

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μαρκέλλα Βαλανίδου

Λεμεσός, Μάιος 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μαρκέλλα Βαλανίδου

Σύμβουλος καθηγητής
Δρ. Χρήστος Μαρούχος

Λεμεσός, Μάιος 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Μαρκέλλα Βαλανίδου, Μάιος 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Σ' αυτό το σημείο, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον κάθε άνθρωπο που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί του και έπαιξε σημαντικό ρόλο αφού συνέβαλε ξεχωριστά για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή Δρ. Χρήστο Μαρούχο, για την καθοριστική του βοήθεια, που με την επιμονή, υπομονή, τις γνώσεις του και την εμπειρία του, στάθηκε σημαντικός αρωγός στην προσπάθειά μου και με υποστήριξε σε κάθε φάση της πορείας μου.

Θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω τον κ. Αντρέα Νεοφύτου, για τη συνεχή προσφορά, βοήθεια και άριστη συνεργασία που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου μελέτης.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου Αντρέα και Νέδη Βαλανίδου, καθώς επίσης τα αδέρφια μου, για την συνεχή τους στήριξη, εμπιστοσύνη, κατανόηση και αγάπη που μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα μελέτη γίνεται αναφορά και μελέτη για τις μπαταρίες και τα χαρακτηριστικά τους, με σκοπό την εφαρμογή τους σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα όπου θα υπάρχει οικονομικό όφελος, αποδοτικότητα αλλά και αξιοπιστία. Πιο συγκεκριμένα, στο 1^ο κεφάλαιο αναγράφεται η ιστορική αναδρομή της μπαταρίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά γενικά για τις μπαταρίες, όσο αφορά τη δομή τους, τη σχέση τους με τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τις απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν.

Στο 3^ο κεφάλαιο, γίνεται μια εκτενής περιγραφή για τα χαρακτηριστικά μεγέθη μιας μπαταρίας.

Το 4^ο κεφάλαιο ασχολείται με την εφαρμογή που βρίσκουν οι μπαταρίες με αναφορά στα μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται μελέτη των μπαταριών μολύβδου οξέος.

Το 6^ο κεφάλαιο αναφέρεται στις μπαταρίες λιθίου.

Στο 7^ο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των μπαταριών μολύβδου οξέος και των μπαταριών ιόντων λιθίου.

Το 8^ο κεφάλαιο συγκρίνει τις εφαρμογές των κυριότερων διατάξεων.

Το 9^ο κεφάλαιο μας περιγράφει γενικά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπως για παράδειγμα τι είναι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, τι είναι ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα και ποια η ανάγκη για αποθήκευση.

Στο 10^ο κεφάλαιο υπάρχουν κάποιες γραφικές που εκπονήθηκαν μέσα από μια έρευνα που διεξήχθη σχετική με την ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση δέκα σπιτιών για ένα μήνα.

Το 11^ο κεφάλαιο παρουσιάζει το υβριδικό σύστημα, τη μέθοδο Net metering συμψηφισμού μετρήσεων, τη μέθοδο Net metering αυτοπαραγωγής και τον έξυπνο μετρητή.

Στο 12^ο κεφάλαιο έχουμε μια σύντομη περιγραφή για το γερμανικό μοντέλο αυτοκατανάλωσης με την χρήση μπαταριών “self consumption”.

Τέλος, στο 13^ο κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά τα συμπεράσματα και γίνεται σχολιασμός για τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης.

Λέξεις κλειδιά: μπαταρία, φωτοβολταϊκό σύστημα, αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, γερμανικό μοντέλο αυτοκατανάλωσης.

ABSTRACT

In this significant study there is a reference to batteries and their characteristics with a view to their application in autonomous photovoltaic systems, in which there is economic benefit, efficiency and reliability. More specifically, the history of batteries is shown in the first chapter.

The second chapter generally refers to batteries in terms of their structure, their relation to photovoltaic systems and the requirements which need to be met.

In the third chapter there is an extensive description of the characteristics of a battery's size.

The fourth chapter deals with the application of batteries with reference to the means of storing electrical energy.

In the fifth chapter the study of lead acid batteries is conducted.

The sixth chapter refers to lithium batteries.

In the 7th chapter there is a comparison between lead acid batteries and lithium ion batteries.

The 8th chapter compares the application of the main provisions.

Chapter nine describes photovoltaic systems in general, for instance what is a photovoltaic system, what an autonomous photovoltaic system is and what is the need for storage.

In the ninth chapter, there is a brief description for the German model subsistence by using "self consumption" batteries.

In the 10th chapter there are some charts which were prepared through a survey which was conducted on the daily electricity consumption of ten houses for a month.

The 11th chapter shows the hybrid system, the method Net measurement compensation metering, the Net metering auto production method and the smart meter.

In chapter 12, we have a brief description about the German model subsistence with the use of "self consumption" batteries.

Finally, in Chapter 13, the findings are briefly mentioned and the results of this study are commented.

Keywords: battery, photovoltaic system, autonomous photovoltaic system, German model subsistence

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xvi
1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	1
1.1 Πότε εφευρέθηκε η μπαταρία;.....	1
2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	4
2.1 Δομή του Βασικού στοιχείου και ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.....	4
2.2 Ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών	6
2.2.1 Πρωτεύουσες μπαταρίες.....	6
2.2.2 Δευτερεύουσες μπαταρίες	7
2.2.3 Μπαταρίες αποθήκευσης.....	8
2.3 Μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα	9
2.4 Τι λειτουργία επιτελούν στο φωτοβολταϊκό σύστημα;.....	9
2.5 Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν	10
3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	12
3.1 Χωρητικότητα	12
3.2 Τάση	14
3.3 Στάθμη φόρτισης	14
3.4 Στάθμη εκφόρτισης.....	15
3.5 Κύκλος ζωής.....	16
3.6 Αποδοτικότητα.....	17
3.7 Μέρες Αυτονομίας.....	18
3.8 Ρεύμα μπαταρίας.....	18

3.9	Χρόνος ζωής.....	18
3.10	Αυτοεκφόρτιση	19
3.11	Κατάσταση υγείας.....	19
3.12	Ρυθμός φόρτισης/εκφόρτισης.....	19
3.13	Ενεργειακό περιεχόμενο	20
3.14	Εδική ενέργεια – Ενεργειακή πυκνότητα	21
3.15	Εσωτερική Αντίσταση	23
3.16	Ειδικό βάρος	24
3.17	Εδική Ισχύς.....	24
4	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	25
4.1	Λόγοι που επιβάλλουν την ανάπτυξη μεθόδων αποθήκευσης	25
4.2	Οι εφαρμογές των αποθηκευτικών διατάξεων σε ένα ΣΗΕ	26
4.3	Συνοπτική περιγραφή των μεθόδων αποθήκευσης.....	28
4.3.1	Συστήματα αποθήκευσης με μπαταρίες	30
4.3.2	Συστήματα αποθήκευσης με υπέρ-πυκνωτές	30
4.3.3	Συστήματα αποθήκευσης με υπεραγώγιμα πηνία.....	31
4.3.4	Στρεφόμενες μάζες –Σφόνδυλοι.....	31
4.3.5	Συστήματα αποθήκευσης με συμπιεσμένο αέρα(CAES).....	32
4.3.6	Αντλιοσταμείωση	33
5	ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΟΞΕΟΣ	34
5.1	Γενικά	34
5.2	Όροι που περιγράφουν μια μπαταρία μολύβδου οξέος.....	35
5.3	Η χημεία των μπαταριών μολύβδου οξέος	40
5.4	Τύποι μπαταριών μολύβδου οξέος	47
5.4.1	Μπαταρίες μολύβδου οξέος ανοικτής ή κλειστής κατασκευής.....	51
5.4.2	Μπαταρίες μαζικής παραγωγής ή βιομηχανικού τύπου.....	54
5.5	Σημαντικές διαδικασίες γήρανσης της μπαταρίας.....	55
5.6	Άλλες εφαρμογές των μπαταριών μολύβδου οξέος	56
6	ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ	59
6.1	Γενικά	59
6.2	Χαρακτηριστικά	61
6.3	Ασφάλεια	68

6.4	Γήρανση	69
6.5	Προστασία	70
6.6	Πρόσφατες Εξελίξεις.....	71
6.7	Γενικότερα για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου	72
7	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΟΞΕΟΣ ΜΕ ΤΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ	74
7.1	Χαρακτηριστικά και Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως	74
7.2	Διαστασιολόγηση μπαταρίας ιόντων λιθίου σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως.....	76
8	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΓΜΟΓΩΝ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	78
8.1	Βάση ταχύτητας εκφόρτισης	78
8.2	Βάση το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.....	79
8.3	Σύνοψη.....	83
8.4	Συμπεράσματα.....	84
9	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	86
9.1	Τι είναι ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα;.....	86
9.2	Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	88
9.2.1	Ιδιότητες που παρέχει ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα	90
9.3	Η ανάγκη για αποθήκευση	90
10	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	92
10.1	Έρευνα 10 σπιτιών	92
11	Υβριδικό Σύστημα	94
11.1	Περιγραφή	94
11.2	Η ανάγκη που μας ωθεί στη χρήση του υβριδικού συστήματος	94
11.3	Net Metering - Συμψηφισμός Μετρήσεων	95
11.3.1	Περιγραφή	95
11.3.2	Διαστασιολόγηση Φ.Β Συστήματος - Συμψηφισμός Μετρήσεων.....	95
11.3.3	Ηλεκτρολογικό Σχέδιο.....	96
11.3.4	Πλεονεκτήματα.....	97
11.3.5	Σύγκριση Παραγωγής και Κατανάλωσης.....	97
11.4	Net Metering - Αυτοπαραγωγή	99
11.4.1	Περιγραφή	99
11.4.2	Διαστασιολόγηση Φ.Β Συστήματος – Αυτοπαραγωγή.....	99

11.4.3	Ηλεκτρολογικό Σχέδιο.....	100
	100
11.4.4	Σύγκριση Παραγωγής και Κατανάλωσης.....	101
11.5	Έξυπνος μετρητής – Smarpee	102
11.5.1	Χρήση.....	102
11.5.2	Πλεονεκτήματα.....	103
11.6	Μετρήσεις σπιτιού ενός υβριδικό συστήματος με χρήση έξυπνου μετρητή	104
11.6.1	Μικρομεσαία επιχείρηση	104
11.6.2	Σπίτι τετραμελούς οικογένειας.....	108
12	Γερμανικό μοντέλο Αυτοκατανάλωσης με την Χρήση Μπαταριών “Self Consumption”	112
12.1	Ανάλυση.....	112
13	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	115

