



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**« Συσσωρευτές μολύβδου - οξέος, ανάλυση, χρήση και εφαρμογές »**

**« Analysis, use and applications of lead acid batteries. »**

Υπό

**ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΟΡΟΥΝΙΔΗΣ**

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΣΑΓΑΝΑΚΗΣ**

**Πτυχιακή Εργασία**

**Λάρισα, 2024**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για  
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Στυλιανός Βαγρόπουλος

(Επιβλέπων) Επίκ. Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Θεοδόσιος Θεοδοσίου

Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Αλέξιος Λεκίδης

Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνουμε ότι οι κάτωθι υπογράφοντες είναι συγγραφείς της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μας, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνουμε πως κάθε πηγή που χρησιμοποιήσαμε (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μας, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμάς.

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>ΕΠΩΝΥΜΟ</b>         | ΤΟΡΟΥΝΙΔΗΣ |
| <b>ΟΝΟΜΑ</b>           | ΧΡΗΣΤΟΣ    |
| <b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ</b> | 2920127    |
| <b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</b>      | 19/09/2024 |
| <b>ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>        |            |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>ΕΠΩΝΥΜΟ</b>         | ΤΣΑΓΑΝΑΚΗΣ |
| <b>ΟΝΟΜΑ</b>           | ΙΩΑΝΝΗΣ    |
| <b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ</b> | 2920034    |
| <b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</b>      | 19/09/2024 |
| <b>ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>        |            |

© 2024. Τορουνίδης Χρήστος , © 2024. Τσαγανάκης Ιωάννης

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (N.5343/32αρ.202παρ.2).

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μας, Επίκουρο Καθηγητή Βαγρόπουλο Στυλιανό για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μας.

Επίσης, είμαστε ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της πτυχιακής εργασίας μας, Καθηγητές Θεοδόσιο Θεοδοσίου και Αλέξιο Λεκίδη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μας και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Τέλος, είμαστε ευγνώμων στους γονείς μας, Αικατερίνη Ζαχαροπούλου, Αναστασία Λαγουτάρη, Θεόδωρο Τορουνίδη και Θεοφάνη Τσαγανάκη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνουμε αυτή την εργασία σε εκείνους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη εποχή υπάρχει μεγάλη ζήτηση για συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύριος τρόπος αποθήκευσης είναι με τη βοήθεια των συσσωρευτών. Μία από τις πιο φθηνές, αξιόπιστες και ευρέως διαδεδομένες παγκοσμίως τεχνολογίες συσσωρευτών είναι οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζει σε όλα τα χαρακτηριστικά μπαταριών μολύβδου - οξέος, την πλήρη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισής τους, την απόδοσή τους, τη διάρκεια ζωής τους. Επιπλέον, παρέχει πληροφορίες σχετικά με το βάρος και τη συντήρησή τους, την ανακύκλωσή τους και ενδεχόμενους κινδύνους που μπορεί να προκαλέσουν και τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο. Περιγράφονται επίσης λεπτομερώς τα διάφορα είδη των μπαταριών μολύβδου – οξέος, η τεχνολογία και τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Στο τελευταίο μέρος της πτυχιακής γίνεται περιγραφή του τρόπου χρήσης των συσσωρευτών αυτών σε μερικές από τις πολυάριθμες εφαρμογές τους, όπως σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ΑΠΕ, σε συστήματα τροφοδοσίας ρεύματος, σε συμβατικά οχήματα (αμιγώς ηλεκτρικά, υβριδικά και με μηχανές εσωτερικής καύσεως) και σε σύγχρονα σκάφη.

## **ABSTRACT**

In modern times there is a great demand for electricity storage systems. The main method of storage is with the help of accumulators. One of the cheapest, most reliable and widely used battery technologies in the world is lead-acid batteries. This thesis focuses on all the characteristics of lead-acid batteries, their complete process of charging and discharging, their performance and lifetime. In addition, it provides information on their weight and maintenance, their recycling and potential hazards they may cause as well as their environmental impact. It also describes in detail the different types of lead-acid batteries, their technology and construction characteristics, their advantages and disadvantages. The last part of the thesis describes how these batteries are used in some of their numerous applications, such as in renewable energy storage systems, power supply systems, conventional vehicles (pure electric, hybrid and internal combustion engine) and modern boats.

# Περιεχόμενο

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Μπαταρία Μολύβδου - Οξέος .....                                                       | 14 |
| 1.1 Εισαγωγή.....                                                                        | 14 |
| 1.2 Χαρακτηριστικά Συσσωρευτή .....                                                      | 15 |
| 1.2.1 Κατασκευαστικοί Τύποι Συσσωρευτών Μολύβδου - Οξέος .....                           | 17 |
| 1.2.1.1 Τύπος Manchex .....                                                              | 17 |
| 1.2.1.2 Σωληνοειδής Θετική Πλάκα .....                                                   | 18 |
| 1.2.1.3 Επικολημένη Επίπεδη Πλάκα .....                                                  | 18 |
| 1.2.2 Τελειωτικό Στάδιο – Δοκιμές Συσσωρευτών.....                                       | 19 |
| 1.3 Πρώτες Ύλες Συσσωρευτή.....                                                          | 20 |
| 1.4 Χημική Ανάλυση Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος .....                                      | 21 |
| 1.5 Φόρτιση – Εκφόρτιση Συσσωρευτή .....                                                 | 22 |
| 1.5.1 Αναλυτική Περιγραφή Της Αντίδρασης Εκφόρτισης Στις Μπαταρίες Μολύβδου - Οξέος..... | 22 |
| · Αντίδραση στο αρνητικό ηλεκτρόδιο .....                                                | 22 |
| · Αντίδραση στο θετικό ηλεκτρόδιο .....                                                  | 23 |
| · Γενική αντίδραση.....                                                                  | 24 |
| 1.5.2 Αναλυτική Περιγραφή Της Αντίδρασης Φόρτισης Στις Μπαταρίες Μολύβδου - Οξέος .....  | 24 |
| · Αντίδραση στο αρνητικό ηλεκτρόδιο .....                                                | 24 |
| · Αντίδραση στο θετικό ηλεκτρόδιο .....                                                  | 25 |
| · Γενική αντίδραση.....                                                                  | 26 |
| 1.5.3 Μέθοδοι Φόρτισης Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος .....                                  | 26 |
| 1.5.3.1 Σωστή Επαναφόρτιση Μεταξύ Των Εκφορτίσεων.....                                   | 26 |
| 1.5.3.2 Φόρτιση Σταθερού Ρεύματος (Constant – Current Charging).....                     | 27 |
| 1.5.3.3 Φόρτιση Σταθερού Δυναμικού (Constant – Potential Charging) .....                 | 28 |
| 1.5.3.4 Κωνική Φόρτιση (Taper Charging) .....                                            | 29 |
| 1.5.3.5 Παλμική Φόρτιση (Pulse Charging).....                                            | 30 |
| 1.5.3.6 Τρεχούμενη Φόρτιση (Trickle Charging) .....                                      | 31 |
| 1.5.3.7 Φόρτιση Πλεύσης (Float Charging).....                                            | 32 |
| 1.5.3.8 Ταχεία Φόρτιση (Rapid Charging).....                                             | 32 |
| · Επίδραση Ταχείας Φόρτισης Στον Συσσωρευτή .....                                        | 33 |
| 1.5.4 Ξηρή Φόρτιση Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος (Dry Charging) .....                       | 34 |
| 1.5.4.1 Ενεργοποίηση Μπαταριών Ξηρής Φόρτισης .....                                      | 35 |
| 1.5.5 Αυτοεκφόρτιση Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος .....                                     | 35 |
| · Ηλεκτρόλυση του νερού .....                                                            | 35 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| · Αντίδραση μεταξύ ηλεκτροδίων και ηλεκτρολύτη .....                                     | 36 |
| · Προσμίξεις.....                                                                        | 36 |
| 1.6 Διατήρηση Τάσης .....                                                                | 36 |
| 1.6.1 Εσωτερική Αντίσταση Συσσωρευτή.....                                                | 36 |
| 1.6.2 Παράγοντες Που Καθορίζουν Την Εσωτερική Αντίσταση .....                            | 37 |
| · Ωμική αντίσταση.....                                                                   | 38 |
| · Αντίσταση αντίδρασης.....                                                              | 38 |
| · Αντίσταση διάχυσης .....                                                               | 38 |
| 1.7 Αποδοτικότητα – Αποτελεσματικότητα.....                                              | 38 |
| · Ενεργειακή απόδοση μιας μπαταρίας.....                                                 | 38 |
| · Απόδοση φόρτισης μιας μπαταρίας.....                                                   | 39 |
| 1.8 Ανθεκτικότητα – Διάρκεια Ζωής .....                                                  | 41 |
| 1.8.1 Επίδραση Του Σχεδιασμού Της Κυψέλης Στην Ανθεκτικότητα Του Συσσωρευτή.....         | 41 |
| 1.8.2 Επίδραση Των Παραμέτρων Λειτουργίας Στην Ανθεκτικότητα Του Συσσωρευτή .....        | 42 |
| 1.8.3 Επίδραση Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος Στην Ανθεκτικότητα Του Συσσωρευτή .....        | 44 |
| · Ποσοστό ζωής λειτουργείας του συσσωρευτή που έχει εξαντληθεί.....                      | 45 |
| 1.9 Βάρος .....                                                                          | 46 |
| 1.9.1 Ειδικό Βάρος Του Ηλεκτρολύτη.....                                                  | 46 |
| 1.9.1.1 Επίδραση χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργείας στο ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη..... | 46 |
| 1.9.1.2 Σημεία ψύξης ηλεκτρολύτη θετικού οξέος.....                                      | 47 |
| 1.9.2 Μεταφορά Συσσωρευτών Αναλογικά Με Το Βάρος .....                                   | 48 |
| 1.10 Λειτουργία Συσσωρευτή Σε Ακραίες Καιρικές Συνθήκες.....                             | 49 |
| 1.11 Συντήρηση Συσσωρευτή Μολύβδου - Οξέος.....                                          | 49 |
| 1.11.1 Φορτίσεις Εξισσορόπησης Συσσωρευτή.....                                           | 49 |
| 1.11.2 Καθαριότητα.....                                                                  | 52 |
| 1.11.3 Αποφυγή Της Υπερθέρμανσης .....                                                   | 52 |
| 1.11.4 Αποφυγή Της Υπερεκφόρτωσης.....                                                   | 53 |
| 1.11.5 Συμπλήρωση Νερού Στα Στοιχεία Του Συσσωρευτή .....                                | 54 |
| 1.11.6 Έλεγχος Του Ειδικού Βάρους Και Των Επί Μέρους Στοιχείων Του Συσσωρευτή .....      | 56 |
| 1.12 Διάβρωση Συσσωρευτή Μολύβδου - Οξέος.....                                           | 56 |
| 1.12.1 Διάβρωση Του Πλέγματος Του Θετικού Ηλεκτροδίου .....                              | 57 |
| 1.12.2 Πτώση Του Ενεργού Υλικού.....                                                     | 58 |
| 1.12.3 Χημική Διάβρωση .....                                                             | 58 |
| 1.13 Κίνδυνοι Και Ασφάλεια.....                                                          | 59 |
| 1.13.1 Εκρηκτικότητα – Αναφλεξιμότητα.....                                               | 59 |
| 1.13.2 Τοξικότητα .....                                                                  | 61 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.13.3 Χημικά Εγκαύματα.....                                   | 62 |
| 1.13.4 Κίνδυνος Ηλεκτροπληξίας.....                            | 62 |
| 1.14 Ανακύκλωση, Ανανεώσιμοι Πόροι Πρώτων Υλών Συσσωρευτή..... | 63 |
| 1.14.1 Μηχανική Επεξεργασία.....                               | 64 |
| 1.14.2 Ανάκτηση Ανανεώσιμων Υλικών Συσσωρευτών.....            | 66 |
| 1.15 Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος.....                           | 66 |
| 2. Είδη Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος.....                        | 68 |
| 2.1 Πλημμυρισμένοι Συσσωρευτές (Flooded Batteries).....        | 68 |
| 2.1.1 Τεχνολογία.....                                          | 68 |
| 2.1.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή.....                           | 68 |
| 2.1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....                       | 69 |
| 2.2 Συσσωρευτές VRLA.....                                      | 69 |
| 2.2.1 Τεχνολογία.....                                          | 69 |
| · Πρισματικές κυψέλες VRLA.....                                | 71 |
| · Σχέδια κυψελών υψηλής ισχύος.....                            | 71 |
| 2.2.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή.....                           | 73 |
| · Τάση κελιού.....                                             | 75 |
| · Χαρακτηριστικά αποθήκευσης.....                              | 75 |
| 2.2.3 Φόρτιση – Εκφόρτιση.....                                 | 76 |
| · Χαρακτηριστικά εκφόρτισης.....                               | 76 |
| · Επίδραση της θερμοκρασίας και του ρυθμού εκφόρτισης.....     | 77 |
| · Υψηλής ταχύτητας παλμική εκφόρτιση.....                      | 77 |
| · Επίπεδο εκφόρτισης.....                                      | 77 |
| 2.2.4 Μέθοδοι Φόρτισης Μπαταριών Τύπου VRLA.....               | 78 |
| · Ταχεία φόρτιση.....                                          | 78 |
| · Φόρτιση πλημμυρισμένου τύπου.....                            | 78 |
| · Φόρτιση σταθερού ρεύματος.....                               | 79 |
| · Κωνική Φόρτιση.....                                          | 79 |
| · Παράλληλη - σειριακή φόρτιση.....                            | 80 |
| 2.2.5 Πλεονεκτήματα.....                                       | 80 |
| 2.2.6 Μειονεκτήματα.....                                       | 81 |
| 2.2.7 Κίνδυνοι Και Ασφάλεια.....                               | 81 |
| · Αεριοποίηση.....                                             | 81 |
| · Βραχυκύκλωμα.....                                            | 82 |
| · Προσθήκη καταλύτη.....                                       | 82 |
| 2.3 Συσσωρευτές AGM.....                                       | 84 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.1 Τεχνολογία .....                                                          | 84  |
| 2.3.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή .....                                           | 85  |
| 2.4 Συσσωρευτές GEL .....                                                       | 86  |
| 2.4.1 Τεχνολογία .....                                                          | 86  |
| 2.4.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή .....                                           | 87  |
| 2.5 Μπαταρίες Βαθιάς Εκφόρτισης (Deep Cycle) .....                              | 88  |
| · Επίδραση της βαθιάς εκφόρτισης στον συσσωρευτή .....                          | 89  |
| · Μπαταρίες έλξης βαθιάς εκφόρτισης .....                                       | 90  |
| · Μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης υγρού τύπου (Wet deep cycle battery) .....         | 90  |
| 2.6 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors), Υβρίδια Υπερπυκνωτών (Ultra Batteries)..... | 91  |
| · Υπερπυκνωτές .....                                                            | 91  |
| · Υβρίδια υπερπυκνωτών .....                                                    | 94  |
| 3. Χρήση Και Εφαρμογές Συσσωρευτή Μολύβδου - Οξέος .....                        | 95  |
| 3.1 Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας ΑΠΕ .....                                   | 95  |
| 3.1.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Ηλιακή Ενέργεια .....                            | 95  |
| 3.1.1.1 Λειτουργία Μπαταρίας Μολύβδου - Οξέος Σε Ένα Φ/Β Σύστημα .....          | 96  |
| 3.1.1.2 Βασικά Στοιχεία Για Την Επιλογή Συσσωρευτή .....                        | 97  |
| 3.1.1.3 Συντήρηση Συσσωρευτών Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....                    | 100 |
| 3.1.1.4 Κόστος Συσσωρευτών Σε Φ/Β Σύστημα .....                                 | 101 |
| · Κόστος μπαταρίας .....                                                        | 101 |
| · Κόστος εκφόρτισης .....                                                       | 101 |
| · Κόστος αποθηκευμένης ενέργειας .....                                          | 102 |
| 3.1.2 Αιολικοί Σταθμοί.....                                                     | 103 |
| 3.1.2.1 Βασικά Στοιχεία Για Την Επιλογή Συσσωρευτή Σε Αιολικό Σταθμό.....       | 104 |
| 3.1.2.2 Οφέλη Διαδικασίας Αποθήκευσης Ενέργειας.....                            | 104 |
| 3.2 Συστήματα Συνεχούς Ρεύματος Και Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος .....            | 106 |
| 3.2.1 Συστήματα Συνεχούς Ρεύματος (DC).....                                     | 106 |
| 3.2.2 Συστήματα Αδιάλειπτης Τροφοδοσίας Ρεύματος (UPS) .....                    | 108 |
| 3.3 Σε Οχήματα .....                                                            | 110 |
| 3.3.1 Ηλεκτρικά – Υβριδικά Οχήματα.....                                         | 110 |
| · Απαιτήσεις μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων .....                                | 110 |
| · Απαιτήσεις μπαταριών υβριδικών οχημάτων.....                                  | 111 |
| · Αναγεννητική πέδηση .....                                                     | 112 |
| · Ψύξη μπαταριών ηλεκτρικού - υβριδικού οχήματος .....                          | 112 |
| · Μικρό – υβριδικά οχήματα (Start – Stop).....                                  | 113 |
| 3.3.2 Οχήματα Εσωτερικής Καύσης .....                                           | 113 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.2.1 Φόρτιση Μπαταριών Με Εναλλάκτη (Δυναμό) .....                         | 116 |
| 3.3.2.2 Εκκίνηση Οχήματος Εσωτερικής Καύσης Σε Ακραίες Καιρικές Συνθήκες..... | 118 |
| · Δοκιμές για την αξιολόγηση των μπαταριών SLI.....                           | 118 |
| 3.3.3 Σκάφη .....                                                             | 119 |
| 3.3.3.1 Περισσότερες Από Μία Μπαταρία Στα Σκάφη .....                         | 119 |
| · Προβλήματα .....                                                            | 120 |
| · Λύσεις .....                                                                | 121 |
| 4. Συμπεράσματα .....                                                         | 123 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                             | 124 |

## Κατάλογος Εικόνων

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Εικόνα 1: Δομή μίας μπαταρίας μολύβδου - οξέος                                        | 15  |
| Εικόνα 2: Καμπύλη της εκφόρτισης ενός συσσωρευτή μολύβδου - οξέος                     | 24  |
| Εικόνα 3: Χημικές αντιδράσεις φόρτισης – εκφόρτισης                                   | 26  |
| Εικόνα 4: Αυτοεκφόρτιση μπαταρίας με διαρροή νερού                                    | 36  |
| Εικόνα 5: Αναλογία χωρητικότητας της μπαταρίας με τον ρυθμό εκφόρτισης                | 42  |
| Εικόνα 6: Σχέση της θερμοκρασίας της μπαταρίας με το ρυθμό εκφόρτισης της             | 44  |
| Εικόνα 7: : Σχέση της θερμοκρασίας της μπαταρίας με το ρυθμό εκφόρτισης της           | 47  |
| Εικόνα 8: Συστοιχία μπαταριών μολύβδου οξέος μεγάλης κλίμακας και βάρους              | 48  |
| Εικόνα 9: Συμπλήρωση νερού σε ένα συσσωρευτή υγρού ηλεκτρολύτη                        | 54  |
| Εικόνα 10: Σύστημα συμπλήρωσης απιονισμένου νερού στον ηλεκτρολύτη                    | 56  |
| Εικόνα 11: Αιτία πυρκαγιάς από μία μπαταρία μολύβδου - οξέος                          | 59  |
| Εικόνα 12: Στάδια της μηχανικής επεξεργασίας μπαταριών                                | 64  |
| Εικόνα 13: Σύνθλιψη των κελιών μίας μπαταρίας με τη βοήθεια του κονιορτοποιητή        | 65  |
| Εικόνα 14: Δομή ενός συσσωρευτή τύπου VRLA                                            | 68  |
| Εικόνα 15: Σωστή τοποθέτηση ενός συσσωρευτή τύπου VRLA                                | 70  |
| Εικόνα 16: Βασικά συστατικά ενός κυλινδρικού συσσωρευτή τύπου VRLA                    | 73  |
| Εικόνα 17: Πρισματική μπαταρία μολύβδου οξέος μονομπλόκ                               | 74  |
| Εικόνα 18: Μπαταρία VRLA κυλινδρικού τύπου                                            | 75  |
| Εικόνα 19: Σύστημα καταλύτη ανασυνδυασμού του νερού                                   | 83  |
| Εικόνα 20: Διάγραμμα διαδικασίας της κατασκευής ενός συσσωρευτή AGM                   | 84  |
| Εικόνα 21: Πλάκες μπαταριών μολύβδου - οξέος βαθιάς εκφόρτισης                        | 88  |
| Εικόνα 22: Καμπύλη φόρτισης υπερπυκνωτή                                               | 93  |
| Εικόνα 23: Τεχνολογία Μπαταρίας Ultrabattery                                          | 94  |
| Εικόνα 24: Υποσυστήματα ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος                       | 96  |
| Εικόνα 25: Πίνακας ποσοστού ετήσιας αιολικής παραγωγής στην Ευρώπη                    | 103 |
| Εικόνα 26: Διαδρομή από κυψέλη ενέργειας σε ένα σύστημα αποθήκευσης συνεχούς ρεύματος | 107 |
| Εικόνα 27: Βασικά μέρη ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου                                    | 110 |
| Εικόνα 28: Συστοιχία μπαταριών ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου                            | 111 |
| Εικόνα 29: Δομή ενός εναλλάκτη αυτοκινήτου                                            | 116 |

# 1. Μπαταρία Μολύβδου - Οξέος

## 1.1 Εισαγωγή

Ο συσσωρευτής μολύβδου - οξέος εφευρέθηκε στην Γαλλία το 1859-1860 από τον φυσικό Gaston Planté στο Παρίσι. Η παραγωγή ξεκίνησε στην Ιαπωνία στα τέλη του 1897 από τον επιχειρηματία Genzo Shimadzu II [1].

Οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος φημίζονται για τη συγκριτικά υψηλή τάση, περίπου 2 V ανά κελί την ικανότητα τους να μας παρέχουν ρεύμα που μπορεί να φτάσει μέχρι και εκατοντάδες αμπέρ (A). Επιπλέον, ο μολύβδος είναι άφθονος ως πόρος και επομένως φθηνός, με αποτέλεσμα η μπαταρία μολύβδου - οξέος να εξακολουθεί να είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας σήμερα.

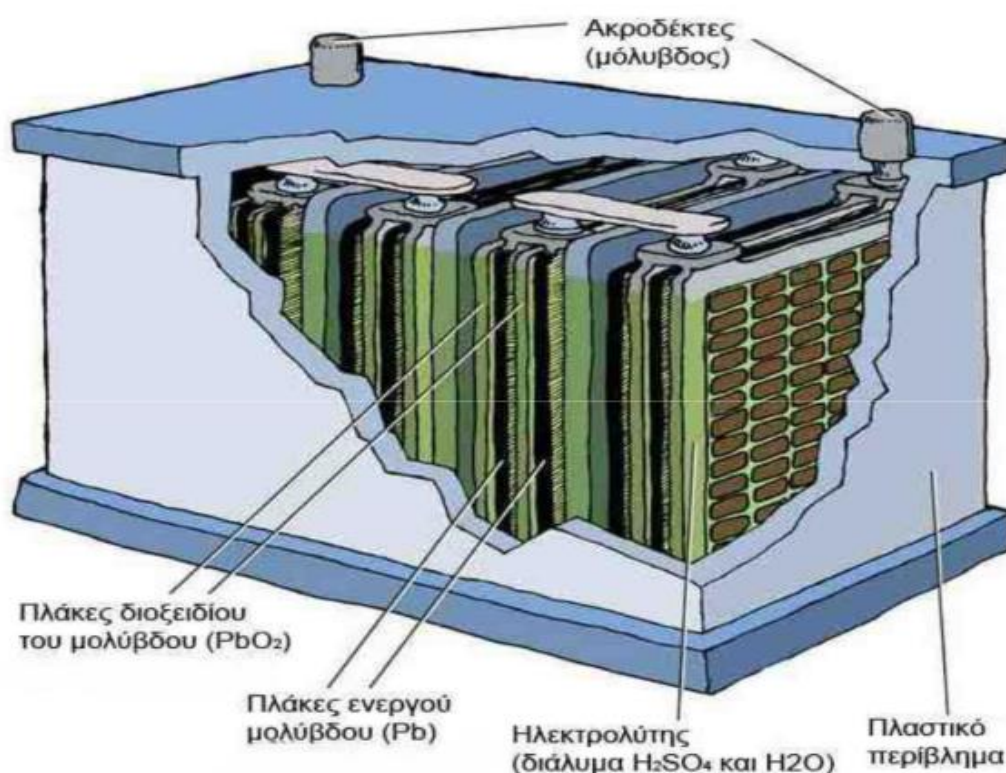
Παρόλο που οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, είναι πιθανό να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η ενεργειακή πυκνότητα δεν αποτελεί πρωταρχικό κριτήριο.

Οι ετήσιες πωλήσεις επαναφορτιζόμενων μπαταριών μολύβδου - οξέος παγκοσμίως, το 2008 ανέρχόταν στα 36 δισεκατομμύρια δολάρια και το 2013 ανήλθε στα 51 δισεκατομμύρια δολάρια ετήσιων πωλήσεων [2],[3].

## 1.2 Χαρακτηριστικά Συσσωρευτή

Η ευρεία χρήση των συσσωρευτών μολύβδου - οξέος, οι οποίοι ποικίλουν σε σχεδιασμό, είδη κατασκευής και μεγέθη, οφείλεται στην χαμηλή τιμή αλλά και την απλότητα κατασκευής που έχουν σε γενικές γραμμές. Μία μπαταρία μολύβδου - οξέος αποτελεί την πιο οικονομική επιλογή για οποιαδήποτε εφαρμογή, ενώ παράλληλα μας παρέχει αξιόπιστη απόδοση και έχει καλό προσδόκιμο ζωής.

Η μπαταρία μολύβδου - οξέος είναι η πιο διαδεδομένη στην αγορά συσσωρευτών του κόσμου. Η ζήτηση έχει συνεχίσει να ανεβαίνει ραγδαία λόγω των νέων χρήσεων και απαιτήσεων αποθήκευσης ενέργειας, όπως παραδείγματος χάρη στα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα, και τις αποθήκες ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές πέρα από τις χρήσεις που είχε αυτός ο συσσωρευτής ήδη, όπως την εκκίνηση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον φωτισμό ενός αυτοκινήτου [4].



Εικόνα 1: Δομή μίας μπαταρίας μολύβδου - οξέος

[4].

Είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κατά την πραγματοποίηση του σχεδιασμού και της κατασκευής των συσσωρευτών:

- A) Οι συνδέσεις μεταξύ των κυψελών
- B) Η ενσωμάτωση των κυψελών
- Γ) Η διαμόρφωση του περιβλήματος και των υλικών
- Δ) Οι ακροδέκτες και τα υλικά επαφής

Όταν ολοκληρωθεί η μηχανική τους κατασκευή, πρέπει να σημειωθούν ορισμένες πληροφορίες κατασκευής τους, όπως η χημεία, το ρεύμα φόρτισης, η μέγιστη τάση και άλλα. Έτσι, όλες αυτές οι πληροφορίες θα αναγραφούν επάνω στην μπαταρία μετά την συναρμολόγησή τους.

Οι πληροφορίες που μπορούν να γίνουν διαθέσιμες με τη βοήθεια του υποδοχέα (ή αλλιώς θήκη μπαταρίας, δηλαδή ένα εξάρτημα σχεδιασμένο για να ασφαλίζει και να συνδέει την μπαταρία με το σύστημα που τροφοδοτεί. Είναι το ηλεκτρόδιο που αποτελεί τον θετικό ή αρνητικό πόλο της μπαταρίας) και του φορτιστή, περιλαμβάνουν:

- A) Οδηγίες φόρτισης για την τάση, το ρεύμα και τη θερμοκρασία
- B) Χωρητικότητα σχεδιασμού της μπαταρίας
- Γ) Υπολειπόμενος χρόνος για την πλήρη φόρτιση
- Δ) Υπολειπόμενος χρόνος λειτουργίας
- E) Τάση λειτουργίας, ρεύμα, ισχύς και θερμοκρασία
- ΣΤ) Αριθμός κύκλων μπαταρίας
- Z) Όνομα κατασκευαστή, μοντέλο, σειριακός αριθμός και ημερομηνία κατασκευής [4].

### 1.2.1 Κατασκευαστικοί Τύποι Συσσωρευτών Μολύβδου - Οξέος

Οι τύποι συσσωρευτών μολύβδου - οξέος που είναι πλέον ευρέως διαθέσιμοι στο εμπόριο, μπορούν να ταξινομηθούν κατασκευαστικά, με βάση τον τύπο της θετικής τους πλάκας, και είναι οι εξής:

A) Τύπου Manchex

B) Σωληνοειδής θετική πλάκα (Tubular Positive Plate)

Γ) Επικολημένη επίπεδη πλάκα (Pasted Flat Plate) [5].

#### 1.2.1.1 Τύπος Manchex

Το πλέγμα κατασκευάζεται με κράμα μολύβδου χαμηλού αντιμονίου. Ο ακροδέκτης ή αλλιώς η ροδέλα είναι μια οδοντωτή μολύβδινη συστοιχία κελιών η οποία είναι τυλιγμένη σε σπειροειδή μορφή γύρω από τις οπές του πλέγματος, όπου συνδέονται τα καλώδια για να μεταφέρουν το ρεύμα από και προς τη μπαταρία. Η επιφάνεια των κουμπιών οξειδώνεται σε  $PbO_2$  για το θετικό ενεργό υλικό.

Το πλέγμα είναι αρκετά βαρύ, επομένως παρέχει μεγάλη διάρκεια ζωής, ιδίως σε λειτουργία αναμονής με μέτρια κυκλικότητα. Η διάρκεια ζωής αναμένεται περίπου στα 25 έτη απλής λειτουργίας [5].

### 1.2.1.2 Σωληνοειδής Θετική Πλάκα

Το πλέγμα της σωληνοειδούς θετικής πλάκας, το οποίο είναι το στοιχείο που οδηγεί το ρεύμα, είναι μια σειρά από στοιχεία μολύβδου χαμηλού αντιμονίου. Χρησιμοποιείται πορώδες πλαστικό ή γυάλινο υλικό για τη σωλήνωση που βρίσκεται στο κέντρο κάθε οπής του πλέγματος. Στη συνέχεια προστίθεται το ενεργό υλικό και σφραγίζονται τα άκρα.

Αυτός ο τύπος μπαταρίας χρησιμοποιείται γενικά σε εφαρμογές βαρέων οχημάτων όπως ανυψωτικά οχήματα, όπου υπάρχουν απαιτήσεις βαθιάς εκφόρτισης (deep cycling) με μέσο βάθος εκφόρτισης 70 έως 80 τοις εκατό της ονομαστικής χωρητικότητας 6 ωρών και επαναφόρτιση εντός 8 ωρών. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας αναμένεται περίπου στα έξι χρόνια για τις αντίστοιχες εφαρμογές που απαιτεί εκφόρτιση βάθους 80% κάθε εργάσιμη ημέρα 250 ημέρες το χρόνο ή 1500 κύκλους. Έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά υψηλής φόρτισης, καλή διάρκεια ζωής σε κατάσταση αναμονής και είναι ένας πολύ ευέλικτος τύπος κελιού, δηλαδή είναι σχεδιασμένο να παρέχει σταθερή απόδοση σε διάφορες συνθήκες.

Οι σωληνοειδείς μπαταρίες κατασκευάζονται τις περισσότερες φορές σε ένα συγκεκριμένο πάχος πλάκας. Διαφοροποιήσεις στη χωρητικότητα μπορούν να επιτευχθούν με την αύξηση του αριθμού των σωλήνων ανά πλάκα, ή και με τη μεταβολή του ύψους του σωλήνα ή της πλάκας [5].

### 1.2.1.3 Επικολλημένη Επίπεδη Πλάκα

Το δίκτυο του πλέγματος κατασκευάζεται με καθαρό μόλυβδο, μόλυβδο - ασβέστιο ή μόλυβδο - αντιμόνιο ανάλογα με το μέγεθος της πλάκας και την επιθυμητή εφαρμογή. Το ενεργό υλικό εφαρμόζεται ως υγρή πάστα και στη συνέχεια η πλάκα σκληραίνεται, ξηραίνεται και διαμορφώνεται ανάλογα με τις προτιμήσεις μας. Κατά τη χρήση σε επαναλαμβανόμενη λειτουργία με βαθιάς εκφόρτισης (deep cycling), η θετική πλάκα περικλείεται από γυάλινα στρώματα και από ένα διάτρητο πλαστικό συλλέκτη, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της απώλειας θετικού ενεργού υλικού και για την επίτευξη μεγάλης διάρκειας ζωής. Το περιτύλιγμα αυτό εκτελεί την ίδια λειτουργία με τον σωλήνα συγκράτησης των σωληνωτών θετικών πλακών [5].

Κατά τα τελευταία στάδια της φόρτισης, σχηματίζεται αέριο οξυγόνο στην επιφάνεια των θετικών πλακών. Η ανάδευση των φυσαλίδων αερίου που ρέουν από την επιφάνεια του

εκτεθειμένου πλέγματος και του ενεργού υλικού τείνει να διαβρώσει το ενεργό υλικό το οποίο θα αποβληθεί μέσω του γυάλινου συλλέκτη και εγκαθίσταται στο χώρο ιζημάτων στον πάτο κάθε κυψέλης.

Σε ελαφρύτερο κύκλο εκφόρτισης ή σε λειτουργία πλεύσης (float service), η απώλεια ενεργού υλικού δεν αποτελεί την κύρια αιτία αστοχίας της μπαταρίας. Σε αυτές τις εφαρμογές, ο γυάλινος συλλέκτης είναι ελαφρύτερος, λεπτότερος και το διάτρητο εξωτερικό περιτύλιγμα δεν χρησιμοποιείται. Και τα δύο σχέδια εξαρτώνται από ένα ραβδωτό μικροπορώδες διαχωριστικό δίπλα στην αρνητική πλάκα για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής [5].

### 1.2.2 Τελειωτικό Στάδιο – Δοκιμές Συσσωρευτών

Έπειτα από την κατασκευή, πραγματοποιούνται ηλεκτρικές δοκιμές που είναι χρήσιμες για τον έλεγχο της απόδοσης των μπαταριών πριν από την πώλησή τους και επίσης πριν από τη χρήση τους. Ο τρόπος της δοκιμής που πραγματοποιείται, είναι εξαρτώμενη από την αναμενόμενη χρήση της εκάστοτε μπαταρίας. Παραδείγματος χάρη, οι συσσωρευτές των αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης (SLI) δοκιμάζονται με σύντομες εκφορτίσεις σε πολύ υψηλά ρεύματα (200 έως 1500 A) για να προσομοιωθεί η απόδοση κατά την εκκίνηση του κινητήρα.

Οι συστοιχίες που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής εκφορτίζονται με ρυθμό που καθορίζει ο χρήστης, τις περισσότερες φορές ανάμεσα από τη 1 με 10 ώρες για κατάσταση αναμονής και 4 έως 8 ώρες για έλξη. Η εκφόρτιση για τις μπαταρίες SLI γίνεται συνήθως με διάχυση μέσω μιας σταθερής αντίστασης χαμηλής τιμής ή με μια σύντομη ηλεκτρική εκφόρτιση υψηλού ρυθμού το οποίο οδηγείται από ένα τροφοδοτικό. Οι μπαταρίες βαρέως τύπου εκφορτίζονται μέσω μιας αντίστασης, ενός αντιστάτη φορτίου ή ενός αντιστροφέα.

Τα τελευταία στάδια κατασκευής περιλαμβάνουν τη βελτίωση της εμφάνισης της μπαταρίας με πλύσιμο, στέγνωμα, βάψιμο, τοποθέτηση οπών εξαερισμού και επιθυμητή σήμανση του κάθε κατασκευαστή. Οι μπαταρίες με ελαστικό περίβλημα συνήθως βάφονται αντίθετα με τις μπαταρίες με πλαστικό περίβλημα, οι οποίες δεν βάφονται. Διατίθεται μεγάλη ποικιλία πινακίδων και ετικετών που μπορούν να περιγράψουν τη μπαταρία, την απόδοσή της και τη χρήση της. Σε πολλές χώρες επιβάλλεται να προειδοποιείται ο χρήστης για την επικίνδυνη

φύση της μπαταρίας, ιδίως ότι ο ηλεκτρολύτης είναι διαβρωτικός και ότι σχηματίζονται αέρια που μπορεί να είναι εκρηκτικά.

Οι μπαταρίες έλξης έχουν φυσικό μέγεθος ώστε να ταιριάζουν σε διαφόρων ειδών περονοφόρα - ανυψωτικά οχήματα και έτσι η τελική συναρμολόγηση για μια μπαταρία έλξης συνίσταται στην τοποθέτηση προσχηματισμένων και προδοκιμασμένων κυψελών σε ένα ανθεκτικό μεταλλικό περίβλημα, κατά την διάρκεια συνδέσεων μεταξύ των κελιών και των καλωδίων, όπως επίσης μερικές φορές στην προσθήκη πίσσας ή πλαστικού υλικού (ουρεθάνης) εντός των κενών μεταξύ των καλυμμάτων των κυψελών.

