 22% χαμηλότερες από ότι για μια τυποποιημένη μπαταρία ιόντων λιθίου (NMC111), κυρίως επειδή

αποφεύγουν δραστηριότητες εξόρυξης και παραγωγής νικελίου και κοβαλτίου. Οι μπαταρίες λιθίου-θείου έχουν πλέον χαμηλή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας.

Λιθίου-αέρα. Χρησιμοποιεί οξυγόνο, έναν απεριόριστο πόρο, για το θετικό ηλεκτρόδιο. Θεωρητικά θα μπορούσε να φθάσει τις δέκα φορές μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας από ότι στις περισσότερες μπαταρίες που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά, με βάση μόνο τις αξιολογήσεις των ενεργών υλικών τους. Ωστόσο, σε επίπεδο συστήματος, είναι πιθανό να απαιτούν σημαντικά περιφερειακά συστατικά για να αποφευχθεί η αποικοδόμηση του καθαρού οξυγόνου στον αέρα του περιβάλλοντος, όπως οι δεξαμενές οξυγόνου ή οι μονάδες διαχωρισμού του αέρα, οι οποίες στην πράξη, θα μειώσουν δραστικά την ενεργειακή τους πυκνότητα (Gallagher et al., 2014).

Ιόντων νατρίου. Είναι «χωρίς αμφιβολία η πιο ελκυστική εναλλακτική λύση στην τεχνολογία μπαταριών με βάση το λίθιο, από την άποψη της βιωσιμότητας» (Gray, Tarascon, 2017). Δεν περιέχει λίθιο και το νάτριο είναι πόρος διαθέσιμος σε αφθονία που δεν συνδέεται με γεωπολιτικά ζητήματα. Είναι λιγότερο ενεργειακά πυκνό από το ιόν λιθίου, αλλά αναμένεται πρόοδος και έχει καλές δυνατότητες για συστήματα σταθερής αποθήκευσης ενέργειας όπου το βάρος και ο όγκος είναι λιγότερο κρίσιμα, η χημεία θα μπορούσε επίσης να έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις ανάγκες του τομέα των μεταφορών μακροπρόθεσμα, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό σχέδιο SET (strategic energy technology) για τις μπαταρίες. Η σημερινή χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας αυξάνει τη ζήτηση για άλλα εξαρτήματα για την παροχή της ίδιας χωρητικότητας αποθήκευσης. Σε μια μελέτη LCA, εκτιμάται ότι, συνολικά, οι μπαταρίες ιόντων νατρίου έχουν λιγότερες τοξικές επιδράσεις από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι τεχνολογίες δεν είναι ακόμη έτοιμες για εφαρμογή στην αγορά και ότι απαιτούνται σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες, ιδίως για την αντιμετώπιση των ζητημάτων ασφάλειας, της μακροπρόθεσμης ποιότητας και της διάρκειας ζωής τους. Επιπλέον, η αφθονία των υλικών, η ενεργειακή πυκνότητα και η τοξικότητα αποτελούν σαφώς μόνο μέρος της περιβαλλοντικής εικόνας.

Για παράδειγμα, αν και οι μπαταρίες λιθίου-θείου ενδέχεται να είναι λιγότερο τοξικές από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, όταν θεωρούνται ευρύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (π.χ. εκπομπές αερίων θερμοκηπίου), είναι απίθανο να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον συνολικά από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτό οφείλεται εν μέρει στις πιο παραγωγικές διαδικασίες παραγωγής ενέργειας και στους διαλύτες που απαιτούνται για την κατασκευή της καθόδου (Cerdas et al., 2018). Ο καθαρισμός οξυγόνου για τις μπαταρίες λιθίου-αέρα είναι παρόμοιας έντασης ενέργειας (Larcherand, Tarascon, 2015, Gray, Tarascon, 2017).

Επικάλυψη με οξύ

Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος φωτοβολταϊκών συστημάτων υπάρχει μια μικρή διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ νερού και οξέος. Αν η μπαταρία παραμείνει αδρανής για μεγάλο χρονικό διάστημα, το

μείγμα νερού και οξέος μπορεί να διαχωριστεί σε στρώματα με το νερό να ανεβαίνει και το οξύ να βυθίζεται λόγω βαρυμετρικών επιδράσεων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωση των πλακών στην κάτω πλευρά. Η στρωματοποίηση μπορεί να απομακρυνθεί με ανάδευση του ηλεκτρολύτη με αντλίες αέρα ή φυσικά αέρια αερισμού της μπαταρίας σε υψηλές τάσεις.

Θείωση της μπαταρίας

Η θείωση σχηματίζεται κατά την κανονική λειτουργία της μπαταρίας. Κατά τη διαδικασία εκφόρτωσης, σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα θειικού άλατος στις πλάκες της μπαταρίας. Το στρώμα διαλύεται στο οξύ της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Όταν σχηματίζεται ένα σκληρό κρυσταλλικό στρώμα, δεν μπορεί να διαλυθεί κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Όταν οι θειικοί κρύσταλλοι καλύπτουν την επιφάνεια των πλακών, μειώνεται η απόδοση της μπαταρίας διατηρώντας λιγότερο φορτίο. Η θείωση εμφανίζεται εάν η μπαταρία παραμείνει αδρανής για μεγάλο χρονικό διάστημα ή αν η φόρτιση δεν είναι αρκετή για να διαλύσει το θειικό άλας που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης. Η ατελής φόρτιση για μεγάλο χρονικό διάστημα και υψηλή θερμοκρασία οδηγεί επίσης σε θείωση.

Η αποθείωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με εξισορρόπηση η οποία είναι η διαδικασία υπερβολικής φόρτισης της μπαταρίας. Η αποθείωση μπορεί επίσης να γίνει με ρύθμιση παλμών ελέγχοντας απλώς τους παλμούς ή τα εξαρτήματα συχνότητας με συχνότητα που κυμαίνεται από 2 έως 6 MHz.

Διάβρωση μπαταρίας

Η εφαρμογή υψηλού θετικού δυναμικού στο θετικό ηλεκτρόδιο προκαλεί τη διάβρωση του πλέγματος μολύβδου. Πρόκειται για μια μη αναστρέψιμη διαδικασία και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής του πλέγματος που οδηγεί στην αύξηση της αντοχής στο δίκτυο. Ο περαιτέρω σχηματισμός στρώσεων οξειδίου του μολύβδου και θειικών αλάτων μεταξύ του πλέγματος και του ενεργού υλικού αυξάνει την αντίσταση επαφής η οποία έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη πτώση τάσης κατά τη διαδικασία φόρτισης και εκκένωσης. Οι παράγοντες στους οποίους εξαρτάται η διάβρωση είναι το δυναμικό των ηλεκτροδίων, η θερμοκρασία, το κράμα πλέγματος και η ποιότητα του δικτύου. Για τις φωτοβολταϊκές εφαρμογές, οι μπαταρίες που έχουν παχύτερο πλέγμα είναι κατάλληλες για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης διάβρωσης και την αύξηση της διάρκειας ζωής τους.