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Εξίσωση 2.1: Ηλεκτροχημικές και χημικές αντιδράσεις των ηλεκτροδίων	4
Εξίσωση 3.1: Ρυθμός Εκφόρτισης	12
Εξίσωση 3.2: Ρυθμός Φόρτισης Εκφόρτισης	20
Εξίσωση 3.3: Ενέργεια μπαταρίας.....	20
Εξίσωση 3.4: Εκφόρτιση με σταθερή αντίσταση	20
Εξίσωση 3.5: Υπολογισμός εσωτερικής αντίστασης.....	23
Εξίσωση 4.1: Κυκλική απόδοση μετατροπής ενέργειας από μια μορφή σε άλλη.....	28
Εξίσωση 4.2: Κινητική Ενέργεια μιας περιστρεφόμενης μάζας.....	31
Εξίσωση 5.1 Υπολογισμός κατάστασης υγείας της μπαταρίας	36
Εξίσωση 5.2: Υπολογισμός Χωρητικότητας C_n	39
Εξίσωση 5.3 Χημικές Διεργασίες που γίνονται σ' ένα στοιχείο μολύβδου οξέος	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Σχέση μεταξύ SOC και DOD	15
Πίνακας 3.2: Τάση, Χωρητικότητα και Ειδική Ενέργεια των κύριων συστημάτων επαναφορτιζόμενων μπαταριών - θεωρητικές και πρακτικές τιμές.....	22
Πίνακας 4.1: Μορφές ενέργειας και χαρακτηριστικά παραδείγματα διάταξης για κάθε μορφή μετατροπής.....	28
Πίνακας 4.2: Σύνοψη εφαρμογών και πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων αποθηκευτικών διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας	29
Πίνακας 5.1: Χημικές και φυσικές ιδιότητες μολύβδου και οξειδίων του μολύβδου	40
Πίνακας 5.2: Ιδιότητες διαλυμάτων θεικού οξέος.....	41
Πίνακας 5.3: Ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη σε πλήρες φορτίο στους 25°C	44
Πίνακας 5.4: Ειδικό βάρος ηλεκτρολύτη μπαταριών μολύβδου οξέος σε διαφορετικές στάθμες φόρτισης για τους παρακάτω σχεδιασμούς: Α-μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος, Β-μπαταρία έλξης, C-μπαταρία SLI και D-σταθερή μπαταρία	44
Πίνακας 6.1 : Κατάλογος από διάφορες τεχνολογίες μπαταριών ιόντων λιθίου	72
Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά μπαταρίας Lithium Phosphate	73
Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά και Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέως.....	76
Πίνακας 8.1: Αποθηκευτικά μέσα βάση της κατηγορίας τους	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1: Λειτουργία μονάδας CAES	32
Διάγραμμα 4.2: Σύστημα αντλιοσταμείωσης.....	33
Διάγραμμα 5.1: Ηλεκτρόδιον μολύβδου αρνητικού και θετικού πόλου εκ των οποίου ο θετικός πόλος είναι καλυμμένο με μολύβδο οξέος. [24].....	34
Διάγραμμα 5.2: (α) Μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης (β) Μπαταρία εκκίνησης [24].....	35
Διάγραμμα 5.3: Όροι Μπαταρίας: SOC – DOD.....	35
Διάγραμμα 5.4: Όροι Μπαταρίας: SOH	36
Διάγραμμα 5.5: Αντιδράσεις εκφόρτισης και φόρτισης του κυττάρου μολύβδου οξέος: (α) Αντιδράσεις εκφόρτισης, (b) Αντιδράσεις φόρτισης.....	46
Διάγραμμα 5.6: (α) Μπαταρία ανοικτού τύπου και (β) Μπαταρία κλειστού τύπου	47
Διάγραμμα 5.7: Τυπική πλάκα planté.....	48
Διάγραμμα 5.8: Επίπεδη πλάκα	48
Διάγραμμα 5.9: Απλοποιημένη μορφή του σωληνωτού ηλεκτροδίου	49
Διάγραμμα 5.10: Συνέπειες Ηλεκτρολυτικής Στρωμάτωσης σε μπαταρίες μολύβδου οξέος	55
Διάγραμμα 5.11: Θείκωση σε μια μπαταρία.....	56
Διάγραμμα 8.1: Ολικό Κόστος σε σύγκριση με τη παροχή ανάπτυξης ποιότητας μικρού χρονικού διαστήματος	80
Διάγραμμα 8.2: Ολικό κόστος σε σύγκριση με την παροχή ανάπτυξης ποιότητας μεγάλης χρονικής περιόδου.....	81
Διάγραμμα 8.3: Ολικό κόστος σε σύγκριση με τη παροχή ανάπτυξης σταθερότητας ταλαντώσεων	82
Διάγραμμα 8.4: Ολικό κόστος σε σύγκριση με την παροχή 10 –hour Load Shifting	83
Διάγραμμα 9.1: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	87

Διάγραμμα 9.3: Ηλεκτρολογικό σχέδιο αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	89
Διάγραμμα 12.1: Γερμανικό μοντέλο Αυτοκατανάλωσης με την Χρήση Μπαταριών “Self Consumption”	112

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ

Γραφική 5.1: Κύκλοι μπαταρίας σε συνάρτηση με το βάθος εκφόρτισης	37
Γραφική 5.2: Διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος .	37
Γραφική 5.3: Διάρκειας ζωής της μπαταρίας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος	38
Γραφική 5.4: Κύκλοι μπαταρίας σε συνάρτηση με το βάθος εκφόρτισης	38
Γραφική 5.5: Χωρητικότητα C σε συνάρτηση με το χρόνο εκφόρτισης ανά ώρα	39
Γραφική 5.6: Θερμοκρασία σε συνάρτηση με τη χωρητικότητα C	40
Γραφική 5.7: Σημεία ψύξης διαλυμάτων θεικού οξέος σε διάφορες συγκεντρώσεις	42
Γραφική 5.8: Ειδική αντίσταση διαλυμάτων θεικού οξέος σε διάφορες τιμές ειδικού βάρους σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας	43
Γραφική 5.9: Προετοιμασία διαλυμάτων θεικού οξέος οποιουδήποτε ειδικού βάρους από πυκνό θεικό οξύ	45
Γραφική 5.10: Ποσοστό ισχύος που παραμένει στη μπαταρία (ρυθμοί αυτοεκφόρτισης)για διαφορετικά κράματα του πλέγματος	51
Γραφική 6.1: Σχέση μεταξύ ειδικής ενέργειας και ειδικής πυκνότητας για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης	62
Γραφική 6.2: Σχέση μεταξύ ειδικής ενέργειας και ειδικής ισχύος για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης	63
Γραφική 6.3: Εξάρτηση διαθέσιμης χωρητικότητας από το ρυθμό εκφόρτισης	65
Γραφική 6.4 : Κατανάλωση σε συνάρτηση με διάφορους τύπους μπαταριών	72
Γραφική 7.1: Αριθμός κύκλων μπαταρίας για θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 βαθμούς κελσίου σε διαφορετικά βάθη εκφόρτισης	74
Γραφική 7.2: Αριθμός κύκλων μπαταρίας για θερμοκρασία περιβάλλοντος 33 βαθμούς κελσίου σε διαφορετικά βάθη εκφόρτισης	74

Γραφική 7.3: Χωρητικότητα σε συνάρτηση με το ρυθμό εκφόρτισης	75
Γραφική 7.4: Χωρητικότητα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία	75
Γραφική 11.1: Κατανάλωση ανά έτος	112

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μπορεί κανείς να αναρωτηθεί πως θα ήταν ο κόσμος χωρίς ενέργεια; Εύλογα λοιπόν, μπορούμε να ορίσουμε απαραίτητη την αποθήκευση της, διότι την χρειαζόμαστε 24 ώρες το 24ωρο. Όμως, ο ήλιος λάμπει την μέρα και ο άνεμος φυσά σε χρόνους απροσδιόριστους. Σ' αυτό το σημείο αμφιταλαντεύεται η εγκυρότητα εκμετάλλευσης είτε του ήλιου είτε του αέρα οποιαδήποτε στιγμή θελήσουμε. Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η διερεύνηση του καλύτερου τρόπου αποθήκευσης της ενέργειας από οικονομικής άποψης, από άποψη λειτουργικότητας, αποδοτικότητας αλλά και ποσότητας. Κάποιοι βασικοί στόχοι της συγκεκριμένης μελέτης, είναι η ένταξη του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος στη καθημερινότητα μας εν απουσία δικτύου και η μέγιστη χρήση μπαταριών. Σήμερα η Κύπρος, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της, βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από την εισαγωγή πετρελαίου, με αναπόφευκτο αντίκτυπο στην οικονομία αλλά και στο περιβάλλον του νησιού. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η τεχνολογία σήμερα, έχει φτάσει σε πολύ ψηλά επίπεδα, έχοντας όλες τις προοπτικές να φτάσει ακόμα ψηλότερα. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες και εφαρμογές Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων τόσο στο εξωτερικό όσο και στη Κύπρο. Παρ' όλα αυτά, δεν έχει ακόμη βρεθεί ο «πιο οικονομικός σχεδιασμός» ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Επίσης, δεν έχει μελετηθεί το υβριδικό σύστημα στη Κύπρο, με τις συνθήκες που επικρατούν όσο αφορά τις κλιματικές συνθήκες. Ένα τέτοιο σύστημα έχει μελετηθεί και εφαρμοσθεί στη Γερμανία. Εμείς, σαν μηχανικοί και έχοντας ως σύμμαχο την πρόοδο της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούμε να δώσουμε πολλές έξυπνες λύσεις και προτάσεις στην αντιμετώπιση του προβλήματος αποθήκευσης ενέργειας. Κάτι τέτοιο, μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μέσα σε εφαρμογή στα αυτόνομα συστήματα καθώς και την οικονομική εξέταση για το κάθε μέσο αποθήκευσης. Έτσι, μπορεί να αξιοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας από Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα. Στη παρούσα έρευνα θα γίνει μια προσπάθεια αποθήκευσης ενέργειας σε Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα με τη χρήση κατάλληλων μπαταριών, έτσι ώστε να αποβλέπουν σε οικονομικά συμφέρουσα λύση. Οι μπαταρίες αποτελούν ένα από τα κυριότερα μέρη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς οι μπαταρίες μολύβδου οξέος «lead acid» αποτελούν σήμερα την πιο διαδεδομένη μορφή συσσωρευτών στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, κάνουν την εμφάνιση τους οι μπαταρίες λιθίου με μεγαλύτερη απόδοση, χωρητικότητα και κύκλους ζωής. Αλλά ακόμη δεν είναι σε μεγάλη ζήτηση λόγω του υψηλού κόστους της, κάτι που αναμένεται να μειωθεί με τη πάροδο του χρόνου.

1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Πότε εφευρέθηκε η μπαταρία;

Ο όρος ηλεκτρισμός, προέρχεται από το φαινόμενο που παρατηρήθηκε στο ήλεκτρο περίπου το 600 πχ, από τον Θαλή του Μιλήσιου [1]. Σύμφωνα με αυτόν, όταν ένα κομμάτι ήλεκτρου (κεχριμπάρι) τρίβεται σε ξυρό ύφασμα, έλκει μικρά κομμάτια άχυρου. Γενικότερα, στον όρο ηλεκτρισμό περιλαμβάνονται όλα τα «ηλεκτρικά φαινόμενα» (αστραπές, ηλεκτρικό ρεύμα, ηλεκτρομαγνητική επαγωγή κ.α.).

Η χρήση του όρου «ηλεκτρισμός», ξεκίνησε το 1600 περίπου όταν ο Άγγλος επιστήμονας William Gilbert πραγματοποίησε εκτενή μελέτες που αφορούσαν τον ηλεκτρισμό και μαγνητισμό, διακρίνοντας το στατικό ηλεκτρισμό που παράγεται από το τρίψιμο κεχριμπαριού από τον μαγνητισμό. Οι μελέτες αυτές, οδήγησαν σε μια σειρά ανακαλύψεων και εξελίξεων της ηλεκτρικής ενέργειας μερικές εκ των οποίων αναλύονται στην συνέχεια. Ως εκ τούτου η πρακτική χρησιμοποίηση του ηλεκτρισμού καθίσταται εφικτή το 19^ο αιώνα όπου άρχισαν να αναπτύσσονται διάφορες τεχνικές εφαρμογής του.

Στην διάρκεια ακόμα του 16^{ου} αιώνα (1660), ο Otto Von Guericke πραγματοποίησε την κατασκευή της πρώτης ηλεκτρικής μηχανής, η οποία παρήγε ενέργεια μέσω δημιουργίας στατικού φορτίου. Η μηχανή αποτελείτο από μια μεγάλη σφαίρα θείου, η οποία μέσω τριβής και περιστροφής της προσέλκυε κομμάτια χαρτιού και φτερά.

Η απόδειξη του O.Guericke ότι οι σπινθήρες που δημιουργούνται ήταν ηλεκτρικοί, έδωσε έναυσμα στον Alessandro Volta (1745-1827) να χρησιμοποιήσει το στατικό ηλεκτρισμό για την δημιουργία του «ηλεκτρικού πιστολιού», το οποίο αποτελούσε ηλεκτρικό σύρμα τοποθετημένο σε ένα δοχείο που περιείχε μεθάνιο. Όταν ένας ηλεκτρικός σπινθήρας περνούσε από το σύρμα, προκαλείτο έκρηξη στο δοχείο.