### 1.3 Πρώτες Ύλες Συσσωρευτή

Το κράμα που χρησιμοποιείται στο πλέγμα της θετικής πλάκας ποικίλλει και έτσι δημιουργούνται οι ακόλουθες υποκατηγορίες:

A) Μόλυβδος - Αντιμόνιο

B) Μόλυβδος - Ασβέστιο

Γ) Καθαρός Μόλυβδος

Δ) Άλλα κράματα, όπως Κασσίτερος, Κάδμιο και σπάνιες γαίες

Οι κυψέλες μολύβδου - αντιμονίου συνιστώνται για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, με εκφόρτιση σε βάθος μεγαλύτερο από 20% της ονομαστικής τους χωρητικότητας. Οι κυψέλες μολύβδου - ασβεστίου και καθαρού μολύβδου συνιστώνται για λειτουργία πλεύσης και ρηχή κυκλική λειτουργία όπου το μέσο βάθος εκφόρτισης είναι μικρότερο από 20%. Οι τύποι κυψελών από κράμα καθαρού μολύβδου χρησιμοποιούνται όταν η εφαρμογή απαιτεί πολύ χαμηλές απώλειες φορτισμένης κατάστασης και αναμένονται περιστασιακές βαθιές ανακυκλώσεις. Οι αρνητικές πλάκες σε όλες τις κυψέλες μολύβδου - οξέος είναι τύπου επίπεδης επικόλλησης [6].

Ο μολύβδος χρησιμοποιείται για την παραγωγή κραμάτων (έτσι ώστε να μετατραπεί έπειτα σε πλέγματα) και για την παραγωγή οξειδίων του μολύβδου (με σκοπό την μεταγενέστερη μετατροπή αρχικά σε πάστα, και τελικά στο θετικό ενεργό υλικό διοξειδίου του μολύβδου και στο αρνητικό ενεργό υλικό σπογγώδους μορφής).

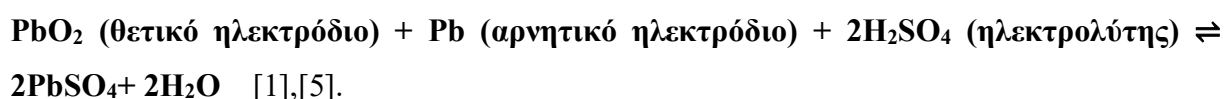
Ο καθαρός μόλυβδος σε γενικές μορφές, είναι πολύ μαλακός για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό πλέγματος. Εξαιρέσεις που χρησιμοποιούν πλάκες καθαρού μολύβδου είναι ορισμένες ειδικές, πολύ παχιές πλάκες Planté ή μπαταρίες με επικόλληση πλάκας, συγκεκριμένες μπαταρίες με σπειροειδή περιέλιξη, μερικές κυψέλες και μπαταρίες με ρύθμιση βαλβίδας και κυλινδρικές κυψέλες [7].

Ο μόλυβδος έτεινε να σκληραίνει στα παλαιότερα σχέδια μπαταριών, με την προσθήκη μετάλλου αντιμονίου. Η ποσότητα του αντιμονίου κυμαινόταν μεταξύ 5 και 12% αναλογίας βάρους, και σχετιζόταν με τη διαθεσιμότητα και το κόστος του αντιμονίου [8],[9],[10].

Τα στοιχεία όπως το θείο, ο χαλκός, το αρσενικό, το σελήνιο, το τελούριο και διάφοροι συνδυασμοί αυτών των στοιχείων δρουν ως βελτιωτικά των κόκκων για τη μείωση του μεγέθους των στοιχείων του μολύβδου [8].

## 1.4 Χημική Ανάλυση Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούν θετικό ηλεκτρόδιο διοξειδίου του μολύβδου ( $\text{PbO}_2$ ), αρνητικό ηλεκτρόδιο μολύβδου ( $\text{Pb}$ ) και ηλεκτρολύτη αραιού θεικού οξέος ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (με ειδικό βάρος περίπου 1,30 και συγκέντρωση περίπου 40%). Όταν η μπαταρία εκφορτίζεται, το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο μετατρέπονται σε θεικό μόλυβδο ( $\text{PbSO}_4$ ) και το θεικό οξύ μετατρέπεται σε νερό. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, πραγματοποιείται η αντίθετη αντίδραση [5].



Όταν μια μπαταρία μολύβδου - οξέος εκφορτίζεται, η τάση της μπαταρίας μειώνεται σταδιακά επειδή το θεικό οξύ στον ηλεκτρολύτη της μειώνεται. Θεωρητικά, η συγκέντρωση του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  είναι περίπου 39,7% (το ειδικό βάρος είναι περίπου 1,30) όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη στα 2,14 V. Η συγκέντρωση θα μειωθεί σε περίπου 6,6% (το ειδικό βάρος είναι περίπου 1,05) όταν η μπαταρία εκφορτιστεί πλήρως στα 1,9 V. Σε μια μπαταρία, οι τιμές αυτές ενδέχεται να αποκλίνουν από τις θεωρητικές τιμές ανάλογα με τις συνθήκες χρήσης [1].

## 1.5 Φόρτιση – Εκφόρτιση Συσσωρευτή

Κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης, τα στερεά υλικά που εισέρχονται στο διάλυμα σε μορφή ιόντων καθίστανται ξανά ως μία ξεχωριστή στερεή ένωση, έτσι ανακατανέμεται το ενεργό υλικό. Η επαναδιάταξη αυτή κάνει το ενεργό υλικό να σχηματίζει μια κρυσταλλική δομή με λιγότερες ατέλειες, πράγμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μικρότερη χημική και ηλεκτροχημική αλληλεπίδραση. Επομένως, η μπαταρία μολύβδου - οξέος είναι χημικά αναστρέψιμη. Αυτή η υποβάθμιση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη σωστή φόρτιση και οι μπαταρίες που καθορίζονται ως ‘νεκρές’ μπορούν τις περισσότερες φορές να αποκατασταθούν με μια μακρά και αργή επαναφόρτιση (3 έως 4 ημέρες σε 2 έως 3 Α για τις μπαταρίες SLI) [2].

Μια μπαταρία μολύβδου - οξέος μπορεί να φορτιστεί με οποιονδήποτε ρυθμό που δεν προκαλεί υπερβολική αεριοποίηση, υπερφόρτιση ή υψηλές θερμοκρασίες. Η μπαταρία μπορεί να δεχθεί ρεύμα υψηλής τάσης κατά το αρχικό στάδιο της φόρτισης, αλλά υπάρχει ένα όριο κατά τη διάρκεια φόρτισης της μπαταρίας, καθώς το ηλεκτρικό φορτίο που δέχεται η μπαταρία μπορεί να καταλήξει επιβλαβές. Λόγω του μεγάλου εύρους επιλογών, υπάρχουν πολλές μέθοδοι φόρτισης και η επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως ο τύπος και ο σχεδιασμός της μπαταρίας, οι συνθήκες λειτουργίας, ο διαθέσιμος χρόνος για τη φόρτιση και ο αριθμός των στοιχείων ή των μπαταριών που πρέπει να φορτιστούν.

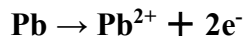
Ωστόσο, καθώς η μπαταρία φορτίζεται, εάν η φόρτιση της διατηρηθεί σε υψηλούς ρυθμούς, η τάση θα αυξηθεί σε υπερβολικά υψηλές τιμές, γεγονός το οποίο θα οδηγήσει τον συσσωρευτή σε υπερφόρτιση και αεριοποίηση. Το ρεύμα φόρτισης συνεπώς θα πρέπει να μειώνεται σε λογικές τιμές καθώς η μπαταρία φτάνει σε πλήρη φόρτιση.

### 1.5.1 Αναλυτική Περιγραφή Της Αντίδρασης Εκφόρτισης Στις Μπαταρίες Μολύβδου - Οξέος

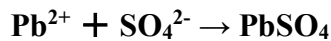
- **Αντίδραση στο αρνητικό ηλεκτρόδιο**

Όταν μια μπαταρία μολύβδου - οξέος εκφορτίζεται έπειτα από την σύνδεση ενός φορτίου, όπως παραδείγματος χάρη μία λυχνία, μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ηλεκτροδίου

της, ο μόλυβδος (Pb) στο αρνητικό ηλεκτρόδιο απελευθερώνει ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) για να σχηματίζονται ιόντα μολύβδου ( $Pb^{2+}$ ).



Στη συνέχεια, τα ιόντα μολύβδου συνδέονται άμεσα με θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ) στον ηλεκτρολύτη σχηματίζοντας θεικό μόλυβδο ( $PbSO_4$ ) και ενώνονται στην επιφάνεια του αρνητικού ηλεκτροδίου.

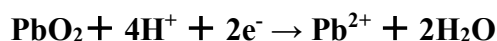


Η παραπάνω δραστηριότητα στο αρνητικό ηλεκτρόδιο συνοψίζεται ως εξής, δημιουργώντας την σχέση (1):

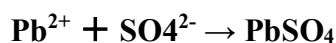


#### • Αντίδραση στο θετικό ηλεκτρόδιο

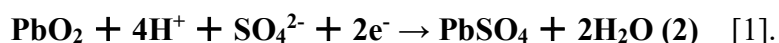
Τα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) που ρέουν από το αρνητικό ηλεκτρόδιο μέσω του εξωτερικού φορτίου στο θετικό ηλεκτρόδιο προσδίδουν στο θετικό ηλεκτρόδιο αρνητικό φορτίο, ελκύοντας ιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ) στον ηλεκτρολύτη. Τα ιόντα υδρογόνου αλληλοεπιδρούν με τα ιόντα οξυγόνου ( $O_2^-$ ) κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, από το διοξείδιο του μολύβδου ( $PbO_2$ ) στο θετικό ηλεκτρόδιο και δημιουργείται νερό ( $H_2O$ ). Παράλληλα, το διοξείδιο του μολύβδου από το οποίο απομονώθηκε το οξυγόνο παραμένει ως ιόν μολύβδου ( $Pb^{2+}$ ).

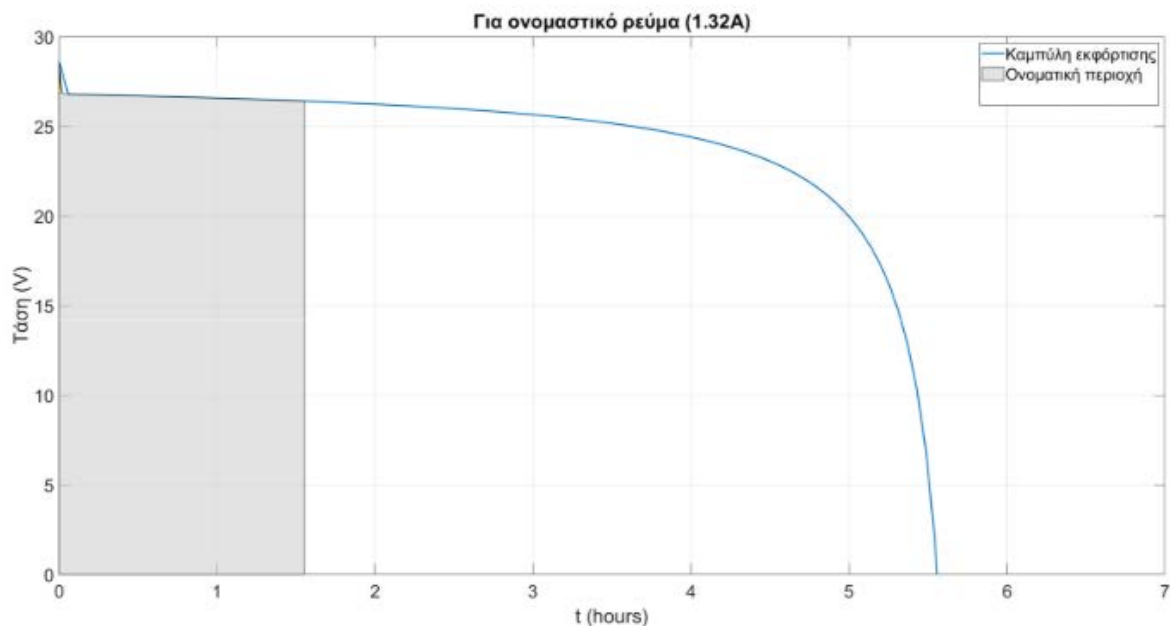


Αυτά τα ιόντα μολύβδου συνδέονται άμεσα με θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ) στον ηλεκτρολύτη, μετατρέπονται σε θεικό μόλυβδο ( $PbSO_4$ ) και προσκολλώνται στην επιφάνεια του θετικού ηλεκτροδίου.



Οι παραπάνω αντιδράσεις στο θετικό ηλεκτρόδιο δημιουργούν τη σχέση (2):



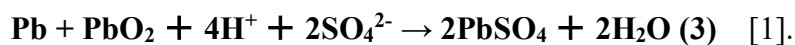


Εικόνα 2: Καμπύλη της εκφόρτισης ενός συσσωρευτή μολύβδου - οξέος

[4].

#### • Γενική αντίδραση

Οι αντιδράσεις (1) και (2) μπορούν να συνοψιστούν για να δημιουργήσουν τη συνολική αντίδραση εκφόρτισης σε μια μπαταρία μολύβδου - οξέος, όπως βλέπουμε στην σχέση (3):



### 1.5.2 Αναλυτική Περιγραφή Της Αντίδρασης Φόρτισης Στις Μπαταρίες Μολύβδου - Οξέος

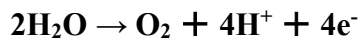
#### • Αντίδραση στο αρνητικό ηλεκτρόδιο

Εάν μια τροφοδοσία συνδεθεί μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ηλεκτροδίου μιας μπαταρίας μολύβδου - οξέος έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) να κατευθυνθούν αναγκαστικά προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο, ο θειικός μόλυβδος ( $\text{PbSO}_4$ ) που σχηματίστηκε κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας θα μετατραπεί σε μόλυβδο ( $\text{Pb}$ ) σε μια αντίδραση που ελευθερώνει θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

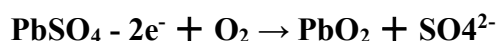


- **Αντίδραση στο θετικό ηλεκτρόδιο**

Το θετικό ηλεκτρόδιο, από το οποίο αφαιρέθηκαν ηλεκτρόνια ( $e^-$ ), θα λάβει θετικό φορτίο σε μια αντίδραση κατά την οποία το νερό ( $H_2O$ ) διασπάται σε οξυγόνο ( $O^2$ ) και ιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ).



Έπειτα, επειδή ο θειικός μόλυβδος ( $PbSO_4$ ) στο θετικό ηλεκτρόδιο χάνει τα ηλεκτρόνια του, θα αντιδράσει αμέσως με το οξυγόνο δημιουργώντας διοξείδιο του μολύβδου ( $PbO_2$ ) σε μια αντίδραση που απελευθερώνει θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ).

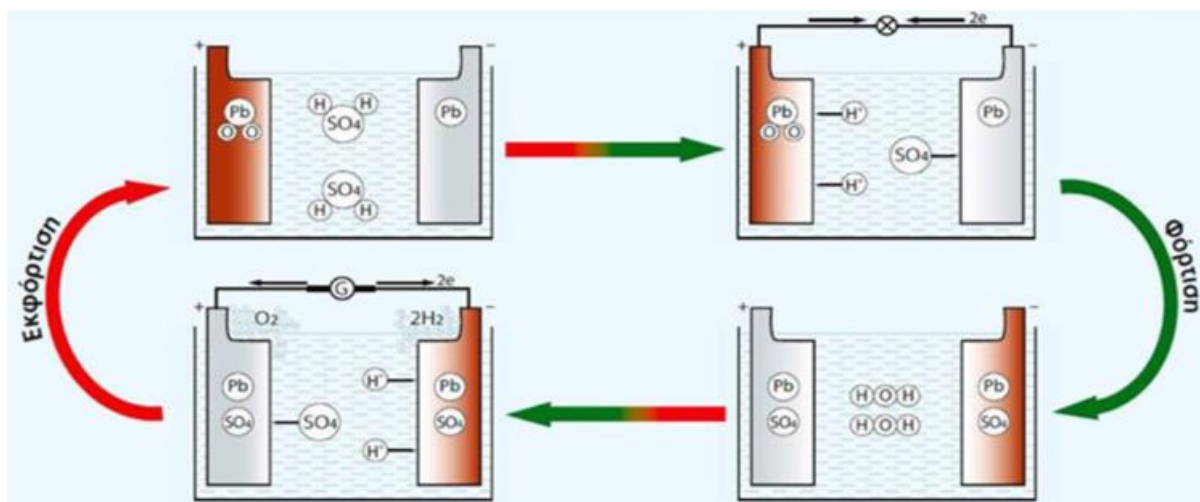


Η παραπάνω δραστηριότητα στο θετικό ηλεκτρόδιο συνοψίζεται στην παρακάτω αντίδραση (5):



### • Γενική αντίδραση

Οι εξισώσεις (4) και (5) μπορούν να συνοψιστούν για να δημιουργήσουν τη συνολική αντίδραση σε μια μπαταρία μολύβδου - οξέος, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση (6):



Εικόνα 3: Χημικές αντιδράσεις φόρτισης – εκφόρτισης

[4].

## 1.5.3 Μέθοδοι Φόρτισης Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος

### 1.5.3.1 Σωστή Επαναφόρτιση Μεταξύ Των Εκφορτίσεων

Η σωστή επαναφόρτιση μεταξύ των εκφορτίσεων είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επίτευξη βέλτιστης διάρκειας ζωής κάθε μπαταρίας μολύβδου - οξέος. Ορισμένοι από τους κανόνες για τη σωστή επαναφόρτιση παρατίθενται παρακάτω και ισχύουν για όλους τους τύπους μπαταριών μολύβδου - οξέος:

Α) Το ρεύμα φόρτισης κατά την έναρξη της επαναφόρτισης μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή, μεγαλύτερη από την τάση αεριοποίησης (ιδανικό είναι περίπου 2,4 V ανά κελί). Οι υψηλοί ρυθμοί επαναφόρτισης είναι λιγότερο αποδοτικοί. Ωστόσο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες ισχύος ( $P = I^2R$ ) στη μπαταρία και την καλωδίωση για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Ένας βασικός κανόνας είναι ότι η τάση αεριοποίησης των κελιών δεν πρέπει

να υπερβαίνεται παρά μόνο κατά τη διάρκεια του τελικού βήματος της φόρτισης, για να προστατέψουμε τον συσσωρευτή, διαφορετικά θα μειωθεί η απόδοσή τους

Β) Κατά τη διάρκεια της επαναφόρτισης και ώσπου να επανέλθει το 100% της χωρητικότητας του συσσωρευτή, ο ρυθμός των αμπερ πρέπει να ελέγχεται ώστε να διατηρείται η τάση αεριοποίησης, ή να είναι χαμηλότερη αλλά όσο το δυνατόν πιο κοντά στην τάση αεριοποίησης για την ελαχιστοποίηση του χρόνου φόρτισης.

Γ) Όταν έχουμε φτάσει σε πλήρη εκφόρτιση, εφόσον έχει πραγματοποιηθεί ο έλεγχος τάσης, ο ρυθμός φόρτισης θα διατηρεί τον συσσωρευτή σε πλήρη φόρτιση με σταθερό ρεύμα, τις περισσότερες φορές 5A/100Ah [2].

### **1.5.3.2 Φόρτιση Σταθερού Ρεύματος (Constant – Current Charging)**

Η επαναφόρτιση με σταθερό ρεύμα, με έναν ή περισσότερους ρυθμούς ρεύματος, δεν χρησιμοποιείται ευρέως για μπαταρίες μολύβδου - οξέος. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη ρύθμισης του ρεύματος, με εξαίρεση την περίπτωση που το ρεύμα φόρτισης διατηρείται σε χαμηλό επίπεδο σε όλη τη διάρκεια της φόρτισης (κανόνας της αμπερώρας), γεγονός που θα οδηγήσει σε μεγάλους χρόνους φόρτισης 12 ωρών ή περισσότερο.

Η φόρτιση σταθερού ρεύματος χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένους συσσωρευτές μολύβδου - οξέος μικρού μεγέθους (με ρεύμα φόρτισης μεταξύ 0,1C και 1C, όπου C είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας σε mAh. Παράδειγμα αποτελεί η μπαταρία A76 που χρησιμοποιείται σε ρολόγια και μικρές συσκευές). Είναι επίσης κατά καιρούς χρησιμοποιούμενο στο εργαστήριο, λόγω της ευκολίας υπολογισμού της παραπάνω τιμής και επειδή η φόρτιση σταθερού ρεύματος μπορεί να γίνει με απλό και φθινό εξοπλισμό. Η φόρτιση σταθερού ρεύματος στα μισά της διαδικασίας φόρτισης των 20 ωρών, είναι χρήσιμη για τη μείωση της θείωσης σε μπαταρίες που έχουν υποφορτιστεί. Η επεξεργασία αυτή ωστόσο, ενδέχεται να μειώσει τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή και θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μόνο με την σύσταση του κατασκευαστή της εκάστοτε μπαταρίας [2].

### 1.5.3.3 Φόρτιση Σταθερού Δυναμικού (Constant – Potential Charging)

Τροποποιημένες μέθοδοι φόρτισης σταθερού δυναμικού είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες, τις περισσότερες φορές σε συνήθεις βιομηχανικές περιοχές. Χρησιμοποιείται επίσης σε οδικά οχήματα και σε εφαρμογές κοινής ωφέλειας, τηλεφώνων και συστημάτων αδιάλειπτης λειτουργίας, όπου το κύκλωμα φόρτισης συνδέεται με τη μπαταρία. Στην περίπτωση αυτή, το κύκλωμα φόρτισης έχει ένα όριο ρεύματος και η τιμή αυτή διατηρείται μέχρι να επιτευχθεί μια προκαθορισμένη τάση.

Στη συνέχεια, η τάση διατηρείται σταθερή έως ότου η μπαταρία να είναι πλήρως εκφορτισμένη. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη το όριο ρεύματος και η τιμή σταθερής τάσης. Αυτό εξαρτάται από το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η μπαταρία βρίσκεται σε σταθερή τάση και σε κατάσταση πλήρους φόρτισης (δηλαδή στο 100%). Όταν η μπαταρία είναι σε μόνιμη φόρτιση, ένα χαμηλό ρεύμα φόρτισης είναι αναγκαίο για να ελαχιστοποιηθούν τα εξής: η υπερφόρτιση, η διάβρωση του ηλεκτρικού πλέγματος, η απώλεια νερού από την ηλεκτρόλυση του ηλεκτρολύτη και η συντήρηση για την αντικατάσταση του νερού. Η επίτευξη πλήρους φόρτισης με σταθερά χαμηλό ρεύμα φόρτισης έχει ως προϋπόθεση τη σωστή επιλογή του ρεύματος εκκίνησης, το οποίο αναφέρεται στις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Η τροποποιημένη φόρτιση σταθερού δυναμικού, με σταθερό ρυθμό εκκίνησης και ολοκλήρωσης, είναι συνήθης για μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης, οι οποίες συνήθως εκφορτίζονται με ρυθμό 6 ωρών σε βάθος 80% και η επαναφόρτιση ολοκληρώνεται συνήθως σε διάστημα 8 ωρών. Η φόρτιση ρυθμίζεται για σταθερό δυναμικό 2,39 V ανά κυψέλη (η τάση αεριοποίησης) και το ρεύμα εκκίνησης είναι περιορισμένο, από 16 έως 20 A ανά 100 Ah της ονομαστικής χωρητικότητας των 6 ωρών μέσω μιας αντίστασης σειράς στο κύκλωμα του φορτιστή. Αυτό το αρχικό ρεύμα διατηρείται σταθερό έως ότου η μέση τάση των κελιών της μπαταρίας φθάσει τα 2,39 V. Το ρεύμα μειώνεται με σταθερή τάση σε τελικό ρυθμό 4,5 έως 5 A ανά 100 Ah, ο οποίος στη συνέχεια διατηρείται έως το τέλος της φόρτισης [6].

Ο συνολικός χρόνος φόρτισης ελέγχεται από ένα χρονόμετρο. Ο χρόνος φόρτισης επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί η χωρητικότητα εισόδου επαναφόρτισης ενός προκαθορισμένου ποσοστού της εξόδου της αμπερώρας της προηγούμενης εκφόρτισης, συνήθως από 110 έως 120%, (δηλαδή 10 έως 20% υπερφόρτιση). Ο χρόνος φόρτισης των 8 ωρών μπορεί να μειωθεί με την αύξηση του αρχικού ρυθμού ορίου ρεύματος [6].

#### 1.5.3.4 Κωνική Φόρτιση (Taper Charging)

Η κωνική φόρτιση, είναι μια παραλλαγή της τροποποιημένης μεθόδου σταθερού δυναμικού, η οποία χρησιμοποιεί λιγότερο εξελιγμένους ελέγχους με στόχο τη μείωση του κόστους του εξοπλισμού. Ο αρχικός ρυθμός είναι περιορισμένος, αλλά η κλιμάκωση της τάσης και του ρεύματος είναι άνω των 2,39 V ανά κυψέλη στους 25°C προτού φτάσει στο 100% της εκφόρτισης (δηλαδή σε πλήρη εκφόρτιση). Αυτή η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αερίων στο κρίσιμο σημείο επαναφόρτισης και την αύξηση της θερμοκρασίας του κελιού. Ο βαθμός αεριοποίησης και αύξησης της θερμοκρασίας είναι μια μεταβλητή η οποία είναι εξαρτώμενη από το σχεδιασμό του φορτιστή και τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή, και μπορεί να διαβρωθεί από την υπερθέρμανση της μπαταρίας και την αεριοποίηση εξαιτίας της υπερφόρτισης.

Το τέλος της φόρτισης ελέγχεται τις περισσότερες φορές από μια σταθερή τάση και όχι από ένα σταθερό ρεύμα. Επομένως, όταν μια νέα μπαταρία έχει υψηλή τάση, ο τελικός ρυθμός φόρτισης είναι χαμηλός και η μπαταρία δεν λαμβάνει επαρκή φόρτιση εντός του ανάλογου χρονικού διαστήματος, ώστε να διατηρηθεί πλήρως φορτισμένη. Στο τέλος της διάρκειας ζωής της, όταν η τάση ρεύματος είναι χαμηλή, ο ρυθμός φόρτισης είναι υψηλότερος από τον κανονικό και έτσι η μπαταρία θα υποστεί υπερφόρτιση, επομένως ενδέχεται να διαβρωθεί.

Συνεπώς, η κωνική φόρτιση υποβαθμίζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η οποία οφείλεται στη χρήση λιγότερο ακριβού εξοπλισμού. Ο βέλτιστος έλεγχος για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής και της παραγωγής ενέργειας από τη μπαταρία, επιτυγχάνεται καλύτερα όταν το βάθος εκφόρτισης και ο χρόνος επαναφόρτισης είναι προκαθορισμένα και επαναλαμβανόμενα [2].

### 1.5.3.5 Παλμική Φόρτιση (Pulse Charging)

Η παλμική φόρτιση χρησιμοποιείται ιδιαίτερος στην Ευρώπη, τις περισσότερες φορές για εφαρμογές έλξης. Σε αυτή τη μέθοδο, ο φορτιστής απομονώνεται από τους ακροδέκτες της μπαταρίας και η τάση ανοικτού κυκλώματος μετράται χωρίς ειδική αντίσταση (αντίσταση που συνήθως επηρεάζει την ακρίβεια της μέτρησης και υπολογίζεται μέσω μετρητή τάσης όπως βολτόμετρο). Η παροχή ή η μη παροχή ενέργειας από το φορτιστή, θα εξαρτηθεί από το εάν η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι πάνω από μια προκαθορισμένη τιμή, λαμβάνοντας υπόψη και τη θερμοκρασία αναφοράς. Όταν η τάση ανοικτού κυκλώματος φτάσει κάτω από αυτή την τιμή, ο φορτιστής παρέχει έναν παλμό συνεχούς ρεύματος για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Όταν η μπαταρία φτάσει σε κατάσταση χαμηλού επιπέδου φόρτισης, το ρεύμα φόρτισης συνδέεται σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της.

Η διάρκεια των παλμών ανοικτού κυκλώματος και φόρτισης ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε όταν η μπαταρία έρθει σε σημείο πλήρους φόρτισης, ο χρόνος της πτώσης της τάσης ανοικτού κυκλώματος να είναι ο ίδιος με τη διάρκεια φόρτισης από το φορτιστή. Όταν η κατάσταση αυτή γίνει πλέον αντιληπτή μέσω των ελέγχων του φορτιστή, ο φορτιστής τότε θα μεταβεί αυτόματα στο ρεύμα τελικού ρυθμού και θα παραχθούν σύντομοι περιοδικοί παλμοί φόρτισης στη μπαταρία με σκοπό τη διατήρηση της μπαταρίας σε πλήρη φόρτιση.

Σε εφαρμογές χρήσης συσσωρευτών υψηλής τάσης, οι μπαταρίες εκφορτίζονται πλήρως και επαναφορτίζονται περιοδικά (συνήθως ανά εξάμηνο) με τη λεγόμενη εξισορροπητική φόρτιση, η οποία επαναφέρει τις κυψέλες σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, τα επίπεδα υγρών στις κυψέλες της μπαταρίας πρέπει να ελέγχονται και να προστίθεται νερό ανάλογα με τις ανάγκες τους. Οι νεότεροι τύποι κελιών που δεν έχουν ανάγκη συντήρησης, οι οποίες είναι ημισφραγισμένες, αποκλείουν το ενδεχόμενο εξισορροπητικών φορτίσεων και την ανάγκη συμπλήρωσης νερού στα κελιά, λαμβάνουν ορισμένες προφυλάξεις κατά το σχεδιασμό τους ώστε να διατηρηθούν σε ομοιόμορφη κατάσταση φόρτισης [2].

### 1.5.3.6 Τρεχούμενη Φόρτιση (Trickle Charging)

Αν μία μπαταρία μολύβδου - οξέος τεθεί εκτός λειτουργίας για ένα χρονικό διάστημα μηνών (λόγω της 0,5-1% αυτοεκφόρτισης ημερησίως) θα έχει ως αποτέλεσμα να καταλήξει πλήρως αποφορτισμένη, κινδυνεύοντας να καταστραφεί. Η διατήρηση των μπαταριών σε πλήρως φορτισμένη κατάσταση χρησιμεύει στην παράταση της διάρκειας ζωής τους.

Λύση σε αυτό το θέμα μας δίνει η τρεχούμενη φόρτιση (trickle charging). Η φόρτιση αυτή αναφέρεται στη διαδικασία συνεχούς φόρτισης μιας μπαταρίας με μικρό φορτίο για την αντιστάθμιση της αυτοεκφόρτισης. Είναι μια φόρτιση σταθερού ρεύματος με χαμηλό ρυθμό (περίπου C/100), η οποία χρησιμοποιείται με στόχο τη διατήρηση της μπαταρίας σε κατάσταση πλήρους φόρτισης, για την αποκατάσταση της ενέργειας που εκφορτίζεται κατά τη διάρκεια της πιθανώς διακοπτόμενης χρήσης της μπαταρίας (η χρήση διακόπτεται για την αποφυγή της υπερφόρτισης, την εξασφάλισή της σε καλή κατάσταση και μείωση φθοράς της).

Εάν το ρεύμα φόρτισης είναι πολύ μεγάλο, η μπαταρία θα υπερφορτιστεί, προκαλώντας τη διάσπαση του ηλεκτρολύτη, συνεπώς θα υπάρξει απώλεια ιόντων προκαλώντας τη διάβρωση και τη μείωση της απόδοσής της. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται ρεύμα που να ταιριάζει στο μέγεθος της εκάστοτε μπαταρίας. Επομένως, το φορτίο ρεύματος είναι μικρό, οπότε μπορεί να χρειαστεί αρκετός χρόνος για τη φόρτιση της μπαταρίας, αν αυτή έχει αποφορτιστεί πλήρως.

Παράδειγμα αυτής της μεθόδου αποτελούν συνήθως οι μπαταρίες τύπου SLI (Starting, Lighting, Ignition) και παρόμοιου τύπου, όταν η μπαταρία απομακρύνεται από το όχημα, έτσι ώστε να φορτιστεί μεμονωμένα [2].

### 1.5.3.7 Φόρτιση Πλεύσης (Float Charging)

Κατά τη φόρτιση με επίπλευση, μια σταθερή τάση εφαρμόζεται συνεχόμενα στη μπαταρία μολύβδου - οξέος, για τη διατήρηση της μπαταρίας σε κατάσταση πλήρους φόρτισης, σε αντίθεση με την τρεχούμενη φόρτιση που χρησιμοποιεί πολύ χαμηλότερο ρεύμα φόρτισης αφού φορτιστεί πλήρως. Πρόκειται για μια φόρτιση σταθερού δυναμικού χαμηλού ρυθμού, όπου παρέχεται μονάχα το απαραίτητο φορτίο για τη διατήρηση της τάσης της, αντισταθμίζοντας την αυτοεκφόρτιση. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει το κατάλληλο ρεύμα φόρτισης ανεξάρτητα του μεγέθους της μπαταρίας, μειώνοντας τις πιθανότητες υπερφόρτισης του συσσωρευτή.

Η τάση πλεύσης για μια μπαταρία πλεύσης, η οποία περιέχει ηλεκτρολύτη ειδικού βάρους 1,210 και έχει τάση ανοικτού κυκλώματος 2,059 V ανά κυψέλη, είναι 2,17 έως 2,25 V ανά κυψέλη [2].

### 1.5.3.8 Ταχεία Φόρτιση (Rapid Charging)

Σε πολλές εφαρμογές, είναι επιθυμητή η δυνατότητα της ταχείας επαναφόρτισης της μπαταρίας μέσα στο λιγότερο δυνατό χρονικό διάστημα. Όπως συμβαίνει σε κάθε κατάσταση φόρτισης, σημαντικός είναι ο έλεγχος της φόρτισης, έτσι ώστε να μη διασπαστεί το ηλεκτρόδιο, να αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας, ιδίως σε ένα σημείο όπου συμβαίνουν ενέργειες που βλάπτουν το συσσωρευτή (διάβρωση, μετατροπή σε μη αγωγίμα οξείδια, υψηλή διαλυτότητα υλικών, αποσύνθεση και άλλα), και να περιοριστούν η υπερφόρτιση και η αεριοποίηση. Καθώς αυτές οι συνθήκες είναι πιο επιρρεπείς στην πραγματοποίησή τους κατά τη φόρτιση σε υψηλό ρυθμό, ο έλεγχος της φόρτισης υπό αυτές τις συνθήκες είναι κρίσιμος.

Έχουν αναπτυχθεί ποικίλες τεχνικές με σκοπό την αποτελεσματική ταχεία επαναφόρτιση. Σε μια μέθοδο, που αναφέρεται ως "αντανακλαστική" φόρτιση, ένας σύντομος παλμός εκφόρτισης εντός λίγων κλασμάτων του δευτερολέπτου, περιλαμβάνεται στη διαδικασία φόρτισης. Η τεχνική αυτή έχει αποδειχθεί με την πάροδο των χρόνων ότι είναι ιδανική για αποφυγή της υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια ταχείας φόρτισης (συνήθως 15 λεπτών) [2].

### • Επίδραση Ταχείας Φόρτισης Στον Συσσωρευτή

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας εξαρτάται από το ρυθμό εκφόρτισης. Όσο ταχύτερος είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, θα είναι διαθέσιμη όλο και λιγότερη χωρητικότητα Ah.

Αυτό σημαίνει πως σε ένα συσσωρευτή 200 Ah, η ονομαστική χωρητικότητα μπορεί να αποδοθεί με ρεύμα εκφόρτισης  $200 \text{ Ah} / 20 \text{ ώρες} = 10 \text{ Αμπέρ}$ . Με ρεύμα εκφόρτισης 200 Α, η ίδια μπαταρία θα αποφορτιστεί πολύ νωρίτερα. Για παράδειγμα, μια μπαταρία GEL 200 Ah θα έχει στην ουσία πραγματική χωρητικότητα 100 Ah, επομένως θα αδειάσει μετά από μόλις 30 λεπτά.

Είναι ευρέως γνωστό πως η χωρητικότητα θα πέσει απότομα παράλληλα με την αύξηση του ρεύματος εκφόρτισης. Οι μπαταρίες AGM (ειδικά οι μπαταρίες με σπειροειδή κυψέλη) αποδίδουν αρκετά καλύτερα από τις μπαταρίες GEL σε υψηλά ρεύματα εκφόρτισης.

Οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν γρήγορα και να απορροφήσουν υψηλό ρεύμα φόρτισης ώσπου να επιτευχθεί η τάση αεριοποίησης. Ενώ η φόρτιση με τόσο υψηλό ρεύμα μπορεί να λειτουργήσει καλά μερικές φορές, αυτό στην πραγματικότητα ενδέχεται να μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των περισσότερων μπαταριών, με εξαίρεση τις μπαταρίες σπειροειδούς κυψέλης και κάποια άλλα είδη μπαταριών AGM.

Αυτό οφείλεται στην επιταχυνόμενη απώλεια σύνθεσης του ενεργού υλικού. Γενικά συνιστάται να διατηρείται το ρεύμα φόρτισης το πολύ στο ένα πέμπτο ή στο 20% της ονομαστικής χωρητικότητας τους.

Όταν μια μπαταρία φορτίζεται με ρεύματα που υπερβαίνουν το 20% της ονομαστικής τους χωρητικότητας, η θερμοκρασία της είναι πολύ πιθανόν να αυξηθεί ραγδαία. Επομένως η εξισορρόπηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια φόρτισης θεωρείται απολύτως απαραίτητη [2].