Τα ηλεκτρόδια υποβάλλονται σε ισχυρά μηχανικά φορτία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας κύκλων λόγω της μετατροπής του δραστικού υλικού σε θειικό μόλυβδο κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Το θειικό μόλυβδο έχει όγκο ανά γραμμομόριο 1,94 φορές μεγαλύτερο από το διοξείδιο του μολύβδου. Λόγω της αλλαγής του όγκου, το δραστικό υλικό χαλαρώνει και διαχωρίζεται από το ηλεκτρόδιο και σχηματίζει λάσπη στη βάση της μπαταρίας. Εάν ο όγκος της λάσπης είναι μεγάλος τότε μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Βραχυκύκλωμα μπαταρίας

Οι σύνδεσμοι πλάκας από τα θετικά ηλεκτρόδια μπορούν επίσης να υποβληθούν σε διάβρωση και να προκαλέσουν απόσπαση μικρών στρώσεων των συνδετήρων, τα οποία όταν πέσουν στα ηλεκτρόδια θα προκαλέσουν βραχυκύκλωμα. Για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα θα πρέπει αυτοί οι διαχωριστές να εκτείνονται προς τα πάνω από τα ηλεκτρόδια. Αυτή η ανάπτυξη μπορεί να επιταχυνθεί με χαμηλή κατάσταση φόρτισης για μεγάλες χρονικές περιόδους που οδηγεί σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξέος. Αυτή η ανάπτυξη επιβλαβών στοιχείων για την μπαταρία, προκαλεί μικροσκοπικό βραχυκύκλωμα που μπορεί να οδηγήσει σε απότομη και πλήρη καταστροφή της μπαταρίας.

Χαμηλή θερμοκρασία μπαταρίας

Η χαμηλή θερμοκρασία δεν θα επιταχύνει οποιαδήποτε μη αναστρέψιμη επίδραση παλαίωσης της μπαταρίας. Ο σχηματισμός πάγου πρέπει να αποφευχθεί. Μόλις σχηματιστεί ο πάγος, τότε είναι δύσκολο να λειτουργήσει η μπαταρία και το περίβλημα του κυττάρου μπορεί να εκραγεί λόγω του αυξημένου όγκου ενώ και το περιβάλλον θα επηρεαστεί από τη διασπορά θειικού οξέος.

Υψηλή θερμοκρασία

Η αύξηση της θερμοκρασίας της μπαταρίας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή η υψηλή φόρτιση/εκφόρτιση αυξάνουν τη διάβρωση, τη θέρμανση, τη δημιουργία αερίων και την αυτοκατανάλωση κ.λπ. Για κάθε αύξηση 10°C, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μειώνεται κατά 50%. Η κανονική θερμοκρασία λειτουργίας για τις μπαταρίες είναι 10°-20°C.

Ρυθμιστής διακλάδωσης

Αυτός ο ρυθμιστής συνδέεται παράλληλα με τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια για να διαλύσει την περίσσεια ενέργειας. Η φόρτιση της μπαταρίας δεν επηρεάζεται από τη βλάβη του ρυθμιστή. Κατά τη διάρκεια περιόδου μη ρύθμισης δεν υπάρχει πτώση τάσης στη μονάδα φόρτισης και συνεπώς η κατανάλωση ενέργειας είναι αμελητέα. Ο ρυθμιστής συνδέεται σε σειρά με τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Κατά τη διάρκεια περιόδου μη ρύθμισης υπάρχει επίσης πτώση τάσης στο ρυθμιστή προκαλώντας κατανάλωση ρεύματος στο κύκλωμα.

Ρυθμιστής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η φόρτιση της μπαταρίας διακόπτεται από ηλεκτρομηχανική συσκευή όταν η τάση φτάσει στο μέγιστο αποδεκτό επίπεδο και επαναρυθμίζεται αυτόματα όταν επιστρέφει στο επίπεδο κατωφλίου.

Αυτόματος διακόπτης

Στην περίπτωση ασθενούς ηλιοφάνειας και υπερφόρτωσης, θα πρέπει να αποκοπεί το φορτίο για να περιοριστεί το βάθος της εκφόρτισης της μπαταρίας. Αυτός ο ρυθμιστής διακόπτει το φορτίο σε ορισμένη στάθμη τάσης κατωφλίου και επαναρυθμίζεται αυτόματα ενώ η μπαταρία φορτίζεται στο απαιτούμενο επίπεδο. Η συνηθισμένη φωτοβολταϊκή μπαταρία είναι ανοικτού τύπου μπαταρίας.

Επικάλυψη με οξύ

Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος υπάρχει μια μικρή διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ νερού και οξέος. Αν η μπαταρία παραμείνει αδρανής για μεγάλο χρονικό διάστημα, το μείγμα νερού και οξέος μπορεί να διαχωριστεί σε στρώματα με το νερό να ανεβαίνει και το οξύ να βυθίζεται λόγω βαρυμετρικών επιδράσεων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωση των πλακών στην κάτω πλευρά. Η στρωματοποίηση μπορεί να απομακρυνθεί με ανάδευση του ηλεκτρολύτη με αντλίες αέρα ή φυσική αέρια αερισμού της μπαταρίας σε υψηλές τάσεις.

Καταλήγοντας, θα λέγαμε πως η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό λόγω της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και των περιβαλλοντικών ρύπων που παράγονται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή είναι διαλείπουσα στη φύση και ως εκ τούτου η συνεχής παροχή ενέργειας για τη φόρτωση της αντιγράφων ασφαλείας της μπαταρίας καθίσταται απαραίτητη.

Για να μειωθεί το κόστος του συστήματος είναι απαραίτητο να υπάρχουν διαθέσιμες οι απαιτούμενες γνώσεις σε θέματα όπως τους διαφορετικούς τύπους μπαταριών, τις απαιτήσεις, τις μεθόδους προστασίας και τα προβλήματα που προκύπτουν από τη γήρανσή τους. Σκοπός σε αυτήν την εργασία είναι η παρουσίαση των βασικών πληροφοριών για τις μπαταρίες για τους σχεδιαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1 Τύποι και ταξινομήσεις μπαταριών

Πολλοί είναι ο τύποι και οι ταξινομήσεις των μπαταριών που κατασκευάζονται σήμερα, κάθε μια από τις οποίες έχει ειδικά χαρακτηριστικά σχεδίασης και απόδοσης που είναι κατάλληλα για συγκεκριμένες εφαρμογές. Κάθε τύπος μπαταρίας ή σχεδίασης, έχει τα δικά της δυνατά και αδύνατα χαρακτηριστικά. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι οι πλέον συνηθισμένες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω της ευρείας διαθεσιμότητάς τους σε πολλά μεγέθη, του χαμηλού κόστους και των καλά κατανοητών χαρακτηριστικών απόδοσης.