Προς τα τέλη του 17^{ου} αιώνα (1791), ο Luigi Galvani στην διάρκεια πειραμάτων που διέπραττε στο πανεπιστήμιο της Μπολόνια ανακάλυψε το βιοηλεκτρισμό. Σύμφωνα με τον L. Galvani όταν ο μυς ενός βατράχου έρχεται σε επαφή με ένα μεταλλικό αντικείμενο τότε συστέλλεται, θεωρία που μετέπειτα διαψεύστηκε. Ωστόσο, ο A.Volta το 1800 σκεπτόμενος τα πειράματα του L.Galvani, άρχισε νέα πειράματα με την χρήση μόλυβδου, ψευδάργυρου, σίδηρου ή κασσίτερου ως θετικών ηλεκτροδίων και χαλκού, ασημιού και χρυσού ή γραφίτη ως αρνητικών ηλεκτροδίων. Επίτευγμα των πειραμάτων του αυτών, ήταν η δημιουργία της μπαταρίας ή ηλεκτρικής στήλης (Voltaic Pile) μέσω εναλλασσόμενων ελασμάτων ψευδαργύρου και χαλκού.

Στο διάστημα λοιπόν του 18^{ου} αιώνα, μετά την σπουδαία ανακάλυψη της βολταϊκής μπαταρίας του A.Volta, άρχισαν οι έρευνες και άλλων λαμπρών επιστημόνων οι οποίες οδήγησαν σε σπουδαίες ανακαλύψεις. Συγκεκριμένα, ο Sir Humphry Davy (1800) ο οποίος εφεύρε τον

λαμπτήρα ασφαλείας των ανθρακωρύχων, εγκατέστησε τη μεγαλύτερη και πιο ισχυρή μπαταρία στα θησαυροφυλάκια του Βασιλικού Ινστιτούτου του Λονδίνου. Συνέδεσε την μπαταρία σε ηλεκτρόδια από κάρβουνο και παρήγαγε το πρώτο ηλεκτρικό φώς. Οι μελέτες του Davy, αφορούσαν κυρίως την ηλεκτροχημεία, γεγονός που τον οδήγησε στην ανακάλυψη της ηλεκτρόλυσης. Σύμφωνα με τον Davy, ως ηλεκτρόλυση ορίζεται η διαδικασία αποσύνθεσης κάποιων ουσιών κατά την διάρκεια διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε αυτές.

Στην συνέχεια, το 1802 ο Δρ William Cruickshank σχεδίασε την πρώτη ηλεκτρική μπαταρία, ικανή για μαζική παραγωγή. Το 1819-1820 ο Hans Christian Orsted και ο Andre Marie Ampere, αναγνώρισαν τον ηλεκτρομαγνητισμό ως μια ενότητα των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων.

Ακολούθως ο Michael Faraday το 1831, ανακάλυψε τον ηλεκτρικό κινητήρα μέσω αντιστροφής της διαδικασίας της ηλεκτρικής γεννήτριας(παραγωγή ατέλειωτης ηλεκτρικής δύναμης μέσω συνεχιζόμενης κίνησης μιας σπείρας και ενός μαγνήτη). Δεν άργησαν να ανακαλυφθούν επίσης και οι μετασχηματιστές με τους οποίους δίνεται η δυνατότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια επιθυμητή τάση. Το 1833 ο M.Faraday, έθεσε τις βάσεις της ηλεκτροχημείας με το νόμο του Faraday, που περιγράφει το ποσό μείωσης που εμφανίζεται σε ένα ηλεκτρολυτικό στοιχείο.

Το 1836 ο Άγγλος χημικός John F.Daniell, δημιούργησε μια ποιο βελτιωμένη μη επαναφορτιζόμενη ακόμα μπαταρία που παρήγαγε σταθερότερο ρεύμα από την μπαταρία του Volta. Τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες κατάφερε να εφεύρει το 1859, ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante. Με την εργασία του ο James Clerk Maxwell το 1862, με θέμα «περί των φυσικών δυναμικών γραμμών» (On physical Lines of Force), συνέδεσε ανεπιφύλακτα τον ηλεκτρισμό, το μαγνήσιο και το φώς. Το 1887 ο Heinrich Hertz, ανακάλυψε ότι τα ηλεκτρόδια που φωτίζονται με υπεριώδες φώς παράγουν πιο εύκολα ηλεκτρικούς σπινθήρες.

Το 1899 ο Σουηδός Waldemar Jungner, εφεύρε την μπαταρία νικελίου καδμίου, η οποία είχε ως θετικό ηλεκτρόδιο το νικέλιο και ως αρνητικό ηλεκτρόδιο το κάδμιο το οποίο αργότερα αντικαταστάθηκε από σίδηρο. Ωστόσο, οι υψηλές υλικές δαπάνες, αποτέλεσαν αίτιο περιορισμού χρησιμοποίησης των μπαταριών αυτών. Το 1947 όταν ο Neumann κατάφερε να σφραγίσει τελείως την μπαταρία, τότε η μπαταρία νικελίου καδμίου κλειστού τύπου έγινε διαθέσιμη [2].

Γενικότερα, στα τέλη του 18^{ου} αιώνα άρχισαν οι κατασκευές γεννητριών και μετασχηματιστών οι οποίες οδήγησαν στην εγκατάσταση γραμμών μετάδοσης, έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια καταστάθηκε διαθέσιμη στην ανθρωπότητα για την παραγωγή θερμότητας, φωτός και κίνησης.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, παρατηρήθηκε ταχεία ανάπτυξη στην ηλεκτρική επιστήμη ενώ προς το τέλος του στην ηλεκτρική μηχανή. Το 1900, δημιουργήθηκε η πρώτη ηλεκτρική συσκευή στερεάς κατάστασης η οποία ονομαζόταν «ανιχνευτής σύρμα γάτας» και χρησιμοποιήθηκε σε

δέκτες ραδιοσημάτων. Το 1905 ο Άλπερτ Αϊνστάιν δημοσίευσε ένα φυλλάδιο που εξηγούσε πειραματικά δεδομένα από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ως αποτέλεσμα της επίδρασης της ενέργειας του φωτός που μεταφέρεται σε διακριτά κβαντισμένα πακέτα, ενεργοποιώντας ηλεκτρόνια. Αυτή η ανακάλυψη οδήγησε την «κβαντική επανάσταση».

Συμπερασματικά, με το πέρασ των αιώνων πραγματοποιηθήκαν μεγάλες επιστημονικές βελτιώσεις των μπαταριών. Ωστόσο, όσο οι μπαταρίες στηρίζονται σε ηλεκτροχημικές διαδικασίες οι περιορισμοί θα επικρατούν.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

2.1 Δομή του Βασικού στοιχείου και ηλεκτροχημικές αντιδράσεις

Μια συσκευή σαν την μπαταρία, έχει την ιδιότητα να μετατρέπει μέσω μιας ηλεκτρομηχανικής οξειδωσης, τη χημική ενέργεια απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε ένα επαναφορτιζόμενο σύστημα βέβαια, η μπαταρία μπορεί να φορτιστεί ξανά με την αντίστροφη αυτή ιδιότητα. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει δια μέσου ενός ηλεκτρικού κυκλώματος και μεταφέρει τα ηλεκτρόνια από ένα υλικό σε άλλο. Στην διαδικασία της καύσης και της σκουριάς, όπου είναι μια μη ηλεκτροχημική αντίδραση, η ιδιότητα μεταφοράς εμπεριέχει μόνο τη θερμότητα και τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται απ' ευθείας. Η μπαταρία, αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία και ο τρόπος σύνδεσης των στοιχείων ηλεκτρικού κυκλώματος είναι με σειρά ή παράλληλα ή και σε συνδυασμό των δύο αναλόγως της χωρητικότητας εξόδου και την επιθυμητή τάση. Γενικά, παρόλο της συχνής χρήσης του όρου «μπαταρία», η βασική ηλεκτροχημική μονάδα στην οποία αναφέρεται είναι το «στοιχείο». Το στοιχείο αποτελείται από 3 συστατικά. Το πρώτο, είναι το ηλεκτρόδιο ανόδου ή αρνητικό ηλεκτρόδιο το οποίο μεταβιβάζει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται στην διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Το δεύτερο, είναι το ηλεκτρόδιο καθόδου ή θετικό ηλεκτρόδιο, το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται στην διάρκεια της ηλεκτροχημικής διαδικασίας. Τέλος, το τρίτο στοιχείο είναι ο ηλεκτρολύτης όπου με την μορφή ιόντων, δίνει την δυνατότητα ως μέσο για την μεταφορά φορτίου, μέσα στο στοιχείο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο. Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως ένα υγρό στοιχείο με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια που μεταδίδουν την ιοντική αγωγιμότητα. Στη θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου, μερικές μπαταρίες χρησιμοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες, οι οποίοι είναι ιοντικοί αγωγοί.

Σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις, οι ηλεκτροχημικές και οι χημικές αντιδράσεις των ηλεκτροδίων μπορεί να συμβούν και στα δύο ηλεκτρόδια, όπου απελευθερώνουν ή απορροφούν ηλεκτρόνια:

Εξίσωση 2.1: Ηλεκτροχημικές και χημικές αντιδράσεις των ηλεκτροδίων



Το N προσδίδει το αρνητικό (negative), το P το θετικό (positive), το Sred τις καταστάσεις μειώσεις (reduction state) και Sox τις καταστάσεις οξειδωσης (oxidation state) των χημικών ενώσεων, που αντιδρούν και τα n είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που περιέχονται στην διαδικασία. Η βασική προϋπόθεση για την δημιουργία οποιουδήποτε ηλεκτροχημικού στοιχείου, είναι η δυνατότητα διαχωρισμού της αντίδρασης του στοιχείου σε δύο ξεχωριστές αντιδράσεις ηλεκτροδίων.

Η ενέργεια εισόδου ή εξόδου που συσχετίζεται με τη χημική αντίδραση για να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια, πρέπει πρώτα να γίνει η ανταλλαγή των ηλεκτρονίων που συνδέεται με τις αντιδράσεις των ηλεκτροδίων να μαζευτεί σαν ρεύμα που ρέει από την συσκευή φόρτισης, και για να επιτευχθεί όλο αυτό μπορεί να γίνει μόνο με βάση την αρχική προϋπόθεση που αναφέραμε προηγούμενος. Αν πάλι δεν επιτευχθεί αυτό, η αντίδραση θα εμφανιζόταν σαν μία χημική αντίδραση, όπου θα είχαμε ως αποτέλεσμα την μετατροπή της ενέργειας κυρίως ως θερμότητα και σε κάποιο βαθμό ενεργειακή ένταση (volume energy), αφού θα γινόταν η ανταλλαγή του ηλεκτρικού φορτίου απ' ευθείας άμεσα στις αντιδρώσες ουσίες [3].

Η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντιστρόφως, είναι η βάση για το σύστημα της ηλεκτροχημικής αποθήκευσης. Το διαφορετικό ενεργειακό περιεχόμενο των χημικών ουσιών που αντιπροσωπεύει την κατάσταση φόρτισης και εκφόρτισης, καθορίζει το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα στοιχείο. Επομένως, οι χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος, διέπονται από ένα σύνολο ηλεκτροχημικών αντιδράσεων και τις ενεργειακές μεταβολές που σχετίζονται με αυτές τις αντιδράσεις. Ως σύνολο, αυτές οι αντιδράσεις αποτελούν τις αντιδράσεις στοιχείου που υποδηλώνουν το σύστημα της μπαταρίας.

Οι συνδυασμοί με τα περισσότερα πλεονεκτήματα, είναι οι συνδυασμοί των υλικών ανόδου και καθόδου και είναι αυτοί που θα είναι ελαφρύτεροι και θα δίνουν υψηλή τάση και χωρητικότητα στοιχείου. Φυσικά, λόγω της αντιδραστικότητας με άλλα συστατικά του στοιχείου, της δυσκολίας στο χειρισμό, της πόλωσης, του υψηλού κόστους και άλλων ατελειών, μπορεί να μην είναι πάντα πρακτικοί αυτοί οι συνδυασμοί [9].