### 1.5.4 Ξηρή Φόρτιση Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος (Dry Charging)

Η απόδοση των μπαταριών υγρού τύπου υποβαθμίζεται σημαντικά κατά τις μεγάλες περιόδους αδράνειας, ειδικά στην περίπτωση που πραγματοποιείται αποθήκευση σε θερμές θερμοκρασίες. Μια απώλεια από 1 έως 3% της χωρητικότητας κάθε μέρα, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί στις μπαταρίες οι οποίες περιέχουν πλέγματα αντιμονίου μολύβδου. Η απώλεια σε κατάσταση αδράνειας μπορεί να είναι πολύ μικρότερη για μπαταρίες που δεν έχουν ανάγκη συντήρησης (0,1 έως 3%/ημέρα). Όταν οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος πρέπει να αποθηκεύονται για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, ιδίως σε υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες, ή όταν οι μπαταρίες ετοιμάζονται για μεταφορά, η απόδοσή τους μπορεί να σταθεροποιηθεί με την αφαίρεση του ηλεκτρολύτη με πολυάριθμες μεθόδους [2],[6].

Ξηρά φορτισμένο (δηλαδή, "φορτισμένο και ξηρό") χαρακτηρίζουμε ένα συσσωρευτή στον οποίο έχει αφαιρεθεί ο ηλεκτρολύτης κατά την διαδικασία φόρτισης. Η πρώτη διαδικασία γίνεται πριν από τη συναρμολόγηση των στοιχείων της μπαταρίας στο εσωτερικό του περιβλήματος. Οι πλάκες μπορούν να διαμορφωθούν εντός του δοχείου, να πλυθούν με νερό και στη συνέχεια να στεγνώσουν με τη βοήθεια αδρανούς αερίου .

Εναλλακτικά, η διαδικασία μπορεί να γίνει με την διαμόρφωση των είδη συναρμολογημένων στοιχείων εντός του δοχείου. Η τελευταία διαδικασία είναι απλούστερη, αλλά είναι απαραίτητο οι διαχωριστές να μπορούν να υγρανθούν εύκολα μετά το πλύσιμο και το στέγνωμα. Η συναρμολόγηση (περίβλημα, στοιχεία, κάλυμμα) ολοκληρώνεται και η μπαταρία σφραγίζεται. Η μπαταρία μπορεί να αποθηκευτεί σε αυτή την κατάσταση (δηλαδή σε κατάσταση ξηρής φόρτισης) για αρκετά χρόνια πριν από την επανενεργοποίηση και τη χρήση.

Αρκετές καινοτομίες επεξεργασίας έχουν τεθεί σε λειτουργία στο χώρο του εμπορίου τα τελευταία 10 χρόνια για τη μετατροπή φορτισμένων μπαταριών υγρού τύπου σε μορφή πάστας. Ένας τρόπος επεξεργασίας, είναι το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρολύτη να απομακρύνεται με τεχνική φυγοκέντρησης. Ένας άλλος τρόπος, είναι να χρησιμοποιηθεί ένα ανόργανο άλας (θειικό νάτριο) στον ηλεκτρολύτη, το οποίο ελαχιστοποιεί την υποβάθμιση κατά τη διάρκεια τη αποθήκευσης και συμβάλλει στην ενδεχόμενη επανενεργοποίηση. Η ηλεκτρική εκφόρτιση υψηλής ταχύτητας (για την προσομοίωση της εκκίνησης του κινητήρα) επιτρέπει τη δοκιμή μιας συναρμολογημένης μπαταρίας σε μορφή πάστας, αλλά αυτό

πιθανώς εμποδίζει τις επιφάνειες των πλακών με ένα λεπτό στρώμα κρυστάλλων θειικού μολύβδου. Αυτοί οι κρύσταλλοι ελαχιστοποιούν στη συνέχεια την υποβάθμιση της πλάκας ή του διαχωριστή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης όταν η μπαταρία είναι σφραγισμένη [11].

#### **1.5.4.1 Ενεργοποίηση Μπαταριών Ξηρής Φόρτισης**

Όταν οι μπαταρίες έχουν φορτιστεί με ξηρή φόρτιση, πρέπει να ενεργοποιηθούν εκ νέου πριν από κάθε χρήση τους. Η ενεργοποίηση συνίσταται με το που ανοιχτεί ο συσσωρευτής από τη συσκευασία του, στο γέμισμα των κελιών με ηλεκτρολύτη (ο οποίος μερικές φορές αποστέλλεται μαζί με τη μπαταρία σε ξεχωριστή συσκευασία), στη φόρτιση της μπαταρίας (εάν υπάρχει η ευχέρεια χρόνου) και στη δοκιμή της απόδοσης της. Όταν ενεργοποιούνται οι μπαταρίες που έχουν υποστεί ξηρή φόρτιση, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το κλείσιμο των οπών εξαερισμού, πρέπει να αφαιρεθούν και να αποβληθούν.

#### **1.5.5 Αυτοεκφόρτιση Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος**

Σε σύγκριση με άλλα σχέδια μπαταριών, οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος έχουν συγκριτικά υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης 0,5% έως 1% ανά ημέρα [1]. Η αυτοεκφόρτιση, η οποία αυξάνεται με τη θερμοκρασία της μπαταρίας και τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη, προκαλείται κυρίως από τους ακόλουθους τρεις παράγοντες:

- **Ηλεκτρόλυση του νερού**

Πραγματοποιείται σταδιακή ηλεκτρόλυση του νερού στον ηλεκτρολύτη λόγω της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των θετικών και αρνητικών ηλεκτροδίων, με αποτέλεσμα να καταναλώνεται η ενέργεια της μπαταρίας και να πέφτει η τάση της. Ενώ η ηλεκτρόλυση του νερού θεωρητικά συμβαίνει στα 1,23 V, η μεγάλη υπέρταση των ηλεκτροδίων στις μπαταρίες μολύβδου - οξέος σημαίνει ότι η ηλεκτρόλυση δεν αυξάνεται σημαντικά έως ότου η τάση της μπαταρίας υπερβεί περίπου τα 2,4 V. Ωστόσο, η χαμηλή υπέρταση του αντιμονίου που περιέχεται στο κράμα μολύβδου του πλέγματος ηλεκτροδίων προκαλεί αύξηση της αυτοεκφόρτισης καθώς σχηματίζεται υδρογόνο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο [2],[12].

- **Αντίδραση μεταξύ ηλεκτροδίων και ηλεκτρολύτη**

Το αραιό θεϊκό οξύ στον ηλεκτρολύτη, ένα οξύ το οποίο αντιδρά εύκολα με τα μέταλλα, αντιδρά με τα ηλεκτρόδια και προκαλεί πτώση της τάσης του συσσωρευτή, ασχέτως με το αν είναι συνδεδεμένο κάποιο φορτίο σε αυτόν. Ωστόσο, αυτή είναι μια αντίδραση η οποία είναι χρονοβόρα, επίσης η υπέρταση επηρεάζει αυτή τη διαδικασία. Δεδομένου ότι το αέριο είναι λιγότερο πιθανό να σχηματίσει μία μεγάλη υπέρταση, η αντίδραση πραγματοποιείται σταδιακά, προκαλώντας μια γραμμική πτώση της τάσης της μπαταρίας [2],[12].

- **Προσμίξεις**

Οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος είναι σημαντικό να αναπληρώνονται με απιονισμένο νερό, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι προσμίξεις. Διάφορα ιόντα που περιέχονται στο νερό βρύσης οξειδώνονται ευκολότερα από τον μόλυβδο στα ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα να αντιδρούν με αυτά.

Συγκεκριμένα, τα ιόντα σιδήρου ( $\text{Fe}^{2+}$ ) οξειδώνονται από το θετικό ηλεκτρόδιο για να σχηματίσουν τρισθενή σίδηρο ( $\text{Fe}^{3+}$ ), ο οποίος στη συνέχεια ανάγεται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, μετατρέποντάς τον ξανά σε δισθενή σίδηρο ( $\text{Fe}^{2+}$ ) [1]. Παρατηρούμε λοιπόν πως πραγματοποιείται μία κυκλική αντίδραση, συνεπώς ακόμη και μια μικρή ποσότητα ιόντων σιδήρου μπορεί να προκαλέσει την αύξηση της αυτοεκφόρτισης [2],[12].



Εικόνα 4: Αυτοεκφόρτιση μπαταρίας με διαρροή νερού

[12].

## 1.6 Διατήρηση Τάσης

### 1.6.1 Εσωτερική Αντίσταση Συσσωρευτή

Όταν ένα φορτίο συνδεθεί σε μια μπαταρία μολύβδου - οξέος με τέτοιο τρόπο ώστε να ρέει ρεύμα, η τάση μεταξύ των ακροδεκτών της μπαταρίας πέφτει απότομα. Η τάση πέφτει αναλογικά με το γινόμενο του ρεύματος και της εσωτερικής αντίστασης, έτσι εξηγείται αυτή η απότομη πτώση. Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εσωτερική αντίσταση καθορίζει το πόση ισχύς μπορεί να αντληθεί στιγμιαία από τη μπαταρία.

Η εσωτερική αντίσταση είναι σημαντική σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο στιγμιαίο φορτίο ρεύματος, όπως για παράδειγμα στις μπαταρίες που χρησιμοποιούμε για να εκκινήσουμε ένα αυτοκίνητο με κινητήρα εσωτερικής καύσεως (μπαταρία τύπου SLI). Αντίθετα, η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι πιο σημαντική από την εσωτερική αντίσταση σε εφαρμογές όπως ένα τροφοδοτικό έκτακτης ανάγκης (UPS), όπου σκοπός του είναι η παροχή της απαραίτητης ποσότητας ισχύος για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Εφόσον μειώνεται η χωρητικότητα, όσο μια μπαταρία μολύβδου - οξέος διαβρώνεται, μπορεί η εσωτερική αντίσταση να αυξηθεί, είναι δύσκολο όμως να εκτιμηθεί πόσο έχει μειωθεί η χωρητικότητα εξετάζοντας μονάχα την εσωτερική αντίσταση της [1].

Δύο είναι οι λόγοι αυτής της δυσκολίας που προκύπτει. Πρώτα από όλα, ο τρόπος με τον οποίο συσχετίζονται η αύξηση της εσωτερικής αντίστασης και η μείωση της χωρητικότητας ενδέχεται να είναι διαφορετικός, ανάλογα με τις συνθήκες υπό τις οποίες χρησιμοποιείται ο εκάστοτε συσσωρευτής. Επιπλέον, είναι σημαντικό να παραμένουν σταθερές οι συνθήκες μέτρησης, καθώς η εσωτερική αντίσταση μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με την θερμοκρασία και την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας.

Κατά συνέπεια, απαιτείται η αξιολόγηση της σχέσεως μεταξύ χωρητικότητας και εσωτερικής αντίστασης υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις, ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση ενός συσσωρευτή με βάση την εσωτερική αντίσταση του.

### **1.6.2 Παράγοντες Που Καθορίζουν Την Εσωτερική Αντίσταση**

Σε γενικό βαθμό, οι παράγοντες οι οποίοι ορίζουν την εσωτερική αντίσταση των μπαταριών μολύβδου - οξέος, όπως και όλων των ειδών μπαταριών γενικότερα, είναι τρεις και υπολογίζονται κυρίως με το φάσμα αντίστασης (ένα σύστημα που υποδηλώνει την υγεία της μπαταρίας μέσω της μέτρησης των αντιστάσεων, που αναλύονται παρακάτω).

- **Ωμική αντίσταση**

Ωμική αντίσταση είναι η αντίσταση των αγωγών ηλεκτρονίων (όπως τα πλέγματα ηλεκτροδίων, οι ακροδέκτες και το ενεργό υλικό), και των αγωγών ιόντων (όπως ο ηλεκτρολύτης και οι διαχωριστές). Γνωρίζοντας πως περιλαμβάνει την αντίσταση επαφής μεταξύ του πλέγματος ηλεκτροδίων και του ενεργού υλικού, παρατηρείται αύξηση της πόλωσης της, όταν η υποβάθμιση της μπαταρίας μολύβδου - οξέος προκαλεί διάβρωση του θετικού πλέγματος ηλεκτροδίων.

- **Αντίσταση αντίδρασης**

Στην αντίδραση παρουσιάζεται αντίσταση, μεταξύ του ενεργού υλικού και του ηλεκτρολύτη. Είναι αναγκαίο να μειωθεί η πυκνότητα ρεύματος ανά μονάδα ενεργού υλικού, έτσι ώστε να μειωθεί και η πόλωση ενεργοποίησης, αυξάνοντας, την επιφάνεια του ενεργού υλικού, ή χρησιμοποιώντας πολλαπλά, λεπτότερα ηλεκτρόδια. Είναι εύκολο να παρατηρηθεί αύξηση της πόλωσης ενεργοποίησης, όταν οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος υποβαθμίζονται λόγω της θείωσης στη σπογγώδη επιφάνεια του αρνητικού ηλεκτροδίου, μειώνοντας την επιφάνεια επαφής μεταξύ του ενεργού υλικού και του ηλεκτρολύτη.

- **Αντίσταση διάχυσης**

Η αντίσταση διάχυσης μπορεί να προκληθεί είτε από αρκετά περισσότερα, είτε αρκετά λιγότερα ιόντα συγκριτικά με τις απαιτήσεις της αντιδράσεως της κάθε μπαταρίας. Τα ιόντα μεταφέρονται στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων μέσω διάχυσης, αλλά αν η αντίδραση της μπαταρίας εξελίσσεται ταχύτερα από την ικανότητα παροχής ιόντων, θα υπάρξει έλλειψη ιόντων κοντά στα ηλεκτρόδια, παρεμποδίζοντας την αντίδραση. Η πόλωση συγκέντρωσης εμφανίζεται στις μπαταρίες μολύβδου - οξέος όταν η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη μειώνεται λόγω εκφόρτισης.

## **1.7 Αποδοτικότητα – Αποτελεσματικότητα**

- **Ενεργειακή απόδοση μιας μπαταρίας**

Όταν μια μπαταρία φορτίζεται ή εκφορτίζεται παρατηρούμε απώλειες. Η συνολική ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προσλαμβάνει η μπαταρία κατά τη φόρτιση είναι

μεγαλύτερη από την ενέργεια που αποδίδει κατά την εκφόρτιση, με απόδοση περίπου 75% στις περισσότερες κοινές μπαταρίες μολύβδου - οξέος [2]. Οι υψηλοί ρυθμοί φόρτισης και εκφόρτισης μειώνουν παραπάνω την απόδοση. Οι μεγαλύτερες απώλειες προκύπτουν επειδή η τάση είναι υψηλότερη κατά τη φόρτιση συγκριτικά με την εκφόρτιση, το οποίο πραγματοποιείται κυρίως κατά την διάρκεια της απορρόφησης. Οι συσσωρευτές οι οποίοι δεν είναι καλά αεριζόμενοι (δηλαδή μπαταρίες χαμηλού αντιμονίου) και που έχουν χαμηλή εσωτερική αντίσταση, είναι και οι πιο αποδοτικές.

Όταν μια μπαταρία χρησιμοποιείται σε κατάσταση μερικής φόρτισης, η ενεργειακή της απόδοση θα είναι αρκετά υψηλή, μπορεί να αγγίξει μέχρι και περίπου το 89%. Για να υπολογιστεί η φόρτιση ή η εκφόρτιση των Ah μιας μπαταρίας, θα χρειαστεί ένα όργανο παρακολούθησης μπαταριών που χρησιμοποιεί μόνο το ρεύμα και το χρόνο, συνεπώς δεν απαιτείται αντιστάθμιση της συνολικής απόδοσης.

#### • Απόδοση φόρτισης μιας μπαταρίας

Όταν μια μπαταρία φορτίζεται, πρέπει να αντληθούν περισσότερα Ah στη μπαταρία από όσα μπορούν να ανακτηθούν κατά την επόμενη εκφόρτιση. Αυτό ονομάζεται απόδοση φόρτισης, ή απόδοση Ah ή Coulomb ( $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$ ).

Η απόδοση φόρτισης μιας μπαταρίας είναι σχεδόν 100%, εφόσον δεν υπάρχει παραγωγή αερίου. Η δημιουργία αερίων σημαίνει πως ένα μέρος του ρεύματος φόρτισης δεν θα μετατραπεί σε χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στις πλάκες, αλλά θα χρησιμοποιηθεί για τη διάσπαση του νερού σε αέριο οξυγόνο και υδρογόνο (αυτό ισχύει και για τη φόρτιση που πραγματοποιείται μόνο με την παροχή οξυγόνου, μιας σφραγισμένης μπαταρίας). Οι αμπεροώρες που είναι αποθηκευμένες στις πλάκες μπορούν να ανακτηθούν κατά την επόμενη εκφόρτιση, ενώ οι αμπεροώρες που χρησιμοποιούνται για τη διάσπαση του νερού χάνονται.

Η έκταση των απωλειών και, συνεπώς, η απόδοση φόρτισης εξαρτάται από:

A) Τον τύπο της μπαταρίας: χαμηλή αεριοποίηση = υψηλή απόδοση φόρτισης.

B) Τον τρόπο με τον οποίο φορτίζεται η μπαταρία. Εάν μια μπαταρία χρησιμοποιείται κυρίως σε κατάσταση μερικής φόρτισης και φορτίζεται έως το 100% μόνο ανά τακτά διαστήματα, η

μέση απόδοση φόρτισης θα είναι υψηλότερη συγκριτικά με μια μπαταρία που επαναφορτίζεται στο 100% μετά από κάθε εκφόρτιση.

Γ) Ρεύμα και τάση φόρτισης. Κατά τη φόρτιση με υψηλό ρεύμα, επομένως με υψηλή τάση και υψηλή θερμοκρασία, η αεριοποίηση θα αρχίσει νωρίτερα και θα είναι πιο έντονη. Αυτό θα μειώσει την απόδοση φόρτισης, όπως επίσης τη συνολική ενεργειακή απόδοση της μπαταρίας.

Σε πραγματικές συνθήκες, η απόδοση φόρτισης ενδέχεται να κυμανθεί ανάμεσα στο 80% με 95%. Μια συσκευή παρακολούθησης της μπαταρίας είναι απαραίτητο να έχει την ικανότητα να συνυπολογίσει την απόδοση φόρτισης της, διαφορετικά οι ενδείξεις της, τις περισσότερες φορές πρόκειται να είναι πιο θετικές από τις πραγματικές. Εάν η απόδοση φόρτισης πρέπει να προκαθοριστεί χειροκίνητα, συνιστάται αρχικά να επιλεγθεί μια χαμηλή τιμή, παραδείγματος χάρη το 85%, και στην συνέχεια να προσαρμοστεί σχετικά με την πρακτική και την εμπειρία [2].

## **1.8 Ανθεκτικότητα – Διάρκεια Ζωής**

### **1.8.1 Επίδραση Του Σχεδιασμού Της Κυψέλης Στην Ανθεκτικότητα Του Συσσωρευτή**

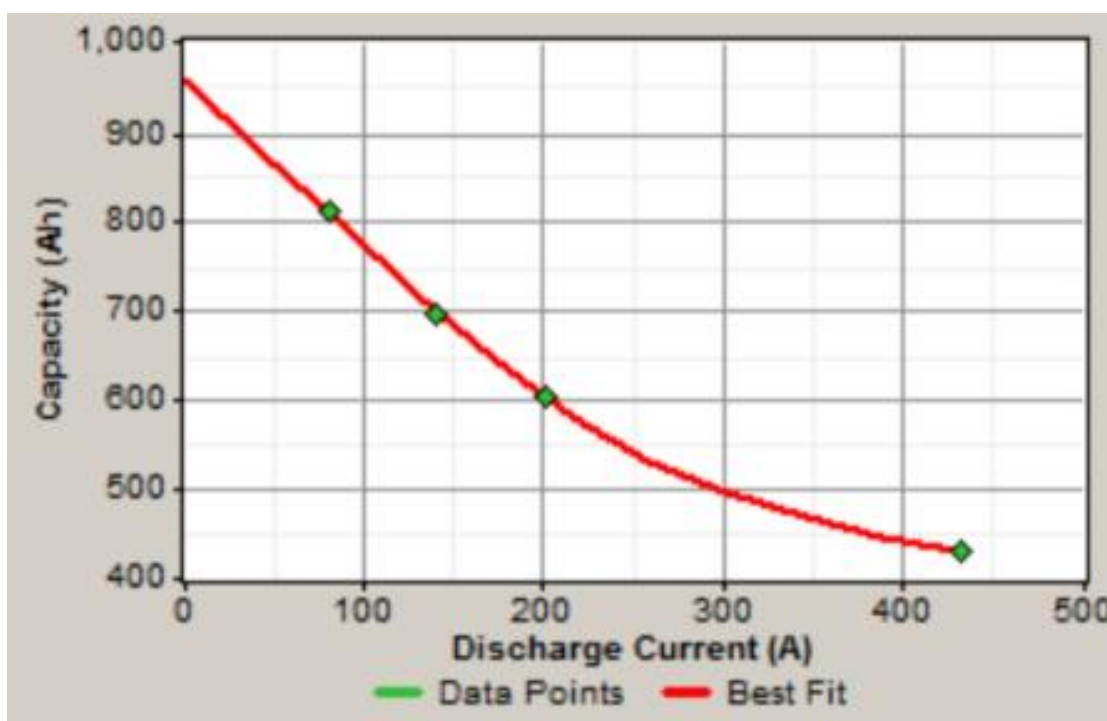
Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε έτη και κύκλους είναι εξαρτώμενη από τα παρακάτω χαρακτηριστικά σχεδιασμού των στοιχείων της κυψέλης:

- A) Το βάρος του μολύβδου και σύνθεση κράματος στα πλέγματα των πλακών
- B) Η διασπορά αυτού του μολύβδου στη δομή του πλέγματος
- Γ) Το βάρος, η πυκνότητα και η σύνθεση του ενεργού υλικού στις θετικές και αρνητικές πλάκες
- Δ) Το ειδικό βάρος ηλεκτρολύτη
- E) Η απουσία προσμίξεων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν μεταλλικά βραχυκυκλώματα μεταξύ των πλακών ή υπερβολική τοπική αέρια δράση των πλακών
- ΣΤ) Το σύστημα διαχωρισμού και η προστασία από βραχυκυκλώματα λόγω συσσώρευσης ιζημάτων

Αυτές οι μεταβλητές σχεδιασμού ελέγχουν τα χαρακτηριστικά της διάρκειας ζωής και των επιδόσεων του κελιού [5].

### 1.8.2 Επίδραση Των Παραμέτρων Λειτουργίας Στην Ανθεκτικότητα Του Συσσωρευτή

Η χωρητικότητα εκφόρτισης, η ισχύς και οι ενεργειακές απαιτήσεις, μπορούν να καλυφθούν από τις περισσότερες μπαταρίες μολύβδου - οξέος στους πρώτους κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ωστόσο, το κόστος του υποσυστήματος ανά κύκλο φόρτισης είναι πιθανόν να υποστεί αισθητή μείωση στις περισσότερες εφαρμογές με την επιλογή σχεδιασμού ενός συσσωρευτή με καλή αντοχή στη φόρτιση, μεγάλη διάρκεια ζωής και με δυνατότητα πολλών επαναλαμβανόμενων κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης [5].



Εικόνα 5: Αναλογία χωρητικότητας της μπαταρίας με τον ρυθμό εκφόρτισης

[4].

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού της μπαταρίας που αυξάνουν τη διάρκεια ζωής τείνουν να μειώνουν την αρχική χωρητικότητα, την ισχύ και την ενεργειακή απόδοση, όμως ο ρυθμός μείωσης της χωρητικότητας με τον αριθμό των κύκλων που παραδίδονται ενδέχεται να είναι αρκετά πιο μικρός [4].

Οι παράμετροι λειτουργίας οι οποίοι επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή είναι το βάθος εκφόρτισης, ο αριθμός των απαιτούμενων κύκλων ανά έτος και ο έλεγχος της φόρτισης.

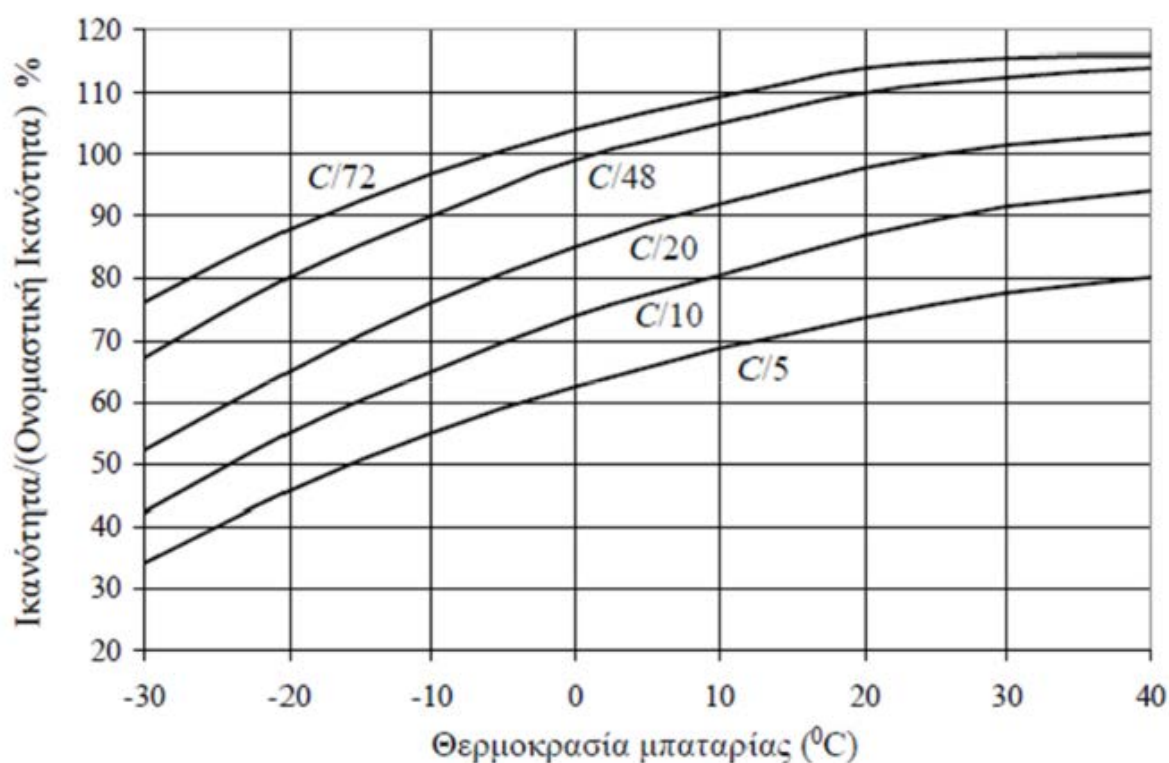
- A) Η αύξηση του βάθους εκφόρτισης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και των κύκλων φόρτισης
- B) Η αύξηση του αριθμού των κύκλων που εκτελούνται ανά έτος μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε υγρή κατάσταση
- Γ) Η υπερβολική υπερφόρτιση οδηγεί σε αυξημένη διάβρωση του θετικού πλέγματος ενεργού υλικού και σε μικρότερη διάρκεια ζωής σε υγρή κατάσταση [5].

Οι σωστές λειτουργίες φόρτισης με καλό εξοπλισμό συμβάλουν στην διατήρηση της επιθυμητής κατάστασης φόρτισης με ελάχιστη υπερφόρτιση και οδηγούν στη βέλτιστη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.

### 1.8.3 Επίδραση Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος Στην Ανθεκτικότητα Του Συσσωρευτή

Η θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί ένας συσσωρευτής παίζει καθοριστικό ρόλο στα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τη διάρκεια ζωής του.

Η χωρητικότητα εκφόρτισης αυξάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μειώνεται στις χαμηλότερες. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, το ποσοστό της χωρητικότητας που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση παρατηρεί αύξηση. Αυτή η αύξηση της χωρητικότητας ανά μονάδα βάρους ενεργού υλικού μειώνει τη διάρκεια ζωής του και τους κύκλους φόρτισης, επειδή απαιτείται μεγαλύτερη φόρτιση και εκφόρτιση για κάθε κύκλο [4].



Εικόνα 6: Σχέση της θερμοκρασίας της μπαταρίας με το ρυθμό εκφόρτισης της [4].

Η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει επίσης την αυτοεκφόρτιση. Ο ρυθμός των χημικών διεργασιών αυτοεκφόρτισης αναμένεται να διπλασιαστεί από κάθε αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας κατά 10°C. Ένα μέτρο της αυτοεκφόρτισης, είναι το ρεύμα σε μια προκαθορισμένη τάση πλεύσης [6].

- **Ποσοστό ζωής λειτουργίας του συσσωρευτή που έχει εξαντληθεί**

Όταν η άντληση ισχύος του συστήματος είναι πολύ χαμηλή για 30 ή και περισσότερες ημέρες χωρίς επαναφόρτιση, έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ισχύος κατά τη χρήση της και της αυτοεκφόρτισης. Η μπαταρία πρέπει τότε να υπερδιαστασιοποιηθεί για να αντισταθμίσει αυτή την απώλεια. Ο τύπος της μπαταρίας θα καθορίσει το ποσό της απαιτούμενης υπερβάλλουσας χωρητικότητας [6].

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τα ηλεκτρικά φορτία αυξάνονται και μειώνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Έντεκα ημέρες φόρτισης με τη μέθοδο πλεύσης στους 75°C ισοδυναμούν σε 365 ημέρες διάρκειας ζωής στους 25°C [5].

Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας μιας μπαταρίας κατά τη διάρκεια του λειτουργικού κύκλου απαιτεί υψηλότερη εισροή φόρτισης για την αποκατάσταση της χωρητικότητας εκφόρτισης και των απωλειών της. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εισερχόμενου φορτίου καταναλώνεται από την αντίδραση ηλεκτρόλυσης, λόγω της μείωσης της τάσης αεριοποίησης στην υψηλότερη θερμοκρασία.

Σε βάθος εκφόρτισης 80% σε ημερήσιο κύκλο, η απώλεια χωρητικότητας στο υποσύστημα μίας μπαταρίας μολύβδου - αντιμονίου μπορεί να φτάσει έως και το 0,5% ανά ημέρα, η οποία αντισταθμίζεται από την καθημερινή επαναφόρτιση [5].

## 1.9 Βάρος

Τα συστήματα 12 V που χρησιμοποιούνται σήμερα συνήθως σχεδιάζονται με χωρητικότητα από 40 έως 100 Ah και ζυγίζουν μεταξύ 11 και 45 Kg. Η ικανότητα παροχής ρεύματος υψηλής ταχύτητας, στην τυπική δοκιμή ψυχρής εκκίνησης, μπορεί να φτάσει τα 900 A.

### 1.9.1 Ειδικό Βάρος Του Ηλεκτρολύτη

Ένα άλλο θέμα στον σχεδιασμό ενός συσσωρευτή, είναι το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη. Η χωρητικότητα εκφόρτισης σε κάθε κύκλο αυξάνεται, όσο αυξάνεται και το ειδικό βάρος. Το ποσό της αύξησης είναι εξαρτώμενο από τον ρυθμό εκφόρτισης, την πυκνότητα του ενεργού υλικού και την αναλογία ενεργού υλικού προς όξινο ηλεκτρολύτη.

Κατά τη διάρκεια της αύξησης του ειδικού βάρους, η αντοχή φόρτισης και η διάρκεια ζωής κύκλου θα μειωθούν. Οι εκτιμήσεις αυτής της απώλειας μπορούν να γίνουν από τον κατασκευαστή της εκάστοτε μπαταρίας που εξετάζεται.

#### 1.9.1.1 Επίδραση χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας στο ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη

Το ειδικό βάρος αυξάνεται κατά την επαναφόρτιση και μειώνεται κατά την εκφόρτιση. Σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, το ειδικό βάρος μπορεί να γίνει τόσο χαμηλό ώστε να επιτευχθεί η θερμοκρασία ψύξης, τερματίζοντας την εκφόρτιση πρόωρα και παρεμποδίζοντας την επακόλουθη φόρτιση. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται διάφορα σημεία ψύξης για διάφορες συγκεντρώσεις του οξέος ηλεκτρολύτη.

### 1.9.1.2 Σημεία ψύξης ηλεκτρολύτη θειικού οξέος

| Ειδικό Βάρος |                      | Σημείο Ψύξης |     |
|--------------|----------------------|--------------|-----|
| 25°C/25°C    | Σε θερμοκρασία Ψύξης | °C           | °F  |
| 1            | 1.003                | 0            | 32  |
| 1.05         | 1.06                 | -3           | 26  |
| 1.1          | 1.115                | -8           | 18  |
| 1.15         | 1.175                | -15          | 5   |
| 1.2          | 1.235                | -27          | -17 |
| 1.25         | 1.305                | -52          | -61 |
| 1.3          | 1.365                | -70          | -95 |
| 1.35         | 1.405                | -49          | -56 |

Εικόνα 7: : Σχέση της θερμοκρασίας της μπαταρίας με το ρυθμό εκφόρτισης της [5].

Πριν από την επιλογή της χωρητικότητας του στοιχείου και του ειδικού βάρους του οξέος, ο κατασκευαστής θα πρέπει να εξετάσει τις επιπτώσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στη λειτουργία του κάθε στοιχείου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το όριο χαμηλής τάσης στο τέλος της βαθύτερης εκφόρτισης, μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια πάνω από την τάση που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος στο τέλος της εκφόρτισης που θα μπορούσε να ψυχθεί [5].

## 1.9.2 Μεταφορά Συσσωρευτών Αναλογικά Με Το Βάρος

Οι μικροί συσσωρευτές (όπως οι μπαταρίες SLI και οι μπαταρίες των αμαξιδίων του golf) στοιβάζονται σε παλέτες, με πολλές στρώσεις στο ύψος για την αποστολή σε μεγάλες αποστάσεις. Οι μπαταρίες θωρακίζονται περιμετρικά από χαρτοκιβώτια πέντε ή έξι πλευρών (slipover) με χαρτόνι ή ξύλινο φύλλο μεταξύ των στρωμάτων. Οι μπαταρίες συγκρατούνται πλευρικά με ταινία ή με πλαστικό φύλλο το οποίο τυλίγεται με διαστολή ή τέντωμα γύρω από μια πλήρη παλέτα. Οι παλέτες πρέπει να είναι πολύ ανθεκτικές για να αντέχουν το βάρος των μπαταριών και την οποιαδήποτε κακή μεταχείριση ενδέχεται να υποστούν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Οι μεγάλες μπαταρίες τοποθετούνται σε παλέτες, δένονται με ταινίες και θωρακίζονται περιμετρικά ανάλογα με την περίπτωση.

Οι μπαταρίες κανονικά, μεταφέρονται μόνο σε κοντινές αποστάσεις λόγω του βάρους τους, αλλά και κάποιων άλλων παραγόντων, όπως την εύθραυστη φύση τους, το βάρος τους και το βλαβερό τους περιεχόμενο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι συνήθεις μεταφορείς να επιβαρύνουν τις χρεώσεις σε μεγάλο βαθμό για την αποστολή μπαταριών και συνήθως αποκλείουν την αεροπορική αποστολή.



Εικόνα 8: Συστοιχία μπαταριών μολύβδου - οξέος μεγάλης κλίμακας και βάρους

## **1.10 Λειτουργία Συσσωρευτή Σε Ακραίες Καιρικές Συνθήκες**

Το σημείο πήξης των υδάτινων διαλυμάτων θειικού οξέος μεταβάλλεται ραγδαία με τη συγκέντρωση. Επομένως, οι μπαταρίες πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη να είναι πάνω από την τιμή πήξης του, την στιγμή που θα εκτεθεί στο αναμενόμενο ψύχος. Μία εναλλακτική λύση για την αντοχή της μπαταρίας στο ψύχος είναι η μόνωση ή η θέρμανσή της, με σκοπό να μπορεί να παραμείνει πάνω από τη θερμοκρασία πήξης του ηλεκτρολύτη. Τα σημεία πήξης, ποικίλουν ανάλογα με τον σχεδιασμό της μπαταρίας και το περίβλημα της [5].

Η συγκέντρωση οξέος για τις περισσότερες μπαταρίες μολύβδου - οξέος που προορίζονται για χρήση σε εύκρατα κλίματα, κυμαίνονται τις περισσότερες φορές ανάμεσα σε 1,26 με 1,28 ειδικού βάρους. Οι ηλεκτρολύτες υψηλότερης συγκέντρωσης τείνουν να επιδρούν σε ορισμένους διαχωριστές και άλλα εξαρτήματα. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις τείνουν να είναι ανεπαρκώς αγωγίμες σε ένα μερικώς φορτισμένο κελί και να παγώνουν σε χαμηλές θερμοκρασίες [1],[2].

Σε κλίματα υψηλών θερμοκρασιών είναι προτιμότερη μια χαμηλότερη συγκέντρωση, σε σταθερές κυψέλες με μεγαλύτερους αναλογικούς όγκους ηλεκτρολύτη και χωρίς απαιτήσεις υψηλών ρυθμών, χρησιμοποιούνται ηλεκτρολύτες με ειδικό βάρος έως και 1,21 [2].

## **1.11 Συντήρηση Συσσωρευτή Μολύβδου - Οξέος**

Η συντήρηση μπορεί να επιτευχθεί τις περισσότερες φορές με φορτίσεις εξισορρόπησης, με συμπλήρωση νερού στα στοιχεία του συσσωρευτή, με ελέγχους της τάσης και του ειδικού βάρους των επιμέρους στοιχείων, αλλά και με καθαρισμό των επιφανειών των κελιών από σκόνη, ακαθαρσίες, εκχύσεις οξέος και ψεκασμό.

Παραδείγματος χάρη, στις βιομηχανικές μπαταρίες μολύβδου - οξέος, η λειτουργία τους για περισσότερο από 10 έτη, είναι αρκετά συνηθισμένη, εάν συντηρηθούν σωστά. Μόνο με τη σωστή συντήρηση μπορεί να εξασφαλίσει αυτή την παρατεταμένη ωφέλιμη ζωή [2],[5].