Σε περιορισμένες εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται μπαταρίες νικελίου-καδμίου, αλλά το υψηλό αρχικό τους κόστος περιορίζει τη χρήση τους στα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα. Δεν υπάρχει "τέλεια μπαταρία" και στις εργασίες ενός σχεδιαστή φωτοβολταϊκών συστημάτων περιλαμβάνεται η απόφαση για το ποιος τύπος μπαταρίας είναι ο πλέον κατάλληλος για κάθε εφαρμογή. Γενικά, οι ηλεκτρικές μπαταρίες μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, μπαταρίες μιας χρήσης και δευτερεύουσες μπαταρίες.

Μπαταρίες μιας χρήσης

Οι μπαταρίες μιας χρήσης μπορούν να αποθηκεύουν και να παραδίδουν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά δεν μπορούν να φορτιστούν. Τυπικές μπαταρίες άνθρακα-ψευδαργύρου και λιθίου που χρησιμοποιούνται συνήθως σε καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές είναι οι μπαταρίες μιας χρήσης. Οι μπαταρίες μιας χρήσης δεν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα επειδή δεν μπορούν να επαναφορτιστούν.

Δευτερογενείς μπαταρίες

Μια δευτερογενής μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει και να προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια ενώ μπορεί και να επαναφορτιστεί περνώντας ένα ρεύμα διαμέσου αυτής σε αντίθετη κατεύθυνση προς το ρεύμα εκφόρτισης. Πολλοί τύποι μπαταριών μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα, καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σχεδιασμού και απόδοσης. Ενώ υπάρχουν πολλές παραλλαγές στον σχεδιασμό και την απόδοση των κυττάρων μολύβδου-οξέος, συχνά ταξινομούνται ως μία από τις εξής κατηγορίες:

Μπαταρίες εκκίνησης, φωτισμού και ανάφλεξης (starting-lighting-ignition, SLI)

Είναι ένας τύπος μπαταρίας μολύβδου-οξέος που έχει σχεδιαστεί κυρίως για μη ορθή υπηρεσία κύκλου, που χρησιμοποιείται συχνότερα για την εκκίνηση αυτοκινήτων. Αυτές οι μπαταρίες έχουν έναν αριθμό λεπτών θετικών και αρνητικών πλακών ανά κυψέλη, που έχουν σχεδιαστεί για να αυξάνουν τη συνολική ενεργή επιφάνεια της πλάκας. Ο μεγάλος αριθμός πλακών ανά κυψέλη επιτρέπει στην μπαταρία να παράγει υψηλά ρεύματα εκφόρτισης για σύντομα χρονικά διαστήματα. Ενώ δεν έχουν σχεδιαστεί για μεγάλη διάρκεια ζωής κάτω από υπηρεσία κύκλων, οι μπαταρίες SLI μερικές φορές χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων σε χώρες όπου είναι ο μόνος τύπος μπαταρίας που παράγεται τοπικά.

Παρόλο που δεν συνιστάται για τις περισσότερες εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι μπαταρίες SLI μπορούν να παρέχουν μέχρι και δύο χρόνια χρήσιμης υπηρεσίας σε μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα όπου το μέσο ημερήσιο βάθος εκφόρτισης περιορίζεται στο 10-20% και το μέγιστο επιτρεπτό βάθος απόρριψης είναι περιορισμένο έως 40-60%.

Σταθερές μπαταρίες

Οι σταθερές μπαταρίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε μη διακοπτόμενα τροφοδοτικά (uninterruptible power supply, UPS) για την παροχή εφεδρικής ισχύος σε υπολογιστές, τηλεφωνικό εξοπλισμό και άλλα κρίσιμα φορτία ή συσκευές. Οι σταθερές μπαταρίες μπορεί να έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με τις μπαταρίες SLI και κινητήριας δύναμης, αλλά είναι γενικά σχεδιασμένες για περιστασιακή βαθιά εκφόρτιση και περιορισμένη υπηρεσία κύκλου. Υπάρχουν αρκετοί τύποι μπαταριών μολύβδου-οξέος που κατασκευάζονται.

Οι ακόλουθες ενότητες περιγράφουν τους τύπους μπαταριών μολύβδου-οξέος που χρησιμοποιούνται συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Back-up μπαταρίες με αντιμόνιο

Οι μπαταρίες μολύβδου-αντιμονίου είναι ένας τύπος μπαταρίας μολύβδου-οξέος που χρησιμοποιούν αντιμόνιο (Sb) ως πρωτεύον στοιχείο κράματος με μόλυβδο στα πλέγματα πλάκας. Η χρήση κράματος μολύβδου-αντιμονίου σε μπαταρίες σε φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την παροχή μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής από τα καθαρά πλέγματα μολύβδου και την εξαιρετική βαθιά απόρριψη και την υψηλή απόδοση. Τα δίκτυα μολύβδου-αντιμονίου επίσης περιορίζουν την αποβολή του ενεργού υλικού και έχουν καλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου-ασβεστίου όταν λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Τα μειονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου-αντιμονίου περιλαμβάνουν το υψηλό ποσοστό απορρόφησης και, ως αποτέλεσμα της απαραίτητης υπερφόρτισης, απαιτούν συχνές προσθήκες νερού

ανάλογα με τη θερμοκρασία και την ποσότητα της υπερφόρτισης. Οι περισσότερες μπαταρίες μολύβδου-αντιμονίου είναι ανοικτού τύπου, με ανοιχτούς τύπους εξαερισμού και αφαιρούμενα καλύμματα που επιτρέπουν την προσθήκη νερού.

Είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε φωτοβολταϊκά συστήματα λόγω της ικανότητάς τους για βαθύ κύκλο και της δυνατότητας για μεγάλη χρήση, αλλά απαιτούν περιοδικές προσθήκες νερού. Η συχνότητα της προσθήκης νερού μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση καπακιών καταλυτικού ανασυνδυασμού ή σχεδιασμού μπαταριών με πλεονάζουσες δεξαμενές ηλεκτρολυτών. Η υγεία των μπαταριών ανοικτού τύπου μολύβδου-αντιμονίου εξαερισμού μπορεί εύκολα να ελεγχθεί με τη μέτρηση της ειδικής βαρύτητας του ηλεκτρολύτη με ένα υδρόμετρο.

Οι μπαταρίες μολύβδου-αντιμονίου με πλάκες και στιβαρή σχεδίαση γενικά ταξινομούνται ως μπαταρίες κινητήριας δύναμης ή μπαταρίες τύπου έλξης, είναι ευρέως διαθέσιμες και χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλεκτρικά οχήματα όπου απαιτούνται βαθιές επιδόσεις μεγάλης διάρκειας ζωής.