Από ένα πρακτικό σύστημα με βάση τις ακόλουθες ιδιότητες επιλέγουμε την άνοδο:

1. Να έχει αποδοτικότητα σαν παράγοντας μείωσης
2. Καλή αγωγιμότητα
3. Σταθερότητα
4. Ευκολία κατασκευής
5. Χαμηλό κόστος

Ένα ενδιαφέρον υλικό ανόδου, είναι το υδρογόνο που φυσικά πρέπει να περιοριστεί κατά κάποιο τρόπο, επομένως με αυτό το τρόπο μειώνει αποτελεσματικά την ηλεκτροχημική ισοδυναμία του. Πρακτικά, σαν το υλικό ανόδου χρησιμοποιούνται κυρίως μέταλλα. Επίσης, σαν άνοδος επικρατεί ο ψευδάργυρος λόγω των ευνοϊκών του ιδιοτήτων. Ένα άλλο υλικό, είναι το λίθιο που είναι το πιο ελαφρύ μέταλλο, με υψηλή ηλεκτροχημική ισοδυναμία, που έχει γίνει και αυτό μια ενδιαφέρον άνοδος, εφόσον έχουν εξελιχθεί κατάλληλοι και συμβατοί ηλεκτρολύτες και σχεδιασμοί στοιχείων για να επιβλέπουν τη δραστηριότητά του.

Ακολούθως, για να επιλεγεί η κάθοδος, πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι είναι ένας αποδοτικός παράγοντας οξειδωσης, να είναι σταθερή στην επαφή με τον ηλεκτρολύτη, και τέλος να έχει μια τάση λειτουργίας που είναι χρήσιμη. Στη μπαταρία ψευδάργυρου-αέρα ή διαφορετικά στο

στοιχείο για να απορροφήσει οξυγόνο, μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το κατευθείαν από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Μολονότι τα συνηθέστερα υλικά καθόδου είναι μεταλλικά οξειδία.

Για ειδικά συστήματα μπαταριών, χρησιμοποιούνται άλλα υλικά καθόδου όπως τα οξυαλογονίδια και τα αλογόνα, το θείο και τα οξειδία του. Ένα εσωτερικό βραχυκύκλωμα προκαλείται από τον ηλεκτρολύτη, που έχει καλή ιοντική αγωγιμότητα αλλά είναι ηλεκτρονικά αγωγίμος. Μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρολύτη είναι, η αδράνεια ως προς τα υλικά των ηλεκτροδίων, μικρή αλλαγή των ιδιοτήτων σε συνδυασμό αλλαγής της θερμοκρασίας, ασφάλεια στο χειρισμό και χαμηλό κόστος. Οι πιο πολλοί ηλεκτρολύτες, είναι υδάτινα διαλύματα. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν και σημαντικές εξαιρέσεις. Ένα παράδειγμα είναι στις μπαταρίες θερμικής ανόδου ή ανόδου λιθίου, όπου μη υδάτινοι ηλεκτρολύτες καθώς και λιωμένο αλάτι χρειάζονται για να αποφευχθεί η αντίδραση του ηλεκτρολύτη με της ανόδου.

Βέβαια, για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου είναι ηλεκτρονικά απομονωμένα στο στοιχείο, εντούτοις περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Για να χωρίζει τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου μηχανικά, σε πρακτικούς σχεδιασμούς στοιχείων χρησιμοποιείται ένα υλικό διαχωρισμού. Ωστόσο αυτό το υλικό διαχωρισμού είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη, έτσι ώστε να διατηρείται η επιθυμητή ιοντική αγωγιμότητα. Για ένα σχεδιασμό χωρίς διαρροή, ο ηλεκτρολύτης ακινητοποιείται και αυτό μπορεί να συμβεί σε ορισμένες περιπτώσεις.

Ακόμη, για μείωση της εσωτερικής αντίστασης μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια ηλεκτρικά αγωγίμες δομές ή υλικά. Ένα στοιχείο μπορεί να παραχθεί με τη μορφή διαφόρων σχημάτων όπως κυλινδρικό, πρισματικό, επίπεδο, καθώς και τα μέρη του στοιχείου σχεδιάζονται έτσι ώστε να διευκολύνουν το ανάλογο σχήμα. Για να αποφύγουμε οποιαδήποτε διαρροή και στέγνωμα, τα στοιχεία επισφραγίζονται με ποικίλους τρόπους. Μερικά στοιχεία είναι εξοπλισμένα με συσκευές εξαερισμού ή άλλα μέσα που αφήνουν τα συσσωρευμένα αέρια να διαφύγουν. Τέλος, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η κατασκευή του στοιχείου και της μπαταρίας προστίθενται κατάλληλες θήκες ή δοχεία, μέσα για τερματική σύνδεση και τιτλοφόρηση.

2.2 Ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών

Με βάση την ικανότητα τους να επαναφορτίζονται ηλεκτρικά τα ηλεκτροχημικά στοιχεία και οι μπαταρίες, χαρακτηρίζονται ως πρωτεύουσες ή δευτερεύουσες, μη επαναφορτιζόμενες και επαναφορτιζόμενες αντίστοιχα. Οι δύο αυτές μεγάλες κατηγορίες περιλαμβάνουν υποκατηγορίες που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς [9].

2.2.1 Πρωτεύουσες μπαταρίες

Αυτές οι μπαταρίες εκφορτίζονται μία φορά μόνο και στο τέλος απορρίπτονται, και αυτό γιατί δεν έχουν την ικανότητα εύκολης ή αποτελεσματικής ηλεκτρικής επαναφόρτισης. Ο ηλεκτρολύτης όπου περιέχεται σε ένα διαχωριστικό ή απορροφητικό υλικό, σε πολλά πρωτεύοντα στοιχεία έχουν όνομα ως «ξηρά στοιχεία».

Οι πρωτεύουσες μπαταρίες είναι συνήθως μία οικονομική, βολική και ελαφριά πηγή συσκευασμένης ενέργειας για πολλές φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές εφαρμογές. Τέτοιες μπαταρίες χρησιμοποιούνται συνήθως για φωτισμό, φωτογραφικό εξοπλισμό, παιχνίδια, εφεδρικές μνήμες και σε πολλές άλλες τέτοιες συσκευές.

Αν και μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας σαν και αυτές τις μεγάλες πρωτεύουσες μπαταρίες, είναι χρήσιμες σε στρατιωτικές εφαρμογές, ενέργεια αναμονής, σηματοδότηση και άλλου, υπερτερεί η πλειοψηφία αυτών να είναι δημοσίως γνωστές ως μπαταρίες ενός κυλινδρικού στοιχείου και flat button ή πολυκυτταρικές μπαταρίες που χρησιμοποιούν τέτοια στοιχεία σαν συστατικά.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των πρωτεύων μπαταριών είναι:

- Καλή διάρκεια ζωής «ραφιού», (shelf life)
- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς εκφόρτισης
- Μικρή έως καθόλου ανάγκη για ευκολία και συντήρηση στη χρήση.

2.2.2 Δευτερεύουσες μπαταρίες

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες έχουν την ιδιότητα να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά μετά την εκφόρτιση τους, γι' αυτό και ονομάζονται επαναφορτιζόμενες. Μπορούν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση με μία διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές, στην αντίθετη όμως κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Αυτές οι μπαταρίες, είναι συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και ονομάζονται ως «μπαταρίες αποθήκευσης» ή «συσσωρευτές». Οι δευτερεύουσες μπαταρίες έχουν πολλές εφαρμογές έτσι ώστε να χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία, αφορά εφαρμογές όπου αυτού του είδους μπαταρίες είναι χρήσιμες ως συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, οι οποίες είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες και φορτίζονται από μία βασική πηγή ενέργειας και μπορεί να μεταφέρουν την ενέργειά τους στο φορτίο όταν τους ζητηθεί. Μερικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι:

- Συστήματα αυτοκινήτων και αεροσκαφών
- Πηγές ενέργειας αναμονής για να μην υπάρξει αποτυχία σε περίπτωση ανάγκης
- Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα
- Συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης για ηλεκτρική χρήση ανύψωσης φορτίου

Η δεύτερη κατηγορία, αφορά εφαρμογές όπου η δευτερεύουσα μπαταρία εκφορτίζεται βασικά σαν μία πρωτεύουσα μπαταρία με μία διαφορά, μετά την χρήση της αντί να απορρίπτεται, επαναφορτίζεται.

Κάποια παραδείγματα αυτής της κατηγορίας όπου χρησιμοποιούνται είναι σε:

- Φορητές ηλεκτρονικές καταναλώσεις
- Ηλεκτρικά εργαλεία
- Ηλεκτρικά οχήματα κλπ. για μείωση του κόστους
- Εφαρμογές που απαιτούν άντληση ενέργειας πέρα από τα όρια μιας πρωτεύουσας μπαταρίας.

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι δευτερεύουσες μπαταρίες έχουν την δυνατότητα να επαναφορτίζονται, μερικά άλλα χαρακτηριστικά τους είναι η πυκνότητα ισχύος, επίπεδες καμπύλες εκφόρτισης, υψηλό ρυθμό εκφόρτισης και καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Γενικότερα, αν συγκρίνουμε τις πρωτεύων μπαταρίες με τις δευτερεύων, οι ενεργειακές πυκνότητες των δευτερεύων μπαταριών είναι πιο χαμηλές από αυτές των περισσότερων πρωτεύων μπαταριών.

Επίσης, η κατακράτηση φορτίου είναι φτωχότερη στις δευτερεύουσες μπαταρίες. Η διαφορά είναι ότι, στις δευτερεύουσες μπαταρίες, η χωρητικότητα που χάνεται έχει τη δυνατότητα να ανακτηθεί με την επαναφόρτιση. Κάποιες μπαταρίες μετάλλου-αέρος είναι χαρακτηριστικές του τύπου «μηχανικά επαναφορτιζόμενες», όπου «επαναφορτίζονται» αναπληρώνοντας το εκφορτισμένο ηλεκτρόδιο, συνήθως μέταλλο ανόδου με ένα καινούριο.

2.2.3 Μπαταρίες αποθήκευσης

Στις μπαταρίες αποθήκευσης, ένα κύριο συστατικό διαχωρίζεται από την υπόλοιπη μπαταρία πριν από την εκκίνηση της. Με αυτή την ιδιότητα της μπαταρίας, η μπαταρία μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, αφού δεν θα υπάρχει πλέον κίνδυνος χημικής αλλοίωσης ή αυτοεκφόρτισης ουσιαστικά. Συνήθως, το κύριο αυτό συστατικό είναι ο ηλεκτρολύτης.

Ο σχεδιασμός των μπαταριών αυτών, είναι χρήσιμος έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε υπερβολικά μεγάλες ή περιβαλλοντικά ακραίες ιδιαιτερότητες αποθήκευσης οι οποίες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από μία σχετικά «ενεργή» μπαταρία η οποία έχει γίνει για τα ίδια χαρακτηριστικά απόδοσης.

Αυτού του τύπου μπαταρίες, χρησιμοποιούνται για να μεταθέτουν μεγάλη ισχύ για σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα, όπως για παράδειγμα σε πυραύλους, τορπίλες και άλλα οπλικά συστήματα.

2.3 Μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Όπως έγινε κατανοητό από όσα αναφέρθηκαν ως τώρα, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Κάποια παραδείγματα επαναφορτιζόμενων συστημάτων μπαταριών, είναι μολύβδου οξέος, νικελίου καδμίου, νικελίου σιδήρου, υβριδικές νικελίου, και επαναφορτιζόμενες λιθίου διαφόρων τύπων.

Οι πιο συνηθισμένες μπαταρίες που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα στα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι μόνο οι μολύβδου οξέος και σε πιο μικρό βαθμό οι νικελίου καδμίου. Αυτές που χρησιμοποιούνται πιο σπάνια είναι οι μπαταρίες νικελίου σιδήρου, λόγω του ότι έχουν έναν ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης κάτι που θέτει τις μπαταρίες αυτές ακατάλληλες για τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι σχετικά σύγχρονες εξελίξεις των μπαταριών, είναι οι υβριδικές μπαταρίες νικελίου και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου και οι κύριες χρήσεις τους είναι σε υψηλής αξίας ηλεκτρονικά αγαθά, όπως για παράδειγμα οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα.