### **1.11.1 Φορτίσεις Εξισορρόπησης Συσσωρευτή**

Κατά τη διάρκεια της κυκλικής λειτουργίας, μια μπαταρία υψηλής τάσης με πολλά στοιχεία σε σειρά μπορεί να υποστεί αστάθειες, με ορισμένα στοιχεία να περιορίζουν τη φόρτιση και την εκφόρτιση. Τα κελιά των οποίων η λειτουργία τους είναι να περιορίζουν πιθανές υπερφορτίσεις, παρουσιάζουν ευκολότερα υπερφορτίσεις συγκριτικά με άλλα κελιά τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά και έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, συνεπώς έχουν απαίτηση περισσότερης συντήρησης για να μη διαβρωθούν. Η φόρτιση εξισορρόπησης έχει την ικανότητα να ισοσταθμίσει τα κελιά που βρίσκονται σε σειρά, στο ανώτερο σημείο φόρτισης [5].

Όταν δεν φορτίζονται επαρκώς, οι μπαταρίες επιδεινώνονται για τους ακόλουθους λόγους:

A) Θείωση

B) Διαστρωμάτωση (μόνο για μπαταρίες πλημμυρισμένου τύπου)

Γ) Ανισορροπία κελιών

Η φόρτιση εξισορρόπησης ουσιαστικά παρατείνει την κανονική φόρτιση για 3 έως 6 ώρες με ρυθμό τελικής φόρτισης 5 A ανά 100 Ah, επιτρέποντας στην τάση της μπαταρίας να αυξηθεί ανεξέλεγκτα. Η φόρτιση εξισορρόπησης θα πρέπει να συνεχίζεται έως ότου οι τάσεις των κελιών και τα ειδικά βάρη να φτάσουν σε μια σταθερή επιθυμητή τιμή. Η συχνότητα της φόρτισης εξισορρόπησης είναι συνήθως μία συνάρτηση της συσσωρευμένης απόδοσης εκφόρτισης και καθορίζεται από τον κατασκευαστή για κάθε σχεδιασμό και εφαρμογή της εκάστοτε μπαταρίας [5].

Είναι αναγκαίο να εξασφαλιστεί η απομόνωση της μπαταρίας από όλα τα φορτία που είναι ευαίσθητα στην υπέρταση κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου φόρτισης. Ειδικά οι μπαταρίες έλξης βαρέως τύπου μπορεί να χρειάζονται περιοδική φόρτιση εξισορρόπησης.

Εάν έχουν χρησιμοποιηθεί σε κατάσταση μερικής εκφόρτισης για κάποιο χρονικό διάστημα, είναι δυνατόν να ανακάμψουν με τις εξής ενέργειες:

A) Επαναλαμβανόμενη επαναφόρτιση και φόρτιση με την κατάλληλη τάση και χρόνο απορρόφησης

B) Με μια φόρτιση απορρόφησης ή πλωτής φόρτισης (Float Charging) κατά τη διάρκεια μεγαλύτερης χρονικής περιόδου

Γ) Πραγματική φόρτιση εξισορρόπησης

Το πόσο συχνά πρέπει να γίνει μία εξισορρόπηση ενός συσσωρευτή, είναι άμεσα εξαρτώμενο από τον τύπο και τη χρήση. Σε μπαταρίες με υψηλή πρόσμιξη αντιμονίου, ο καλύτερος τρόπος για να διαπιστωθεί ορθά είναι να ελέγξουμε το ειδικό βάρος (SG) μετά από μια κανονική φόρτιση:

- A) Εάν όλα τα κελιά είναι ίσα και στο 1,28 SG, δεν υπάρχει η ανάγκη της εξισορρόπησης.
- B) Εάν όλα τα κελιά είναι μεταξύ 1,24 και 1,28 SG, καλό θα ήταν να εξισωθεί όταν είναι εύκαιρο, αλλά δεν υπάρχει κάποια άμεση ανάγκη.
- Γ) Εάν το ειδικό βάρος (SG) ορισμένων κελιών είναι μικρότερη από 1,24, είναι προτεινόμενη η εξισορρόπηση.
- Δ) Εάν όλα τα κελιά είναι κάτω από 1,24 SG, η μπαταρία είναι υποφορτισμένη και ο χρόνος απορρόφησης ή η τάση θα πρέπει να αυξηθεί.

Στις μπαταρίες VLRA και στις μπαταρίες με χαμηλή περιεκτικότητα σε αντιμόνιο δεν μπορεί να μετρηθεί το ειδικό βάρος (SG), αντίστοιχα η ένδειξη θα είναι αβέβαιη. Ο ευκολότερος τρόπος για να διαπιστωθεί αν είναι πραγματικά φορτισμένες στο 100% είναι να παρακολουθηθεί το ρεύμα φόρτισης κατά τη διάρκεια της φόρτισης απορρόφησης. Το ρεύμα φόρτισης θα πρέπει να μειώνεται σταθερά και στη συνέχεια να σταθεροποιηθεί, πράγμα το οποίο αποτελεί απόδειξη πως η χημική μετατροπή της ενεργού μάζας έχει ολοκληρωθεί και ότι η κύρια απομένουσα χημική δραστηριότητα είναι η αεριοποίηση (η διάσπαση δηλαδή του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο) [5].

### 1.11.2 Καθαριότητα

Η διατήρηση της καθαριότητας της μπαταρίας θα ελαχιστοποιήσει τη διάβρωση των συνδέσμων των κυψελών και των χαλύβδινων δίσκων και θα αποφευχθούν οι ακριβές επισκευές. Οι μπαταρίες συνήθως μαζεύουν σκόνη και ακαθαρσίες ξηρού τύπου, η οποία μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί με βούρτσα. Αυτή η σκόνη πρέπει να απομακρύνεται πριν η δημιουργημένη υγρασία μετατραπεί σε αγωγό παράπλευρων ρευμάτων. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι το πάνω μέρος της μπαταρίας μπορεί να βραχεί με ηλεκτρολύτη κατά τη διάρκεια κάθε συμπλήρωσης νερού στο κελί. Το οξύ σε αυτόν τον ηλεκτρολύτη δεν εξατμίζεται και πρέπει να εξουδετερωθεί με πλύσιμο της μπαταρίας, με ένα διάλυμα μαγειρικής σόδας και ζεστού νερού, αναλογικά 1 kg μαγειρικής σόδας σε 4 L νερού. Έπειτα από το ξέπλυμα του συσσωρευτή με ένα τέτοιο διάλυμα, η περιοχή θα πρέπει να καθαριστεί καλά με νερό [5].

### 1.11.3 Αποφυγή Της Υπερθέρμανσης

Μια από τις πιο βλαβερές καταστάσεις για μια μπαταρία είναι η υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα πάνω από 55°C, καθώς οι ρυθμοί διάβρωσης, διαλυτότητας των μεταλλικών συστατικών και αυτοεκφόρτισης αυξάνονται με την αύξηση της. Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας κατά τη διάρκεια κύκλων φόρτισης εκφόρτισης απαιτεί υψηλότερη εισροή φόρτισης για την αποκατάσταση της χωρητικότητας εκφόρτισης. Περισσότερο από το εισερχόμενο φορτίο καταναλώνεται μέσω της αντίδρασης της ηλεκτρόλυσης, λόγω της μείωσης της τάσης αεριοποίησης στην υψηλότερη θερμοκρασία. Ενώ μια υπερφόρτιση 10% ανά κύκλο διατηρεί την κατάσταση φόρτισης στους 25 έως 35°C, μπορεί να απαιτείται υπερφόρτιση έως και 40% για τη διατήρηση της κατάστασης φόρτισης στις υψηλότερες (60 έως 70°C) θερμοκρασίες λειτουργίας.

Οι μπαταρίες που κατασκευάζονται για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες θα πρέπει να χρησιμοποιούν ηλεκτρολύτη χαμηλότερου αρχικού ειδικού βάρους από εκείνες που χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Άλλα χαρακτηριστικά στον σχεδιασμό της μπαταρίας, όπως η χρήση περισσότερου διαστολέα στην αρνητική πλάκα (απορροφά την διαστολική διαφορά που προκύπτει κατά τους κύκλους λειτουργίας της μπαταρίας), είναι επίσης σημαντικά για τη βελτίωση της λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες [5].

#### 1.11.4 Αποφυγή Της Υπερεκφόρτωσης

Είναι εξίσου σημαντική η αποφυγή της υπερεκφόρτισης του κάθε συσσωρευτή. Αυτές οι μπαταρίες μπορούν συνήθως να παρέχουν μεγαλύτερη από την ονομαστική χωρητικότητα, αυτό όμως θα πρέπει να συμβαίνει μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και όχι σε καθημερινή βάση. Η εκφόρτιση των κυψελών κάτω από την καθορισμένη τάση, καθιστά τον ηλεκτρολύτη σε χαμηλή συγκέντρωση, πράγμα το οποίο έχει επιβλαβή επίδραση στη δομή των πόρων της μπαταρίας. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας έχει αποδειχθεί ότι είναι άμεση συνάρτηση του βάθους εκφόρτισης. Παραδείγματος χάρη, η χωρητικότητα των μεγάλων μπαταριών, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε βαρέα και ανυψωτικά οχήματα, εκτιμάται γενικά σε αμπερώρες με ρυθμό εκφόρτισης 6 ωρών σε τελική τάση 1,75 V ανά κυψέλη. Παρόλο που είναι δυνατή η παροχή μεγαλύτερης χωρητικότητας, για την μακροζωία του συσσωρευτή τους, δε θα πρέπει να υπερβούμε αυτές τις τιμές [5],[13].

### 1.11.5 Συμπλήρωση Νερού Στα Στοιχεία Του Συσσωρευτή

Κατά τη διάρκεια του κανονικού κύκλου λειτουργίας, το νερό χάνεται από μια μπαταρία, με αποτέλεσμα την εξάτμιση και την ηλεκτρόλυση σε υδρογόνο και οξυγόνο, τα οποία διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση του νερού δεν αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας, με εξαίρεση τα πολύ ζεστά και ξηρά κλίματα. Με μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, η ηλεκτρόλυση καταναλώνει νερό με ρυθμό 0,336cc (κυβικά εκατοστά) ανά υπερφόρτιση Ah. Μια κυψέλη 500 Ah υπερφορτισμένη κατά 10% είναι πιθανόν να χάσει 16,8cc, ή περίπου το 0,3% του νερού της, σε κάθε κύκλο λειτουργίας [2].



*Εικόνα 9: Συμπλήρωση νερού σε ένα συσσωρευτή υγρού ηλεκτρολύτη*

Ο ηλεκτρολύτης δεν λειτουργεί μονάχα σαν αγωγός του ηλεκτρισμού, αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα στη μεταφορά θερμότητας μέσω των πλακών. Εάν ο ηλεκτρολύτης βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της πλάκας, τότε μια περιοχή της δεν θα είναι ηλεκτροχημικά ενεργή, πράγμα το οποίο θα προκαλέσει συγκέντρωση θερμότητας σε άλλα μέρη του στοιχείου.

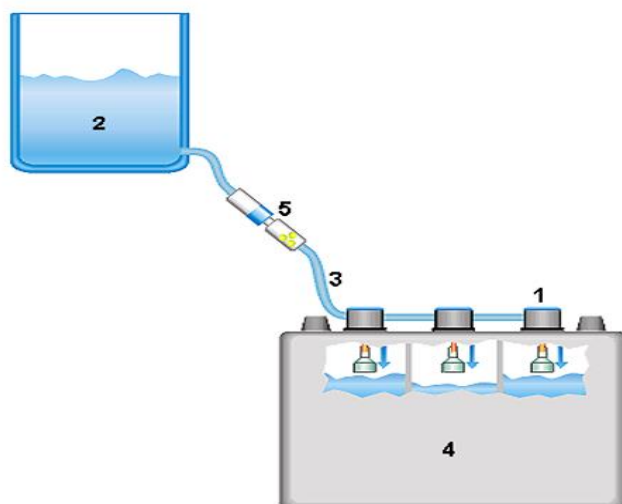
Ο περιοδικός έλεγχος της κατανάλωσης νερού μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως πρόχειρος έλεγχος της απόδοσης της φόρτισης και μπορεί να μας δώσει μία πρόωρη ένδειξη του πότε θα απαιτηθεί προσαρμογή του φορτιστή.

Δεδομένου ότι η αντικατάσταση του νερού μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό κόστος συντήρησης, η απώλεια νερού μπορεί να μειωθεί με τον έλεγχο της υπερφόρτισης, και με τη χρήση συσκευών επανασύνδεσης υδρογόνου και οξυγόνου σε κάθε κελί, όπου είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί.

Η προσθήκη νερού επιτυγχάνεται καλύτερα μετά την επαναφόρτιση και πριν από τη φόρτιση εξισορρόπησης. Θα πρέπει να προστεθεί νερό για να φτάσουμε στη γραμμή μέγιστης στάθμης οξέος στην επιφάνεια της φόρτισης. Η αεριοποίηση κατά τη διάρκεια της φόρτισης θα πραγματοποιήσει ομοιόμορφη ανάμιξη του νερού στο οξύ. Είναι σημαντικό να μην προστεθεί νερό σε πολύ χαμηλές καιρικές θερμοκρασίες, εφόσον μπορεί να παγώσει πριν από την ανάμιξη.

Το νερό το οποίο προστίθεται πρέπει να είναι απιονισμένο, απομεταλλωμένο ή νερό το οποίο έχει πάρει την έγκριση για χρήση σε συσσωρευτές. Αν και δεν προβλέπεται πλέον από τους περισσότερους κατασκευαστές μπαταριών, το απιονισμένο νερό, χαμηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα άλατα και ιόντα βαρέων μετάλλων, όπως ο σίδηρος, θα βοηθήσει στην παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

Οι αυτόματες συσκευές συμπλήρωσης νερού οι οποίες βρίσκονται πλέον σε εξέλιξη και σε δοκιμές αξιοπιστίας, μπορούν να μειώσουν ακόμα πιο πολύ το κόστος της διαδικασίας συντήρησης. Πρέπει να αποφευχθεί η υπερπλήρωση, καθώς η τυχούσα υπερχειλίση όξινου ηλεκτρολύτη είναι ικανή να προκαλέσει διάβρωση των πλακών, των δίοδων γείωσης και την απώλεια της χωρητικότητας των κελιών.



Εικόνα 10: Σύστημα συμπλήρωσης απιονισμένου νερού στον ηλεκτρολύτη

[14].

#### 1.11.6 Έλεγχος Του Ειδικού Βάρους Και Των Επί Μέρους Στοιχείων Του Συσσωρευτή

Ένας πλήρης έλεγχος του ειδικού βάρους πρέπει να πραγματοποιηθεί μετά την προσθήκη νερού με σκοπό την διασφάλιση της σωστής συγκέντρωσης οξέος στο ανώτατο σημείο της φόρτισης. Μια χρήσιμη προσέγγιση για τον έλεγχο του ειδικού βάρους είναι η εξίσωση:

$$\text{Ειδικό βάρος} = \text{Τάση ανοικτού κυκλώματος κυψέλης} - 0,845 \quad [2].$$

Η εξίσωση αυτή, επιτρέπει την ηλεκτρική παρακολούθηση του ειδικού βάρους σε περιστασιακές συνθήκες.

#### 1.12 Διάβρωση Συσσωρευτή Μολύβδου - Οξέος

Οι τρόποι αστοχίας των μπαταριών μολύβδου - οξέος εξαρτώνται από τον τύπο της εφαρμογής και τον συγκεκριμένο σχεδιασμό της μπαταρίας. Αυτή είναι η λογική για την κατασκευή διαφορετικών μπαταριών, δεδομένου ότι κάθε μία έχει σχεδιαστεί για να παρέχει βέλτιστη απόδοση σε έναν συγκεκριμένο τύπο χρήσης. Ένας συσσωρευτής μολύβδου - οξέος είναι επιρρεπής στην διάβρωσή του, η οποία οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, τους οποίους θα αναλύσουμε παρακάτω.

### **1.12.1 Διάβρωση Του Πλέγματος Του Θετικού Ηλεκτροδίου**

Στις μπαταρίες μολύβδου - οξέος, κατά την κατασκευή του πλέγματος που αντλεί ρεύμα από το ενεργό υλικό, χρησιμοποιούνται κράματα μολύβδου τα οποία περιέχουν υλικά όπως το ασβέστιο και το αντιμόνιο. Η φόρτιση της μπαταρίας προκαλεί οξείδωση (διάβρωση) του πλέγματος, με αποτέλεσμα να επιμηκύνεται και να γίνεται πιο λεπτό, αλλοιώνοντας την επαφή του με το ενεργό υλικό. Έτσι, προκαλείται αύξηση της εσωτερικής αντίστασης και μειώνεται η ισχύς όπου μπορεί να αντληθεί από τη μπαταρία, από τις αλλαγές αυτές [2],[15].

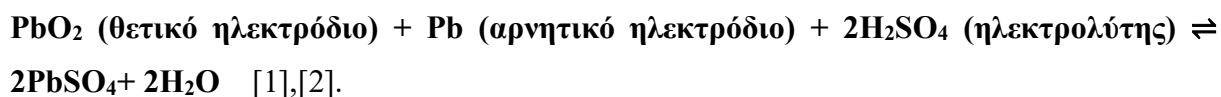
Το φαινόμενο αυτό επιταχύνεται όταν η μπαταρία βρίσκεται σε υψηλή κατάσταση φόρτισης, όπως επίσης επιταχύνεται περαιτέρω από υψηλές θερμοκρασίες. Η μεγαλύτερη υποβάθμιση που μπορεί να υποστεί μια μπαταρία που χρησιμοποιείται σε πλήρως φορτισμένη φάση, προκαλείται από την παραμόρφωση του σχήματος του πλέγματος των θετικών ηλεκτροδίων.

### 1.12.2 Πτώση Του Ενεργού Υλικού

Το διοξείδιο του μολύβδου, το οποίο μας είναι χρήσιμο και ως το ενεργό υλικό του θετικού ηλεκτροδίου, συσκευάζεται σε έναν πορώδη σωλήνα και παραμένει στη θέση του από ένα πλέγμα λόγω της ασθενούς δύναμης σύνδεσης. Ωστόσο, οι μεταβολές του όγκου λόγω φόρτισης και εκφόρτισης είναι υπεύθυνες για τη σταδιακή μαλάκωση του υλικού και την ανάπτυξη κενών και διαχωρίζεται από τον πυρήνα και το πλέγμα του μετάλλου που συλλέγει το ρεύμα. Εφόσον το υλικό δεν θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, αφού με αυτό τον τρόπο θα διαχωριστεί, η χωρητικότητα της μπαταρίας θα μειωθεί [15].

### 1.12.3 Χημική Διάβρωση

Θεωρητικά, κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης ενός συσσωρευτή μολύβδου - οξέος, συμβαίνουν εντελώς αντίθετες αντιδράσεις, όπως παρατηρούμε και στην παρακάτω αντίδραση που έχουμε προαναφέρει:



Στην πραγματικότητα όμως, πραγματοποιούνται και μη αντιστρεπτές αντιδράσεις, οι οποίες ευθύνονται για την σταδιακή υποβάθμιση (διάβρωση) της μπαταρίας.

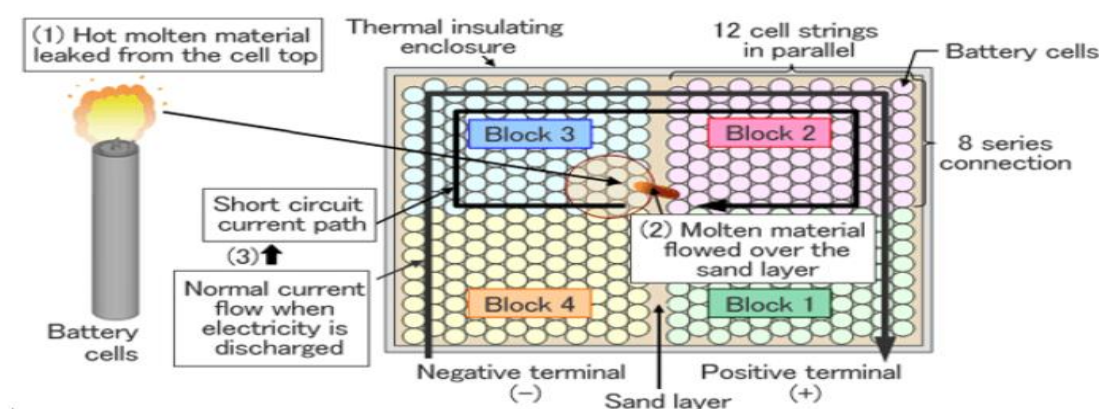
Κατά την διάρκεια της εκφόρτισης, προκαλείται η μετατροπή του μολύβδου σε θεικό μόλυβδο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, ο οποίος αναπτύσσει σταθερή κρυσταλλική δομή με την πάροδο του χρόνου. Δεδομένου ότι ο θεικός μόλυβδος γίνεται λιγότερο αγώγιμος μόλις κρυσταλλοποιηθεί, δεν θα μετατραπεί ξανά σε μόλυβδο ακόμη και αν η μπαταρία φορτιστεί. Όταν οι κρύσταλλοι θεικού μολύβδου προσκολλώνται στην επιφάνεια του αρνητικού ηλεκτροδίου, η περιοχή αντίδρασης μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ηλεκτρολύτη μειώνεται, προκαλώντας αύξηση της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας. Επιπλέον, η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη θα μειωθεί, καθώς τα θεικά ιόντα στον ηλεκτρολύτη δεν θα μετατραπούν ξανά σε θεικό μόλυβδο [15].

Κατά συνέπεια, σε καμία ποσότητα φόρτισης δεν θα αποκατασταθεί η αρχική τάση, και θα παρατηρήσουμε μείωση της τάσης. Η κρυστάλλωση του θειικού μολύβδου στην επιφάνεια του αρνητικού ηλεκτροδίου είναι η συνηθέστερη αιτία υποβάθμισης όταν οι μπαταρίες φορτίζονται και εκφορτίζονται συχνά ή παραμένουν χωρίς φόρτιση, όπως οι μπαταρίες αυτοκινήτων [1].

## 1.13 Κίνδυνοι Και Ασφάλεια

### 1.13.1 Εκρηκτικότητα – Αναφλεξιμότητα

Ένας από τους κινδύνους είναι οι εκρήξεις που μπορούν να προκύψουν από την ανάφλεξη του εύφλεκτου αερίου μίγματος υδρογόνου και οξυγόνου που σχηματίζεται κατά την υπερφόρτιση των κελιών μολύβδου - οξέος. Για την αποφυγή αυτών των εκρήξεων, πρέπει να παρθούν τα ανάλογα μέτρα ασφαλείας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ο μέγιστος ρυθμός σχηματισμού είναι 0,418 λίτρα υδρογόνου και 0,209 λίτρα οξυγόνου ανά υπερφόρτιση Ah σε κανονική θερμοκρασία και πίεση. Το αέριο μείγμα είναι εκρηκτικό όταν το υδρογόνο στον αέρα υπερβαίνει το 4% κατ' όγκο. Ένα σύνηθες μέτρο είναι να ρυθμίζονται οι προειδοποιητικές συσκευές για συναγερμό στο 20 με 25 τοις εκατό του κατώτερου εκρηκτικού ορίου (Lower Explosive Limit ή LEL). Στο εμπόριο διατίθενται ανιχνευτές υδρογόνου για το σκοπό αυτό, οι οποίοι μπορούν να βρεθούν σε χαμηλό κόστος [16].



Εικόνα 11: Αιτία πυρκαγιάς από μία μπαταρία μολύβδου - οξέος

[16].

Κανονικά, με την σωστή κυκλοφορία του αέρα γύρω από τη μπαταρία, η συσσώρευση υδρογόνου δεν αποτελεί πρόβλημα, ωστόσο, εάν οι μεγάλες μπαταρίες είναι κλεισμένες σε μικρούς χώρους, θα πρέπει να εγκατασταθούν ανεμιστήρες εξαγωγής ώστε να εξαερίζεται συνεχώς ο χώρος και να ενεργοποιούνται αυτόματα όταν η συσσώρευση υδρογόνου υπερβαίνει το 20 τοις εκατό LEL. Τα δοχεία των συσσωρευτών πρέπει επίσης να εξαερίζονται στην ατμόσφαιρα. Σπινθήρες ή κάποια φλόγα, μπορούν να αναφλέξουν αυτές τις συγκεντρώσεις υδρογόνου πάνω από το LEL [16].

Για να αποφευχθεί η ανάφλεξη, οι ηλεκτρικές πηγές σπινθήρων ή φλόγας πρέπει να τοποθετούνται σε μεταλλικά κιβώτια με αντιακρηκτική προστασία. Οι κυψέλες των συσσωρευτών μπορούν ομοίως να εξοπλιστούν με πυρίμαχο υλικό στους αεραγωγούς για να αποτραπεί η ανάφλεξη εκρηκτικών αερίων από εξωτερικούς σπινθήρες στο εσωτερικό των περιβλημάτων των κυψελών. Είναι εξίσου σημαντικό να αποφευχθεί το κάπνισμα, η χρήση ανοικτής φλόγας ή η οποιαδήποτε δημιουργία σπινθήρων γενικά, κοντά σε ένα ανοιχτό συσσωρευτή.

### 1.13.2 Τοξικότητα

Ορισμένοι τύποι μπαταριών απελευθερώνουν μικρές ποσότητες των τοξικών αερίων στιβίνη ( $\text{SbH}_3$ ) και αρσίνη ( $\text{AsH}_3$ ). Οι θετικές πλάκες των συσσωρευτών αυτών, περιέχουν στο κράμα του πλέγματος τους, μικρές ποσότητες μετάλλων αντιμονίου και αρσενικού, με στόχο να σκληρύνουν το πλέγμα και να μειώσουν το ρυθμό διάβρωσης του πλέγματος κατά την κυκλική λειτουργία.

Κατά τη συνεχή υπερφόρτιση μιας τέτοιας μπαταρίας, η στιβίνη ( $\text{SbH}_3$ ) απελευθερώνεται με μέσο ρυθμό 0,05 - 0,15mg ανά 1000 Ah ονομαστικής χωρητικότητας 5 ωρών ανά αμπέρ - ώρα (Ah) υπερφόρτισης, ανάλογα με το ρυθμό υπερφόρτισης και τη σύνθεση του κράματος. Η ποσότητα αρσίνης ( $\text{AsH}_3$ ) που απελευθερώνεται είναι μικρότερη από το ένα δέκατο της ποσότητας της στιβίνης. Εάν αυτά τα αέρια αφεθούν να συσσωρευτούν στο χώρο της μπαταρίας, μπορεί να δημιουργηθούν τοξικές συνθήκες.

Επομένως, ο εξαερισμός είναι διπλά σημαντικός, καθώς όλες οι δοκιμές δείχνουν πως ο εξαερισμός που έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί το υδρογόνο κάτω από το 20% LEL θα διατηρεί επίσης τη στιβίνη και την αρσίνη σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα από τα τοξικά τους όρια.

Ο σχεδιαστής του συστήματος συνεπώς, θα πρέπει να συμβουλευτεί τον μηχανικό εφαρμογής του κατασκευαστή της μπαταρίας για να επανεξετάσει και να εγκρίνει το σχεδιασμό του δοχείου μπαταρίας και του δωματίου, τον εξαερισμό του και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας για την επίτευξη της ασφαλείας [2],[6].

### 1.13.3 Χημικά Εγκαύματα

Το θειικό οξύ το οποίο περιέχεται στις μπαταρίες μολύβδου – οξέος, είναι ικανό να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα στο ανθρώπινο σώμα. Συνεπώς, τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να παρθούν κατά τη χρήση των μπαταριών, είναι τα εξής: [5]

A) Πρέπει να αποφευχθεί η ρίψη οξέος στα μάτια, στο δέρμα ή στα ρούχα. Σε περίπτωση επαφής, είναι απαραίτητο το άμεσο και σχολαστικό ξέπλυμα με άπλετο καθαρό νερό. Συνιστάται επίσης η ιατρική βοήθεια σε περίπτωση επαφής του οξέος με τα μάτια.

B) Πρέπει να φορεθεί προστατευτικό κάλυμμα προσώπου, πλαστική ή ελαστική ποδιά και γάντια κατά τη διάρκεια χειρισμού του οξέος. Έτσι μειώνονται οι πιθανότητες της οποιαδήποτε επαφής.

Γ) Το διάλυμα διττανθρακικής σόδας (Άλας το οποίο αποτελείται από ιόντα νατρίου και δισανθρακικά ιόντα. Είναι στερεό κρυσταλλικής μορφής, τις περισσότερες φορές σε μορφή σκόνης, και διαλύεται ένα κιλό σε ένα γαλόνι νερό) θα εξουδετερώσει οποιοδήποτε τυχούσα ρίψη οξέος. Η εφαρμογή του διαλύματος γίνεται μέχρι να σταματήσουν οι φυσαλίδες και στη συνέχεια, ακολουθεί το ξέπλυμα με καθαρό νερό.

### 1.13.4 Κίνδυνος Ηλεκτροπληξίας

Η επικινδυνότητα που έχει κάθε συσσωρευτής είναι άμεσα εξαρτώμενη από την τάση της. Παραδείγματος χάρη, η συνήθης μπαταρία αυτοκινήτου 12 V αποτελεί μικρό κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Το επίπεδο του κινδύνου είναι ανεβασμένο στα συστήματα υψηλότερης τάσης, και συστήματα της τάξεως των 84 έως 360 V που χρησιμοποιούνται για ηλεκτρικά οχήματα.

Οι μπαταρίες είναι ηλεκτρικά ζωντανές ανά πάσα στιγμή, οπότε τα μέτρα που θα πρέπει να παρθούν ώστε να αποφευχθεί η ηλεκτροπληξία είναι:

A) Να διατηρηθεί το πάνω μέρος της μπαταρίας καθαρό και στεγνό για να αποφευχθούν πιθανά βραχυκυκλώματα γείωσης και διάβρωση.

B) Να μην αφεθούν μεταλλικά αντικείμενα πάνω στην μπαταρία. Πρέπει να μονωθούν όλα τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται κατά την εργασία σε ένα συσσωρευτή για την αποφυγή

βραχυκυκλωμάτων. Επίσης, σημαντικό είναι ο εργαζόμενος να μην έχει πάνω του μεταλλικά αντικείμενα όπως κοσμήματα, πριν την εργασία σε μία μπαταρία.

Γ) Κατά τη διάρκεια ανύψωσης των μπαταριών, υποχρεωτικό είναι να χρησιμοποιούνται πλήρως μονωμένα εργαλεία ανύψωσης για να αποφευχθεί ο κίνδυνος οποιουδήποτε βραχυκυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών των στοιχείων από αλυσίδες ή γάντζους ανύψωσης.

Δ) Τέλος, είναι εξίσου σημαντική η εξασφάλιση μη συσσώρευσης αερίων πριν και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς τους [5].

## **1.14 Ανακύκλωση, Ανανεώσιμοι Πόροι Πρώτων Υλών Συσσωρευτή**

Οι συσσωρευτές μολύβδου - οξέος βρίσκονται στην κορυφή της κατάταξης των μπαταριών σε ανακυκλώσιμα προϊόντα, καθώς περισσότερο από το 97% του μολύβδου των μπαταριών ανακυκλώνεται.

Τα εν λόγω κραματικά μέσα αυξάνουν επίσης σημαντικά την ικανότητα της θετικής πλάκας να ανακυκλώνεται με καλή αξιοποίηση του θετικού ενεργού υλικού σε διάρκεια ζωής βαθιάς ανακύκλωσης 2000 - 3000 κύκλων [6].

Για να επιτευχθεί η επιτυχημένη ανακύκλωση ενός συσσωρευτή με το μέγιστο δυνατό ποσοστό ανάκτησης, είναι αναγκαία η λειτουργία μηχανικής επεξεργασίας. Θα πρέπει να έχει εκφορτιστεί πλήρως ο συσσωρευτής από πριν και να είναι αποσυναρμολογημένος στις επιμέρους συστοιχίες του, για να πραγματοποιηθεί μηχανική επεξεργασία [12],[17].

### 1.14.1 Μηχανική Επεξεργασία

Κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης των συσσωρευτών, η μπαταρία πρώτα αφαιρείται από την κάθε συσκευή που την χρησιμοποιούσε, μετρίεται το βάρος της και αργότερα θα αφεθεί σε ένα διαγνωστικό μηχάνημα ώστε να γίνει η δοκιμή της, για να σιγουρευτεί πως είναι πλήρως εκφορτισμένη. Η ενέργεια που έχει αντληθεί κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης των συσσωρευτών έχει τη δυνατότητα να μεταβεί στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας των εγκαταστάσεων ανακύκλωσης έτσι ώστε να αξιοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές [12],[17].



Εικόνα 12: Στάδια της μηχανικής επεξεργασίας μπαταριών

[12],[17].

Η εκφόρτιση της μπαταρίας θα πάψει όταν δοθεί η εντολή από το διαγνωστικό, είτε όταν είναι πλήρως εκφορτισμένη, είτε όταν η τάση της μπαταρίας είναι μικρότερη των 2V. Όπως είπαμε νωρίτερα, η πλήρης εκφόρτιση είναι απαραίτητη, διότι πρέπει να είμαστε σίγουροι πως θα εκμηδενιστούν οι πιθανότητες τυχόντων εκρήξεων ή φωτιάς, για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των εργαζομένων κατά τη διαδικασία της. Επομένως, η μπαταρία θα αποσυναρμολογηθεί σε συστοιχίες, κάθε συστοιχία θα τοποθετηθεί χωρία η μία από την άλλη και θα μεταφερθούν μαζικά σε έναν νέο τομέα ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία σύνθλιψης (ή αλλιώς άλεσης) [17].

Η διαμόρφωση του χώρου σύνθλιψης είναι συγκεκριμένων προδιαγραφών και εξαρτάται από το κονιορτοποιητή, το μηχάνημα που επιτυγχάνει την άλεση των συστοιχιών του συσσωρευτή. Μέσα στο χώρο της σύνθλιψης, συνιστάται το δοχείο να είναι κλειστό. Η διαδικασία της σύνθλιψης πραγματοποιείται με τη χρήση ενός αδρανούς αερίου, τις

περισσότερες φορές το αργό ή το άζωτο, με στόχο την μείωση του οξυγόνου και την αποφυγή εκρήξεων ή πυρκαγιών. Το μεγαλύτερο μέρος της επιτρεπόμενης ύπαρξης οξυγόνου στο χώρο είναι κοντά στο 4%. Η αρχή λειτουργίας του κονιορτοποιητή είναι στα 0,9 kW και μετέπειτα φτάνει έως τα 1,6 kW. Η μεγαλύτερη λειτουργία που μπορεί να καταλήξει ο κονιορτοποιητής είναι στα 0,3kW. Εντός 2 λεπτών η συστοιχία πλέον έχει τεμαχιστεί, έτσι ο μύλος θα επαναφερθεί στα 1,6kW [12].



*Εικόνα 13: Σύνθλιψη των κελιών μίας μπαταρίας με τη βοήθεια του κονιορτοποιητή [12],[17].*

Αφού τελειώσει η πρώτη φάση της σύνθλιψης, τα τεμαχισμένα μέρη του συσσωρευτή, ξεκινούν τη διαδικασία μίας δεύτερης φάσης όπου θα συνθλιφθούν ακόμη μία φορά έτσι ώστε να μετατραπούν σε μορφή σκόνης. Η σκόνη που θα έχει πλέον δημιουργηθεί, περνά στον αποξηραντή, για να εξατμιστεί και να γίνει η συμπύκνωση του ηλεκτρολύτη. Η εξατμισμό του ηλεκτρολύτη θα πραγματοποιηθεί από τους 100 έως και τους 245°C, όπου θα προστεθεί αδρανές αέριο, σε χρονικό διάστημα από μισής έως και πέντε ωρών, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, όλα αυτά ανάλογα με τον τρόπο αποξήρανσης. Ο ηλεκτρολύτης έχει τη δυνατότητα ανάκτησης του μέχρι και έως το 98% [12],[17].

### 1.14.2 Ανάκτηση Ανανεώσιμων Υλικών Συσσωρευτών

Ο ανακτημένος πλέον ηλεκτρολύτης, θα συγκεντρωθεί σε μεγάλες μεταλλικές δεξαμενές ώστε να γίνει η επαναχρησιμοποίησή του σε διάφορες εφαρμογές στη βιομηχανία, όπως και για την παραγωγή νέων συσσωρευτών. Έπειτα θα ξεχωριστούν τα υλικά της αποξηραμένης μάζας με την αέρια ταξινόμηση και μέσω του κοσκινίσματος.

Κατά το επόμενο στάδιο του κοσκινίσματος, πραγματοποιείται μία αέρια ταξινόμηση έτσι ώστε να γίνει διαχωρισμός του πλαστικού από το αλουμίνιο και το χαλκό αναλογικά με τη ταχύτητα του αέρα.

Κάθε προκύπτουσα μάζα από τις διαδικασίες που έχουμε αναφέρει, κατευθύνεται σε μεγάλες πλαστικές τσάντες βιομηχανίας, μέσω των σωληνώσεων και των ανεμιστήρων. Αφού έχουν διαχωριστεί τα μέταλλα της μπαταρίας μεταξύ τους, κάθε βιομηχανική τσάντα θα οδηγηθεί για επιπλέον επεξεργασία ώστε να πραγματοποιηθεί η πλήρης ανάκτηση τους. Για να πραγματοποιηθεί η πλήρης ανάκτηση των υλικών της μπαταρίας, το τελευταίο στάδιο που πραγματοποιείται είναι η υδρομεταλλουργία. Μέσω αυτής της μεθόδου παρέχεται η ικανότητα ανάκτησης των υλικών σε μεγάλο βαθμό [17].