Συσκευές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Οι μπαταρίες μολύβδου-ασβεστίου είναι ένας τύπος μπαταρίας μολύβδου-οξέος που χρησιμοποιεί το ασβέστιο (Ca) ως κύριο στοιχείο κράματος με μόλυβδο στα πλέγματα πλάκας. Όπως στην περίπτωση του μολύβδου-αντιμονίου, η χρήση των κραμάτων ασβεστίου στα πλέγματα έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την παροχή μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής από τα καθαρά πλέγματα μολύβδου, τη χαμηλή ταχύτητα αυτοκατανάλωσης, και τη μειωμένη παραγωγή αερίων που έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη απώλεια νερού και τις χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησης από ότι για τις μπαταρίες μολύβδου-αντιμονίου.

Τα μειονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου-ασβεστίου, περιλαμβάνουν τη χαμηλή αποδοχή φόρτισης μετά από βαθιές εκκενώσεις και τη συντομότερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας εάν εκφορτίζεται επανειλημμένα σε περισσότερο από 25% βάθος.

Μπαταρία από μόλυβδο - ασβέστιο

Κατασκευασμένες κυρίως ως μπαταρίες εκκίνησης αυτοκινήτων χωρίς συντήρηση, η χωρητικότητα αυτών των συσσωρευτών κυμαίνεται συνήθως από 50 έως 120 αμπέρ, σε ονομαστική μονάδα 12 volt. Όπως όλα τα σχέδια μολύβδου-ασβεστίου, έχουν πρόβλημα στην υπερφόρτιση, στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και στους βαθιούς κύκλους απόρριψης. Είναι "χωρίς συντήρηση" υπό την έννοια ότι δεν προσθέτει κανείς νερό, αλλά περιορίζονται από το γεγονός ότι δεν μπορεί να προσθέσει κάποιος νερό που συνήθως περιορίζει την ωφέλιμη ζωή τους. Αυτός ο σχεδιασμός μπαταρίας ενσωματώνει επαρκή ηλεκτρολύτη αποθέματος για να λειτουργεί κατά τη διάρκεια της τυπικής ζωής της χωρίς προσθήκες νερού. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συχνά σε μικρές αυτόνομες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, όπως σε αγροτικές κατοικίες και συστήματα φωτισμού, αλλά πρέπει να φορτίζονται προσεκτικά για να επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση και διάρκεια ζωής. Ενώ είναι χαμηλού

κόστους, είναι πραγματικά σχεδιασμένες για μικρή υπηρεσία κύκλου και γενικά έχουν μικρή διάρκεια ζωής στις περισσότερες εφαρμογές φωτοβολταϊκών.

Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου μπαταρίας που παράγεται ευρέως σε όλο τον κόσμο είναι η Delco 2000. Έχουν σχετικά χαμηλό κόστος και είναι κατάλληλες για απλούς χρήστες που μπορεί να μην διατηρούν σωστά τη στάθμη νερού της μπαταρίας τους.

Μπαταρίες από υδροβόλο-αντιμόνιο

Αυτές είναι συνήθως μπαταρίες, με υγρά με χωρητικότητα άνω των 200 αμπερ. Ένας κοινός σχεδιασμός για αυτόν τον τύπο μπαταρίας χρησιμοποιεί σωληνωτά θετικά ηλεκτρόδια μολύβδου-ασβεστίου και επικολλημένες πλάκες αρνητικού μολύβδου-αντιμόνιου. Αυτό το σχέδιο συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο του μολύβδου-ασβεστίου όσο και του σχεδιασμού μολύβδου-αντιμόνιου, συμπεριλαμβανομένης της καλής απόδοσης σε βαθύ κύκλο, της χαμηλής απώλειας νερού και της μεγάλης διάρκειας ζωής. Η στρωματοποίηση και η σούλφωση μπορούν επίσης να αποτελέσουν πρόβλημα με αυτές τις μπαταρίες και πρέπει να αντιμετωπίζονται ανάλογα.

Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται μερικές φορές σε φωτοβολταϊκά συστήματα με μεγαλύτερη χωρητικότητα και βαθιές απαιτήσεις κύκλου. Μια κοινή υβριδική μπαταρία που χρησιμοποιεί σωληνωτές πλάκες είναι η γραμμή μπαταρίας Exide Solar που κατασκευάζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Μπαταρίες οξειδωτικών ηλεκτρολυτών με ηλεκτρική ενέργεια

Οι συσσωρευτές σε μπαταρίες ηλεκτρολυτών είναι ένας άλλος τύπος μπαταρίας μολύβδου-οξέος και όπως υποδηλώνει το όνομα ο ηλεκτρολύτης ακινητοποιείται με κάποιο τρόπο και η μπαταρία σφραγίζεται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Σε υπερβολική υπερφόρτιση, οι κανονικά σφραγισμένοι αεραγωγοί ανοίγουν υπό πίεση αερίου. Συχνά συσσωρευμένες μπαταρίες ηλεκτρολυτών αναφέρονται ως βαλβίδες ρυθμιζόμενες με βαλβίδες οξέος (VRLA), σημειώνοντας τους μηχανισμούς ρύθμισης της πίεσης στις οπές κυψελών. Ο ηλεκτρολύτης δεν μπορεί να αναπληρωθεί σε αυτά τα σχέδια μπαταριών, επομένως είναι ανεκτικός σε υπερβολική υπερφόρτιση.

Οι συσσωρευτές σε μπαταρίες μολύβδου-ηλεκτρολύτη είναι δημοφιλείς για τις φωτοβολταϊκές εφαρμογές, επειδή είναι ανθεκτικοί στη διαρροή και μεταφέρονται εύκολα και δεν απαιτούν προσθήκες νερού που τους καθιστούν ιδανικούς για απομακρυσμένες εφαρμογές ενώ η συντήρησή τους είναι σπάνια ή μη διαθέσιμη. Ωστόσο, ένας κοινός τρόπος αποτυχίας για αυτές τις μπαταρίες σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η υπερβολική υπερφόρτιση και η απώλεια ηλεκτρολύτη, η οποία επιταχύνεται σε θερμά κλίματα. Για αυτό το λόγο, είναι απαραίτητο τα σημεία του ρυθμιστή φόρτισης της μπαταρίας να ρυθμίζονται σωστά για να αποφευχθεί η υπερφόρτιση. Αυτή η τεχνολογία μπαταριών είναι πολύ ευαίσθητη στις μεθόδους φόρτισης και τις ακραίες τάσεις ρύθμισης και θερμοκρασίας.