Το αρνητικό είναι ότι, δεν είναι γενικότερα διαθέσιμες σε μεγάλες χωρητικότητες που είναι σημαντικό σε μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα. Επίσης, μιλώντας στο παρόν, είναι ακριβότερες ανά kWh αποδιδόμενου φορτίου και χωρητικότητας σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, και συχνά χρειάζονται μία πιο περίπλοκη προστασία για το όλο κύκλωμα φόρτισής τους. Μία προστασία που δεν είναι εύκολο να υλοποιηθεί με τη μεταβλητή φύση των ρευμάτων φόρτισης των φωτοβολταϊκών. Ένα άλλο είδος μπαταριών που τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιάσει πρόοδο, είναι οι μπαταρίες λιθίου, όπου βοήθησε στο να χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Συνοπτικά, έχει και άλλα είδη μπαταριών που βελτιώνονται ακόμη για μελλοντικές χρήσεις μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα ή ανύψωση φορτίου αν και δεν είναι εμπορικά διαθέσιμες μέχρι σήμερα, εκτός από κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις. Γενικότερα, η έρευνα μας κατέδειξε ότι οι μπαταρίες μολύβδου οξέος όντας η πιο ώριμη και οικονομικά προσφιλέστερη τεχνολογία αποθήκευσης και χρησιμοποιείται κατά κόρων στις εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας από τεχνολογίες εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2.4 Τι λειτουργία επιτελούν στο φωτοβολταϊκό σύστημα;

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα υπάρχουν τρεις βασικές λειτουργίες όπου μία μπαταρία εκτελεί. Κατά αρχή, λειτουργεί σαν ένα δευτερογενές ποσό ενέργειας στο σύστημα, με σκοπό να εξαλείψει την δυσαναλογία μεταξύ της ισχύς που απαιτείται και του φορτίου ισχύος. Η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εξαρτάται από την ποσότητα ακτινοβολίας ως εκ τούτου, το βράδυ είναι μηδέν αφού δεν έχουμε ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια της νύχτας, η φωτοβολταϊκή συστοιχία δεν παράγει ηλεκτρική ενέργεια, και έτσι η μπαταρία αποδίδει την αποθηκευμένη ισχύ στο φορτίο.

Ακόμη, και κατά την διάρκεια της ημέρας όταν η αποδιδόμενη από την ΦΒ συστοιχία ισχύ δεν επαρκεί να καλύψει τη ζήτηση του φορτίου, η μπαταρία αποδίδει μέρος της ενέργειας της ώστε να επιτευχθεί ταύτιση με τις ανάγκες του φορτίου. Όταν πάλι η μπαταρία παράγει περισσότερη ισχύ από όσο το φορτίο χρειάζεται, τότε η μπαταρία αποθηκεύει την περίσσεια ισχύος από την φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Η δεύτερη βασική λειτουργία, είναι ότι η μπαταρία έχει την δυνατότητα να παρέχει ένα ποσό αποθηκευμένης ενέργειας, σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο πρόβλημα σε ένα τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος ή σε μέρες όπου ο καιρός είναι πολύ συννεφιασμένος.

Τέλος, η τρίτη βασική λειτουργία αυτού του τύπου μπαταρίας, είναι ότι έχει την δυνατότητα να εμποδίζει μεγάλες, διακυμάνσεις τάσης, που πιθανόν να είναι καταστροφικές. Αναλόγως με τις ιδιαιτερότητες του φορτίου που είναι συνδεδεμένο σε αυτή, μία φωτοβολταϊκή συστοιχία, μπορεί να αποδώσει ισχύ σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ βραχυκυκλώματος και ανοικτού κυκλώματος.

Ένα σχετικό παράδειγμα είναι σε ένα σύστημα ονομαστικής τάσης 12V, που αυτό προσδίδει ότι κάθε τιμή μεταξύ 0V και περίπου 20V είναι δυνατό να προέλθει από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Στο ίδιο μήκος κύματος, οι μπαταρίες αποθηκεύουν το μεγάλο διακυμάνσεων αποδιδόμενο από την ΦΒ συστοιχία ρεύμα, και τροφοδοτούν στο φορτίο την ζητούμενη ενέργεια τόσο σε όρους ρεύματος όσο και σε όρους τάσης.

2.5 Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν

Σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ισχύος, οι απαιτήσεις όπου είναι απαραίτητο να καλύπτουν τα συστήματα αποθήκευσης είναι πολυπληθής. Κάποιες απαιτήσεις αντιτίθενται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα. Πιο κάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις σημαντικότερες απαιτήσεις :

- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Μεγάλη διάρκειας ζωής (μετρημένο σε χρόνια)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής από την άποψη της απόδοσης χωρητικότητας
- Χαμηλό κόστος
- Καλή αποδοτικότητα φόρτισης και εκφόρτισης μέχρι και σε πολύ μικρά ρεύματα
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης
- Μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Υψηλή διαθεσιμότητα παγκοσμίως
- Υψηλή διαθεσιμότητα ενέργειας
- Εύκολη εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης
- Ανθεκτικότητα σε ακατάλληλες συνθήκες εγκατάστασης
- Εύκολα ανακυκλώσιμη

- Χαμηλή τοξικότητα των υλικών
- Ασφαλής συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βαθειάς εκφόρτισης
- Εύκολη επεκτασιμότητα τάσης και χωρητικότητας μέσω συνδέσεων σε σειρά και παράλληλα
- Μικρό χάσμα τάσης μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης(επιτρέπει τη σύνδεση φορτίων κατευθείαν στη μπαταρία)
- Ικανότητα γρήγορης φόρτισης
- Κανένα φαινόμενο μνήμης
- Χαμηλές εκρηκτικές δυνατότητες
- Υψηλή αξιοπιστία στη λειτουργία-πολύς χρόνος μεταξύ αστοχιών

Η κατασκευή αυτόνομων συστημάτων παροχής ενέργειας, απαιτεί από την αρχή την εξέταση των ιδιοτήτων και των απαιτήσεων του συστήματος. Αν προστεθεί το σύστημα αποθήκευσης αργότερα της κατασκευής του, θα παραμελήσουμε τις πολλές επιδράσεις μεταξύ της μπαταρίας, στον έλεγχο του συστήματος και συνολικά στο σχεδιασμό.

Συνοπτικά, για να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε συστήματα τα οποία θα έχουν την δυνατότητα να δραστηριοποιούνται με το πιο μικρό κόστος, σε όλη τη διάρκεια ζωής τους, μόνο ένας ολοκληρωμένος προγραμματισμός του όλου συστήματος θα μας επιτρέψει να το κάνουμε αυτό [3].

3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται σχετική αναφορά για μεγέθη που είναι απαραίτητα για την κατανόηση των ακόλουθων κεφαλαίων. Συγκεκριμένα, αναλύονται διάφορα μεγέθη σχετικά με τις μπαταρίες και τη λειτουργία τους(κάποια από αυτά έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω).

3.1 Χωρητικότητα

Χωρητικότητα μιας μπαταρίας (C - capacity), ως γνωστή στο κόσμο της ηλεκτρολογίας, αποτελεί το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που παίρνουμε από μια φορτισμένη μπαταρία, και καθορίζεται πάντα με συγκεκριμένες συνθήκες εκφόρτισης, όπως είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, η τάση και η θερμοκρασία. Το ποσό των ενεργών υλικών που περιέχει μια μπαταρία (δηλαδή ανόδου και καθόδου), είναι ικανό να επηρεάσει τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας [11], με μονάδα μέτρησης τις αμπέρ – ώρες (Ah) που καθορίζεται από ένα σταθερό ρεύμα εκφόρτισης που εκφορτίζει τη μπαταρία μέχρι μια ορισμένη τελική τιμή τάσης εκφόρτισης, που υπολογίζεται γύρω στα 1.75 V ανά στοιχείο ως συνήθως. Όπως μπορούμε να δούμε στη συνέχεια ένα παράδειγμα για καλύτερη κατανόηση αυτού του όρου, μια μπαταρία με 200Ah για ρυθμό 10 ωρών, θα μεταφέρει δηλαδή 20A ρεύματος για 10 ώρες υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας (25°C ή 77 °F).

Η θερμοκρασία καθώς επίσης και το ρεύμα εκφόρτισης, είναι ικανά να επηρεάσουν άμεσα τη χωρητικότητα. Από αυτό το γεγονός στηρίζεται και ο τύπος για τον υπολογισμό της χωρητικότητας, υπολογιζόμενος ως το γινόμενο του χρόνου που χρειάζεται να φτάσει η μπαταρία στη τελική της τάση με το ρεύμα εκφόρτισης [3]. Αξίζει επίσης να σημειωθεί το γεγονός ότι η τελική τάση και το ρεύμα εκφόρτισης μπορούν να καθοριστούν και από τους ίδιους τους κατασκευαστές των μπαταριών. Η ικανότητα κάθε μπαταρίας που έχει για να μεταφέρει ρεύμα, αποτελεί στο κόσμο της ηλεκτρολογίας τον όρο «ονομαστική χωρητικότητα». Η πιο κάτω εξίσωση μας δείχνει πως καθορίζεται ο ρυθμός εκφόρτισης:

Εξίσωση 3.1: Ρυθμός Εκφόρτισης

$$\frac{C}{10} (A) = \frac{200 Ah}{10 h} = 20 A$$

- Η χωρητικότητα της μπαταρίας ποικίλει ανάλογα με το ρυθμό εκφόρτισης. Δηλαδή, όσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, τόσο μικρότερη είναι η χωρητικότητα του στοιχείου. Μικρότεροι ρυθμοί εκφόρτισης, έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη χωρητικότητα. Συνηθίζεται οι κατασκευαστές να ορίζουν το χρόνο εκφόρτισης (σε ώρες) και το ρυθμό εκφόρτισης (σε αμπέρ), όπως για παράδειγμα οι μπαταρίες μολύβδου οξέος η τιμή της χωρητικότητας είναι σε ρυθμούς 8- , 10- ή 20-ωρών (C/8, C/10, C/20). Όμως, οι μπαταρίες τηλεπικοινωνιών είναι 10 – ωρών χωρητικότητας μπαταρίες. Ενώ, οι UPS μπαταρίες βαθμονομούνται σε 8 – ωρών χωρητικότητες [12].

Η UPS (Uninterruptible Power Supply – Σύστημα αδιάλειπτης παροχής ισχύος) μπαταρία, είναι μια συσκευή που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια (ισχύ), σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Ως συνήθως, προστατεύει τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε υπερτάσεις ή υποτάσεις. Μια άλλη λειτουργία της UPS μπαταρίας, είναι να φιλτράρει το ρεύμα του δικτύου, έτσι ώστε να βρίσκεται στη σωστή συχνότητα (50 Hz - 60 Hz) και να τροφοδοτεί τις συσκευές με ένα καθαρό ρεύμα. Σκοπός της συγκεκριμένης μπαταρίας, είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια μέχρι την έναρξη μιας βοηθητικής ενέργειας, δηλαδή μέχρι να έρθει το ρεύμα ή μέχρι οι συσκευές μας να τερματιστούν με ασφάλεια. Επιπλέον, ως επί το πλείστον, οι UPS μπαταρίες χρησιμοποιούνται για τη προστασία των παρακάτω εφαρμογών, όπου η απότομη διακοπή παροχής ενέργειας θα μπορούσε να επιφέρει διάφορες ζημιές, απώλειες δεδομένων ή ακόμη και καταστροφή υποσυστημάτων.