## 1.15 Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος

Κάποια μέταλλα που περιέχουν οι συσσωρευτές μολύβδου - οξέος, όπως το αντιμόνιο και το διοξείδιο του μολύβδου, ενδέχεται εν τέλη να καταλήξουν στο περιβάλλον, προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητά του και στην ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, οι συγκεκριμένες μπαταρίες περιέχουν, όπως έχουμε προαναφέρει και εύφλεκτα υλικά, συνεπώς υπάρχει μεγάλος κίνδυνος πυρκαγιάς κατά την απόσυρσή τους ή ακόμη και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς τους.

Κατά την ανακύκλωσή τους σε εργοστάσια για ενεργειακή αξιοποίηση, τα μέταλλα αυτά, συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος της τέφρας, η οποία συχνά απορρίπτεται εάν δεν ανακυκλωθεί και μολύνει το περιβάλλον με όμοιο τρόπο. Ακόμη, κατά τη διάρκεια της καύσεως, ο διαχωριστής και ο ηλεκτρολύτης απελευθερώνουν στο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες τοξικών και βλαβερών αερίων οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν ποικίλα

προβλήματα υγείας και περιβαλλοντικά ζητήματα, συνεπώς όλες οι μπαταρίες θα πρέπει να υποβληθούν σε διαδικασία ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.

Το νερό των συσσωρευτών μολύβδου - οξέος είναι αρκετά τοξικό και επιφέρει μόλυνση στον υδροφόρο ορίζοντα αν δεν φροντιστεί με σωστό τρόπο πριν την αποβολή του. Συνεπώς το χρησιμοποιούμενο νερό κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των συσσωρευτών είναι απαραίτητο να καθαρίζεται προτού καταλήξει στο αποχετευτικό σύστημα και γενικώς να ελέγχεται ότι τηρεί τις απαραίτητες προϋποθέσεις.

Είναι εξίσου σημαντικό να πραγματοποιείται τακτικά μία συγκεκριμένη διαδικασία καθαρισμού των εξωτερικών χώρων και των ασφαλοστρωμένων περιοχών, όπως επίσης η συλλογή και ο καθαρισμός της απορροής των όμβριων υδάτων. Τα οχήματα μεταφοράς μολύβδου θα πρέπει να πλένονται πριν την αναχώρησή τους από τα βιομηχανικά εδάφη, έτσι ώστε να μη μεταφέρονται μαζί τους σωματίδια σε δημόσιους δρόμους [17].

## 2. Είδη Μπαταριών Μολύβδου - Οξέος

### 2.1 Πλημμυρισμένοι Συσσωρευτές (Flooded Batteries)

#### 2.1.1 Τεχνολογία

Ένας πλημμυρισμένος συσσωρευτής (Flooded Lead Acid battery, FLA. Μπορεί να χαρακτηριστεί και ως Vented, ή Liquid Battery) διαθέτει μια σειρά από οπές αέρα η οποία επιτρέπει τη διαφυγή του αερίου οξυγόνου και υδρογόνου που σχηματίζεται από την ηλεκτρόλυση του ηλεκτρολύτη κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Αυτός ο σχεδιασμός χρησιμοποιεί την ίδια βασική δομή που χρησιμοποιήθηκε κατά την εφεύρεση του συσσωρευτή μολύβδου - οξέος, και χρησιμοποιείται επίσης στις περισσότερες μπαταρίες των αυτοκινήτων.

Αν και είναι απαραίτητη η αναπλήρωση του νερού στον ηλεκτρολύτη που χάνεται λόγω εξάτμισης και ηλεκτρόλυσης με την προσθήκη απιονισμένου νερού, ορισμένοι σχεδιασμοί επιτρέπουν μεγαλύτερα διαστήματα μέχρι να είναι αναγκαία κάποια αναπλήρωση, μετατρέποντας το υδρογόνο που αποδίδεται από την αντίδραση ξανά σε νερό με την προσθήκη καταλύτη [1].



Εικόνα 14: Δομή ενός συσσωρευτή τύπου VRLA

[18].

#### 2.1.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή

Οι πλημμυρισμένες μπαταρίες (FLA) μπορούν να καταταχθούν σε δύο τύπους, με επένδυση ή με πάστα, ανάλογα με τη δομή της θετικής πλάκας τους:

- Τύπος με επένδυση: Ενσωματώνει το ενεργό υλικό σε σωλήνα από ίνες γυαλιού, ώστε να είναι λιγότερες οι πιθανότητες πτώσης, προσδίδοντας στον συγκεκριμένο σχεδιασμό μεγαλύτερη αντοχή.
- Τύπος πάστας: Το ηλεκτρόδιο δημιουργείται με την εφαρμογή του ενεργού υλικού σε μορφή πάστας σε ένα πλέγμα κράματος μολύβδου, με σκοπό την αύξηση της περιοχής αντίδρασης σε μια κατασκευή που χρησιμοποιείται με μεγάλα φορτία ρεύματος. Και στις δύο περιπτώσεις, χρησιμοποιείται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο σχεδιασμός με πάστα.

Ως προς τη δομή τους, αποτελούνται από θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ως ηλεκτρολύτη, και μόλυβδο (Pb) ως ανοδικό και καθοδικό υλικό. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, η χημική αντίδραση τους δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια. Ως προς την συντήρησή τους, θα πρέπει να είναι τακτική παρόλο που είναι απλή, χρειάζεται δηλαδή μόνο συμπλήρωση νερού και έλεγχο του επιπέδου του θειικού οξέος.

### **2.1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα**

Κύρια πλεονεκτήματά τους, είναι το χαμηλό κόστος τους, καθώς είναι από τις πιο οικονομικές μπαταρίες της αγοράς, η ανθεκτικότητα και η αντοχή τους σε βαθιές εκφορτίσεις και υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης έχουν μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής συγκριτικά με άλλες μπαταρίες όπως οι συσσωρευτές λίθου.

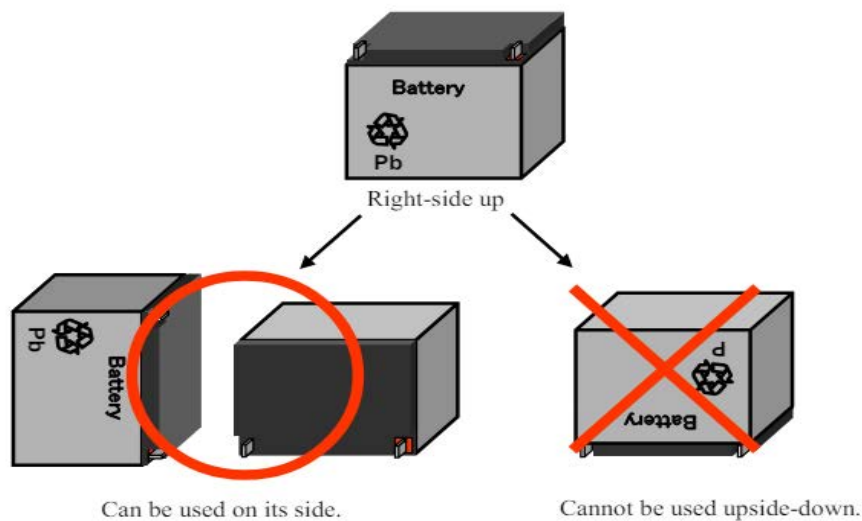
Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι η συντήρησή τους πρέπει να πραγματοποιείται αρκετά συχνά και απελευθερώνουν αέρια κατά την διάρκεια της φόρτισης τους, τα οποία είναι βλαβερά για τον οργανισμό μας και το περιβάλλον. Ακόμα, πρέπει να αποφεύγεται η υπερφόρτισή τους, καθώς τους μειώνεται το προσδόκιμο ζωής.

## **2.2 Συσσωρευτές VRLA**

### **2.2.1 Τεχνολογία**

Οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος εκπέμπουν αέριο όταν το νερό στον ηλεκτρολύτη διασπάται κατά τη φόρτιση. Οι μπαταρίες VRLA (Valve Regulated Lead Acid) εμπεριέχουν έναν έξυπνο μηχανισμό όπου το αέριο αυτό αντιδρά με το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μπαταρίας (στην κάθοδο) για να μετατραπεί το αέριο σε νερό. Γνωρίζοντας πώς η μπαταρία είναι συνήθως σφραγισμένη με μια βαλβίδα, το νερό δεν μπορεί να εξατμιστεί, ανεξαρτητοποιώντας την από οποιαδήποτε προσθήκη νερού. Σε περίπτωση που παραχθεί μεγάλη ποσότητα αερίου, η πίεση θα προκαλέσει το άνοιγμα της βαλβίδας, απελευθερώνοντας το αέριο.

Εφόσον ο ηλεκτρολύτης είναι ενσωματωμένος σε ένα πορώδες γυάλινο στρώμα, ο ηλεκτρολύτης δεν είναι ρευστός, επιτρέποντας την τοποθέτηση της μπαταρίας στο πλάι. Ωστόσο, δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε μια μπαταρία VRLA ανάποδα, καθώς μια τυχούσα διαρροή του ηλεκτρολύτη θα προκαλέσει διάβρωση των ακροδεκτών [1].



Εικόνα 15: Σωστή τοποθέτηση ενός συσσωρευτή τύπου VRLA

[1].

Οι μπαταρίες VRLA μας προσφέρουν μεγάλη ευκολία χρήσης καθώς:

A) Δεν χρειάζονται συντήρηση

B) Δεν αεριοποιούνται (υπό την προϋπόθεση ότι η μπαταρία δεν θα φορτίζεται με υπερβολική τάση)

Γ) Μπορούν να εγκατασταθούν σε σημεία με δύσκολη πρόσβαση

Η υπερφόρτιση μπορεί να οδηγήσει σε αεριοποίηση (μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης), η οποία σημαίνει απώλεια νερού που δεν θα μπορέσει ποτέ να αναπληρωθεί, με αποτέλεσμα την απώλεια χωρητικότητας και την πρόωρη γήρανση.

Οι μπαταρίες VLRA έχουν περιορισμένο εύρος τάσης απορρόφησης το οποίο δεν πρέπει ποτέ να ξεπεραστεί. Υψηλότερες τάσεις θα οδηγήσουν σε εξαέρωση, πράγμα που σημαίνει ότι η μπαταρία θα στεγνώσει και θα καταστραφεί.

#### • Πρισματικές κυψέλες VRLA

Για τα πλέγματα των πρισματικών κυψελών χρησιμοποιούνται συνήθως κράματα μολύβδου ασβεστίου τα οποία δεν είναι αντιμονικά, καθώς τα συγκεκριμένα πλέγματα έχουν χαμηλότερο ρυθμό αυτοεκφόρτισης και ελαχιστοποιημένη αεριοποίηση. Ωστόσο, τα πλέγματα μολύβδου χωρίς αντιμόνιο τείνουν στην εξάλειψη της δυνατότητας της βαθιάς εκφόρτισης της μπαταρίας, εκτός του ενδεχομένου της ενσωμάτωσης πρόσθετων στο κελί της. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως τα περισσότερα από αυτά είναι ιδιότυπα, με συνηθέστερο το φωσφορικό οξύ [2].

#### • Σχέδια κυψελών υψηλής ισχύος

Έχουν πλέον εδραιωθεί νέοι σχεδιασμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν τεχνικές προσέγγισης με σκοπό την αύξηση της βαρυμετρικής και ογκομετρικής ισχύος των μπαταριών τύπου VRLA. Πολύ λεπτά ηλεκτρόδια σε μεταλλικά υποστρώματα έχουν στοιβαχτεί σε κυψέλες για να καταφέρουμε την αύξηση της πυκνότητας ρεύματος ή και την αύξηση του αριθμού των κυψελών σε έναν περιορισμένο όγκο.

Μια άλλη προσέγγιση για την ενέργεια είναι η ανάπτυξη διπολικών μπαταριών τύπου VRLA. Τα διπολικά σχέδια σε μεγάλες μπαταρίες VRLA έχουν αποδειχθεί πως έχουν βελτιωμένη διάρκεια ζωής σε εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως για παράδειγμα τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Στα σχέδια αυτά, τα θετικά και τα αρνητικά υλικά ηλεκτροδίων τοποθετούνται στις αντίθετες πλευρές ενός ηλεκτρικά αγωγίμου, διπολικού υποστρώματος. Τα ηλεκτρικά αγωγίμα υλικά είναι αναγκαίο να προσκολληθούν καλά στο υπόστρωμα, δίχως όμως να το διαπερνούν. Τα διπολικά ηλεκτρόδια μπορούν να καταταχθούν σε διάταξη σειράς.

Οι τρεις πιο μεγάλες προκλήσεις στην ανάπτυξη μιας διπολικής μπαταρίας τύπου VRLA είναι οι εξής:

A) Η εύρεση ενός αγωγίμου, σταθερού διπολικού υποστρώματος

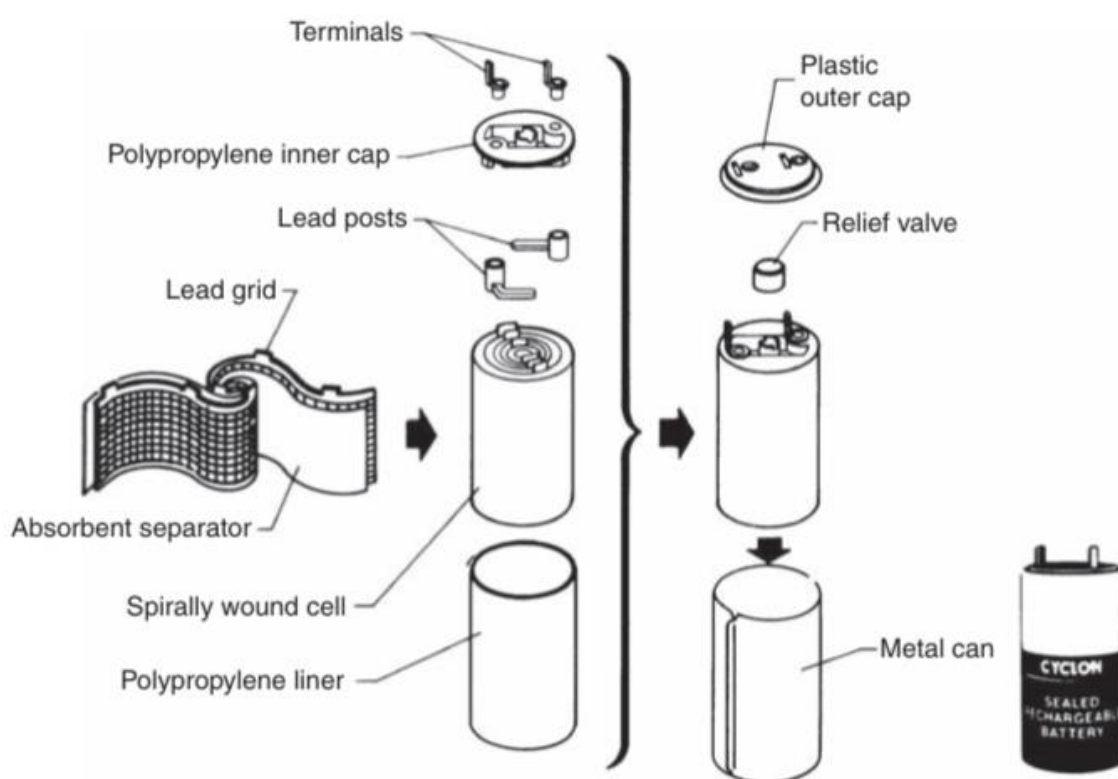
B) Η στεγανοποίηση των πολλαπλών κυψελών οι οποίοι απαιτούνται για την επίτευξη της υψηλής τάσης

Γ) Η ανάπτυξη μιας επανασφραγιζόμενης βαλβίδας η οποία θα χωράει σε ένα κελί δύο ηλεκτροδίων

Δεν έχουν σταματήσει να πραγματοποιούνται έρευνες, έτσι ώστε αναπτυχθούν διπολικά υποστρώματα με τη βοήθεια των αγωγίμων υλικών, που είναι χημικά σταθερά μέσα σε μια μπαταρία μολύβδου – οξέος, και παρέχουν αποκλεισμό της μεταφοράς ιόντων μεταξύ της θετικής και της αρνητικής πλευράς της διπολικής πλάκας.

### 2.2.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή

Τα σχέδια VRLA προβλέπονται κυρίως σε δύο σχηματισμούς, το ένα με σπειροειδώς τυλιγμένα ηλεκτρόδια (κατασκευή jelly - roll) σε κυλινδρικό δοχείο και το δεύτερο με επίπεδες πλάκες σε εξάγωνο - πολύεδρο δοχείο. Τα κυλινδρικά δοχεία μπορούν να διατηρήσουν υψηλότερες εσωτερικές πιέσεις δίχως την παραμικρή παραμόρφωση και μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν υψηλότερη πίεση απελευθέρωσης από τα πολύεδρα στοιχεία [19].



Εικόνα 16: Βασικά συστατικά ενός κυλινδρικού συσσωρευτή τύπου VRLA

[20].

Σε ορισμένα σχέδια, χρησιμοποιείται ένα εξωτερικό μεταλλικό δοχείο για την αποφυγή κάποιας τυχούσας παραμόρφωσης των πλαστικών περιβλημάτων σε υψηλότερες θερμοκρασίες και εσωτερικές πιέσεις των κελιών [21]. Το εύρος των πιέσεων εκτόνωσης περιλαμβάνει ένα υψηλό επίπεδο, από 25 ως και 40 psi για ένα μεταλλικό, περιτυλιγμένο, σπειροειδώς τυλιγμένο κελί έως 1 έως 2 psi για μια μεγάλη πολύεδρη μπαταρία [20].

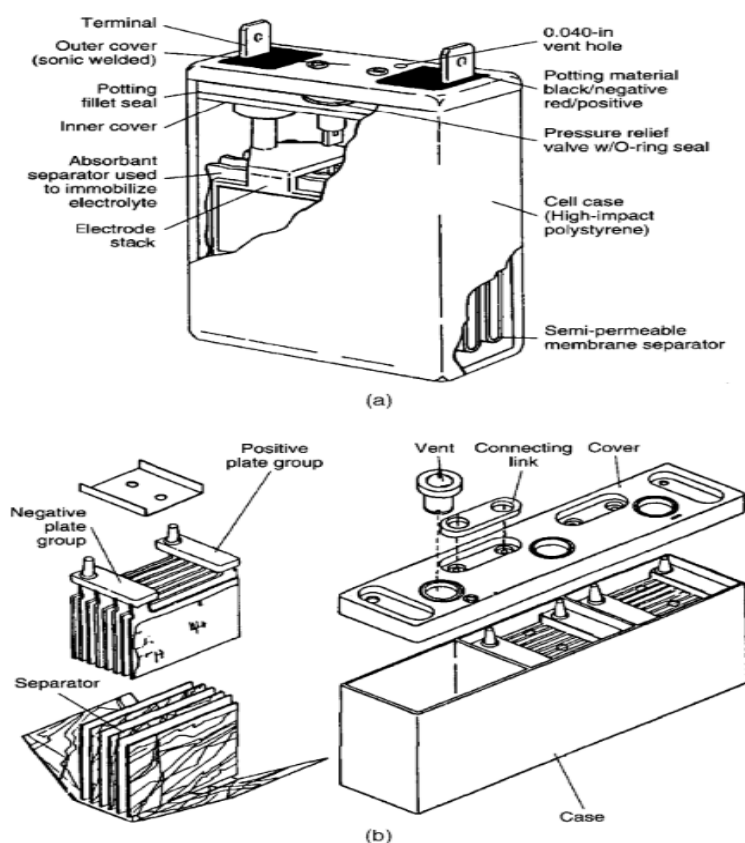
Ο ηλεκτρολύτης ακινητοποιείται συνήθως με δύο τρόπους:

A) Συσσωρευτές τύπου GEL

B) Συσσωρευτές τύπου AGM

Τόσο τα θετικά όσο εξίσου και τα αρνητικά πλέγματα, είναι κατασκευασμένα από καθαρό μόλυβδο 99,99% με προσθήκη κασσίτερου 0,6% για την επίτευξη βαθιάς εκφόρτισης. Το πλέγμα μολύβδου είναι σχετικά λεπτό, από 0,6 έως 0,9 mm, για να είναι ικανό να παρέχει μεγάλη επιφάνεια πλάκας, συνεπώς και υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης [20].

Οι μπαταρίες τύπου μονομπλόκ, που χρησιμοποιούν το κυλινδρικό κελί, παράγονται με δύο έως έξι κελιά διασυνδεδεμένα σε ένα ενιαίο πλαστικό δοχείο μεταξύ τους. Αυτές οι μπαταρίες που ποικίλουν μεταξύ 4, 6 και 12 V έχουν την δυνατότητα να αποδώσουν παρομοίως με τις μπαταρίες της μονής κυψέλης.



Εικόνα 17: Πρισματική μπαταρία μολύβδου - οξέος μονομπλόκ

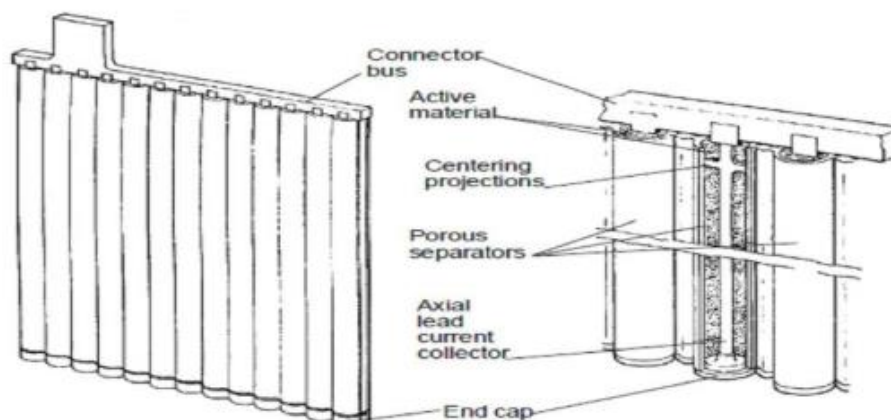
[2].

- **Τάση κελιού**

Η ονομαστική τάση μιας μπαταρίας VRLA μονής κυψέλης είναι 2,2 V, συχνά όμως στρογγυλοποιείται στα 2 V. Συνήθως εκφορτίζεται στα 1,75 V ανά κυψέλη υπό φορτίο. Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι άμεσα εξαρτώμενη από την κατάσταση φόρτισης με βάση τον ρυθμό εκφόρτισης C/10. Η τάση ανοικτού κυκλώματος μπορεί συνεπώς να αξιοποιηθεί για την προσέγγιση της κατάστασης φόρτισης. Επιτυγχάνεται ακρίβεια έως 20% εάν η μπαταρία δεν έχει φορτιστεί ή εκφορτιστεί εντός 24 ωρών, ενώ η ακρίβεια θα είναι κοντά στο 5% εάν η μπαταρία δεν έχει χρησιμοποιηθεί για περίπου 5 ημέρες. Η μέτρηση της τάσης ανοικτού κυκλώματος που λαμβάνει χώρα για να προσδιοριστεί η κατάσταση φόρτισης, βασίζεται στη σχέση μεταξύ της ηλεκτροκινητικής δύναμης (OCV) και της συγκέντρωσης του θεικού οξέος στο συσσωρευτή.

- **Χαρακτηριστικά αποθήκευσης**

Οι περισσότερες μπαταρίες αποβάλλουν σε πάροδο χρόνου την αποθηκευμένη ενέργειά τους όταν αφήνονται σε ανοικτό κύκλωμα, λόγω του ότι τα ενεργά υλικά βρίσκονται σε θερμοδυναμικά ασταθή κατάσταση. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι εξαρτώμενος από τη σύσταση του συστήματος και τη θερμοκρασία στην οποία αποθηκεύεται. Η κυλινδρική μπαταρία τύπου VRLA από την άλλη πλευρά είναι ικανή για μακρά αποθήκευση χωρίς βλάβη.



*Εικόνα 18: Μπαταρία VRLA κυλινδρικού τύπου*

[2],[18].

Η κυψέλη είναι σημαντικό να μην αφεθεί σε αυτοεκφόρτιση κατώτερη των 1,76 V, καθώς τα χαρακτηριστικά της επαναφόρτισης της κυψέλης αλλάζουν αισθητά, και η διάρκεια ζωής του κύκλου δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς. Η χωρητικότητα αυτών των στοιχείων μπορεί να αποκατασταθεί με επαναφόρτιση, ωστόσο η πρώτη φόρτιση σε ένα στοιχείο που έχει αφεθεί να αυτοεκφορτιστεί κάτω από τα 1,76 V θα διαρκέσει περισσότερο από το κανονικό και η πρώτη εκφόρτιση δεν θα αποδώσει γενικά την πλήρης χωρητικότητα του [18].

Είναι σημαντικό να βεβαιωθεί ότι ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης της μπαταρίας τύπου VRLA είναι μη γραμμικός, δηλαδή ότι ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης θα αλλάξει καθώς μεταβάλλεται η κατάσταση φόρτισης του στοιχείου. Όταν η κυψέλη βρίσκεται σε υψηλή κατάσταση φόρτισης, δηλαδή μεγαλύτερο ή ίσο του 80%, η αυτοεκφόρτιση είναι αρκετά ταχύτερη. Η κυψέλη μπορεί να εκφορτιστεί από το 100 μέχρι το 90% σε θερμοκρασία δωματίου εντός μία ή δύο εβδομάδων. Αντιθέτως, στην ίδια θερμοκρασία μπορεί να χρειαστούν 10 ή και περισσότερες εβδομάδες έτσι ώστε να αυτοεκφορτιστεί το ίδιο κελί από 20% κατάσταση φόρτισης έως το 10% της χωρητικότητας φόρτισης της [2],[18].

### 2.2.3 Φόρτιση – Εκφόρτιση

#### • Χαρακτηριστικά εκφόρτισης

Τα χαρακτηριστικά της τάσης της εκφόρτισης των τυπικών μπαταριών VRLA μίας κυψέλης, κυμαίνονται σε διάφορες θερμοκρασίες, από -40 έως και 65°C, για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης. Η εκφόρτιση για μια μεγαλύτερη μπαταρία της τάξεως των 25 Ah διαφέρει ελαφρώς από εκείνη των μικρότερων μπαταριών εξαιτίας της μεγαλύτερης απόστασης της από το κέντρο της πλάκας έως τον εξωτερικό ακροδέκτη. Αυτό μας προσδίδει μία αποτελεσματικότερη εσωτερική αντίσταση ανά μονάδα χωρητικότητας και έχει ως αποτέλεσμα την συγκριτικά χαμηλότερη απόδοση στους υψηλότερους ρυθμούς και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

- **Επίδραση της θερμοκρασίας και του ρυθμού εκφόρτισης**

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας VRLA, όπως παρατηρείται και στις περισσότερες μπαταρίες, εξαρτάται από το ρυθμό εκφόρτισης και τη θερμοκρασία, τη μείωση της χωρητικότητας παράλληλα με τη πτώση της θερμοκρασίας και την αύξηση του ρυθμού εκφόρτισης. Η μεγαλύτερη κυψέλη των 25 Ah αποδίδει μικρότερο ποσοστό της απόδοσης στους 25°C σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, και υψηλότερους ρυθμούς εκφόρτισης [21].

- **Υψηλής ταχύτητας παλμική εκφόρτιση**

Η μπαταρία VRLA είναι χρησιμότερη σε εφαρμογές οι οποίες απαιτούν υψηλού ρυθμού εκφόρτιση, όπως για παράδειγμα στην εκκίνηση ενός θερμικού κινητήρα. Παρατηρείται σημαντική αύξηση στη χωρητικότητα μίας μπαταρίας τύπου VRLA κατά τη διαδικασία της διακοπτόμενης παλμικής εκφόρτισης. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί από το φαινόμενο που είναι ως γνωστόν, η "συγκεντρωτική πόλωση". Στην ουσία, καθώς αντλείται ρεύμα εκφόρτισης από την κυψέλη, το θετικό οξύ στον ηλεκτρολύτη αντιδρά με τα ενεργά υλικά στα ηλεκτρόδια. Η αντίδραση αυτή ελαχιστοποιεί τη συγκέντρωση του οξέος στις επιφάνειες του ηλεκτροδίου – ηλεκτρολύτη, συμπερασματικά η τάση της κυψέλης μειώνεται.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπαυσης, το οξύ που βρίσκεται στο μεγαλύτερο μέρος του διαλύματος διαχέεται εντός των πόρων των ηλεκτροδίων, με σκοπό να αντικαταστήσει το οξύ που έχει καταναλωθεί. Έπειτα, η τάση της κυψέλης αυξάνεται αφού αντικατασταθεί η ισορροπία των οξέων. Κατά τη διαδικασία μιας παλμικής εκφόρτισης, το οξύ αφήνεται να ισορροπήσει μεταξύ των παλμών, δεν εξαντλείται τόσο γρήγορα και η συνολική χωρητικότητα της κυψέλης αυξάνεται [22].

- **Επίπεδο εκφόρτισης**

Όπως συμβαίνει με όλων των ειδών τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, η εκφόρτιση της μπαταρίας VRLA πέραν του σημείου στο οποίο έχει πέσει η στάθμη της πλήρωσης, μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή, ή να επιδεινώσει την ικανότητα της φόρτισης της.

Το σημείο τάσης στο οποίο έχει αφαιρεθεί το 100% της ωφέλιμης χωρητικότητας της κυψέλης είναι συνάρτηση του ρυθμού εκφόρτισης. Για βέλτιστη διάρκεια ζωής και ικανότητα φόρτισης, το στοιχείο είναι αναγκαίο να αποσυνδεθεί από το φορτίο [22],[23].

## 2.2.4 Μέθοδοι Φόρτισης Μπαταριών Τύπου VRLA

Η φόρτιση ενός VRLA συσσωρευτή, όπως και η φόρτιση άλλων δευτερευόντων συστημάτων, είναι θέμα αντικατάστασης της ενέργειας που εξαντλείται κατά την εκφόρτιση. Επειδή αυτή η διαδικασία είναι μη επαρκώς αποτελεσματική, είναι απαραίτητο να επιστρέφεται περισσότερη από το 100% της ενέργειας που χάθηκε όταν ο συσσωρευτής εκφορτίστηκε. Η φόρτιση μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, που αναλύονται παρακάτω [21].

### • Ταχεία φόρτιση

Ως ταχεία φόρτιση ονομάζουμε μια μέθοδο φόρτισης που επαναφέρει την μπαταρία σε πλήρη φόρτιση σε λιγότερο από 4 ώρες. Ωστόσο, πολλές χρήσεις απαιτούν 1 ώρα ή λιγότερο. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες μολύβδου – οξέος πλημμυρισμένου τύπου, ο σχεδιασμός της VRLA χρησιμοποιεί ένα σύστημα ηλεκτρολύτη που στερεύει, όπου το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρολύτη ενσωματώνεται σε έναν διαχωριστή υψηλής συγκέντρωσης, και στη συνέχεια δημιουργεί τις στεγνές πλάκες που είναι απαραίτητες για την ομοιογενή μεταφορά αέριας φάσης [2].

Το πρόβλημα αεριοποίησης που είναι εμφανές στις συμβατικές κυψέλες μολύβδου - οξέος δεν είναι φανερό με αυτό το σύστημα, καθώς το οξυγόνο που εκλύεται κατά την υπερφόρτιση, είναι σε θέση να επανασυνδεθεί εντός της μπαταρίας VRLA. Η μεγάλη επιφάνεια των λεπτών πλακών που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες VRLA μπαταρίες, μειώνει την πυκνότητα ρεύματος σε επίπεδο πολύ χαμηλότερο από αυτό που συνήθως παρατηρείται κατά την ταχεία φόρτιση των συμβατικών μπαταριών μολύβδου - οξέος, ενισχύοντας έτσι τις δυνατότητες ταχείας φόρτισης τους [24].

### • Φόρτιση πλημμυρισμένου τύπου

Όταν η μπαταρία VRLA πρόκειται να φορτιστεί με φόρτιση πλημμυρισμένου τύπου, όπως στην περίπτωση της φάσης αναμονής, ο φορτιστής σταθερής τάσης πρέπει να διατηρείται μεταξύ 2,2 και 2,3 V για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της. Η συνεχής φόρτιση σε τάση μεγαλύτερη από 2,4 V ανά στοιχείο δεν προτείνεται λόγω του ότι θα αλλοιωθεί ταχύτερα το πλέγμα της μπαταρίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν το ρυθμό των αντιδράσεων οι οποίες μειώνουν τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Τέλος, κατά τη φόρτιση

πλημμυρισμένου τύπου, μπορεί να χρειαστεί η αύξηση του ρυθμού φόρτισης σε υψηλότερες θερμοκρασίες έτσι ώστε να διατηρηθεί η κατάλληλη τάση πλεύσης [21],[25].

- **Φόρτιση σταθερού ρεύματος**

Η φόρτιση σταθερού ρεύματος είναι μια άλλη αποτελεσματική μέθοδος φόρτισης της μπαταρίας VRLA. Αυτή η μέθοδος φόρτισης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν πολλά στοιχεία φορτίζονται σε σειρά, καθώς τείνει να εξαλείψει οποιαδήποτε ανισορροπία φόρτισης σε μια μπαταρία.

Η μπαταρία τύπου VRLA είναι ικανή να επανασυνδέει το οξυγόνο που παράγεται κατά την υπερφόρτιση έως και του ενός τρίτου της φόρτισης σταθερού ρεύματος. Σε υψηλότερους ρυθμούς η αντίδραση ανασυνδυασμού υπερκαλύπτεται από τον ρυθμό παραγωγής αερίου.

- **Κωνική Φόρτιση**

Αν και οι φορτιστές κωνικού ρεύματος είναι από τους λιγότερο δαπανηρούς τύπους φορτιστών, η έλλειψη ρύθμισης τάσης μπορεί να αποβεί μοιραία για τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή του συστήματος. Η μπαταρία VRLA έχει την αναγκαία αντοχή στις διακυμάνσεις της τάσης φόρτισης, αλλά συνιστάται η προσοχή κατά τη χρήση φορτιστών αυτών. Οι φορτιστές κωνικού ρεύματος περιέχουν έναν μετασχηματιστή για τη μείωση της τάσης και έναν ανορθωτή μισού ή πλήρους κύκλου με σκοπό τη μετατροπή από εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα.

- **Παράλληλη - σειριακή φόρτιση**

Οι μπαταρίες VRLA έχουν τη δυνατότητα παράλληλης φόρτισης και εκφόρτισης τους. Όταν παραλληλίζονται περισσότερες από τέσσερις σειρές στοιχείων, συνιστάται η χρήση διόδων, τόσο στη διαδικασία φόρτισης, όσο και στη διαδρομή εκφόρτισης στο κύκλωμα. Οι διάοδοι εκφόρτισης αποτρέπουν την εκφόρτιση μιας μπαταρίας σε μια παράλληλη μπαταρία, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος ενός κελιού εντός του συσσωρευτή. Οι διάοδοι φόρτισης, με τη βοήθεια της ασφάλειας που παρέχουν, θα πετύχουν την αποτροπή της μπαταρίας συστήματος με βραχυκυκλωμένο κελί από το να δεχτεί όλο το ρεύμα φόρτισης από τον φορτιστή και στη συνέχεια θα αποτρέψουν την πλήρη φόρτιση των άλλων παράλληλων μπαταριών.

### **2.2.5 Πλεονεκτήματα**

Τα δύο κυριότερα πλεονεκτήματα των μπαταριών τύπου VRLA, που τα κάνουν συνήθη επιλογή από το εμπόριο, είναι το ότι δεν έχουν καμία ανάγκη συντήρησης, και ότι αποδίδουν μια μέτρια διάρκεια ζωής αλλά σε συνεχή λειτουργία. Είναι επίσης θετικό το γεγονός ότι έχουν την ικανότητα να λειτουργούν σε υψηλά ρεύματα, και πως υπό όλες τις συνθήκες, έχουν υψηλή απόδοση φόρτισης.

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ακόμα το σχετικά χαμηλό κόστος για τις υπηρεσίες που μας προσφέρουν. Οι μπαταρίες αυτές έχουν ακόμη το θετικό πως είναι διαθέσιμες σε ποικιλία μεγεθών ανάλογα με τις προτιμήσεις μας για κάθε χρήση, από μικρά, δηλαδή ενός μονάχα στοιχείου (2V), έως και μεγάλα μεγέθη (π.χ. 6 στοιχείων, δηλαδή 12V). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως είναι εύκολο να καθορίσουμε την κατάσταση της φόρτισης, απλώς με τη μέτρηση της τάσεως.

## 2.2.6 Μειονεκτήματα

Πέραν των θετικών τους αντίκτυπων, οι συσσωρευτές τύπου VRLA δεν είναι ικανοί να αντιμετωπίζουν συγκεκριμένους τύπους κακομεταχείρισης, όπως για παράδειγμα οι συμβατικές μπαταρίες πλημμυρισμένου τύπου. Ο ηλεκτρολύτης, ο οποίος παρέχει τη σημαντικότερη εσωτερική ανακούφιση από τη θερμότητα στα κελιά, είναι πολύ πιο περιορισμένος στα στοιχεία των VRLA. Ως αποτέλεσμα, ο σχεδιασμός τύπου VRLA σε μία μπαταρία είναι πιο επιρρεπής στη θερμική του διαφυγή υπό συνθήκες κακομεταχείρισης, οι οποίες δεν μας προκαλούν κίνδυνο μεγάλου μεγέθους για τις πλημμυρισμένες κυψέλες. Αυτό ισχύει κυρίως στο ενδεχόμενο που οι μπαταρίες τύπου VRLA υποβάλλονται σε λειτουργία υπό υψηλές θερμοκρασίες.