Οι βέλτιστες τάσεις ρύθμισης της φόρτισης για τις συσσωρευμένες μπαταρίες ηλεκτρολυτών, ποικίλλουν μεταξύ των σχεδίων, οπότε είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν οι συστάσεις των κατασκευαστών όταν είναι διαθέσιμες. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες, η τάση ρύθμισης της φόρτισης θα πρέπει να περιορίζεται σε όχι περισσότερο από 14,2 V σε 25°C για ονομαστικές μπαταρίες 12 volt.

Ένα πλεονέκτημα των μπαταριών ηλεκτρολυτών είναι ότι είναι λιγότερο επιρρεπείς σε ψύξη σε σύγκριση με τις μπαταρίες ανοικτού τύπου. Συνήθως, τα πλέγματα μολύβδου-ασβεστίου χρησιμοποιούνται σε μπαταρίες ηλεκτρολύτη για την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας αερίων, ωστόσο μερικά σχέδια χρησιμοποιούν υβριδικά πλέγματα μολύβδου-αντιμόνιο/ασβέστιο για να αποκτήσουν μερικά από τα ευνοϊκά πλεονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου-αντιμονίου. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, περίπου το ήμισυ των εγκατεστημένων μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιούν ηλεκτρολύτη ή μπαταρίες κλειστού τύπου. Οι δύο συνηθέστερες μπαταρίες ηλεκτρολύτη είναι ο ηλεκτρολύτης με ζελέ και οι υαλοπίνακες απορρόφησης.

Μπαταρίες με πλέγματα μολύβδου - ασβεστίου

Αρχικά σχεδιασμένες για ηλεκτρονικά όργανα και συσκευές για τους καταναλωτές, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος με ζελατίνα συνήθως χρησιμοποιούν πλέγματα μολύβδου-ασβεστίου. Ο ηλεκτρολύτης «πηκτωματοποιείται» με την προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου στον ηλεκτρολύτη, ο οποίος στη συνέχεια προστίθεται στην μπαταρία σε θερμή υγρή μορφή και ζελατίδια καθώς ψύχεται. Οι μπαταρίες με υγρά χρησιμοποιούν μια εσωτερική ανασυνδυασμένη διαδικασία για να περιορίσουν τη διαφυγή αερίων από την μπαταρία, μειώνοντας την απώλεια νερού.

Οι ρωγμές και τα κενά αναπτύσσονται εντός του ηλεκτρολύτη με πηκτωματοποίηση κατά τους πρώτους λίγους κύκλους, παρέχοντας διαδρομές για μεταφορά αερίου μεταξύ των θετικών και αρνητικών πλακών, διευκολύνοντας την ανασυνδυασμένη μέθοδο. Ορισμένες τέτοιες μπαταρίες κλειστού τύπου έχουν μια μικρή ποσότητα φωσφορικού οξέος που προστίθεται στον ηλεκτρολύτη για να βελτιωθεί η απόδοση του κύκλου εκφόρτισης της μπαταρίας. Το φωσφορικό οξύ είναι παρόμοιο με τους κοινούς εμπορικούς αναστολείς διάβρωσης και συντηρητές μετάλλων και ελαχιστοποιεί την οξειδωση του πλέγματος σε χαμηλές καταστάσεις φορτίου.

Μπαταρίες τύπου AGM

Μια άλλη μπαταρία μολύβδου-οξέος κλειστού τύπου, η μπαταρία τύπου AGM όπου ο ηλεκτρολύτης απορροφάται σε γυάλινα στρώματα τα οποία βρίσκονται ανάμεσα σε στρώματα μεταξύ των πλακών. Οι μπαταρίες AGM είναι επίσης προβληματικές σε υπερφορτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Οι συνιστώμενες μέθοδοι ρύθμισης της φόρτισης που αναφέρονται παραπάνω για τις μπαταρίες με ζελατίνη ισχύουν και για τις AGM.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μπαταριών AGM είναι το φαινόμενο του εσωτερικού ανασυνδυασμού αερίου. Καθώς η μπαταρία μολύβδου-οξέος φόρτισης πλησιάζει την πλήρη κατάσταση φόρτισης, τα

αέρια υδρογόνου και οξυγόνου παράγονται από τις αντιδράσεις στις αρνητικές και θετικές πλάκες, αντίστοιχα. Σε μια υγρή μπαταρία, αυτά τα αέρια διαφεύγουν από την μπαταρία μέσω των αεραγωγών, γεγονός που απαιτεί περιοδικές προσθήκες νερού. Σε μια μπαταρία AGM η μεταφορά ιόντων του υγρού ηλεκτρολύτη που συγκρατούνται στα υαλοπίνακα έχει εξαιρετικές ιδιότητες, τα μόρια οξυγόνου μπορούν να φεύγουν από τη θετική πλάκα και να ανασυνδυάζονται με το βραδέως εξελισσόμενο υδρογόνο στην αρνητική πλάκα και να σχηματίζουν και πάλι νερό. Υπό συνθήκες ελεγχόμενης φόρτισης, οι οπές ανακούφισης πίεσης στις μπαταρίες AGM είναι σχεδιασμένες να παραμένουν κλειστές, αποτρέποντας την έκλυση αερίων και απώλεια νερού.

Μπαταρίες με ασβέστιο

Αυτές περιλαμβάνουν το αντιμόνιο τόσο στις αρνητικές όσο και στις θετικές πλάκες που έχουν αντικατασταθεί από κράμα ασβεστίου. Τα οφέλη είναι προφανή. Η απώλεια ρευστού της μπαταρίας είναι περίπου 80% χαμηλότερη από αυτή των μπαταριών αντιμονίου και η αυτοεκφόρτιση είναι χαμηλότερη, δηλαδή μπορεί να παραμείνει αχρησιμοποίητη για μεγαλύτερες περιόδους με χάνουν πολλά από τα χρή τους. Το μειονέκτημα είναι ότι είναι πιο απαιτητικές κατά τη φόρτιση εάν έχουν υπερφορτιστεί. Οι προσπάθειες για αποφυγή της αεριοποίησης είχαν θετική επίδραση, δηλαδή οι φυσαλίδες κινούνται στο οξύ προκαλώντας την πλήρη ανάμειξή τους κατά τη φόρτιση. Ένα οξύ 1,35 ή περισσότερο στο κάτω μέρος και ίσως 1,17 στην κορυφή όταν γίνεται αναζήτηση για ίσο βάρος 1,28 μπορεί να επηρεάσει στην μπαταρία τη θειώδη και την αυξημένη διάβρωση του πλέγματος παρά την προφανή φόρτιση της μπαταρίας.