- Οικιακής χρήσης (H/Y, τηλεφωνικές συσκευές, στερεοφωνικά, τηλεοράσεις, οπτικοακουστικά μέσα, ανελκυστήρες, φωτισμός ασφαλείας)- Back Ups
- Μικρών, μεσαίων επιχειρήσεων (H/Y, δικτυακό εξοπλισμό, εκτυπωτές, οπτικοακουστικά μέσα, φωτισμός ασφαλείας κλπ)- Smart Ups
- Μεγάλων επιχειρήσεων (Μηχανογραφικά κέντρα, H/Y, τηλεπικοινωνίες, ιατρικά μηχανήματα, Ναυτιλία, Βιομηχανικές εγκαταστάσεις κλπ)- Smart Ups Online

Οι χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν αρνητικά τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας μολύβδου οξέος (με δεδομένη τελική τάση), αφού για χαμηλές θερμοκρασίες η χωρητικότητα μειώνεται. Κάτι τέτοιο οφείλεται σε αρκετές παράγοντες, από τους οποίους ένας εξ αυτών είναι ο μειωμένος ρυθμός διάχυσης στον ηλεκτρολύτη και η αυξημένη αντίσταση. Ένας άλλος παράγοντας που επίσης επηρεάζει τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας μολύβδου οξέος, είναι το απόθεμα οξέος. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερο είναι το απόθεμα οξέος, τόσο μεγαλύτερη χωρητικότητα τείνουν να χάνουν στις χαμηλές θερμοκρασίες, σε σχέση με τις μπαταρίες με μικρότερο σε όγκο οξύ. Ως συνήθως, όταν γίνεται αναφορά σε ονομαστικές χωρητικότητες, συνεπάγεται σε θερμοκρασία λειτουργίας 20°C. Στη περίπτωση όπου μια μπαταρία χρειάζεται να παρέχει αυτονομία σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, ως συνήθως αυξάνεται η ονομαστική χωρητικότητα, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η μειωμένη χωρητικότητα για τη χειρότερη θερμοκρασία. Για τις χωρητικότητες που δίνει ο κατασκευαστής, θα πρέπει να αναφέρεται η τελική τάση στην οποία εφαρμόζονται αυτές οι χωρητικότητες. Όμως, συνηθίζεται για τις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η τελική τάση είναι μεταξύ 1.75V και 1.85V για κάθε στοιχείο. Στην περίπτωση όπου γίνεται σύγκριση μεταξύ δύο διαφορετικών μπαταριών, θα πρέπει να γίνεται σύγκριση μεταξύ των χωρητικοτήτων τους για ίδια τελική τάση. Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η τελική τάση, τόσο μικρότερη θα είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα.

3.2 Τάση

Όταν υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ηλεκτρόδιου μιας μπαταρίας, τότε είναι ικανή να μεταφέρει σ' ένα εξωτερικό κύκλωμα ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαφορά δυναμικού, δεν είναι άλλη από τον όρο που αναφέρεται στο κόσμο της ηλεκτρολογίας ως τάση του στοιχείου ή της μπαταρίας και μετριέται σε Volts. Ως επί το πλείστο ένα μόνο στοιχείο μολύβδου οξέος, έχει διαφορά δυναμικού περίπου 2V υπό φορτίο, ενώ ένα πλήρως εκφορτισμένο στοιχείο μολύβδου οξέος, η διαφορά δυναμικού του υπολογίζεται γύρω στα 1.75V, ανάλογα πάντα με το ρυθμό εκφόρτισης[12]. Η τάση ισορροπίας ενός στοιχείου επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη και τη θερμοκρασία, καθώς επίσης η τάση ανοικτού κυκλώματος (Open Circuit Voltage - OCV) μπορεί να μετρηθεί εφόσον κανένα εξωτερικό ρεύμα δε διαρρέει τη μπαταρία αλλά και αν δεν υπάρχει κάποια πηγή εξωγενούς τάσης. Επίσης, στη περίπτωση όπου όλες οι εσωτερικές υπερτάσεις που προκαλούνται ως συνήθως από διαδικασίες διάχυσης, έχουν σταθεροποιηθεί, τότε η τάση ανοικτού κυκλώματος ταυτίζεται με την τάση ισορροπίας. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιτευχθεί το στάδιο αυτό, εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας και την τεχνολογία της μπαταρίας, ο οποίος κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι πολλές ώρες. Η τάση ανοικτού κυκλώματος μιας μπαταρίας, εξαρτάται από το ποσό του φορτίου που απομένει και από το πρότυπο δυναμικό των χρησιμοποιούμενων ενεργών υλικών. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ευρέως ως άνοδος σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες μπαταρίες, το λίθιο αφού προσφέρει το υψηλότερο πρότυπο δυναμικό από όλες τις χημείες των μπαταριών[11]. Η τάση του στοιχείου υπό φορτίο, η τάση κλειστού κυκλώματος (CCV), εξαρτάται από τη στάθμη φόρτισης, το ρεύμα και το ιστορικό του στοιχείου, όπως τη διάρκεια ζωής του ή το χρόνο αποθήκευσης. Τυπικά, οι ονομαστικές τάσεις των στοιχείων υπολογίζονται να είναι μεταξύ 1.2 και 3.6 V. Ως εκ τούτου, αρκετά στοιχεία ως συνήθως συνδέονται σε σειρά για να χτίσουν μια αλυσίδα με μεγαλύτερη ονομαστική τάση. Έτσι, η ονομαστική τάση μιας μπαταρίας καθορίζεται από το γινόμενο που υπολογίζεται από τον αριθμό των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά επί την ονομαστική τάση του ενός στοιχείου. Οι μπαταρίες συχνά, πωλούνται σε δομές στις οποίες είναι συνδεδεμένα και ενσωματωμένα σε σειρά μερικά στοιχεία με μόνο ένα σετ ακροδεκτών[3]. Αποτελούν γνωστό παράδειγμα οι SLI (Starting lighting ignition – εκκίνηση αρχικού φωτισμού) μπαταρίες αυτοκινήτων, που 6 στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά, όμως πωλούνται ως ένα μπλοκ των 12 V. Η φόρτιση μιας μπαταρίας, δε σταματά όταν φτάσει την τελική τάση φόρτισης (όπως συμβαίνει με την τελική τάση εκφόρτισης – end-of-discharge voltage), η οποία απλά καθορίζει ένα άνω όριο για τη τάση, αλλά το ρεύμα φόρτισης μειώνεται κατάλληλα για να διατηρεί την τελική τάση φόρτισης με την πάροδο του χρόνου.

3.3 Στάθμη φόρτισης

Η στάθμη φόρτισης (state of charge – SOC) δίνει τη χωρητικότητα σε μια συγκεκριμένη στιγμή, που μπορεί να εκφορτιστεί από μια μπαταρία. Όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, τότε η στάθμη φόρτισης βρίσκεται στο εκατό τοις εκατό, ενώ για 0% στάθμη φόρτισης, τότε σημαίνει ότι η ονομαστική χωρητικότητα έχει εκφορτιστεί[3].

Οι πιο σημαντικές παράμετροι στα αυτόματα συστήματα παραγωγής ενέργειας, για τη λειτουργία και τη διαχείριση της ενέργειας αποτελούν η χωρητικότητα της μπαταρίας και η

πραγματική στάθμη φόρτισης. Ο καθορισμός της στάθμης φόρτισης, είναι δύσκολος σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επειδή η πλήρης φόρτιση της μπαταρίας όπως γίνεται συχνά με τους συμβατικούς φορτιστές μπαταρίας είναι πολύ ασυνήθιστη.

Η τιμή που μπορούμε να πάρουμε από μια μέτρηση της χωρητικότητας της μπαταρίας μπορεί να είναι μικρότερη και μεγαλύτερη από την ονομαστική χωρητικότητα από αυτή που δίνεται από τον κατασκευαστή, καθώς επίσης μπορούμε να πούμε ότι κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η μετρούμενη χωρητικότητα μειώνεται όλο και περισσότερο εξαιτίας των επιπτώσεων της γήρανσης. Όμως, η πρακτική χωρητικότητα είναι μικρότερη από τη μετρούμενη χωρητικότητα. Οι μπαταρίες δεν επαναφορτίζονται σχεδόν ποτέ πλήρως (ο αριθμός των ωρών φόρτισης είναι περιορισμένος), εξαιτίας των ειδικών συνθηκών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επίσης, με τον όρο στάθμη φόρτισης πλήρους ακτινοβολίας (solar-full state of charge), αναφερόμαστε στη μέγιστη στάθμη φόρτισης που μπορεί να επιτευχθεί κατά τη φυσιολογική λειτουργία του συστήματος. Επιπρόσθετα, για το κριτήριο τέλους εκφόρτισης καθορίζεται από το σύστημα για να αποφευχθεί η βαθιά εκφόρτιση της μπαταρίας και κατ' επέκταση η επιτάχυνση της γήρανσης, το οποίο ως επί το πλείστον διαφέρει από τα κριτήρια τέλους εκφόρτισης που χρησιμοποιούνται στους ελέγχους της χωρητικότητας. Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, η πρακτική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι μικρότερη από τη μετρούμενη χωρητικότητα[3]. Η ονομαστική χωρητικότητα είναι ο ορισμός της χωρητικότητας για εκφόρτιση 10 ωρών (C/10), καθώς επίσης αποτελεί βάση για τον καθορισμό της στάθμης φόρτισης.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι, η μετρούμενη χωρητικότητα μεταβάλλεται με το χρόνο, ενώ η ονομαστική χωρητικότητα δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σχετική στάθμη φόρτισης (relative state of charge - SOC_r), ονομάζουμε τη στάθμη φόρτισης που σχετίζεται με τη μετρούμενη χωρητικότητα. Όμως, η στάθμη φόρτισης που σχετίζεται με την πρακτική χωρητικότητα, λέγεται πρακτική στάθμη φόρτισης (practical state of charge – SOC_p). Η SOC_p βρίσκεται σε ποσοστό 100% όταν αποκτηθεί μια solar-full στάθμη φόρτισης.

3.4 Στάθμη εκφόρτισης

Το κλάσμα ή το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία, ορίζεται ως το βάθος εκφόρτισης (depth of discharge – DOD), το αντίθετο δηλαδή, από τη στάθμη φόρτισης που όπως είδαμε πιο πάνω, είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που είναι ακόμα διαθέσιμη στη μπαταρία. Ακολουθώντας, μπορούμε να δούμε την απλή σχέση μεταξύ των δύο:

Πίνακας 3.1: Σχέση μεταξύ SOC και DOD

Στάθμη φόρτισης (SOC)	Βάθος εκφόρτισης (DOD)
100%	0%
75%	25%
50%	50%
25%	75%
0%	100%

Συνηθίζεται στην ονομαστική χωρητικότητα να αναφέρονται οι τιμές για τη στάθμη φόρτισης και το βάθος εκφόρτισης. Όμως, είναι δυνατόν να συναντήσουμε αναφορές για DOD μεγαλύτερο του 100% για χαμηλότερα ρεύματα εκφόρτισης. Γεγονός που συνεπάγεται στο ότι, σε ρυθμούς εκφόρτισης χαμηλότερους από τον ονομαστικό ρυθμό εκφόρτισης η μπαταρία μπορεί να παράγει περισσότερο από το 100% της ονομαστικής της χωρητικότητας [10].

3.5 Κύκλος ζωής

Ο όρος κύκλος περιγράφει την επαναλαμβανόμενη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης, που συμβαίνει σε μια μπαταρία όταν βρίσκεται σε λειτουργία. Ένας κύκλος, ισοδυναμεί με μια εκφόρτιση που ακολουθείται από μια φόρτιση. Ο κύκλος ζωής, αποτελεί μέτρο για το πόσους κύκλους μπορεί να δώσει μια μπαταρία κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής της. Συνηθίζεται να αντιστοιχεί στον αριθμό των κύκλων εκφόρτισης για ένα συγκεκριμένο DOD, που η μπαταρία μπορεί να πραγματοποιήσει πριν η διαθέσιμη χωρητικότητά της μειωθεί σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό (συνήθως 80%) της αρχικής χωρητικότητας. Το βάθος του κάθε κύκλου επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό το κύκλο ζωής μιας μπαταρίας. Όταν μετριέται πειραματικά για ένα υψηλό DOD ο κύκλος ζωής, τότε σε χαμηλότερα DODs το αποτέλεσμα του γινομένου του αριθμού των κύκλων επί το DOD είναι περίπου σταθερό, δηλαδή ο κύκλος εργασιών της χωρητικότητας (capacity turnover) είναι περίπου ο ίδιος για χαμηλότερα DODs. Συχνά αναφέρεται το αναγραφόμενο DOD στη χωρητικότητα που είναι διαθέσιμη και τις περισσότερες φορές μετριέται σε σχετικά μεγάλα ρεύματα (δηλαδή μικρούς χρόνους εκφόρτισης).