Για να εξασφαλιστεί μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε συνθήκες λειτουργίας σε υψηλότερες θερμοκρασίες ή υπερθέρμανσης λόγω επανασύνδεσης οξυγόνου, πρέπει να ληφθούν και οι ανάλογες τυπικές προφυλάξεις για ένα συσσωρευτή, που έχουν ήδη αναλυθεί.

Ακόμα δύο βασικά προβλήματα της χρήσης αυτού του τύπου συσσωρευτών, είναι το ότι έχουν χαμηλότερους κύκλους ζωής σε σύγκριση με άλλους συμβατικούς συσσωρευτές κλειστού τύπου, και το γεγονός ότι η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι σχετικά χαμηλή. Τέλος πρέπει να σιγουρευτούμε πως δεν θα αποθηκευτούν εκφορτισμένοι, καθώς υπάρχει κίνδυνος της διάβρωσης τους.

## 2.2.7 Κίνδυνοι Και Ασφάλεια

### • Αεριοποίηση

Η μπαταρία VRLA, σε αντίθεση με πολλές κοινές μπαταρίες μολύβδου - οξέος, λειτουργεί με 100% επανασύνδεση του αερίου οξυγόνου που παράγεται στους προτεινόμενους ρυθμούς φόρτισης και υπερφόρτισης, έτσι δεν δημιουργείται εκτόνωση οξυγόνου. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας τους, εκλύεται ελάχιστη ποσότητα αερίων υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Η εκτόνωση υδρογόνου είναι αναγκαία σε κάθε κύκλο, για τη διασφάλιση της συνεχούς εσωτερικής χημικής ισορροπίας. Η κατασκευή του πλέγματος μολύβδου μιας μπαταρίας VRLA ελαχιστοποιεί την ποσότητα του παραγόμενου αερίου υδρογόνου. Το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται από την οξείδωση των οργανικών ενώσεων στην κυψέλη.

Λόγω των ιδιοτήτων των αερίων και της σχετικής δυσκολίας περιορισμού τους, οι περισσότερες εφαρμογές θα οδηγήσουν στην απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, εάν η μπαταρία VRLA σχεδιάζεται σε ένα στεγανό δοχείο, πρέπει να ληφθούν οι ανάλογες προφυλάξεις, έτσι ώστε τα παραγόμενα αέρια να καταφέρουν την διαφυγή τους στην ατμόσφαιρα. Εάν το υδρογόνο αφηθεί να συσσωρευτεί και να αναμιχθεί με την ατμόσφαιρα σε συγκέντρωση μεταξύ 4 και 79% (κατ' όγκο σε κανονική θερμοκρασία και πίεση), θα παραχθεί ένα εκρηκτικό μείγμα το οποίο εξαιρετικά αναφλέξιμο με παρουσία οποιουδήποτε σπινθήρα ή φλόγας.

Μια άλλη παρατήρηση είναι η πιθανή βλάβη του φορτιστή. Εάν ο φορτιστής παρουσιάσει δυσλειτουργία, προκαλώντας υψηλότερους από τους προτεινόμενους ρυθμούς φόρτισης, θα απελευθερωθούν από τη μπαταρία σημαντικοί όγκοι υδρογόνου και οξυγόνου. Αυτό το μείγμα είναι εκρηκτικό και δεν πρέπει να επιτραπεί η συσσώρευσή του, απαιτείται επίσης επαρκής εξαερισμός. Ως εκ τούτου για την αποφυγή των εκρήξεων, η μπαταρία VRLA δεν πρέπει ποτέ να λειτουργήσει μέσα σε ένα αεροστεγές δοχείο.

Επιπλέον, μπορεί να δημιουργηθεί σημαντική πίεση σε ένα στεγανό δοχείο, τις περισσότερες φορές κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, λόγω της συνεχούς παραγωγής αερίου διοξειδίου του άνθρακα. Η πίεση αυτή επιδεινώνεται περαιτέρω κατά τη φόρτιση λόγω της παραγωγής υδρογόνου, και καθιστά το σύστημα μας επικίνδυνο.

#### • Βραχυκύκλωμα

Οι μπαταρίες αυτές έχουν χαμηλή εσωτερική αντίσταση, συνεπώς είναι ικανές να αποδώσουν υψηλά ρεύματα εάν βραχυκυκλωθούν εξωτερικά. Η προκύπτουσα θερμότητα μπορεί να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα και αποτελεί υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να παρθεί από το άτομο που εργάζεται κοντά στους ανοικτούς ακροδέκτες των στοιχείων ή των μπαταριών, στο να μην φοράει μεταλλικά κοσμήματα και αντικείμενα. Η τοποθέτηση αυτών των μεταλλικών αντικειμένων ή εργαλείων στους ακροδέκτες μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά εγκαύματα στο δέρμα.

#### • Προσθήκη καταλύτη

Μια ακόμη προσέγγιση είναι η προσθήκη καταλύτη για την ενθάρρυνση της ανάμιξης υδρογόνου και οξυγόνου. Αυτή η καταλυτική προσέγγιση θα πρέπει να αντισταθμίζει τα ακατέργαστα ενεργά υλικά, καθώς και τις διαρροές αέρα εντός του κελιού. Η προσθήκη

καταλύτη μπορεί επίσης να αυξήσει την αρνητική πόλωση, η οποία με τη σειρά της θα μειώσει τη θετική, συνεπώς τη διάβρωση του θετικού πλέγματος [2],[26].



*Εικόνα 19: Σύστημα καταλύτη ανασυνδυασμού του νερού*  
[26].

## 2.3 Συσσωρευτές AGM

### 2.3.1 Τεχνολογία

Η ορολογία AGM προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Absorbed Glass Mat. Σε αυτές τις μπαταρίες ο ηλεκτρολύτης απορροφάται σε ένα στρώμα από γυάλινες ίνες μεταξύ των πλακών με τριχοειδή δράση. Σε μια μπαταρία AGM οι συντελεστές του φορτίου, ιόντα υδρογόνου ( $H_2$ ) και θειικά ιόντα ( $SO_4$ ), κινούνται ευκολότερα μεταξύ των πλακών απ' ό,τι σε μια μπαταρία GEL. Αυτό καθιστά μια μπαταρία AGM πιο κατάλληλη για μία μακροχρόνια παροχή πολύ υψηλών ρευμάτων [27].



Εικόνα 20: Διάγραμμα διαδικασίας της κατασκευής ενός συσσωρευτή AGM

[18].

### 2.3.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή

Στις μπαταρίες τύπου AGM, ο ηλεκτρολύτης ακινητοποιείται με την τεχνική της απορρόφησης σε έντονα πορώδεις διαχωριστές AGM μεταξύ των θετικών και αρνητικών ηλεκτροδίων. Οι διαχωριστές AGM κατασκευάζονται κυρίως από γυάλινες μικροΐνες που μπορεί να μην είναι επαρκώς κορεσμένες. Το οξυγόνο που παράγεται στη θετική πλάκα κατά τη διάρκεια της φόρτισης ενδέχεται να διαπεράσει την αρνητική πλάκα με τη βοήθεια του μικροπορώδους σχεδιασμού του, όπου αντιδρά και σχηματίζει νερό, πράγμα το οποίο οδηγεί στην ξήρανση των στοιχείων.

Οι διαχωριστές συμπίεζονται ελαφρώς στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων ώστε να διευκολύνουν την αντίδραση του ηλεκτρολύτη με τα ηλεκτρικά αγωγά υλικά μολύβδου στη θετική και την αρνητική πλάκα. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις προστίθενται στον συσσωρευτή AGM ισχυρότερες ίνες, υβριδικά μείγματα πολυμερών και γυάλινων ινών και επιφανειακές επεξεργασίες για αντοχή ή και για βελτίωση της επίδοσης τους.

Ορισμένοι κατασκευαστές καθιερώνουν τη λειτουργία του συστήματος AGM μεταξύ των πλακών, αλλά εισάγουν επίσης ηλεκτρολύτη τύπου γέλης σε διαθέσιμους χώρους πλευρικά, στο κάτω μέρος ή στην κορυφή των κελιών της συστοιχίας κάθε πλάκας με στόχο να αυξηθεί η ποσότητα του οξέος στην κυψέλη. Η περίσσεια οξέος τύπου γέλης έχει την ικανότητα να διευκολύνει τη μεταφορά θερμότητας στο περίβλημα και να μειώσει το ρυθμό ξήρανσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό σε περιβάλλον λειτουργίας σε υψηλή θερμοκρασία.

Στους συσσωρευτές τύπου AGM, ο ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος εντός των διαχωριστών με αρκετά υψηλό πορώδες υλικό το οποίο φτάνει τιμές άνω του 90%. Οι γυάλινες ίνες έχουν μεγάλη ικανότητα απορρόφησης, όπως και πόρων μεγέθους μερικών μικρομέτρων (δηλαδή με διάμετρο περίπου 0.5 με 1μm) [27]. Οι λεπτές γυάλινες ίνες είναι σημαντικά ακριβότερες συγκριτικά με τις χονδροειδείς. Οι γυάλινες ίνες φτιαγμένες μονάχα από λεπτές ίνες, είναι σπάνια χρησιμοποιούμενες λόγω του υψηλού κόστους πρώτης ύλης όπως αναφέραμε, για αυτό το λόγο συχνά χρησιμοποιούνται συνδυασμοί λεπτών και χονδροειδών ινών [18].

Οι μπαταρίες AGM είναι και οι πιο διαδεδομένες, κυρίως λόγω της διάρκειας ζωής τους όπως και της πυκνότητας της ενέργειας τους. Για ένα συσσωρευτή AGM μακράς διάρκειας 12 V με 80 Ah και αναμενόμενη διάρκεια ζωής 12 ετών σε θερμοκρασία 20°C σε ρεύμα 120 A, η χωρητικότητα εκφόρτισης αγγίζει τις 35 Ah. Ο χρόνος εκφόρτισης είναι γύρω στα 15 με

20 λεπτά και η τάση είναι σε υψηλά σημεία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, πράγμα που είναι ένα τυπικό χαρακτηριστικό της μπαταρίας AGM υψηλής ισχύος. Χρησιμοποιείται για όλες τις εφαρμογές όπου είναι αναγκαία η μεγάλη διάρκεια ζωής, η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή ισχύ [27].

Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες των 0°C, παρατηρείται σημαντική μείωση της απόδοσης του συσσωρευτή. Αντιθέτως, παρόλο που με τις αυξημένες θερμοκρασίες υπάρχει κάποια αύξηση της χωρητικότητας του συσσωρευτή, γενικά είναι καλό να αποφεύγονται, διότι υπάρχει μεγάλη περίπτωση διάβρωσης και μείωση του προσδόκιμου ζωής της μπαταρίας.

Πέραν από υψηλή απόδοση, οι συσσωρευτές AGM έχουν καλή συμπεριφορά φόρτισης. Εντός ανεκτών ορίων και με έλεγχο της θερμοκρασίας της μπαταρίας, η γρήγορη φόρτιση είναι ένας σωστός και αποδοτικός τρόπος για την επαναφόρτιση της [18].

## **2.4 Συσσωρευτές GEL**

### **2.4.1 Τεχνολογία**

Ακόμη, μια κατηγορία μπαταριών είναι οι μπαταρίες GEL, οι οποίες παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς τον τρόπο κατασκευής τους με τις μπαταρίες τύπου AGM - VRLA. Παρόλα αυτά, σε αυτό το είδος συσσωρευτών, ο ηλεκτρολύτης δε θεωρείται ότι είναι σε υγρή μορφή, αλλά είναι παχύρευστος, υπό τη μορφή GEL. Ουσιαστικά το οξείδιο του πυριτίου λειτουργεί ως πυκνωτικό μέσο (πράγμα που θα αναλυθεί παρακάτω), βοηθώντας στο να επιτευχθεί η σταθεροποίηση του ηλεκτρολύτη [27].

Με τη βοήθεια του οξειδίου του πυριτίου παρέχεται προστασία του συσσωρευτή από τη δημιουργία ιζημάτων, ενώ παράλληλα καθυστερείται η φθορά των πλακών. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί το ότι σε περίπτωση που συμβεί κάποιο ράγισμα του πλαστικού περιβλήματος του συσσωρευτή, θα μπορέσει και πάλι να επιτευχθεί η μη διακοπτόμενη χρήση του. Τέλος, είναι σημαντικό να τηρηθεί το ότι η διαδικασία φόρτισης αυτού του τύπου μπαταριών θα πρέπει να πραγματοποιείται με αργή φόρτιση, ενώ είναι κατασκευασμένες από ανθεκτικό περίβλημα και είναι πλήρως σφραγισμένες.

Προέρχονται σε διάφορα μεγέθη στην αγορά, τις περισσότερες φορές όμως, η μέγιστη διάρκεια ζωής που μπορεί να φτάσει ένας συσσωρευτής τύπου GEL ανέρχεται στα 20 έτη, ή

περίπου στους 3500 κύκλους φόρτισης. Αποτελεί την πιο αξιόπιστη λύση σε χρήση αποθήκευσης ενέργειας από ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα [18].

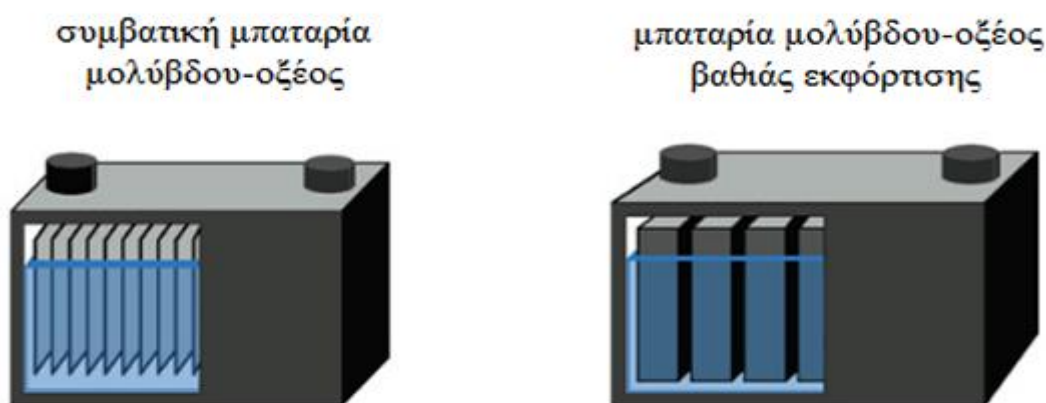
#### **2.4.2 Χαρακτηριστικά, Κατασκευή**

Ο υγρός ηλεκτρολύτης σε ένα συσσωρευτή τύπου GEL, τις περισσότερες φορές ακινητοποιείται μέσω της ανάμιξης του με πυριτικό ή κολλοειδές διοξείδιο του πυριτίου. Το μείγμα ανακατεύεται με πρωταρχικό σκοπό να διατηρηθεί σε υγρή κατάσταση μέχρι να ενσωματωθεί εντός των στοιχείων και στη συνέχεια μετατρέπεται σε θιξοτροπική γέλη. Για να δημιουργήσουμε ένα διάστημα μεταξύ των πλακών έτσι ώστε να ολοκληρωθεί με ηλεκτρολύτη, οι διαχωριστές θα πρέπει να περιέχουν συχνά ένα ραβδωτό φύλλο, κατασκευασμένο από μικροπορώδη υλικά, τα οποία είναι ισχυρότερα και πιο άκαμπτα από τους κοινούς συσσωρευτές AGM.

Στις σύγχρονες μπαταρίες πλέον, χάνεται ελάχιστη ποσότητα νερού από το στοιχείο στο τέλος της φόρτισης και κατά την υπερφόρτιση. Η ξήρανση της, σχηματίζει ένα σύνολο ραγισμάτων το οποίο ενθαρρύνει τη διέλευση του οξυγόνου από τις θετικές στις αρνητικές πλάκες. Η εξέλιξη υδρογόνου και η απώλεια νερού ελαχιστοποιούνται και η απώλεια οξέος είναι σπανιότερες στους συσσωρευτές VRLA με ηλεκτρολύτη γέλης.

## 2.5 Μπαταρίες Βαθιάς Εκφόρτισης (Deep Cycle)

Η κύρια ανάγκη για ένα συσσωρευτή βαθιάς εκφόρτισης για εφαρμογές έλξης είναι η μέγιστη διάρκεια ζωής κύκλου και, στη συνέχεια, όποτε είναι δυνατόν, η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και το χαμηλό κόστος.



Εικόνα 21: Πλάκες μπαταριών μολύβδου - οξέος βαθιάς εκφόρτισης

Οι μπαταρίες έλξης και οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης χρησιμοποιούν κυψέλες επικολλημένες μεταξύ τους, ή κυψέλες με σωληνοειδείς θετικές πλάκες. Σε γενικές γραμμές, οι επιδόσεις και των δύο τύπων πλακών είναι παραπλήσιες, αλλά οι σωληνοειδείς πλάκες εμφανίζουν χαμηλότερες απώλειες πόλωσης λόγω της μεγαλύτερης ενεργού επιφάνειας, της πιο επιτυχημένης συγκράτησης του θετικού ενεργού υλικού, της αποτελεσματικότερης συμπίεσης του ενεργού υλικού έναντι του σφονδύλου και των μειωμένων απωλειών σε κατάσταση αναμονής.

Η μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης είναι αναγκαίο να φορτίζεται, τουλάχιστον κατά διαστήματα, σε σχετικά υψηλή τάση. Το πόσο υψηλή τάση χρειάζεται για να φορτίσει, εξαρτάται από τις χημικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες και από τον διαθέσιμο χρόνο φόρτισης.

Πιο συγκεκριμένα, η υψηλή τάση φόρτισης είναι απαραίτητη για να μετατραπούν ξανά όλα τα θεικά άλατα σε ενεργό υλικό και για την αποφυγή της δημιουργίας στρώσεων των

αλάτων πάνω στον ηλεκτρολύτη. Το θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) που παράγεται κατά τη φόρτιση της μπαταρίας έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό και τείνει να εγκαθίσταται στο κάτω μέρος της μπαταρίας, έτσι ώστε η συγκέντρωση του οξέος στον πάτωμα του συσσωρευτή να είναι υψηλότερη από ότι στο πάνω μέρος της. Μόλις επιτευχθεί η τάση αεριοποίησης, η φόρτιση συνεχίζεται με ρεύμα υψηλής τάσης. Η προκύπτουσα παραγωγή αερίων "ανακινεί" τον ηλεκτρολύτη και εξασφαλίζει για ακόμη μια φορά την καλή του ανάμιξη [2].

Η διάρκεια ζωής αυτών των μπαταριών βελτιώνεται μέσω της χρήσης παχιών πλακών με υψηλή πυκνότητα πάστας, της σκλήρυνσης σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, του σχηματισμού χαμηλής πυκνότητας ηλεκτρολύτη, των διαχωριστών υψηλής ποιότητας και ένα ή περισσότερα στρώματα από υαλοβάμβακα (για τη συγκράτηση του ενεργού υλικού στις θετικές πλάκες).

Οι κυριότεροι λόγοι αστοχίας υλικού των μπαταριών αυτών είναι η αποσύνθεση της θετικής ενεργού μάζας  $\text{PbO}_2$  και η διάβρωση των θετικών πλεγμάτων [15]. Η μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης είναι συνήθως σχεδιασμένη με τέτοιον τρόπο, έτσι ώστε να περιορίζεται η χωρητικότητά της όταν είναι καινούργια από την ποσότητα του ηλεκτρολύτη και όχι από το υλικό των πλακών. Αυτό ευνοεί την προστασία των πλακών των συσσωρευτών και τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής τους. Στο τέλος της ζωής της, η χωρητικότητα της μπαταρίας περιορίζεται γενικά από τη θετική πλάκα.

#### • Επίδραση της βαθιάς εκφόρτισης στον συσσωρευτή

Όσο πιο βαθιά εκφορτίζεται μια μπαταρία, τόσο πιο γρήγορα γερνάει λόγω της φθοράς του, και μόλις ξεπεραστεί ένα ορισμένο όριο (περίπου 80% βάθους εκφόρτισης) η διαδικασία γήρανσης επιταχύνεται δυσανάλογα. Επιπλέον, εάν η μπαταρία παραμείνει αποφορτισμένη, οι πλάκες θα ξεκινήσουν να θειώνονται (θείωση χαρακτηρίζεται ο εμπλουτισμός μίας ουσίας με θείο ή κάποια άλλη θειούχα ένωση).

Επίσης, μία μπαταρία διαβρώνεται ακόμη και όταν διατηρείται φορτισμένη δεν χρησιμοποιείται, κυρίως λόγω της οξείδωσης του πλέγματος των θετικών πλακών.

Οι μπαταρίες θεωρείται ότι έχουν φτάσει στο τέλος της διάρκειας ζωής τους, όταν η χωρητικότητα που μπορούν να διατηρήσουν, έχει μειωθεί στο 80% της ονομαστικής χωρητικότητας [2].

- **Μπαταρίες έλξης βαθιάς εκφόρτισης**

Οι μπαταρίες έλξης βαθιάς εκφόρτισης κατασκευάζονται ως συγκρότημα μεμονωμένων κελιών. Εάν η απόδοση της μπαταρίας χειροτερέψει από μια καταστροφική βλάβη ενός ή μερικών κελιών, τότε αυτά τα κελιά έχουν τη δυνατότητα να επισκευαστούν ή να αντικατασταθούν με οικονομικά εφικτό τρόπο. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία των απαιτήσεων της ισχύος, αναλογικά με το φορτίο, τη διανυόμενη απόσταση και τις απαιτήσεις ανύψωσης. Τα μεγέθη των μπαταριών επιλέγονται από τον κατασκευαστή του εκάστοτε μηχανήματος και μπορούν να καταταχθούν στην πραγματική εφαρμογή με τη χρήση μετρητή αμπερών. Μια ενδεικτική τιμή της καταλληλότητας μιας μπαταρίας έλξης για μια εφαρμογή, είναι η μεταβολή του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη κατά τη διάρκεια της χρήσης. Η επιλογή ενός μεγαλύτερου μεγέθους μπαταρίας, ή η αντικατάσταση, ή και η επισκευή της μπαταρίας, είναι προτεινόμενο όταν δεν μπορεί να επιτευχθεί πλήρης λειτουργία.

Η κατασκευή σωληνοειδούς τύπου ελαχιστοποιεί τόσο τη διάβρωση του δικτύου όσο και την αποκόλληση, επίσης η μεγάλη διάρκεια ζωής είναι ένα χαρακτηριστικό αυτών των σχεδίων, αλλά με υψηλότερο αρχικό κόστος κατασκευής. Σε συνδυασμό με αυτά τα προνόμια χρησιμοποιούνται επίπεδες αρνητικές πλάκες, κολλημένες μεταξύ τους και οι κυψέλες είναι εξωτερικής - αρνητικής σχεδίασης.

- **Μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης υγρού τύπου (Wet deep cycle battery)**

Πρόκειται είτε για μπαταρία με παχιά πλάκα είτε για μπαταρία με σωληνοειδή πλάκα. Οι χρήσεις της είναι ποικίλες, όπως παραδείγματος χάρη σε ανυψωτικά και βαρέα οχήματα, εκφορτίζεται καθημερινά στο 60 με 80% και στη συνέχεια επαναφορτίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, μέρα με τη μέρα. Αυτό χαρακτηρίζεται και ως κυκλική λειτουργία.

Για να αναμιχθεί καλά ο ηλεκτρολύτης σε μια αρκετά ψηλή μπαταρία με σωληνοειδή πλάκα, προέχει να παρέχεται μεγαλύτερη παραγωγή αερίου από ό,τι σε μια συγκριτικά χαμηλότερη μπαταρία με επίπεδη πλάκα.

Η μπαταρία σωληνοειδούς πλάκας είναι εξαιρετικά ανθεκτική και δέχεται πολύ μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης. Είναι ένα εξαιρετικό υποκατάστατο χαμηλού κόστους για τις μπαταρίες κλειστού τύπου GEL ή AGM.

## **2.6 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors), Υβρίδια Υπερπυκνωτών (Ultra Batteries)**

- **Υπερπυκνωτές**

Ο υπερπυκνωτής πρόκειται για έναν ηλεκτροχημικό πυκνωτή ο οποίος εμπεριέχει συνιστώσες που σχετίζονται τόσο με μια μπαταρία όσο και με έναν πυκνωτή. Επομένως, η τάση ενός στοιχείου είναι περιορισμένη μονάχα σε λίγα Volt. Ο υπερπυκνωτής λειτουργεί με ένα λεπτό σε μόρια στρώμα ηλεκτρολύτη σαν διηλεκτρικό, με σκοπό το διαχωρισμό της φόρτισης. Κάθε φορά που ασκούμε τάση στους ακροδέκτες του υπερπυκνωτή, παρατηρείται εμφάνιση του διηλεκτρικού, το οποίο μας οδηγεί στην ηλεκτροστατική αποθήκευσή του, χωρίς δηλαδή να εμφανίζονται χημικές αντιδράσεις, μέσα στα πολωμένα στρώματα υγρού που βρίσκεται ανάμεσα στον ηλεκτρολύτη και το ηλεκτρόδιο. Ο υπερπυκνωτής κάθε συστήματος δημιουργείται από δυο αντιθέτως φορτισμένα ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή, τον ηλεκτρολύτη και τους συλλέκτες ρεύματος.

Ανάλογα με την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλεκτροδίων, οι υπερπυκνωτές μπορούν να καταταχθούν σε 3 κατηγορίες:

A) Ηλεκτροχημικούς πυκνωτές διπλού στρώματος (electrochemical double layer capacitors, ECDL).

B) Ψευδοπυκνωτές (pseudocapacitors).

Γ) Υβριδικούς πυκνωτές (hybrid capacitors) [16].

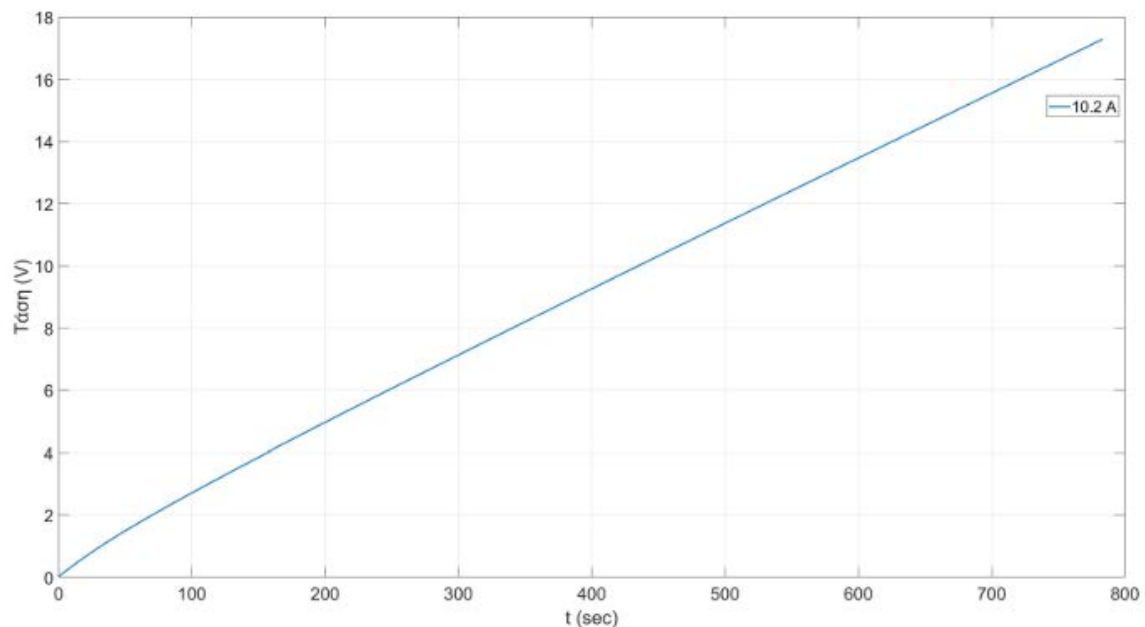
Οι υπερπυκνωτές ECDL είναι τις περισσότερες φορές οι κατασκευαστικά φθηνότεροι, όπως επίσης είναι τύποι υπερπυκνωτών που είναι οι πιο δημοφιλείς. Παρατηρούμε πως τα ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα στον ηλεκτρολύτη κατευθύνονται προς τα ηλεκτρόδια αντίθετης πολικότητας κατά την πραγματοποίηση της φόρτισής τους, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των φορτισμένων ηλεκτροδίων, το οποίο έχει λάβει χώρα μέσω της εφαρμοζόμενης τάσης.

Συνεπώς, παράγονται δύο ξεχωριστά φορτισμένα στρώματα. Όπως συμβαίνει και σε μια κοινή μπαταρία, ο υπερπυκνωτής ECDL είναι εξαρτώμενος από την ηλεκτροστατική δράση, δεδομένου όμως ότι δεν πραγματοποιείται καμία χημική αντίδραση, το αποτέλεσμα είναι εύκολο να αντιστραφεί, με τη βοήθεια της ελάχιστης υποβάθμισης σε μεγάλη φόρτιση ή της υπερφόρτισης, έτσι η διάρκεια ζωής του διαρκεί για εκατοντάδες χιλιάδες κύκλους φόρτισης. Ο παράγοντας που μας εμποδίζει από την άποψη της διάρκειας ζωής μπορεί να είναι τα έτη λειτουργίας, συγκεκριμένα η διάρκεια ζωής του προβλέπεται μέχρι τα 12 έτη.

Ένας περιορισμός ακόμη, είναι το υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης, το οποίο φτάνει περίπου σε ένα επίπεδο της τάξεως του 14% της ονομαστικής του ενέργειας μηνιαία. Εκτός από την υψηλή αντοχή σε μεγάλες φορτίσεις, η μη πραγματοποίηση οποιασδήποτε χημικής αντίδρασης, σημαίνει ότι οι υπερπυκνωτές μπορούν εύκολα να φορτιστούν και να εκφορτιστούν εντός λίγων δευτερολέπτων, με άλλα λόγια πολύ γρηγορότερα από μία κοινή μπαταρία.

Ταυτόχρονα, δεν απελευθερώνεται καμία χημική ουσία ή θερμότητα κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Η ενεργειακή απόδοση είναι πολύ υψηλή μπορεί να φτάσει τιμές από 85% έως 98%. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς πυκνωτές, οι υπερπυκνωτές έχουν αρκετά μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας ηλεκτροδίου. Η τεχνολογία των υπερπυκνωτών σε αντίθεση με ένα κοινό πυκνωτή για την ποσότητα άντλησης ρεύματος, είναι εξαρτώμενη από την

ανάπτυξη της «ενεργού επιφάνειας» σε ολόκληρη τη επιφάνεια των ηλεκτροδίων, όχι μονάχα στην εξωτερική τους επιφάνεια.



Εικόνα 22: Καμπύλη φόρτισης υπερπυκνωτή

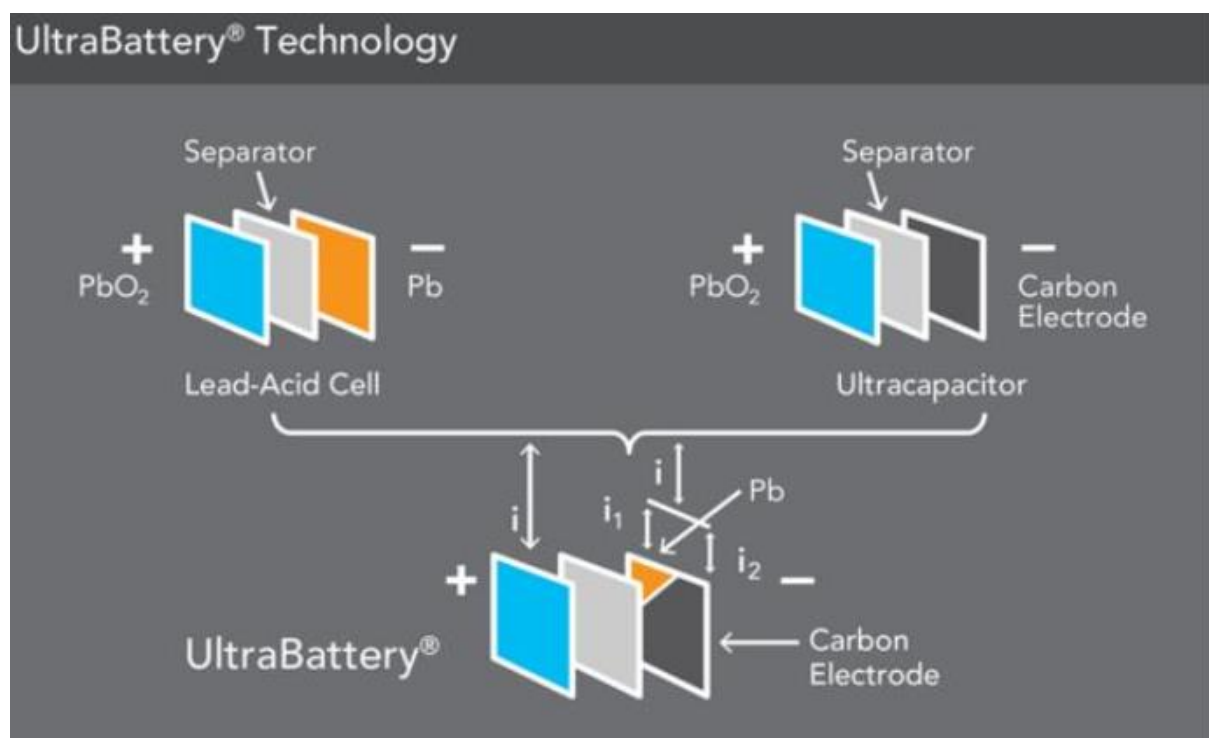
[4].

Το κόστος του υπερπυκνωτή είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα για την ευρύτερη εμπορική του χρήση σε βιομηχανικές λειτουργίες. Συγκριτικά με το κόστος μίας πιο διαδεδομένης τεχνολογίας μπαταρίας, όπως οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος, ο υπερπυκνωτής φαίνεται να είναι αρκετά ακριβότερος. Επομένως, απαραίτητη είναι η σημαντική μείωση του κόστους του ιδιαίτερα στους τομείς του άνθρακα, του ηλεκτρολύτη και του διαχωριστή [4].

- **Υβρίδια υπερπυκνωτών**

Η τεχνολογία Ultra Battery, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες βελτιώσεις των τελευταίων 15 ετών, χρηματοδοτήθηκε από την Advance Lead Acid Battery Consortium (ή αλλιώς ALABC). Η ALABC είναι μια ερευνητική κοινοπραξία που σχηματίστηκε αρχικά το 1992 για να προωθήσει τις δυνατότητες της μπαταρίας μολύβδου - οξέος με βαλβίδα με σκοπό να συμβάλει στην ίδρυση των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων και έκτοτε έχει προσαρμόσει την ερευνητική εστίαση στις τρέχουσες απαιτήσεις για την μπαταρία [16].

Η Ultra Battery χρησιμοποιεί υλικά άνθρακα υπερπυκνωτή στην άνοδο που επιτρέπουν τη λειτουργία σε κατάσταση μερικής φόρτισης, και είναι κατάλληλη για χρήσεις όπως λειτουργία σε μικρό – υβριδικές εφαρμογές start – stop συμβατικών οχημάτων [2],[28].



Εικόνα 23: Τεχνολογία Μπαταρίας Ultrabattery

[16].

### **3. Χρήση Και Εφαρμογές Συσσωρευτή Μολύβδου - Οξέος**

Οι χρησιμότητες ενός συσσωρευτή μολύβδου - οξέος, είναι πάρα πολλές, καθώς όπως έχει ήδη προαναφερθεί, είναι από τις πιο διαδεδομένες δευτερεύουσες (επαναφορτιζόμενες) μπαταρίες παγκοσμίως. Εφαρμογές τους σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ΑΠΕ, σε συστήματα συνεχούς ρεύματος και αδιάλειπτης παροχής ισχύος, σε συμβατικά οχήματα (ηλεκτρικά, υβριδικά και εσωτερικής καύσεως), βαρέα οχήματα και σκάφη, είναι μερικές από τις πολλές εφαρμογές τους, τις οποίες θα αναλύσουμε παρακάτω. Εξίσου συνήθεις είναι όμως οι χρήσεις τους και σε γεννήτριες, φορητά συστήματα επικοινωνίας, αναπηρικά αμαξίδια, σε βιομηχανικές χρήσεις, συστήματα συναγερμού, κάμερες παρακολούθησης, ηλεκτρικές πύλες, φωτισμό έκτακτης ανάγκης, σε ιατρικό εξοπλισμό και πολλά άλλα.

#### **3.1 Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας ΑΠΕ**

##### **3.1.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Ηλιακή Ενέργεια**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια διάταξη στοιχείων ηλιακού συλλέκτη στερεάς κατάστασης σε σειρά και παράλληλα συνδεδεμένα τα οποία μετατρέπουν την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε άμεσο μη σταθερό ρεύμα. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, με άλλα λόγια η έκθεση στον ήλιο, μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, με το υψόμετρο και με γεωγραφική θέση.