4.2 Χημικά στοιχεία της μπαταρίας μολύβδου-οξέος

Όσον αφορά τη συνολική ηλεκτροχημική λειτουργία μιας μπαταρίας ισχύουν τα εξής: Το βασικό κύτταρο μπαταρίας μολύβδου-οξέος αποτελείται από σύνολα θετικών και αρνητικών πλακών, διαιρούμενων με διαχωριστές και βυθισμένο σε θήκη με διάλυμα ηλεκτρολύτη. Σε ένα πλήρως φορτισμένο κύτταρο μολύβδου-οξέος, οι θετικές πλάκες είναι διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2), οι αρνητικές πλάκες είναι μολύβδινο σφουγγάρι (Pb), και ο ηλεκτρολύτης είναι ένα αραιωμένο διάλυμα θειικού οξέος. Όταν μια μπαταρία συνδέεται με ένα ηλεκτρικό φορτίο, το ρεύμα ρέει από την μπαταρία καθώς τα ενεργά υλικά μετατρέπονται σε θειικό μόλυβδο ($PbSO_4$).

4.3 Αντίδραση κυττάρων μολύβδου-οξέος

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης μιας μπαταρίας, οι κατευθύνσεις των αναφερόμενων αντιδράσεων κατευθύνονται από αριστερά προς τα δεξιά. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης μιας μπαταρίας, η κατεύθυνση των αντιδράσεων αντιστρέφεται και οι αντιδράσεις κατευθύνονται από τα δεξιά προς τα αριστερά. Σημειώνεται ότι τα στοιχεία καθώς και το φορτίο είναι ισορροπημένα και στις δύο πλευρές κάθε εξίσωσης.

4.4 Πρότυπα μπαταρίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

Υπάρχουν διαθέσιμα πρότυπα για τη διευκόλυνση της αντικατάστασης κυψελών μπαταρίας (τυποποιημένες διαστάσεις και σχέδια) και την κατανόηση των δεδομένων απόδοσης (τυποποιημένες μέθοδοι δοκιμών) κ.λπ. Οι οργανισμοί τυποποίησης αντιπροσωπεύουν ομάδες εταιρειών και οργανισμών με κοινό ενδιαφέρον για την παραγωγή ή διαθεσιμότητα συγκρίσιμων προϊόντων από πολλαπλούς προμηθευτές ή συγκρίσιμα μέτρα διαφορετικών παραμέτρων.

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) αναπτύσσει και δημοσιεύει πρότυπα για τις μπαταρίες. Αρκετά πρότυπα καλύπτουν τη μπαταρία μολύβδου-οξέος και τις διάφορες εκδόσεις και εφαρμογές της. Τα πιο σχετικά πρότυπα είναι:

1. IEC 95 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος
2. IEC 254 Μπαταρίες έλξης μολύβδου οξέος
3. IEC 896 Σταθερές μπαταρίες μολύβδου-οξέος
4. IEC 1429 Σήμανση δευτερευόντων κυψελών και συσσωρευτών με το σύμβολο ανακύκλωσης
5. Οδηγός IEC 1431 για τη χρήση συστημάτων παρακολούθησης για συσσωρευτές έλξης μολύβδου-οξέος.

Άλλοι οργανισμοί αναπτύσσουν επίσης πρότυπα για ειδικούς σκοπούς ή για γεωγραφικούς σκοπούς σε διάφορες περιοχές. Είναι σημαντικό να διερευνηθεί κάποιος αν ορισμένα πρότυπα θέτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σχετικά με την εγκατάσταση σε μια συγκεκριμένη θέση όπως για παράδειγμα πρότυπα που παράγονται από:

1. Τη CENELEC που παράγει πρότυπα για την Ευρώπη
2. Το ΣΑΕ που παράγει πρότυπα για την (Αμερικανική) αυτοκινητοβιομηχανία
3. Το DIN που παράγει Γερμανικά εθνικά πρότυπα
4. Την JISC που παράγει Ιαπωνικά εθνικά πρότυπα

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα μελλοντικά ηλεκτρικά στοιχεία των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση ενός πράσινου και ασφαλούς ενεργειακού εφοδιασμού για την Ευρώπη. Η ανάπτυξη μπορεί να στηρίξει τις θέσεις εργασίας και την ανάπτυξη σε βασικούς κλάδους της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένης της ίδιας της παραγωγής μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά και των τομέων της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ενέργειας και της ψηφιακής τεχνολογίας. Η επιδίωξη εμπορικά ανταγωνιστικών, υψηλής απόδοσης μπαταριών πρέπει να συμβαδίζει με την προσπάθεια μείωσης των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για την αντιμετώπιση μιας σειράς περιβαλλοντικών πιέσεων που ασκούνται επί του παρόντος από μπαταρίες και ορισμένες πιθανές επιλογές συζητούνται στην παρούσα έκθεση. Περιλαμβάνουν, χρήση μη τοξικών, άφθονων υλικών, αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας, τροφοδοσία στις εγκαταστάσεις κατασκευής των μπαταριών με καθαρές πηγές ενέργειας, επέκταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, βελτίωση της αποτελεσματικότητας των τελών φόρτισης και αναφορά στην ευκολία της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης στο τέλος του κύκλου ζωής, υιοθετώντας τις αρχές του «σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση».

Οι αλλαγές στον σχεδιασμό και την παραγωγή θα μπορούσαν να επιφέρουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, πιο αποτελεσματική χρήση πρώτων υλών, μειωμένη επίδραση ρύπων (από υλικά μπαταριών και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) στην ανθρώπινη υγεία και τη φύση, καθώς και λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας την κατασκευή και τη χρήση των ηλεκτρικών στοιχείων μπαταριών.

Παραμένει προκλητική, αν όχι αδύνατη, η ικανοποίηση του ευρέος φάσματος των επιδόσεων και των περιβαλλοντικών κριτηρίων που αναμένονται από τις μπαταρίες. Η επιλογή μιας μπαταρίας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή θα συνεπάγεται πάντα κάποιο βαθμό συμβιβασμού και, ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να επιλέγεται η πλέον κατάλληλη μπαταρία για τον κάθε συγκεκριμένο σκοπό.

Πολλές συναρπαστικές εξελίξεις συμβαίνουν στη συνεχή εξέλιξη των μπαταριών για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Περιπτώσιολογικές μελέτες παρουσιάζουν τις δυνατότητές τους στην κάλυψη των μελλοντικών αναγκών της κοινωνίας και τη δημιουργία νέων εμπορικών ευκαιριών. Επίσης, επιδεικνύουν τις προκλήσεις της βελτιστοποίησης των επιδόσεων, ενώ εξισορροπούν τις ποικίλες πτυχές της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

Μελλοντικές Επεκτάσεις και Βελτιώσεις

Υπάρχουν διάφορα θέματα τα οποία θα μπορούσε να μελετήσει κάποιος ως συνέχεια της συγκεκριμένης εργασίας στο μέλλον όπως:

- Η χρήση ανάδρασης με μικρόφωνο, μέσω τηλεφώνου.
- Ο χειριστής να ακούει έναν ήχο και με αυτόν τον τρόπο να καταλαβαίνει ποια φορτία είναι ανοιχτά και την κατάσταση της μπαταρίας.
- Να προστεθεί στο σύστημα ένα ακόμα κύκλωμα με το οποίο θα γίνεται φόρτιση του κινητού τηλεφώνου που βρίσκεται μαζί με το σύστημα.
- Να μπορεί ο χειριστής να λειτουργεί τα φορτία και την ημέρα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahmadi, L., Yip, A., Fowler, M., Young, S.B. and Fraser, R.A. (2014) Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 6 pp. 64–74.
2. Aliaga, C., Zhang, H., Dobon, A., Hortal, M. and Beneventi, D. (2015) Influence of printed electronics on the recyclability of paper: A case study for smart envelopes in courier and postal services. *Waste Management*. 38 pp. 41–48.
3. Alotto, P., Guarnieri, M. and Moro, F. (2014) Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 29 pp. 325–335.
4. Arbabzadeh, M., Johnson, J.X., Keoleian, G.A., Rasmussen, P.G. and Tompson, L.T. (2016) Twelve Principles for Green Energy Storage in Grid Applications. *Environmental Science & Technology*. 50 (2), pp. 1046–1055.
5. Avicenne Energy (2017) *Worldwide Rechargeable Battery Market 2016-2025 – 2017 edition*. Available from: http://www.avicenne.com/reports_energy.php.
6. Baumann, M., Peters, J.F., Weil, M. and Grunwald, A. (2017) CO₂ Footprint and Life-Cycle Costs of Electrochemical Energy Storage for Stationary Grid Applications. *Energy Tech.* 5 (7), pp. 1071– 1083.
7. Bobba, S., Mathieux, F., Ardente, F., Blengini, G.A., Cusenza, M.A., Podias, A. and Pfrang, A. (2018) Life Cycle Assessment of repurposed electric vehicle batteries: an adapted method based on modelling energy flows. *Journal of Energy Storage*. 19 pp. 213– 225.
8. Braga, M.H., M Subramaniam, C., Murchison, A.J. and Goodenough, J.B. (2018) Nontraditional, Safe, High Voltage Rechargeable Cells of Long Cycle Life. *Journal of the American Chemical Society*. 140 (20), pp. 6343–6352.
9. Cerdas, F., Titscher, P., Bogner, N., Schmich, R., Winter, M., Kwade, A. and Herrmann, C. (2018) Exploring the Effect of Increased Energy Density on the Environmental Impacts of Traction Batteries: A Comparison of Energy Optimized Lithium-Ion and Lithium-Sulfur Batteries for Mobility Applications. *Energies*. 11 (1), pp. 150.
10. Chen, H., Cong, T.N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. and Ding, Y. (2009) Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*. 19 (3), pp. 291–312.
11. Chen, Z., Kim, G.-T., Chao, D., Loeffler, N., Copley, M., Lin, J., Shen, Z. and Passerini, S. (2017) Toward greener lithium-ion batteries: Aqueous binder-based LiNi_{0.4}Co_{0.2}Mn_{0.4}O₂ cathode material with superior electrochemical performance. *Journal of Power Sources*. 372 pp. 180–187.
12. Davidson, A.J., Binks, S.P. and Gediga, J. (2016) Lead industry life cycle studies: environmental impact and life cycle assessment of lead battery and architectural sheet production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 21 (11), pp. 1624–1636.
13. Deutz, P., Baxter, H., Gibbs, D., Mayes, W.M. and Gomes, H.I. (2017) Resource recovery and remediation of highly alkaline residues: A political- industrial ecology approach to building a circular economy. *Geoforum*. 85 pp. 336–344.
14. Dunn, J.B., Gaines, L., Kelly, J.C., James, C. and Gallagher, K.G. (2015) The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. *Energy & Environmental Science*. 8 (1), pp. 158– 168.

15. Dunn, J.B., Gaines, L., Sullivan, J. and Wang, M.Q. (2012) Impact of Recycling on Cradle-to- Gate Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Automotive Lithium-Ion Batteries. *Environmental Science & Technology*. 46 (22), pp. 12704–12710.
16. Ellingsen, L.A.-W., Hung, C.R. and Strømman, A.H. (2017) Identifying key assumptions and differences in life cycle assessment studies of lithium- ion traction batteries with focus on greenhouse gas emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 55 pp. 82–90.
17. Ellingsen, L.A.-W., Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A.K., Valøen, L.O. and Strømman, A.H. (2014) Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *Journal of Industrial Ecology*. 18 (1), pp. 113–124.
18. EUROBAT, ACEA, JAMA, KAMA and ILA (2014) *Resource Availability of Metals used in Batteries for Automotive Applications*. Available from: <https://www.acea.be/publications/article/resource-availability-of-metals-used-in-batteries-for-automotive-application>.
19. European Commission (2018) *COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Report on Raw Materials for Battery Applications Brussels, 17.5.2018 SWD(2018) 245 nal*. Available from: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/3rd-mobility-pack/swd20180245.pdf>.
20. Gaines, L. (2014) The future of automotive lithiumion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*. 1–2 pp. 2–7.
21. Gallagher, K.G., Goebel, S., Greszler, T., Mathias, M., Oelerich, W., Eroglu, D. and Srinivasan, V. (2014) Quantifying the promise of lithium–air batteries for electric vehicles. *Energy & Environmental Science*. 7 (5), pp. 1555.
22. Ganter, M.J., Landi, B.J., Babbitt, C.W., Anctil, A. and Gaustad, G. (2014) Cathode refunctionalization as a lithium ion battery recycling alternative. *J. of Power Sources*. 256 pp. 274–280.
23. Grey, C.P. and Tarascon, J.M. (2017) Sustainability and in situ monitoring in battery development. *Nature Materials*. 16 (1), pp. 45–56.
24. Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z., Wang, Q., Chen, M., Apelian, D. and Wang, Y. (2016) Current and Prospective Li-Ion Battery Recycling and Recovery Processes *JOM*. doi:10.1007/s11837-016-1994-y.
25. Heymans, C., Walker, S.B., Young, S.B. and Fowler, M. (2014) Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load- levelling. *Energy Policy*. 71 pp. 22–30.
26. Huskinson, B., Marshak, M.P., Suh, C., Er, S., Gerhardt, M.R., Galvin, C.J., Chen, X., Aspuru-Guzik, A., Gordon, R.G. and Aziz, M.J. (2014) *A metal- free organic–inorganic aqueous flow battery*. *Nature*. 505 (7482), pp. 195–198.
27. Jeong, S.S., Böckenfeld, N., Balducci, A., Winter, M. and Passerini, S. (2012) Natural cellulose as binder for lithium battery electrodes. *Journal of Power Sources*. 199 pp. 331–335.
28. Keskinen, M. and Valkama, J. (2009) End-of-Life challenges of printed electronics. In: *2009 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*. May 2009 (no place) IEEE. pp. 1–5.
29. Kunnari, E., Valkama, J., Keskinen, M. and Mansikkamäki, P. (2009) Environmental evaluation of new technology: printed electronics case study. *Journal of Cleaner Production*. 17 (9), pp. 791–799.
30. Larcher, D. and Tarascon, J.-M. (2015) Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemistry*. 7 (1), pp. 19–29.

31. Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P. and Mellander, B.-E. (2017) Toxic uoride gas emissions from lithium-ion battery res. *Scienti c Reports*. 7 (1), pp. 10018.
32. Lastoskie, C.M. and Dai, Q. (2015) Comparative life cycle assessment of laminated and vacuum vapor- deposited thin Im solid-state batteries. *Journal of Cleaner Production*. 91 pp. 158–169. A
33. Lebedeva, N.P. and Boon-Brett, L. (2016) Considerations on the Chemical Toxicity of Contemporary Li-Ion Battery Electrolytes and eir Components. *J of Electrochemical Society*. 163 (6), pp. A821–A830.
34. Leung, P., Shah, A.A., Sanz, L., Flox, C., Morante, J.R., Xu, Q., Mohamed, M.R., Ponce de León, C. and Walsh, F.C. (2017) Recent developments in organic redox ow batteries: A critical review. *Journal of Power Sources*. 360 pp. 243–283.
35. Mancini, M., Nobili, F., Tossici, R., Wohlfahrt- Mehrens, M. and Marassi, R. (2011) High performance, environmentally friendly and low cost anodes for lithium-ion battery based on TiO₂ anatase and water soluble binder carboxymethyl cellulose. *Journal of Power Sources*. 196 (22), pp. 9665–9671.
36. Mathieux, F., Ardente, F., Bobba, S., Nuss, P., Blengini, G., Alves Dias, P., Blagoeva, D., Torres De Matos, C Wittmer, D., Pavel, C., Hamor, T., Saveyn, H., Gawlik, B., Orveillon, G., Huygens, D., *et al.* (2017) *Critical raw materials and the circular economy Background report. JRC Science-for-policy report, EUR 28832 EN.*
37. Motavalli, J. (2015) Technology: A solid future. *Nature*. 526 (7575), pp. S96–S97.
38. Nguyen, T.H., Fraiwan, A. and Choi, S. (2014) Paper- based batteries: A review. *Biosensors and Bioelectronics*. 54 pp. 640–649.
39. Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, A.-M., Ljunggren Söderman, M. and Van Mierlo, J. (2014) Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *e International Journal of Life Cycle Assessment*. 19 (11), pp. 1866–1890.
40. Oliveira, J., Costa, C.M. and Lanceros-Méndez, S. (2018) Printed Batteries. In: *Printed Batteries*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. pp. 1–20.
41. Olivetti, E.A., Ceder, G., Gaustad, G.G. and Fu, X. (2017) Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals. *Joule*. 1 (2), pp. 229–243.
42. Peters, J., Buchholz, D., Passerini, S. and Weil, M. (2016) Life cycle assessment of sodium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*. 9 (5), pp. 1744– 1751.
43. Peters, J.F., Baumann, M., Minke, C., Tomasini Montenegro, C. and Weil, M. (2018) e relevance of the end-of-life stage for the environmental impact of batteries. In: *SETAC. 2018 Rome*.
44. Peters, J.F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J. and Weil, M. (2017) e environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67 pp. 491–506.
45. Peters, J.F., Baumann, M.J. and Weil, M. (2018) Bewertung neuer Batterietechnologien für stationäre Energiespeicherung unter Umweltaspekten. In: *Battery Experts Forum. 2018 Ascha enburg*.
46. Placke, T., Kloepsch, R., Dühnen, S. and Winter, M. (2017) Lithium ion, lithium metal, and alternative rechargeable battery technologies: the odyssey for high energy density. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 21 (7), pp. 1939–1964.

47. Podias, A., Pfrang, A., Di Persio, F., Kriston, A., Bobba, S., Mathieux, F., Messagie, M. and Boon-Brett, L. (2018) Sustainability Assessment of Second Use Applications of Automotive Batteries: Ageing of Li-Ion Battery Cells in Automotive and Grid-Scale Applications. *World Electric Vehicle Journal*. 9 (2), pp. 24.
48. Ramoni, M.O. and Zhang, H.-C. (2013) End-of- life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 15 (6), pp. 881–891.
49. Reddy, T. (2011) Linden's Handbook of Batteries. McGraw-Hill: NewYork.
50. Richa, K., Babbitt, C.W. and Gaustad, G. (2017) Eco-E ciency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*. 21 (3), pp. 715–730.
51. Savage, N. (2015) Electrochemistry: Liquid assets. *Nature*. 526 (7575), pp. S98–S99.
52. Schnell, J., Günther, T., Knoche, T., Vieider, C., Köhler, L., Just, A., Keller, M., Passerini, S. and Reinhart, G. (2018) All-solid-state lithium-ion and lithium metal batteries – paving the way to large- scale production. *Journal of Power Sources*. 382 pp. 160–175.
53. Shari, F., Ghobadian, S., Cavalcanti, F.R. and Hashemi, N. (2015) Paper-based devices for energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52 pp. 1453–1472.
54. e Royal Society (2017) e *Internet of ings: opportunities and threats*. Available from: <https://royalsociety.org/science-events-and-lectures/2017/10/tof-internet-of-things/>.
55. Tsurukawa, N., Prakash, S. and Manhart, A. (2011) Social impacts of artisanal cobalt mining in Katanga, Democratic Republic of Congo. *Öko-Institut eV – Institute for Applied Ecology, Freiburg*.
56. Vaalma, C., Buchholz, D., Weil, M. and Passerini, S. (2018) A cost and resource analysis of sodium-ion batteries. *Nature Reviews Materials*. 3 (4), pp. 18013.
57. Weber, A.Z., Mench, M.M., Meyers, J.P., Ross, P.N., Gostick, J.T. and Liu, Q. (2011) Redox ow batteries: a review. *Journal of Applied Electrochemistry*. 41 (10), pp. 1137–1164.
58. Weil, M., Ziemann, S. and Peters, J. (2018) e Issue of Metal Resources in Li-Ion Batteries for Electric Vehicles. In: Pistoia G., Liaw B. (eds) *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles*. Springer, Cham. pp. 59–74.
59. Winslow, K.M., Laux, S.J. and Townsend, T.G. (2018) A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithiumion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*. 129 pp. 263–277.
60. Xin, S., Yin, Y.-X., Guo, Y.-G. and Wan, L.-J. (2014) A High-Energy Room-Temperature Sodium-Sulfur Battery. *Advanced Materials*. 26 (8), pp. 1261–1265.
61. Zeng, X., Li, J. and Singh, N. (2014) Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 44 (10), pp. 1129–1165.
62. Zheng, F., Kotobuki, M., Song, S., Lai, M.O. and Lu, L. (2018) Review on solid electrolytes for all-solid- state lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 389 pp. 198–213.