Για παράδειγμα :

Όταν ο κύκλος ζωής της μπαταρία είναι 400 κύκλους για 50% DOD συνεπάγεται ότι ο ρυθμός εκφόρτισης είναι για 5 ώρες.

Μετά από υπολογισμούς, η ονομαστική χωρητικότητα της συγκεκριμένης μπαταρίας έχει ρυθμό εκφόρτισης 20 ωρών, αλλά στην πραγματικότητα η χωρητικότητα είναι σε ρυθμό εκφόρτισης 5 ωρών δηλαδή στο 85% της ονομαστικής χωρητικότητας.

Ο κύκλος εργασιών της χωρητικότητας υπολογίζεται ως εξής: $400 \times 50\% = 200$ για τον ρυθμό των 5 ωρών, αλλά στις πραγματικές Ah είναι μόνο $400 \times 50\% \times 85\% = 170$ για την ονομαστική χωρητικότητα (για ρυθμό 20 ωρών).

Από τους πιο πάνω υπολογισμούς συνεπάγεται ότι, μπορούμε να περιμένουμε μόνο 340 κύκλους σε 50% DOD για την ονομαστική χωρητικότητα, όχι 400.

Μετά από κάθε εκφόρτιση, γίνεται μια πλήρης επαναφόρτιση για τις δοκιμές κύκλου ζωής στις μπαταρίες. Όμως, η επαναφόρτιση δεν είναι τελείως πλήρης στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σαν παράγοντας ασφάλειας, είναι συνετό να φθείρεται κάπως ο κύκλος ζωής όταν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των χρόνων ζωής σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Τις περισσότερες φορές μέσα από διάφορες δοκιμές προκύπτει ένα ποσοστό 80% του κύκλου ζωής. Επομένως, όσο αφορά το πιο πάνω παράδειγμα για την μπαταρία που ξεκίνησε στους 400 κύκλους για 50% DOD και μειώθηκε στους 340 κύκλους για το πραγματικό 50% DOD, θα παίρναμε μόνο 272 τέτοιους κύκλους σε συνθήκες φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στα αρχικά στάδια σχεδιασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων, για την αύξηση της ζωής της μπαταρίας ως «εύκολη λύση» υπήρξε η αναζήτηση μιας μπαταρίας με αυξημένο κύκλο ζωής, όταν αυτή ήταν απογοητευτικά χαμηλή σε κάποιες περιπτώσεις. Όμως, ο κύκλος ζωής δεν είναι ο μόνος παράγοντας που καθορίζει το χρόνο ζωής της μπαταρίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα, και έτσι σε μερικές περιπτώσεις δυστυχώς αυτή η αλλαγή οδηγούσε σε ακόμα μικρότερο χρόνο ζωής[10].

Παρατηρούνται πολλοί μερικοί κύκλοι (partial cycles) μέσα σε έναν μακρόκυκλο (macro cycle), στα αυτόνομα συστήματα. Μερικός κύκλος ορίζεται η μεταφορά φορτίου μέσα στο χρόνο της αλλαγής της κατεύθυνσης του ρεύματος της μπαταρίας, ενώ ένας μακρόκυκλος αποτελεί το χρόνο μεταξύ 2 πλήρως φορτισμένων καταστάσεων. Γενικά, η απόδοση χωρητικότητας (capacity through put), καθορίζει τη μεταφορά φορτίου της μπαταρίας στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, η οποία δίνεται από τις συσσωρευμένες αμπέρ – ώρες που έχουν εκφορτιστεί από τη μπαταρία δια την ονομαστική χωρητικότητα. Απόδοση χωρητικότητας ονομάζεται ο κανονικοποιημένος αριθμός [3], που προκύπτει από το αποτέλεσμα που θα πάρουμε από το πιο πάνω πηλίκο, ο οποίος ισοδυναμεί με τον αριθμό των 100% DOD κύκλων εκτελούνται κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας

3.6 Αποδοτικότητα

Η αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών ή Ah, ορίζεται ως ο λόγος των αμπέρ – ωρών που εκφορτίζονται από τη μπαταρία, προς τις αμπέρ – ώρες που φορτίζονται στην μπαταρία, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (τυπικές περιόδους είναι ένας μήνας ή ένας χρόνος ή μια περίοδος ανάμεσα σε δύο διαδικασίες πλήρους φόρτισης). Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ο παράγοντας φόρτισης που ορίζεται ως 1Ah, αντί για την αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών. Απαραίτητοι καθίστανται οι παράγοντες φόρτισης να είναι μεγαλύτερη μεγαλύτεροι της μονάδας, για μια βιώσιμη λειτουργία μπαταρίας. Παρομοίως, η αποδοτικότητα ενέργειας ή Wh, είναι ο λόγος της ενέργειας που εκφορτίζεται από μια μπαταρία, προς την ενέργεια που φορτίζεται σε μια μπαταρία, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο[3]. Επίσης, παρατηρείται ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα μιας μπαταρίας, είναι χαμηλότερη από την αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών, για το λόγο ότι οι μπαταρίες εκφορτίζονται σε χαμηλότερη τάση από ότι φορτίζονται. θεωρείται πιο βολικό να δουλεύουμε σε Ah όταν υπολογίζουμε πόση φόρτιση χρειάζεται για να αντικατασταθεί ένα συγκεκριμένο ποσό εκφόρτισης σε φωτοβολταϊκούς (και άλλους) υπολογισμούς, για το λόγο ότι η αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών είναι κοντά στη μονάδα. Εντούτοις, για το λόγο ότι, η αποδοτικότητα αμπέρ – ωρών για μια πλήρη επαναφόρτιση, είναι πάντα ελαφρώς μικρότερη της μονάδας, πρέπει να τροφοδοτηθεί η μπαταρία με λίγο περισσότερες Ah, από όσες πραγματικά καταναλώνονται στη διαδικασία φόρτισης. Η υπερφόρτιση που αποτελεί το επιπρόσθετο φορτίο, καταναλώνεται από άλλες, ανεπιθύμητες, χημικές αντιδράσεις μέσα στη μπαταρία. Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου, αυτές είναι η παραγωγή αερίων οξυγόνου, από το νερό στο θετικό ηλεκτρόδιο και στις ανοικτές μπαταρίες, η παραγωγή αερίων υδρογόνου από το νερό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο[10].

3.7 Μέρη Αυτονομίας

Το ονομαστικό ενεργειακό περιεχόμενο (energy content) σε κατάσταση πλήρους φόρτισης, μας δίνει το μέγεθος μιας μπαταρίας. Έτσι, για να δώσουμε στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας το σχετικό μέγεθος μιας μπαταρίας σε σχέση με το φορτίο, χρησιμοποιούμε τον όρο, μέρες αυτονομίας, οι οποίες καθορίζονται από το λόγο του ονομαστικού ενεργειακού περιεχομένου της μπαταρίας (kWh) προς τη μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/ημέρα). Άρα λοιπόν, η μονάδα είναι οι «μέρες», η οποία εκφράζει το χρονικό διάστημα για στη περίπτωση που το σύστημα τροφοδοτείται μόνο από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία[3].

3.8 Ρεύμα μπαταρίας

Ως συνήθως, το ρεύμα μπαταρίας δίνεται σε σχέση με το μέγεθος της μπαταρίας, γιατί οι εντάσεις και οι εξαρτώμενες από το ρεύμα ηλεκτρικές ιδιότητες, σχετίζονται με συγκεκριμένα φορτία στα ηλεκτρόδια, όσον αφορά τα ενεργά υλικά. Έτσι και τα ρεύματα μπαταρίας εκφράζονται, ως πολλαπλάσια της χωρητικότητας σε αμπέρ – ώρες ή ως πολλαπλάσια του ρεύματος εκφόρτισης που καθορίζεται από τη χωρητικότητα. Όπως για παράδειγμα, για μια μπαταρία με χωρητικότητα $C = 100Ah$, με ρεύμα $10A$ ορίζεται ως $0.1 \times C$. Στο παράδειγμα, τα $100A$ καλούνται $C - rate$. Το I_{10} είναι το ρεύμα που εκφορτίζει μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία μέσα σε 10 ώρες στην καθορισμένη τελική τάση εκφόρτισης. Η τυπική ονοματολογία, για τη χωρητικότητα είναι C_x , όπου x είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο η μπαταρία εκφορτίζεται. Για παράδειγμα,

$$C_{10} = 10h * I_{10} \quad \text{ή} \quad C_{10} = 100Ah, \quad I_{10} = 10A = 0.1 * C_{10}$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι, το $1 \times I_{10}$ δεν είναι ισοδύναμο με το $10 \times I_{100}$ αφού η χωρητικότητα C_{100} είναι γενικά μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα C_{10} [3].

3.9 Χρόνος ζωής

Οι συνθήκες λειτουργίας και οι στρατηγικές ελέγχου, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το χρόνο ζωής μιας μπαταρίας. Με τον όρο «χρόνος ζωής», αποδίδεται διαφορετική σημασία για τις πρωτεύουσες και για τις δευτερεύουσες μπαταρίες. Ο χρόνος ζωής (shelf life) στις πρωτεύουσες μπαταρίες ως συνήθως ορίζεται σαν ο χρόνος που χρειάζεται η μπαταρία για να φτάσει το 90% της αρχικής της χωρητικότητας και περιορίζεται από την αυτοεκφόρτιση των μπαταριών.

Αντίθετα, για τις δευτερεύουσες μπαταρίες που ο χρόνος ζωής τους ορίζεται σαν τη διάρκεια ικανοποιητικής επίδοσης που μετράται σε χρόνια (float ή ημερολογιακός χρόνος ζωής) ή σαν τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης (κύκλος ζωής). Επιπρόσθετα, για τις δευτερεύουσες μπαταρίες, το κριτήριο για το τέλος ζωής τους καθορίζεται ως συνήθως από το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η μπαταρία το 80% της αρχικής της χωρητικότητας. Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης, τυπικά μειώνεται καθώς αυξάνεται το DOD.

Ο αριθμός συνθηκών όπου μεταξύ αυτών αποτελούν η θερμοκρασία κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, το DOD, το ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης, τη μέθοδο ελέγχου της φόρτισης, την έκθεση σε υπερφόρτιση και/ή υπερεκφόρτιση και τη διάρκεια και τις συνθήκες αποθήκευσης, επηρεάζουν το χρόνο ζωής και των δύο τύπων μπαταριών, είτε πρωτεύουσες είτε δευτερεύουσες.

3.10 Αυτοεκφόρτιση

Στην ηλεκτρολογία, ο όρος αυτοεκφόρτιση, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την απώλεια φορτίου σε μια μπαταρία αν αυτή αφεθεί σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος για υπολογίσιμο χρονικό διάστημα. Όπως για παράδειγμα, εάν υπάρχει για μερικά χρόνια στο ράφι ενός καταστήματος τοποθετημένη μια πρωτεύουσα μπαταρία, δε θα της έχει απομείνει ολόκληρη η χωρητικότητά της. Για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης πρέπει να αναφέρεται μαζί με τη θερμοκρασία της μπαταρίας, και ως συνήθως αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό χωρητικότητας που χάνεται ανά μήνα όταν αρχίζουμε με μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Αρκετές φορές για αύξηση θερμοκρασίας της μπαταρίας κατά 10°C , ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης διπλασιάζεται. Στους περισσότερους υπολογισμούς για φωτοβολταϊκές μπαταρίες, η αυτοεκφόρτιση απαιτεί τόσο μικρό ποσοστό επιπρόσθετης φόρτισης συγκριτικά με το φορτίο (ή ακόμα και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό ελέγχου) που μπορεί εύκολα να αγνοηθεί [10], και ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης των προτεινόμενων τύπων μπαταριών είναι χαμηλός (μεταξύ 1 και 4% ανά μήνα σε θερμοκρασία $20 - 25^{\circ}\text{C}$).