Η έξοδος του φωτοβολταϊκού πάνελ πρέπει να ρυθμίζεται από το ελεγκτή φόρτισης έτσι ώστε να μπορέσουμε να ελέγξουμε τη φόρτιση του υποσυστήματος μπαταριών. Η υπερφόρτιση μιας μπαταρίας αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές αιτίες για τη συντομότερη διάβρωση και μείωση της διάρκειας ζωής της. Έτσι, η μπαταρία έχει διαστασιολογηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να δέχεται την υψηλότερη ισχύ εξόδου από το ηλιακό πάνελ χωρίς κάποια βλάβη από υπερφόρτιση [29].



Εικόνα 24: Υποσυστήματα ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος [29].

### 3.1.1.1 Λειτουργία Μπαταρίας Μολύβδου - Οξέος Σε Ένα Φ/Β Σύστημα

Κατά τη διάρκεια ημερών με υψηλή ηλιοφάνεια, η μπαταρία αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από την ηλιακή συστοιχία και εκφορτίζει αυτή την αποθηκευμένη ενέργεια πίσω στο δίκτυο, κατά τη διάρκεια της νύχτας και των συνεχιζόμενων ημερών με συννεφιά. Έπειτα, η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στο υποσύστημα μπαταρίας μπορεί να εξαντληθεί, όταν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή. Τότε, η βοηθητική παροχή συνεχούς ρεύματος ενεργοποιείται για να αναλάβει τη μεταφορά του φορτίου και να επαναφορτίσει τη μπαταρία του πάνελ. Στην προκειμένη περίπτωση, συνιστάται επίσης μια σύνδεση χαμηλής τάσης για την προστασία της μπαταρίας από βαθιά εκφόρτιση. Στις περισσότερες λειτουργίες φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν αναμένονται περισσότεροι από δύο κύκλοι ανά ημέρα [5].

### 3.1.1.2 Βασικά Στοιχεία Για Την Επιλογή Συσσωρευτή

Η μπαταρία αποτελεί ένα από τα πιο βασικά στοιχεία, για μια συνεχή παροχή παραγωγής ισχύος. Οι μπαταρίες επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν υψηλότερη μέγιστη ισχύ από αυτήν που μπορεί να παρέχει η ηλιακή συστοιχία:

- A) Υψηλή ενέργεια μέγιστης ισχύος για την εκκίνηση κινητήρων ή μηχανών
- B) Για το άνοιγμα και το κλείσιμο των διακοπών του κυκλώματος
- Γ) Για σταθερή παραγωγή ενέργειας για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα [5].

Παράγοντες για τη διαστασιολόγηση της μπαταρίας είναι:

- A) Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας λειτουργίας
- B) Οι ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- Γ) Η εβδομαδιαία/ημερήσια χρήση
- Δ) Ο σχεδιασμός του ρυθμιστή τάσης
- E) Η απόδοση του μετατροπέα [5].

Οι μικρότεροι χρόνοι φόρτισης και τα υψηλότερα ηλεκτρικά φορτία θα μειώσουν την ενεργειακή απόδοση και τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Συνεπώς, ο χρόνος φόρτισης και η διαθέσιμη ισχύς από το ηλιακό πάνελ πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τη διάρκεια της επιλογής του τύπου και του μεγέθους της μπαταρίας.

Είναι εξίσου σημαντικό να περιληφθεί η εξέταση των παραμέτρων επιδόσεων που ακολουθούν:

- A) Η ελάχιστη και η μέγιστη τάση λειτουργίας του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, της μπαταρίας και των στοιχείων του φορτίου
- B) Τον κύκλο ισχύος, συμπεριλαμβανομένων όλων των φάσεων φόρτισης και εκφόρτισης
- Γ) Το προφίλ παραγωγής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο προβλέπεται στην τοποθεσία σύμφωνα με τα επικρατέστερα πρότυπα ηλιακής ακτινοβολίας
- Δ) Εποχιακές και περιβαλλοντικές διακυμάνσεις

#### E) Διαθεσιμότητα και συχνότητα συντήρησης [5].

Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μία συνάρτηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, του κύκλου λειτουργίας, του βάθους εκφόρτισης, του ελέγχου φόρτισης και του σχεδιασμού των κελιών. Η αισθητά υψηλότερη μέση θερμοκρασία λειτουργίας μειώνει τη διάρκεια ζωής της και ο αριθμός των διαθέσιμων κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης μειώνεται κατά τη διάρκεια της αύξησης του βάθους εκφόρτισης.

Γενικά, οι μπαταρίες με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έχουν και υψηλότερο αρχικό κόστος. Η αντικατάσταση μιας μπαταρίας, ειδικά μιας πολύ μεγάλης συστοιχίας κελιών, μπορεί να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό το κόστος των μπαταριών αποθήκευσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι οικονομικές μελέτες θα πρέπει να πραγματοποιούνται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να απεικονίζουν το άθροισμα της αρχικής τιμής της μπαταρίας, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας, της συντήρησης και το κόστος αντικατάστασης [29].

Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η συντήρηση του συσσωρευτή. Η επίσκεψη σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις με σκοπό τη συντήρηση του συστήματος ή της μπαταρίας, μπορεί να απαιτήσει σημαντικό κόστος μεταφοράς και εργασίας. Οι μπαταρίες χωρίς συντήρηση, ή μειωμένης συντήρησης είναι σαφώς καλύτερη και πιο προσιτή λύση σε αυτές τις εφαρμογές, εφόσον αποδεικνύονται και άλλα χαρακτηριστικά απόδοσης.

Η αντικατάσταση της απώλειας νερού από την ηλεκτρόλυση του ηλεκτρολύτη της μπαταρίας λόγω υπερφόρτισης είναι το σημαντικότερο έργο συντήρησης στις μπαταρίες μολύβδου - οξέος. Άλλες εργασίες στη διαδικασία της συντήρησης είναι να διατηρηθούν οι συνδέσεις μεταξύ των κελιών και των σειρών της μπαταρίας καθαρές και στεγνές. Η συντήρηση μπορεί να προγραμματιστεί από τη παρακολούθηση της υπερφόρτισης στον κύκλο λειτουργίας και τον αριθμό των κύκλων ανά-εβδομάδα.

Ακόμα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα πρέπει να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να έχουν την ικανότητα να διατηρήσουν τις ονομαστικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος στο υποσύστημα της μπαταρίας, παρέχοντας προστασία με σκιά από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και τη σωστή κυκλοφορία του αέρα πάνω από τους συνδέσμους μεταξύ των κελιών και των σειρών της μπαταρίας. Επιπλέον, είναι σημαντική η ενημέρωση σχετικά με την περιεκτικότητα της μπαταρίας μολύβδου – οξέος που πρόκειται να επιλέξουμε για το Φ/Σ.

Παραδείγματος χάρη, για μια μπαταρία μολύβδου - οξέος με υψηλή περιεκτικότητα σε αντιμόνιο, μπορεί να απαιτείται χωρητικότητα 130 - 150 Ah για την παροχή 100 Ah για περίοδο 30 ημερών στο φορτίο, ενώ για μια μπαταρία μολύβδου - ασβεστίου ή καθαρού μολύβδου, απαιτούνται μόνο 102 - 104 Ah. Αυτές οι αντισταθμίσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να απαιτούν μπαταρίες με ευρύ φάσμα δυνατοτήτων. Η ταξινόμηση των απαιτήσεων της χρήσης τους βοηθάει στο να προσδιοριστεί ο πιο κατάλληλος τύπος συσσωρευτή για την ανάλογη εφαρμογή. Οι ταξινομήσεις είναι οι εξής:

#### A) Υπηρεσία μικρού κύκλου

Οι περισσότεροι κύκλοι έχουν βάθος μικρότερο από 20%, αλλά ένας μικρός αριθμός μπορεί να φτάσει βάθος μέχρι και το 50% της ονομαστικής χωρητικότητας 5 ωρών στους 25°C.

#### B) Υπηρεσία βαθιών κύκλων (deep cycle)

Οι περισσότεροι κύκλοι είναι της τάξης του 60 με 80%, αλλά ένας περιστασιακός κύκλος μπορεί να είναι 100% της ονομαστικής χωρητικότητας 5 ωρών στους 25°C.

#### Γ) Λειτουργία αναμονής (standby service) έναντι λειτουργίας κύκλου [5].

Η υπηρεσία αναμονής κυμαίνεται από 2 έως 12 κύκλους ανά έτος με τον υπόλοιπο χρόνο λειτουργίας σε κατάσταση πλυμμήρας, σε προκαθορισμένη τάση και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η υπηρεσία βαθιών ή ρηχών κύκλων είναι επαναλαμβανόμενη λειτουργία σε ένα σχετικά προβλέψιμο καθεστώς, από 200 έως 500 κύκλους ανά έτος και 1-2 κύκλους την ημέρα. Συνδυασμοί των παραπάνω ταξινομήσεων είναι αρκετά συνηθισμένοι στην υπηρεσία φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Οι καθαρού μολύβδου και μολύβδου – ασβεστίου, είναι τύποι μπαταριών μολύβδου - οξέος οι οποίοι έχουν διάρκεια ζωής η οποία μπορεί να κυμανθεί από 2 έως 3 έτη στην περίπτωση λεπτών πλακών, 6 έως 10 έτη με πλάκες μεσαίου πάχους και 17 έως 22 έτη με πλάκες πάχους 6 με 9 χιλιοστά (0,25-0,35 ιντσών) . Αυτές οι κυψέλες συναρμολογούνται συνήθως με έναν αποτελεσματικό μικροπορώδη διαχωριστή αλλά με ένα σύστημα συγκράτησης.

Οι κυψέλες μολύβδου - αντιμονίου με σχεδιασμό επικολημένων πλακών με πάχος 6 με 9 χιλιοστά (0,25-0,35 ίντσες), έχουν πιο αποτελεσματικούς μικροπορώδεις διαχωριστές και

κατάλληλα συστήματα συγκράτησης ενεργού υλικού και παρέχουν πολύ καλύτερο εύρος ζωής σε συστήματα βαθιών κύκλων (deep cycle). Όταν απαιτούνται υψηλότεροι ρυθμοί αμπέρ, ο αριθμός των πλακών αυξάνεται, το πάχος των πλακών μειώνεται και η διάρκεια ζωής μειώνεται [5],[11].

### **3.1.1.3 Συντήρηση Συσσωρευτών Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Τα υποσυστήματα μπαταριών για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε απομακρυσμένες τοποθεσίες πρέπει να απαιτούν χαμηλή συντήρηση. Το κόστος συντήρησης μπορεί να είναι απαγορευτικό για απομακρυσμένα συστήματα σε απομονωμένες περιοχές, όπου οι αρμόδιοι της συντήρησης, μπορούν να επισκεφθούν την εγκατάσταση το πολύ μία ή δύο φορές το χρόνο.

Τα επισκέψιμα συστήματα μπορεί να έχουν διαθέσιμο εκπαιδευμένο προσωπικό για τη συντήρηση των συσσωρευτών. Για τις εφαρμογές αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν σχέδια μπαταριών με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε υγρή μορφή και μεγαλύτερο κύκλο ζωής, τα οποία όμως μπορεί να απαιτούν και μεγαλύτερη συντήρηση. Ένα βασικό βήμα για τη μεγάλη διάρκεια ζωής είναι η κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού συντήρησης με τη χρήση οδηγιών συντήρησης και λειτουργίας που παρέχονται από τους κατασκευαστές μπαταριών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η συντήρηση (προσθήκη νερού στις κυψέλες) θα είναι μεγαλύτερη στις κυψέλες μολύβδου - αντιμονίου απ' ό,τι στις κυψέλες μολύβδου - ασβεστίου, εκτός από την περίπτωση αύξησης του αποθέματος του οξέος σε κάθε κυψέλη στο σχεδιασμό των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για ηλιακές εφαρμογές, όπου η χαμηλή συντήρηση τους είναι η κύρια απαίτηση.

Οι απαιτήσεις για χαμηλή συντήρηση μπορούν να ικανοποιηθούν από ένα συσσωρευτή καθαρού μολύβδου, εφόσον οι ρυθμοί φόρτισης - εκφόρτισης είναι πολύ χαμηλοί και εντός του εύρους των σχεδίων κυψελών καθαρού μολύβδου με παχιά πλάκα, που διατηρούν τη φόρτιση. Αυτές οι κυψέλες μπορούν περιστασιακά να εκφορτίζονται βαθιά και στη συνέχεια να αποκαθίστανται σε πλήρη χωρητικότητα με επαναφόρτιση χαμηλού ρυθμού (για τουλάχιστον 75 ώρες) [29].

Οι μπαταρίες μολύβδου - ασβεστίου με ικανότητα επανένωσης οξυγόνου - υδρογόνου στους αεραγωγούς τους είναι πολύ λειτουργικές σε εφαρμογές χαμηλής συντήρησης, αλλά η

διάρκεια ζωής τους σε βαθύ κύκλο είναι πιο μικρή για τα δεδομένα της σημερινής τεχνολογίας συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου - αντιμονίου.

Ένα αξιόπιστο εξάρτημα αυτόματου συμπληρώματος νερού το οποίο επιτρέπει σε μια μπαταρία μολύβδου - αντιμονίου να ικανοποιεί την απαίτηση της χαμηλής συντήρησης, καθίσταται μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για τον σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

### **3.1.1.4 Κόστος Συσσωρευτών Σε Φ/Β Σύστημα**

Το κόστος του υποσυστήματος μπαταριών μπορεί να κυμανθεί από 10 έως και 50 τοις εκατό του συνολικού κόστους του Φ/Β συστήματος, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του ηλιακού συστήματος. Ακριβείς τιμές μπορούν να ληφθούν μόνο μέσω της διαδικασίας υποβολής προσφορών και δεν είναι δυνατόν να είναι μόνιμα έγκυρες και ενημερωμένες, καθώς οι τιμές των υλικών αυξομειώνονται ημερησίως, αναλογικά με τη ζήτηση της αγοράς [29].

#### **• Κόστος μπαταρίας**

Το ενεργειακό κόστος της μπαταρίας μπορεί να εκφραστεί σε Ευρώ ανά υποσύστημα μπαταρίας και σε Ευρώ ανά κιλοβατώρα (€/kwh) ενέργειας που παρέχεται στον καθορισμένο ρυθμό και θερμοκρασία. Το κόστος αυτό ενδέχεται να διαμορφωθεί σχετικά με τις παρακάτω συνθήκες:

A) Το ενεργειακό κόστος εκφόρτισης συνήθως μειώνεται με την αύξηση της χωρητικότητας των κυψελών σε μια σειρά κυψελών παρόμοιου σχεδιασμού.

B) Το κόστος ενέργειας εκφόρτισης αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση του ρεύματος φόρτισης - εκφόρτισης και τη μείωση του χρόνου του [29].

#### **• Κόστος εκφόρτισης**

Το ενεργειακό κόστος εκφόρτισης αυξάνεται ταχύτατα με τη μείωση των θερμοκρασιών φόρτισης - εκφόρτισης κάτω των 25°C.

A) Πάνω από τους 25°C, το ενεργειακό κόστος εκφόρτισης μειώνεται έως ότου η απώλεια ενέργειας από τις λοιπές αντιδράσεις να γίνει σημαντική (περίπου 40°C), συνεπώς το κόστος αυξάνεται.

B) Η αύξηση της εφεδρικής ενέργειας στο σχεδιασμό μιας μπαταρίας θα αυξήσει το κόστος της μεμονωμένης ενέργειας, αλλά μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της [29].

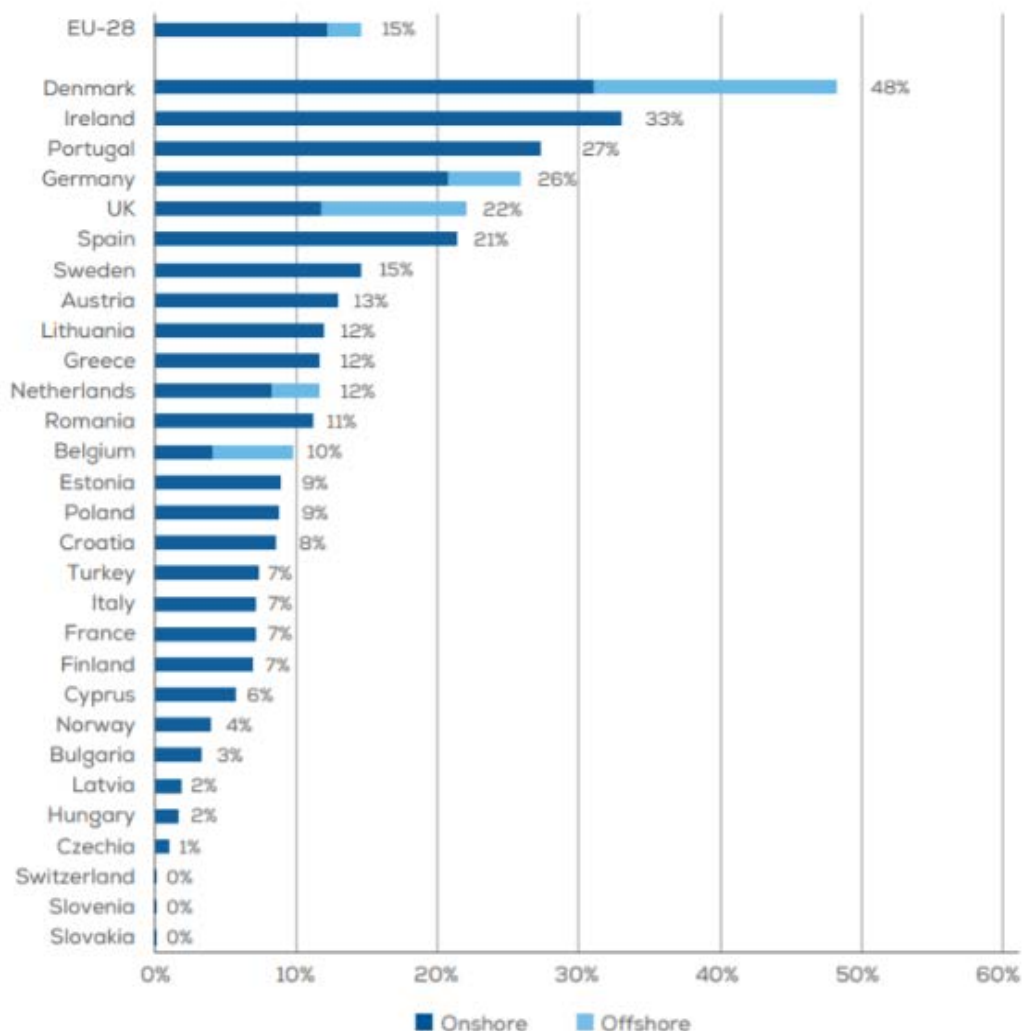
#### • Κόστος αποθηκευμένης ενέργειας

Το κόστος αποθηκευμένης ενέργειας είναι πιο δύσκολο να εκτιμηθεί ορθά. Ορισμένες εφαρμογές απαιτούν σχετικά λίγους κύκλους, όμως η διάρκεια ζωής των υγρών στοιχείων καθορίζεται στα 15 με 20 έτη, έτσι η μπαταρία πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει την ονομαστική της χωρητικότητα ανά πάσα στιγμή. Ουσιαστικά, η μπαταρία με το χαμηλότερο κόστος θα είναι η μπαταρία με τη χαμηλότερη αρχική τιμή και τον μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας.

Οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος, είναι κατάλληλες για τέτοιες εφαρμογές και έχουν προσδόκιμο ζωής 20 ετών. Το ετήσιο κόστος της ενέργειας που αποδίδουν σε χρονικό διάστημα 8 ωρών, κυμαίνεται από 8,28 έως 18,4€/kWh (9 - 20 \$/kWh) ανά έτος ζωής. Μια τυπική εφαρμογή δεν απαιτεί περισσότερες από 1 με 2 εκφορτίσεις της ονομαστικής χωρητικότητας ανά έτος και οι υπόλοιποι κύκλοι είναι τυχαίου βάθους, συνήθως λιγότερο από 20% της ονομαστικής χωρητικότητας [29].

### 3.1.2 Αιολικοί Σταθμοί

Οι αιολικοί σταθμοί αποτελούνται από ένα σύνολο ανεμογεννητριών και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, μετατρέποντας την σε κινητική ενέργεια και μετέπειτα σε ηλεκτρική. Τα τελευταία χρόνια οι ανεμογεννήτριες έχουν δεχθεί σημαντική ανάπτυξη στο χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το οποίο οδηγεί στην αύξηση της συμμετοχής της αιολικής ενέργειας σε αρκετά Ευρωπαϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και σε όλο τον κόσμο. Η αιολική ενέργεια είναι άφθονη, ανανεώσιμη και ευρέως διανεμημένη σε ποικίλες γεωγραφικές περιοχές [30].



Εικόνα 25: Πίνακας ποσοστού ετήσιας αιολικής παραγωγής στην Ευρώπη

[30].

Τα προβλήματα της χρήσης της αιολικής ενέργειας, με στόχο την κάλυψη μικρού ποσοστού της συνολικής ενέργειας που ζητείται, είναι ελάχιστα, όσο όμως η ενσωμάτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες συνεχίζει να αυξάνεται, αναπτύσσεται ο κίνδυνος της εμφάνισης πλεονάζουσας παραγόμενης ισχύος. Για να καταπολεμηθεί το συγκεκριμένο θέμα, η πλεονάζουσα παραγόμενη ισχύς θα πρέπει να αποθήκευεται.

Ευρέως χρησιμοποιούμενες είναι οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος για τη επίτευξη της αποθήκευσης ενέργειας. Τα χαρακτηριστικά τους, η λειτουργία τους, όπως επίσης η συντήρηση και το κόστος τους, είναι παραπλήσιες με αυτές των φωτοβολταϊκών πάρκων, τα οποία είναι αναλυμένα στο παραπάνω κεφάλαιο, των φωτοβολταϊκών – ηλιακών συστημάτων.

### **3.1.2.1 Βασικά Στοιχεία Για Την Επιλογή Συσσωρευτή Σε Αιολικό Σταθμό**

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Energy Storage Systems – ESS) είναι ικανά να αποθηκεύσουν την παραγόμενη ενέργεια τις ώρες υψηλής παραγωγής και χαμηλής ζήτησης (περίσσεια ενέργεια), και αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια εκμεταλλεύεται τις ώρες όπου υπάρχει έλλειψη παραγωγής και η ζήτηση είναι υψηλή. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι χρήσιμα για τη διαχείριση ενεργών δικτύων διανομής, για να ελαχιστοποιήσουν την περικοπή της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ ή να διαχειριστούν πιθανή υπερφόρτιση του δικτύου.

Ανάλογα με τη δυνατότητα φόρτισης - εκφόρτισης και τη χωρητικότητά τους, ορισμένες μπαταρίες χρησιμοποιούνται για εφαρμογές οι οποίες συσχετίζονται με το σύστημα μεταφοράς και είναι συνδεδεμένες στην υψηλή τάση, αντιθέτως άλλες είναι χρήσιμες σε εφαρμογές που είναι σχετικές με το δίκτυο διανομής και είναι συνδεδεμένες στη μέση τάση. Ακόμα, οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος χρησιμοποιούνται και στη χαμηλή τάση, τις περισσότερες φορές σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη διαχείριση ενέργειας καταναλωτών που χρησιμοποιούν μια μονάδα παραγωγής μικρής κλίμακας για να εξυπηρετούν τις ηλεκτρικές τους ανάγκες [30].

### **3.1.2.2 Οφέλη Διαδικασίας Αποθήκευσης Ενέργειας**

Τα πιο κύρια οφέλη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε ένα αιολικό σύστημα με συσσωρευτή μολύβδου - οξέος, είναι τα εξής:

A) Βελτιωμένος έλεγχος και αξιοπιστία του συστήματος για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της αυξανόμενης διείσδυσης Μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής (ΜΔΠ) ιδίως αυτής των μονάδων ΑΠΕ

B) Αύξηση της ενσωμάτωσης των ΜΔΠ και αύξηση της ικανότητας εγκατάστασης περισσότερων, στο δίκτυο και στο σύστημα

Γ) Υπάρχει ικανότητα της ρύθμισης τάσης και συχνότητας

Δ) Βελτίωση της διαχείρισης των στοιχείων του δικτύου (υποσταθμοί, γραμμές δικτύου) με αυξημένη ωφέλιμη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού του συστήματος, λόγω της μείωσης της ανάγκης ενέργειας σε ώρες αιχμής

E) Αναβολή της αναβάθμισης ή της ενίσχυσης των στοιχείων του δικτύου εξαιτίας της μείωσης των φορτίων αιχμής

ΣΤ) Βελτίωση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις προγραμματισμένες ή τις τυχαίες διακοπές ρεύματος, χάρη στην προσωρινή παροχή ενέργειας εντός των καταναλωτών [30].

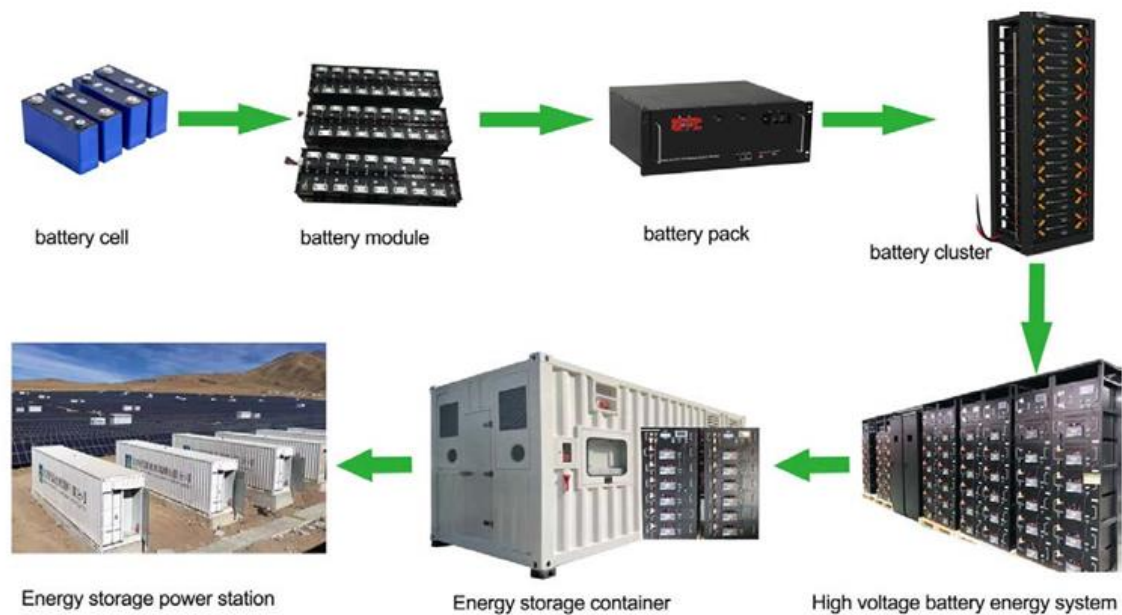
## **3.2 Συστήματα Συνεχούς Ρεύματος Και Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος**

### **3.2.1 Συστήματα Συνεχούς Ρεύματος (DC)**

Μια νέα φιλοσοφία που έχει πλέον ενταχθεί στην εφεδρική τροφοδοσία, είναι το σύστημα τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος με εφεδρική μπαταρία. Αυτά τα συστήματα ισχύος περιλαμβάνουν έναν φορτιστή μπαταριών (ανορθωτή - φορτιστή) που έχει επαρκή χωρητικότητα έτσι ώστε να επαναφορτίζει τις μπαταρίες σε κατάλληλη τάση, ενώ ταυτόχρονα παρέχει σταθερή ισχύ στο φορτίο συνεχούς ρεύματος. Ακόμα, η προστασία του εξοπλισμού και η απομόνωση της τάσης του δικτύου από τα δευτερεύοντα περιβλήματα του ειδικού μετασχηματιστή ισχύος είναι σχεδιασμένα για το σύστημα.

Οι εφεδρικές μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση του φορτίου σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελώντας μία εναλλακτική λύση για την κάλυψη των αιχμών ισχύος που παρέχονται σήμερα και είναι δαπανηρές σε ενέργεια, όπως τα συστήματα που λειτουργούν με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Για τις συγκεκριμένες λειτουργίες, απαιτούνται μεγάλες μπαταρίες υψηλής τάσης, της τάξεως των 50 MWh στα 1000 V. Η μπαταρία μολύβδου - οξέος, είναι ο πιο κύριος υποψήφιος για μια βραχυπρόθεσμη λύση για την συγκεκριμένη χρήση. Στόχος τους είναι να επιτευχθούν πάνω από 2000 κύκλοι φόρτισης ή 10 χρόνια λειτουργίας.

Η επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας για τέτοιου είδους εφαρμογές απαιτεί πλήρη ανάλυση αναλογικά με τις ανάγκες φόρτισης και εκφόρτισης της κάθε μπαταρίας, συμπεριλαμβανομένου του φορτίου, της θερμοκρασίας λειτουργίας και της απόδοσης του φορτιστή, όπως και άλλων εξαρτημάτων του συστήματος [2].



Εικόνα 26: Διαδρομή από κυψέλη ενέργειας σε ένα σύστημα αποθήκευσης συνεχούς ρεύματος [2].

### 3.2.2 Συστήματα Αδιάλειπτης Τροφοδοσίας Ρεύματος (UPS)

Δεδομένου ότι η μπαταρία σε ένα σύστημα αδιάλειπτης τροφοδοσίας (Uninterruptible Power Supply ή UPS) η οποία χρησιμοποιεί φόρτιση με επίπλευση (float charging), συνδέεται παράλληλα μεταξύ του ανορθωτή και του αντιστροφέα, είναι δυνατόν να παρέχεται ρεύμα χωρίς διακοπή σε περίπτωση βλάβης. Τέτοια συστήματα έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι μπορούν να παρέχουν σταθερή παροχή ισχύος ακόμη κι αν η τάση της κύριας τροφοδοσίας αυξομειωθεί ή αν παρατηρηθεί ξαφνική αύξηση στην απαιτούμενη ισχύ του φορτίου, καθώς η μπαταρία λειτουργεί ως ρυθμιστικό στοιχείο [5].

Το συνεχές σύστημα UPS είναι ένα κύριο παράδειγμα αυτού του τύπου λειτουργίας. Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας τους, η παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) τροφοδοτεί με ρεύμα τον στατικό φορτιστή μπαταριών (ανορθωτής - φορτιστής), τροφοδοτεί με ρεύμα συνεχούς ρεύματος τον στατικό μετατροπέα. Ο αντιστροφέας, με τη σειρά του, προσδίδει ισχύ στο φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος. Ένα σήμα συγχρονισμού (εάν χρησιμοποιείται) από τη παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ικανό να διατηρήσει τη φάση και τη συχνότητα της εξόδου του αντιστροφέα ίδια με αυτή της παροχής ρεύματος. Αυτό οδηγεί στην επίτευξη της ακρίβειας των συσκευών χρονισμού, όπως τα ρολόγια και τα διαγράμματα καταγραφής [2].

Ο ρυθμιστής τάσης εντός του μετατροπέα διατηρεί την τάση φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος σταθερή σε όλο το φάσμα του φορτίου καθώς και σε περιόδους εξισορρόπησης της φόρτισης του συσσωρευτή αποθήκευσης. Οι μεταβατικές και σταθερές μεταβολές της παροχής ισχύος απομονώνονται από το φορτίο μέσω της ρυθμιστικής λειτουργίας του φορτιστή της μπαταρίας του συστήματος, σε συνδυασμό με τη διαδικασία διύλισης (φιλτραρίσματος) της μπαταρίας και του αντιστροφέα.

Σε περίπτωση διακοπής της παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), ο φορτιστής της μπαταρίας σταματά τη λειτουργία του και ο συσσωρευτής τροφοδοτεί άμεσα τον αντιστροφέα και διατηρεί το φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς τη διακοπή του. Παράλληλα, το σήμα συγχρονισμού χάνεται κατά τη διάρκεια της διακοπής ρεύματος, επομένως ο μετατροπέας συνεχίζει να λειτουργεί με τη δική του μεμονωμένη ένδειξη συχνότητας (περίπου κοντά στο 1% για τις τυπικές μονάδες). Η χωρητικότητα της μπαταρίας σε αμπερώρες καθορίζει το χρόνο λειτουργίας του συστήματος. Ο αντιστροφέας έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί σταθερή τάση εξόδου καθώς η τάση της μπαταρίας πέφτει κατά τη

διάρκεια της εκφόρτισης. Όταν επιστρέφει το ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο φορτιστής αποκαθιστά την ενέργεια της μπαταρίας και ταυτόχρονα παρέχει ρεύμα στον μετατροπέα.

Τα συστήματα UPS έχουν γενικά τρία βασικά σχέδια:

A) Εντός σύνδεσης (On – Line)

B) Εφεδρικό ή εκτός γραμμής (Off - Line)

Γ) Υβριδικό σύστημα γραμμής

Στο πρώτο σχέδιο, όταν η τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος διακοπεί, η μπαταρία θα είναι ήδη εντός σύνδεσης και τροφοδοτεί τον αντιστροφέα, έτσι δεν υφίσταται πτώση τάσης. Το on - line σύστημα UPS εξυπηρετεί επίσης στο να εξισορροπήσει τυχόν διακυμάνσεις της τάσης με την μπαταρία - μετατροπέα, στοιχείο το οποίο είναι συνεχώς ενεργό στο κύκλωμα.

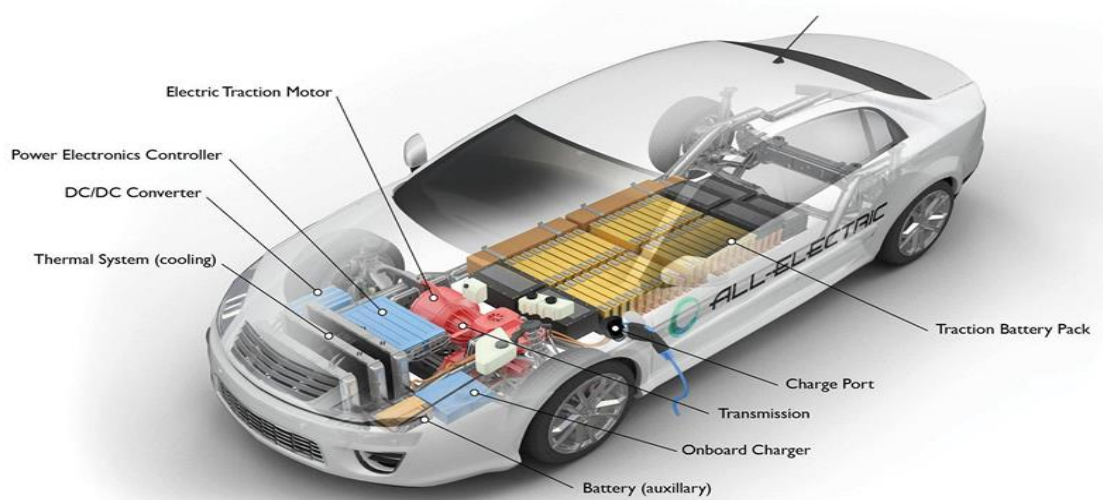
Στην off - line περίπτωση, η τάση μπορεί να πέσει, συνήθως για χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν τεθεί σε λειτουργία το δίδυμο μπαταρίας - μετατροπέα.

Τέλος, στην περίπτωση του υβριδικού συστήματος γραμμής UPS, χρησιμοποιείται ένας αυτόματος ρυθμιστής τάσης και ένας ειδικός μετασχηματιστής για την επιτυχή εξομοίωση τυχόντων υποτάσεων ή υπερτάσεων και να τείνει σε μετάβαση πλήρους εφεδρείας της μπαταρίας μονάχα κατά τη διάρκεια διακοπών της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου [2].

## 3.3 Σε Οχήματα

### 3.3.1 Ηλεκτρικά – Υβριδικά Οχήματα

Στα ηλεκτρικά αλλά και στα υβριδικά οχήματα, περιλαμβάνεται ένας ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος έχει την ανάγκη αποθηκευμένης ενέργειας από μία μπαταρία. Στο αμιγώς ηλεκτρικό όχημα χρησιμοποιείται μονάχα ένας ηλεκτροκινητήρας, ενώ στο υβριδικό όχημα έχουμε ένα συνδυασμό ενός κινητήρα εσωτερικής καύσεως και έναν ηλεκτροκινητήρα με ποικιλία μεγεθών ανάλογα το μέγεθος της μπαταρίας που εμπεριέχει. Οι απαιτήσεις απόδοσης και των δύο ειδών είναι διαφορετικές και εξαρτώμενες από την κάθε εφαρμογή τους [12].



Εικόνα 27: Βασικά μέρη ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Πιο συγκεκριμένα, οι συσσωρευτές των ηλεκτρικών - υβριδικών οχημάτων έχουν ανάγκη από:

- **Απαιτήσεις μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων**

A) Υψηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα για την παροχή επαρκούς αυτονομίας της οδήγησης του οχήματος

B) Υψηλή πυκνότητα ισχύος για την εξασφάλιση της επιτυχούς επιτάχυνσης

Γ) Μεγάλη διάρκεια ζωής με μικρή συντήρηση

Δ) Χαμηλό κόστος κατασκευής



Εικόνα 28: Συστοιχία μπαταριών ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

[12].

- **Απαιτήσεις μπαταριών υβριδικών οχημάτων**

A) Πολύ υψηλή ειδική ισχύ και πυκνότητα ισχύος για την εξασφάλιση επιτάχυνσης

B) Ικανότητα ανοχής επαναλαμβανόμενων φορτίσεων υπό υψηλή ισχύ από την ανάκτηση ενέργειας μέσω του φρεναρίσματος

Γ) Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής κύκλου χωρίς την ανάγκη συντήρησης υπό συνθήκες μικρών κύκλων φορτίσεως

Δ) Μεσαίο κόστος κατασκευής

Η ασφαλής λειτουργία και οι ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή, τη χρήση και την απόρριψη είναι υποχρεωτικές για όλες τις εφαρμογές. Ευρέως διαθέσιμες είναι μπαταρίες μολύβδου – οξέος, οι οποίες μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για ποικίλες εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως.

Η χρήση αυτών των μπαταριών προσφέρει ακόμη μεγαλύτερες δυνατότητες μείωσης του κόστους και θα μπορούσε να ενισχύσει τις ευκαιρίες της αγοράς. Οι ευκαιρίες αυτές προκύπτουν από τα προβλεπόμενα πλεονεκτήματα των προηγμένων μπαταριών με χαμηλότερο κόστος, μικρότερο αποτύπωμα συστήματος, μη συντήρηση και υψηλή αξιοπιστία [12].

Έχουν πλέον αναπτυχθεί μπαταρίες μολύβδου - οξέος με βελτιωμένες επιδόσεις για ηλεκτρικά (EV, Electric Vehicles) και υβριδικά (HEV, Hybrid Electric Vehicles). Δημιουργούνται ηλεκτρόδια υψηλής επιφάνειας με λεπτά στρώματα ενεργού υλικού με

χρήση διάφορων υλικών και σχεδιασμών, όπως ελαφριά πλέγματα σύρματος μολύβδου ενισχυμένα με υαλονήματα, λεπτά μεταλλικά φύλλα, διπολικές πλάκες, συστήματα ηλεκτρολύτη εξαναγκασμένης ροής και μοναδικά συγκροτήματα κελιών. Αναπτύσσονται μέθοδοι ταχείας φόρτισης μπαταριών μολύβδου - οξέος, καθώς η δυνατότητα ταχείας επαναφόρτισης των μπαταριών σε μόλις μία ώρα θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων από τον κόσμο [31].

#### • Αναγεννητική πέδηση

Άλλη μία χρήση της μπαταρίας μολύβδου - οξέος στα ηλεκτρικά και στα υβριδικά οχήματα, είναι η αποθήκευση ενέργειας από την αναγεννητική πέδηση. Τα οχήματα αυτά μπορούν να φρενάρουν χρησιμοποιώντας τον ηλεκτροκινητήρα ώθησης, έτσι ώστε να αποθηκεύεται η ενέργεια πέδησης στην μπαταρία. Αυτού του είδους η ηλεκτρική πέδηση, μας παρέχει τροφοδοσία ηλεκτρικού φορτίου, για την αναγέννηση της προσωρινής απώλειας ενέργειας από την μπαταρία, πίσω σε αυτήν. Η δύναμη πέδησης παρέχεται μέσω της μεταφοράς της κινητικής ενέργειας της κίνησης του οχήματος και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια αποθηκεύεται ως χημική ενέργεια εντός του συσσωρευτή του οχήματος. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει η απαιτούμενη δύναμη πέδησης να είναι μικρότερη από τη δύναμη που απαιτείται για την επιβράδυνση της μάζας του οχήματος, για να επιτευχθεί η επιτυχημένη επαναφόρτιση της μπαταρίας μέσω αυτής της διαδικασίας [2],[12],[31].

#### • Ψύξη μπαταριών ηλεκτρικού - υβριδικού οχήματος

Η ψύξη με εξαναγκασμένο αέρα από το περιβάλλον, είναι η πιο συνηθισμένη προσέγγιση που χρησιμοποιείται στους συσσωρευτές των ηλεκτρικών και των υβριδικών οχημάτων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της, είναι η απλότητα και συνήθως παρέχει μια ελαφρύτερη και φθηνότερη λύση από ό,τι μπορεί να επιτευχθεί με την ψύξη με υγρό.

Ωστόσο, ο αέρας έχει περιορισμένη θερμοχωρητικότητα και μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν ομοιόμορφες θερμοκρασίες στην μπαταρία του οχήματος. Τα κανάλια ροής αέρα είναι μεγάλα σε μέγεθος και απαιτούν μελέτες με σκοπό την ομοιόμορφη γεωμετρία τους, που ενδεχομένως να μην είναι διαθέσιμες σε ορισμένα σχέδια οχημάτων. Η χρήση ανεμιστήρων δεν αποτελεί μία έξυπνη λύση καθώς καταναλώνουν πρόσθετη ενέργεια και προκαλούν θορύβους. Τέλος, οι ακαθαρσίες και το νερό από το οδόστρωμα πρέπει να καθαρίζονται από την εισαγωγή αέρα του αυτοκινήτου για την αποφυγή τυχόντων προβλημάτων σφάλματος γείωσης.

Αξιοποιώντας την πολύ υψηλότερη θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα των υγρών μέσων ψύξης, είναι δυνατόν να καταφέρουμε σημαντικά υψηλότερα ποσοστά αποβολής θερμότητας από την μπαταρία μέσω της υγρής ψύξεως. Η υγρή ψύξη παρέχει επίσης μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των θερμοκρασιών των κελιών της μπαταρίας. Μπορεί να επιτευχθεί πιο συμπαγής σχεδιασμός συστοιχίας μπαταριών, καθώς τα κανάλια ροής μπορούν να είναι μικρότερα συγκριτικά με την ψύξη εξαναγκασμένου αέρα. Τα ψυκτικά μέσα αυτοκινήτων που αποτελούνται από συνθέσεις νερού - γλυκόλης παρέχουν υψηλή θερμοχωρητικότητα και καλά χαρακτηριστικά ροής κατά τη λειτουργία του οχήματος.

Η υγρή ψύξη είναι καταλληλότερη για την ομοιόμορφη ψύξη πολύπλοκων και ασύμμετρων συστοιχιών μπαταριών. Ωστόσο, η θερμική διαχείριση με υγρή ψύξη παρουσιάζει επίσης μειονεκτήματα όσον αφορά την πολυπλοκότητα, το βάρος και το κόστος. Το υγρό ψυκτικό μέσο μπορεί να συμβάλει στην πολυπλοκότητα, εισάγοντας άλλη μια δίοδο αγωγής και απαιτείται πρόσθετη προσοχή, για αποφευχθούν ζητήματα αξιοπιστίας όσον αφορά τις διαρροές υγρού [12].

#### • Μικρό – υβριδικά οχήματα (Start – Stop)

Για τις μικρό - υβριδικές εφαρμογές Start – Stop, οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος παραμένουν στην πρώτη θέση επιλογής μπαταρίας, επειδή πληρούν τις προϋποθέσεις λειτουργίας με το χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Ο σημαντικά αυξημένος αριθμός εκκινήσεων και ακινητοποιήσεων του κινητήρα που απαιτείται για την εφαρμογή αυτή, έχει ανάγκη μιας μεγαλύτερης και ισχυρότερης μπαταρίας. Γενικά, η τεχνολογία VRLA θα προτιμηθεί συγκριτικά με τις συμβατικές πλημμυρισμένες μπαταρίες, χωρίς την ανάγκη συντήρησης που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές SLI. Οι εταιρείες μπαταριών αναπτύσσουν επίσης μπαταρίες μολύβδου - οξέος που έχουν βελτιωμένη αντοχή σε λειτουργία μερικής κατάστασης φόρτισης, όπως παραδείγματος χάρη οι Ultra Batteries [12].

### 3.3.2 Οχήματα Εσωτερικής Καύσης

Τα περισσότερα συμβατικά οχήματα με θερμικούς κινητήρες, χρησιμοποιούν συσσωρευτές μολύβδου - οξέος. Η κύρια και πιο σημαντική λειτουργία που έχει να κάνει μία μπαταρία ενός οχήματος εσωτερικής καύσης, είναι η εκκίνηση του κινητήρα.

Η απλούστερη κυψέλη αποτελείται από ένα αρνητικό, ένα θετικό και έναν διαχωριστή μεταξύ τους σε ηλεκτρολύτη. Οι περισσότερες λειτουργικές μπαταρίες πλημμυρισμένου τύπου SLI (Starting, Lighting, Ignition Battery) περιέχουν περίπου 7 έως 30 πλάκες. Οι θετικές και οι αρνητικές πλάκες περιβάλλονται συνήθως από ένα μικροπορώδες διαχωριστικό πολυαιθυλενίου (PE).

Ο όρος "μπαταρία SLI" έχει εξελιχθεί σε μία λανθασμένη χρήση της ονομασίας. Εκτός από την εκκίνηση, τον φωτισμό και την ανάφλεξη, η μπαταρία SLI σε ένα αυτοκίνητο μπορεί να παρέχει ενέργεια και για πολλές άλλες λειτουργίες του. Παρόλο που αυτές οι μεμονωμένες λειτουργίες μπορεί να μην αποτελούν ιδιαίτερη επιβάρυνση στο συσσωρευτή, αθροιστικά συντελούν σε μια σημαντική αλλοίωση της μπαταρίας. Ορισμένα από τα σημερινά αυτοκίνητα απαιτούν έως και 2 με 3 kW ισχύος κατά τη χρήση.

Τα περισσότερα σχέδια μπαταριών επικαλύπτουν μόνο τη θετική πλάκα. Γενικά δεν χρησιμοποιούνται μεμονωμένοι διαχωριστές ή διαχωριστές πλακών, οι οποίοι έχουν αντικατασταθεί από τον σφραγισμένο διαχωριστή μικροπορώδους πολυαιθυλενίου.

Είναι σημαντική η μελέτη της γεωμετρίας της εκάστοτε μπαταρίας στη χρήση τους σε αυτοκίνητα, καθώς είναι πολύ σημαντικό να βρίσκονται σε σημείο που διαπερνά ρεύμα δροσερού αέρα του περιβάλλοντος, μπροστά από τον κινητήρα, έτσι ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανσή τους.

Στις μπαταρίες SLI έχει αναπτυχθεί ένας λεπτότερος διαχωριστής με οπισθόφυλλο πλέγμα, ο οποίος χρησιμοποιείται για να παρέχει μειωμένη ειδική ηλεκτρική αντίσταση με σκοπό τη βελτίωση των επιδόσεων της μπαταρίας, όπως το ρεύμα ψυχρής εκκίνησης (Cold Cranking Amp). Το πάχος του οπισθόφυλλου πλέγματος που χρησιμοποιείται στην SLI κυμαίνεται μεταξύ 150 και 200 μικρομέτρων ( $\mu\text{m}$ ).

Πολλές μπαταρίες SLI που δεν έχουν ανάγκη συντήρησης, είναι σφραγισμένες, έτσι ώστε το νερό που χάνεται μέσω της εξάτμισης και της ηλεκτρόλυσης να μην μπορεί να αντικατασταθεί. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως δεν είναι σχεδιασμένες για λειτουργία βαθιάς εκφόρτισης (Deep Cycle) και με μια τέτοια λειτουργία προκύπτει τις περισσότερες φορές πολύ μικρότερη διάρκεια ζωής.

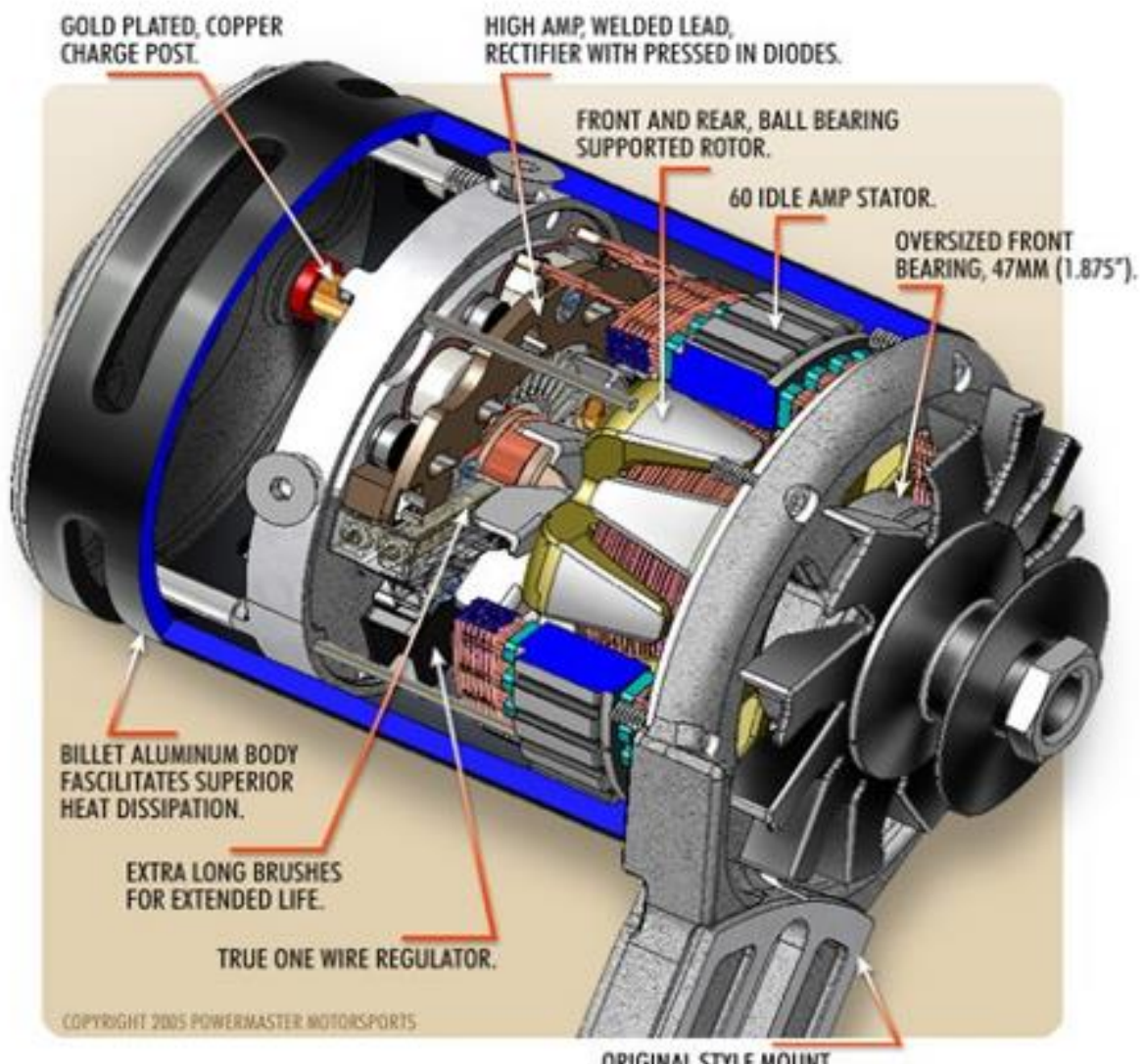
Ακόμα, έχει πλέον αναπτυχθεί ένα νέο είδος συσσωρευτή μολύβδου – οξέος πλημμυρισμένου τύπου SLI. Η τεχνολογία αυτή χαρακτηρίζεται ως προηγμένη πλημμυρισμένη ή πλημμυρισμένη SLI, η οποία έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αυτές οι

μπαταρίες είναι περίπου 50% ακριβότερες από το κόστος των τυπικών μπαταριών που δεν έχουν ανάγκη συντήρησης και χρησιμοποιούν διαφορετικά κράματα, αρκετά υψηλότερη προσθετική φόρτιση στο ενεργό υλικό του άνθρακα και ένα σύστημα διαχωρισμού το οποίο ασκεί πίεση και επικαλύπτει την επιφάνεια της θετικής πλάκας. Αυτό οφείλεται στο ότι χρησιμοποιείται ένας μόνιμος τύπος χαρτιού επικόλλησης στη θέση ενός τυπικού ιστού κυτταρίνης.

Μετά την εκκίνηση, δεδομένου ότι οι εναλλάκτες αυτοκινήτων (δυναμό) παρέχουν μια πηγή σταθερής τάσης, οι μπαταρίες υποβάλλονται σε φόρτιση με επίπλευση (Float charging) όσο ο κινητήρας λειτουργεί, πράγμα το οποίο θα αναλυθεί στην παρακάτω υποενότητα. (Αυτό δεν ισχύει για τα οχήματα που χρησιμοποιούν έλεγχο φόρτισης) [2].

### 3.3.2.1 Φόρτιση Μπαταριών Με Εναλλάκτη (Δυναμό)

Στα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, η μπαταρία θα είναι σχεδόν πάντα πλήρως φορτισμένη με τη βοήθεια του εναλλάκτη (ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον στρόφαλο του κινητήρα μέσω ενός ιμάντα και μέσω περιστροφικών κινήσεων του, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα που αποθηκεύεται στον συσσωρευτή). Η μπαταρία θα εκφορτιστεί μόνο σε ένα μικρό βαθμό κατά την διάρκεια της εκκίνησης του κινητήρα.



Εικόνα 29: Δομή ενός εναλλάκτη αυτοκινήτου

[12].

Στη συνέχεια, ο εναλλάκτης παρέχει επαρκή ισχύ, ακόμη και με τον κινητήρα στο ρελαντί, για την τροφοδοσία όλων των καταναλωτών ηλεκτρικού ρεύματος και την επαναφόρτιση του συσσωρευτή. Η μπαταρία δεν εκφορτίζεται ποτέ βαθιά εφόσον γενικά υπάρχει αρκετός χρόνος φόρτισης. Ο εναλλάκτης φορτίζει με ρεύμα που εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα μέχρι να επιτευχθεί η προκαθορισμένη τάση πλεύσης, στη συνέχεια, μεταβαίνει σε σταθερή τάση.

Γενικά, για τις παραδοσιακές μπαταρίες αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν ως υλικό πλέγματος κράμα αντιμονίου μολύβδου, συνηθίζονται όρια τάσης στην περιοχή 14,1 έως 14,6 V για μια ονομαστική μπαταρία 12 V. Τις περισσότερες φορές η τάση είναι προκαθορισμένη στα 2,33 V ανά κυψέλη στους 20°C, δηλαδή 14 V για συστήματα 12 V και 28 V για συστήματα 24 V [2].

Αυτό το σύστημα φόρτισης λειτουργεί άψογα υπό τις ακόλουθες συνθήκες, ειδικά μάλιστα μία από αυτές δεν τηρηθούν πλέον, θα εμφανιστούν προβλήματα:

A) Η μπαταρία είναι μπαταρία αυτοκινήτου επίπεδης πλάκας

B) Η μπαταρία είναι σχεδόν πάντα πλήρως φορτισμένη

Γ) Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρυθμιστή στον εναλλάκτη και της μπαταρίας είναι μικρή

Δ) Η πτώση τάσης κατά μήκος του καλωδίου μεταξύ της μπαταρίας και του εναλλάκτη είναι αμελητέα (δηλ. μικρότερη από 0,1 V, συμπεριλαμβανομένων των διακοπών, των μονωτήρων κ.λπ.)

### 3.3.2.2 Εκκίνηση Οχήματος Εσωτερικής Καύσης Σε Ακραίες Καιρικές Συνθήκες

Η απόδοση των μπαταριών μολύβδου - οξέος μειώνεται στις χαμηλές θερμοκρασίες, συνεπώς η ποσότητα του ρεύματος που μπορεί να εξαχθεί, μειώνεται στις συνθήκες αυτές. Ωστόσο, ο κινητήρας του αυτοκινήτου πρέπει να επιτυγχάνει την εκκίνησή του, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Κατά συνέπεια, το ρεύμα ψυχρής εκκίνησης (Cold Cranking Amps ή αλλιώς CCA), που ορίζεται ως η τιμή του ρεύματος εκφόρτισης όταν η μπαταρία εκφορτίζεται έτσι ώστε να αποδίδει τάση 7,2 V στους  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ), χρησιμοποιείται ως δείκτης της απόδοσης της μπαταρίας αυτοκινήτου [27].

Παρατηρείται μείωση στην τιμή CCA μιας μπαταρίας ενός αυτοκινήτου όταν αυτή υποβαθμίζεται, σε τέτοιο βαθμό που ο κινητήρας δεν μπορεί πλέον να εκκινήσει. Ορισμένοι δοκιμαστές μπαταριών χρησιμοποιούν μια ειδική μέθοδο για τη μετατροπή της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας σε μια τιμή που προσεγγίζει την CCA. Αυτοί οι δοκιμαστές μπαταρίας, που μπορούν να βρεθούν σε συνεργεία αυτοκινήτων, μετρούν την εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας ως υποκατάστατο της μέτρησης μιας ακριβούς τιμής CCA. Αυτή η μέθοδος είναι δυνατή επειδή η εσωτερική αντίσταση μιας μπαταρίας αυξάνεται καθώς υποβαθμίζεται, με αποτέλεσμα η τιμή CCA να μειώνεται [27].

- **Δοκιμές για την αξιολόγηση των μπαταριών SLI**

Έχουν εφευρεθεί ποικίλες βασικές δοκιμές με σκοπό την αξιολόγηση και την βαθμολόγηση της επίδοσης ενός συσσωρευτή SLI υπό συνθήκες οι οποίες προσομοιάζουν τις κύριες απαιτήσεις των εφαρμογών τους. Η δοκιμή CCA (cold cranking amperes) όπως είπαμε, αξιολογεί την ικανότητα της μπαταρίας να παρέχει ισχύ για τη λειτουργία ενός κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η βαθμολογία της δοκιμής εκκίνησης είναι το ρεύμα που μπορεί να αποδώσει μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία στους  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ) για 30 δευτερόλεπτα σε τάση 1,2 V ανά στοιχείο. Εάν η μετρούμενη τάση είναι πάνω ή κάτω από αυτή την τιμή στα 30 δευτερόλεπτα, η τιμή CCA μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας το ρεύμα εκφόρτισης.

Η εφεδρική χωρητικότητα, μετριέται μέσω μιας δοκιμής της ικανότητας της μπαταρίας να παρέχει ενέργεια για τα φώτα, την ανάφλεξη και τις λοιπές βοηθητικές συσκευές. Η εφεδρική χωρητικότητα ορίζεται ως ο αριθμός των λεπτών που μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία μπορεί να διατηρήσει ρεύμα 25 A σε 1,75 V ανά στοιχείο στους 25°C [6].

### 3.3.3 Σκάφη

Η φιλοσοφία της χρήσης ενός συσσωρευτή σε ένα σκάφος είναι παρόμοια με αυτήν σε ένα συμβατικό όχημα εσωτερικής καύσης. Ο κύριος κινητήρας ενός σκάφους είναι συνήθως εφοδιασμένος με έναν τυπικό εναλλάκτη αυτοκινήτου, ο οποίος φορτίζει την μπαταρία. Οι συνήθεις εναλλάκτες αυτοκινήτων διαθέτουν ενσωματωμένο ρυθμιστή με αντιστάθμιση θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία μετριέται στον ίδιο τον ρυθμιστή. Αυτή είναι μια κατάλληλη διαμόρφωση κυρίως για αυτοκίνητα, όπου η θερμοκρασία της μπαταρίας θα είναι περίπου η ίδια με τη θερμοκρασία του ρυθμιστή, αλλά είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη και στα σκάφη.

#### 3.3.3.1 Περισσότερες Από Μία Μπαταρία Στα Σκάφη

Το ελάχιστο σε ένα σκάφος είναι δύο μπαταρίες: μία για την εκκίνηση της κύριας μηχανής και μία μπαταρία για τις υπόλοιπες χρήσεις σε εσωτερικό χώρο. Για να διασφαλίζεται ότι η μηχανή μπορεί πάντα να εκκινήσει, όλα τα εξαρτήματα (εξοπλισμός πλοήγησης, φωτισμός, αυτόματος πιλότος, ψυγείο κ.λπ.) τροφοδοτούνται από την μπαταρία εσωτερικού χώρου.

Η μπαταρία εκκίνησης (μερικές φορές χρησιμοποιούνται και 2, για 2 κινητήρες) δεν πρέπει να έχει άλλο φορτίο εκτός από τον εκκινητή του κύριου κινητήρα και δεν πρέπει ποτέ να εκφορτίζεται, διαφορετικά ο κινητήρας δεν μπορεί να τεθεί σε λειτουργία.

Συχνά υπάρχει μια τρίτη ή ακόμα και τέταρτη μπαταρία εντός του σκάφους, η μπαταρία του προωθητήρα πλώρης και η μπαταρία των ηλεκτρονικών πλοήγησης. Σε γενικό βαθμό οι απαιτήσεις αποθηκευμένης ενέργειας από μπαταρίες είναι πολύ μεγάλες.

Οι μπαταρίες διαχωρίζονται μεταξύ τους με ρελέ, διόδους απομόνωσης ή άλλες συσκευές. Σε μεγαλύτερα συστήματα η μπαταρία του εκκινητή έχει συχνά τη δική της μεμονωμένη γεννήτρια. Οι τάσεις των μπαταριών μπορεί επίσης να ποικίλουν μεταξύ τους, άλλες να είναι

12 V (εκκίνηση και ηλεκτρονικά) και άλλες να είναι 24 V (εσωτερικού χώρου και προωθητήρα πλώρης) [2].

#### • Προβλήματα

Όταν χρησιμοποιείται ένας τυπικός εναλλάκτης αυτοκινήτων για την ταυτόχρονη φόρτιση πολλών μπαταριών, προκύπτουν τα ακόλουθα προβλήματα:

A) Σε ένα σκάφος, οι διαδρομές των καλωδίων είναι συχνά πολύ μεγαλύτερες σε σύγκριση με ένα αυτοκίνητο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη πτώση τάσης μεταξύ του εναλλάκτη και της μπαταρίας (παραδείγματος χάρη, η πτώση τάσης κατά μήκος ενός καλωδίου μήκους 5 μέτρων και διατομής 10 mm<sup>2</sup> είναι 0,5 V σε ρεύμα 50 A).

B) Οι δίοδοι απομόνωσης της μπαταρίας προκαλούν πρόσθετη πτώση τάσης: 0,4 έως 0,8 V για τις διόδους πυριτίου και 0,1 έως 0,4 V για τους μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται ως δίοδοι.

Γ) Ο εναλλάκτης στο χώρο του κινητήρα μπορεί να φτάσει θερμοκρασία περιβάλλοντος πάνω και από 40°C, ενώ η μπαταρία του εσωτερικού χώρου, χαμηλότερα στο σκάφος, είναι αισθητά χαμηλότερη, με θερμοκρασίες όπως 20°C. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια πρόσθετη υπόταση περίπου 0,6 V ή ακόμη και 1,2 V για συστήματα 12 V ή 24 V αντίστοιχα.

Δ) Η μπαταρία στον εσωτερικό χώρο βιώνει συνήθως βαθιές αποφορτίσεις και θα πρέπει κανονικά να φορτίζεται με υψηλή τάση απορρόφησης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν ο εναλλάκτης της κύριας μηχανής είναι η μόνη πηγή ενέργειας και λειτουργεί ελάχιστα σε καθημερινή βάση για να φορτίσει τις μπαταρίες.

E) Από την άλλη, η μπαταρία του εκκινητή όπως και πολλές φορές η μπαταρία του προωθητήρα πλώρης είναι πρακτικά πλήρως φορτισμένες και δεν χρειάζονται καμία φόρτιση απορρόφησης [2].

- Λύσεις

A) Ο συνδυαστής μπαταριών, ελεγχόμενος από μικροεπεξεργαστή

Όταν μία από τις 2 μπαταρίες φορτίζεται, ο συνδυαστής θα αντιληφθεί την αυξανόμενη τάση και θα συνδέσει παράλληλα και τις δύο μπαταρίες. Μόλις η τάση μειωθεί, ο συνδυαστής θα αποσυνδέσει τις μπαταρίες την μία από την άλλη. Το πλεονέκτημα είναι η απλότητα και το κόστος, όπου ο εναλλάκτης δεν χρειάζεται να τροποποιηθεί με κάποιο τρόπο ή να αντικατασταθεί. Το μειονέκτημα του, είναι το πιο μεγάλο διάστημα επαναφόρτισης της μπαταρίας του εσωτερικού χώρου, έτσι η μπαταρία θα λειτουργεί μεταξύ 30% και 70% της ονομαστικής της χωρητικότητας.

B) Αύξηση της τάσης του εναλλάκτη

Οι περισσότεροι εναλλάκτες με ενσωματωμένους ρυθμιστές μπορούν να τροποποιηθούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να παρέχουν υψηλότερη τάση. Η προσθήκη μιας διόδου σε σειρά με την είσοδο ανίχνευσης τάσης του ρυθμιστή αυξάνει την τάση εξόδου κατά περίπου 0,6 V.

Η υπερφόρτιση σε μεγάλο βαθμό μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο σε περίπτωση πολύ εντατικής καθημερινής λειτουργίας, όμως ακόμη και αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την προσωρινή απενεργοποίηση του εναλλάκτη.

Γ) Ρυθμιστής πολλαπλών σταδίων με αντιστάθμιση θερμοκρασίας και τάσης

Αυτή η λύση χρησιμοποιείται συχνά όταν τοποθετείται πρόσθετος εναλλάκτης υψηλής απόδοσης.

α) Ανίχνευση τάσης. Αυτό απαιτεί πρόσθετα καλώδια ανίχνευσης τάσης για τη μέτρηση και τη ρύθμιση της τάσης απευθείας στους πόλους των ακροδεκτών της μπαταρίας του εσωτερικού χώρου ή στον πόλο συνεχούς ρεύματος.

β) Αντιστάθμιση θερμοκρασίας. Αυτό απαιτεί την τοποθέτηση αισθητήρα θερμοκρασίας στην μπαταρία εσωτερικού χώρου.

Δ) Η μπαταρία εκκίνησης

Σχεδόν όλο το ρεύμα φόρτισης θα ρέει στη μπαταρία εσωτερικού χώρου, επειδή ο συγκεκριμένος συσσωρευτής έχει τη μεγαλύτερη χωρητικότητα, τη χαμηλότερη εσωτερική

αντίσταση και είναι μερικώς ή πλήρως αποφορτισμένη. Αυτό σημαίνει ότι η πτώση τάσης στον απομονωτή και στην καλωδίωση από τον εναλλάκτη προς τη μπαταρία εσωτερικού χώρου θα είναι υψηλότερη από ό,τι από τον εναλλάκτη προς τη μπαταρία του εκκινητή. Οι λύσεις είναι οι εξής:

α) Η βελτίωση της κατάστασης, μειώνοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τις απώλειες τάσης. Η μπαταρία του εκκινητή μπορεί να χρειαστεί πρόωρη αντικατάσταση, ανάλογα με τις παραπάνω συνθήκες και ποιος τύπος μπαταρίας εκκινητή χρησιμοποιείται.

β) Η πρόσθεση 1 ή 2 διόδων στην καλωδίωση προς την μπαταρία του εκκινητή για να μειωθεί η τάση.

γ) Η τοποθέτηση ενός ρυθμιστή τάσης στην καλωδίωση προς την μπαταρία του εκκινητή

δ) Η φόρτιση της μπαταρίας του εκκινητή με μία μεμονωμένη γεννήτρια [2].

## 4. Συμπεράσματα

Έως και σήμερα, οι συσσωρευτές μολύβδου - οξέος εξακολουθούν να είναι από τις πιο διαδεδομένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας παγκοσμίως. Οι ποικίλλες παραλλαγές τους, το χαμηλό τους κόστος, η αξιοπιστία και η ανθεκτικότητα, είναι οι κύριοι λόγοι της ευρύτερης χρηστικότητάς τους.

Παρόλο που θεωρείται μια παλαιότερη τεχνολογία μπαταριών, καθώς οι εξελίξεις τα τελευταία χρόνια είναι ραγδαίες, προτιμάται από πολλές βιομηχανίες και είναι κρίσιμη στον κόσμο του εμπορίου.

Ωστόσο είναι αρκετά σημαντική η υιοθέτηση νεότερων μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας, διότι παρά το μεγάλο ποσοστό ανακύκλωσης των μπαταριών μολύβδου - οξέος, φέρει περιβαλλοντικές προκλήσεις.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] HIOKI, User's Guide: Lead-acid Battery Handbook Facilitating Accurate Measurement of Lead-acid Batteries
- [2] LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES FOURTH EDITION, Edited by Thomas B. Reddy, McGraw-Hill Handbooks, 2011
- [3] PRlog press release, "Advance Rechargeable Battery Market: Emerging Technologies and Trends Worldwide," April 6, 2009, [www.prlog.org](http://www.prlog.org).
- [4] ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΜΙΚΡΟΓΕΩΡΓΙΟΥ, Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας που συνδυάζει ΑΠΕ και Μπαταρίες Μολύβδου - Οξέος, Αθήνα, 2020.
- [5] Handbook of Secondary Storage Batteries and Charge Regulators in Photovoltaic Systems Final Report, Exide Management and Technology Company, August 1981
- [6] HANDBOOK OF BATTERIES THIRD EDITION, David Linden and Thomas B. Reddy, McGraw-Hill Handbooks, 2002
- [7] A. G. Cannone, D. O. Feder, and R. V. Biagetti, Bell Sys. Tech. J. (1970)
- [8] A. T. Balcerzak, Alloys for the 1980s, St. Joe Lead Co., Clayton, MO, 1980.
- [9] Grid Metal Manual, Independent Battery Manufacturers Association (IBMA), Key Largo, FL, 1973
- [10] N. E. Hehner, Storage Battery Manufacturing Manual, Independent Battery Manufacturers Association (IBMA), Key Largo, FL, 1976.
- [11] G. W. Vinal, Storage Batteries, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1965
- [12] Ξύλου Σοφία, Γρίβας Ζαχαρίας, «Ανάλυση υβριδικών και αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων» Λάρισα, 2023
- [13] "Handbook of Secondary Storage Batteries and Charge Regulators in Photovoltaic Systems." Exide Management and Technology Co., Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, Aug. 1981
- [14] Ανδρέας Αναγνωστόπουλος, Διερεύνηση μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας με συσσωρευτές, Αθήνα 2023.

- [15] G. E. Mayer, "Critical Review of Battery Cycle Life Testing Methods," Proc. 5th Int. Electric Vehicle Symp., Philadelphia, Oct. 1978.
- [16] Παναγιωτοπούλου Κ. Αικατερίνη, Ενεργειακή σύγκριση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας μέσης ισχύος, Αθήνα 2016.
- [17] Τζάτσης, Αλέξανδρος. "Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση συσσωρευτών: Προκλήσεις και μελλοντικές προοπτικές." (2021).
- [18] ΜΙΧΑΗΛ Α. ΤΣΑΚΑΝΙΚΑΣ, Μελέτη Συσσωρευτών Τύπου AGM, Αθήνα 2012.
- [19] A. G. Cannone, A. J. Salkind, and F. A. Trumbore. Proc. 13th Annual Battery Conf. Long Beach, CA, Jan. 1998.
- [20] D. H. McClelland et al., U.S. Patent 3,704,173 and U.S. Patent 3,862,861
- [21] M. Pavlov, Conference on Oxygen Cycle in Lead-Acid Batteries, 7th ELBC, Dublin, Ireland, September, 2000.
- [22] R. O. Hammel, "Charging Sealed Lead Acid Batteries," Proc. 27th Annual Power Sources Symp, 1976
- [23] K. R. Bullock, D. Fent, and P Ng, Proc. 17th International Telecommunications Energy Conference, (1995), IEEE 0-7803-2750-0/95
- [24] R. O. Hammel, "Fast Charging Sealed Lead Acid Batteries," extended abstracts, Electrochem. Soc. Meeting, Las Vegas, NV, 1976.
- [25] D. Berndt, "Valve-Regulated Lead-Acid Battery" and "Lead-Acid Batteries," Conference on Oxygen Cycle in Lead and Batteries, 7th ELBC, Dublin, Ireland, Sept. 2000.
- [26] E. Jones, INTELEC 2000, IEEE 10.1109/INTLEC.2000.884288.
- [27] Energy Unlimited by Reinout Vader, Victron Energy. Electricity on Board (And other off-grid applications), Revision 9 June 2011
- [28] A. Cooper, J. Furakawa, L. Lam, and M. Kellaway, "The UltraBattery — A New Battery Design for a New Beginning in Hybrid Electric Vehicle Energy Storage," J. Power Sources, (2009).
- [29] Σιμιτλιώτου Μαρία, Χρήση συσσωρευτών σε μικροδίκτυα με ενσωμάτωση ΑΠΕ: Προσέγγιση από την άποψη της Κυκλικής Οικονομίας, Θεσσαλονίκη, 2022.

- [30] Κουτσόπουλος Κωνσταντίνος, ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Αθήνα 2022.
- [31] R. A. Sutula, et al., “Recent Accomplishments of the Electric and Hybrid Vehicle Energy Storage R&D Programs at the U.S. Department of Energy: A Status Report,” 17th Int. Electric Vehicle Symp., EVAA, Oct. 2000.
- [32] B. L. Grossman, B. L. Brench, L. L. Bucciarelli, F. J. Solman, Simulation of the Performance of a 100 kW Peak Photovoltaic System, Massachusetts Inst. of Tech., Lexington, Mass. 1980, COO-4094-71
- [33] Exide Stationary Batteries and Chargers, Calcium Flat Plate Types LCCC
- [34] S. Sostrom, “Update on the Golden Valley BESS,” Proc. of Conf. on Electric Energy Storage Applications and Technologies, Orlando, Fla, Sept. 2000.
- [35] P. Moseley, “Improving the Valve Regulated Lead-Acid Battery,” Proc. 1999 IBMA Conf., Battery Man, Feb. 2000.
- [36] Z. Tang et al., J. Appl. Electrochem., 2007
- [37] K. R. Bullock, J. Electrochem. Soc., 1995
- [38] K. R. Bullock and D. H. McClelland, “The Kinetics of the Self-Discharge Reaction in a Sealed Lead-Acid Cell.” J. Electrochem. Soc, 1976.