3.11 Κατάσταση υγείας

Η κατάσταση της υγείας ορίζεται, ως το πηλίκο που υπολογίζεται μεταξύ της πραγματικά μετρούμενης χωρητικότητας και της ονομαστικής χωρητικότητας. Επιπρόσθετα, μας υποδεικνύει το βαθμό ικανότητας της μπαταρίας κατά πόσο πληρεί τις απαιτήσεις του συστήματος. Με βάση τα πρότυπα, εάν η κατάσταση υγείας των μπαταριών μολύβδου οξέος βρίσκεται σε επίπεδα κάτω από το 80%, τότε σημαίνει ότι βρίσκονται στο τέλος της ζωής τους. Ωστόσο, είναι ικανές να λειτουργήσουν για πολύ περισσότερο. Όμως, οι μέρες αυτονομίας τους μειώνονται αναλόγως, καθώς επίσης το σύστημα μπορεί να μην είναι σε θέση να ικανοποιήσει πλέον τις ενεργειακές απαιτήσεις.

Συχνά συναντώνται σε υβριδικά ή αλλιώς αυτόνομα συστήματα, μπαταρίες οι οποίες λειτουργούν σε κατάσταση υγείας περίπου 50%, που έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται το μερίδιο της γεννήτριας [3].

3.12 Ρυθμός φόρτισης/εκφόρτισης

Οι ρυθμοί εκφόρτισης και φόρτισης, αποτελούν βολικές κλίμακες για τη σύγκριση ρευμάτων όπου φορτίζονται οι μπαταρίες, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητά τους. Καθώς εκφράζονται ως ένας αριθμός ωρών, π.χ. ο ρυθμός 10 ωρών, 240 ωρών κλπ.

Το ρεύμα στο οποίο αντιστοιχούν, είναι η κατάλληλη ολική χωρητικότητα εκφόρτισης διαιρεμένη με τον αριθμό των ωρών[10]:

Εξίσωση 3.2: Ρυθμός Φόρτισης Εκφόρτισης

$$\text{Ρυθμός} = \frac{\text{Χωρητικότητα (Ah)}}{\text{Χρόνος (h)}}$$

Λόγου χάρη, για C/10 (ρυθμός 10 ωρών) είναι ένα ρεύμα που ισούται με την ονομαστική χωρητικότητα σε Ah διαιρεμένη δια 10.

3.13 Ενεργειακό περιεχόμενο

Στη γενική της μορφή, η ενέργεια σε Wh που μπορεί να αποδώσει η μπαταρία αναπαρίσταται από το γινόμενο,

Εξίσωση 3.3: Ενέργεια μπαταρίας

$$E = \int_0^t U(t) * I(t) * dt \quad W$$

Όπου U η τάση σε V, I το ρεύμα εκφόρτισης σε A και t ο χρόνος εκφόρτισης σε ώρες[13].

Οι μετρήσεις χωρητικότητας, συνήθως διεξάγονται σε ένα φορτίο σταθερού ρεύματος και η ενέργεια εξόδου, υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα που μετρήθηκε επί την τάση εκφόρτισης.

Ως εκ τούτου, είτε χρησιμοποιείται το ακριβές ολοκλήρωμα της παραπάνω εξίσωσης, είτε μέσες τάσεις. Αντίστοιχοι όροι είναι:

- Αρχική τάση εκφόρτισης: τάση τη στιγμή που εφαρμόζεται το φορτίο.
- Μέση τάση εκφόρτισης: η μέση τιμή της τάσης καθ' όλη τη διάρκεια της εκφόρτισης.
- Τάση εκφόρτισης στο μέσο της διαδρομής: η τάση όταν το 50% της χωρητικότητας έχει εκφορτιστεί (περίπου ίση με τη μέση τάση).

Για εκφόρτιση με σταθερή αντίσταση, όπως συνήθως συμβαίνει στις πρωτεύουσες μπαταρίες, με $R(\Omega) = \text{σταθερό ωμικό φορτίο}$, εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση:

Εξίσωση 3.4: Εκφόρτιση με σταθερή αντίσταση

$$E = \frac{1}{R} \int_0^t U(t)^2 dt$$

3.14 Ειδική ενέργεια – Ενεργειακή πυκνότητα

Για τη σύγκριση συστημάτων, έχει γίνει κοινή πρακτική να συσχετίζεται το ενεργειακό περιεχόμενο μιας δοσμένης μπαταρίας με το βάρος ή τον όγκο της. Η σχετική με το βάρος ενέργεια, ονομάζεται ειδική ενέργεια και μετριέται σε Wh/kg. Μια τυπική τιμή για την ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας έλξης (traction battery) μολύβδου οξέος είναι 25 Wh/kg. Για σύγκριση, παρατίθεται ότι μια σύγχρονη μπαταρία ιόντων λιθίου προσφέρει περίπου 125 Wh/kg [13]. Η σχετική με τον όγκο ενέργεια, ονομάζεται ενεργειακή πυκνότητα και συναντάται με τις μονάδες Wh/L ή Wh/cm³. Η ενεργειακή πυκνότητα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις μπαταρίες που σχεδιάζονται να τροφοδοτούν φορητό εξοπλισμό. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές, το μέγεθος της μπαταρίας είναι συνήθως πιο σημαντικό από ότι το βάρος της. Τα σημερινά συστήματα καλύπτουν ένα εύρος από 150 mWh/cm³ (ψευδάργυρος/ άνθρακας) μέχρι 1.2 Wh/cm³ (alkaline zinc / αέρας). Πολλές πρόοδοι έχουν σημειωθεί στην τεχνολογία των μπαταριών τα τελευταία χρόνια, τόσο μέσω της συνεχούς βελτίωσης ενός συγκεκριμένου ηλεκτροχημικού συστήματος, όσο και μέσω της ανάπτυξης και εισαγωγής μπαταριών διαφορετικής χημικής σύστασης. Σύμφωνα με ένα γνωστό φαινόμενο, ως ο νόμος του Moore, οι μπαταρίες δε συμβαδίζουν με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών, όπου οι επιδόσεις διπλασιάζονται κάθε 18 μήνες.

Οι μπαταρίες, λοιπόν, αντίθετα με τις ηλεκτρονικές συσκευές, καταναλώνουν υλικά όταν παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια και υπάρχουν θεωρητικοί περιορισμοί στο ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποδοθεί ηλεκτροχημικά από τα διαθέσιμα υλικά. Το άνω όριο τώρα, επιτυγχάνεται εφόσον τα περισσότερα από τα υλικά που είναι ικανά να λειτουργήσουν ως ενεργά υλικά, έχουν διερευνηθεί και η λίστα των ανεξερεύνητων υλικών μικραίνει. Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2, εκτός από μερικά συστήματα, όπου το βάρος του ενεργού υλικού της καθόδου δεν περιλαμβάνεται στον υπολογισμό, οι τιμές για τη θεωρητική ενεργειακή πυκνότητα δεν υπερβαίνουν τις 1500 Wh/L.

Οι περισσότερες από τις τιμές είναι στην πραγματικότητα, χαμηλότερες. Τα δεδομένα στον πίνακα αυτό, δείχνουν επίσης, ότι η ειδική ενέργεια που παρέχεται από αυτές τις μπαταρίες (με βάση τις πραγματικές επιδόσεις όταν έχουμε εκφόρτιση υπό βέλτιστες συνθήκες) δεν υπερβαίνει τις 450 Wh/kg. Ομοίως, οι τιμές της ενεργειακής πυκνότητας δεν υπερβαίνουν τις 1000 Wh/L.

Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι, οι τιμές για τα επαναφορτιζόμενα συστήματα είναι χαμηλότερες από αυτές στις πρωτεύουσες μπαταρίες, κατά ένα μέρος λόγω του πιο περιορισμένου εύρους υλικών που μπορούν να επαναφορτιστούν πρακτικά και της ανάγκης για σχεδιασμούς που θα βελτιώνουν την επαναφόρτιση και τον κύκλο ζωής [9].

Πίνακας 3.2: Τάση, Χωρητικότητα και Ειδική Ενέργεια των κύριων συστημάτων επαναφορτιζόμενων μπαταριών - Θεωρητικές και πρακτικές τιμές

Τύπος μπαταρίας	Άνοδος	Κάθοδος	Μηχανισμός Αντίδρασης	Θεωρητικές Τιμές				Πρακτικές Τιμές		
				V	g/Ah	Ah/kg	Ειδική Ενέργεια Wh/kg	Ονομ. Τάση V	Ειδική Ενέργεια Wh/kg	Ενεργ. Πυκν. Wh/L
Secondary batteries										
Lead-acid	Pb	PbO ₂	$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$	2.1	8.32	120	252	2.0	35	70 ⁽¹⁰⁾
Edison	Fe	Ni oxide	$Fe + 2NiOOH + 2H_2O \rightarrow 2Ni(OH)_2 + Fe(OH)_2$	1.4	4.46	224	314	1.2	30	55 ⁽¹⁰⁾
Nickel-cadmium	Cd	Ni oxide	$Cd + 2NiOOH + 2H_2O \rightarrow 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$	1.35	5.52	181	244	1.2	35	100 ⁽⁵⁾
Nickel-zinc	Zn	Ni oxide	$Zn + 2NiOOH + 2H_2O \rightarrow 2Ni(OH)_2 + Zn(OH)_2$	1.73	4.64	215	372	1.6	60	120
Nickel-hydrogen	H ₂	Ni oxide	$H_2 + 2NiOOH \rightarrow 2Ni(OH)_2$	1.5	3.46	289	434	1.2	55	60
Nickel-metal hydride	MH ⁽¹⁾	Ni oxide	$MH + NiOOH \rightarrow M + Ni(OH)_2$	1.35	5.63	178	240	1.2	75	240 ⁽⁵⁾
Silver-zinc	Zn	AgO	$Zn + AgO + H_2O \rightarrow Zn(OH)_2 + Ag$	1.85	3.53	283	524	1.5	105	180 ⁽¹⁰⁾
Silver-cadmium	Cd	AgO	$Cd + AgO + H_2O \rightarrow Cd(OH)_2 + Ag$	1.4	4.41	227	318	1.1	70	120 ⁽¹⁰⁾
Zinc/chlorine	Zn	Cl ₂	$Zn + Cl_2 \rightarrow ZnCl_2$	2.12	2.54	394	835	—	—	—
Zinc/bromine	Zn	Br ₂	$Zn + Br_2 \rightarrow ZnBr_2$	1.85	4.17	309	572	1.6	70	60
Lithium-ion	Li _x C ₆	Li _{1-x} CoO ₂	$Li_xC_6 + Li_{1-x}CoO_2 \rightarrow LiCoO_2 + C_6$	4.1	9.98	100	410	4.1	150	400 ⁽⁵⁾
Lithium/manganese dioxide	Li	MnO ₂	$Li + Mn^{IV}O_2 \rightarrow Mn^{IV}O_2(Li^+)$	3.5	3.50	286	1001	3.0	120	265
Lithium/iron disulfide ⁽²⁾	Li(Al)	FeS ₂	$2Li(Al) + FeS_2 \rightarrow Li_2FeS_2 + 2Al$	1.73	3.50	285	493	1.7	180 ⁽¹¹⁾	350 ⁽¹¹⁾
Lithium/iron monosulfide ⁽²⁾	Li(Al)	FeS	$2Li(Al) + FeS \rightarrow Li_2S + Fe + 2Al$	1.33	2.90	345	459	1.3	130 ⁽¹¹⁾	220 ⁽¹¹⁾
Sodium/sulfur ⁽²⁾	Na	S	$2Na + 3S \rightarrow Na_2S_3$	2.1	2.65	377	792	2.0	170 ⁽¹¹⁾	345 ⁽¹¹⁾
Sodium/nickel chloride ⁽²⁾	Na	NiCl ₂	$2Na + NiCl_2 \rightarrow 2NaCl + Ni$	2.58	3.28	305	787	2.6	115 ⁽¹¹⁾	190 ⁽¹¹⁾

Αναγνωρίζοντας αυτούς τους περιορισμούς, όταν θα διερευνούνται νέα συστήματα μπαταριών, θα είναι πολύ πιο δύσκολο να αναπτυχθεί ένα νέο σύστημα μπαταρίας το οποίο θα έχει σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή έξοδο και ταυτόχρονα θα πληρεί τις προϋποθέσεις ενός επιτυχημένου εμπορικού προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της διαθεσιμότητας των υλικών, του αποδεκτού κόστους και της ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος. Η έρευνα και η ανάπτυξη στις μπαταρίες, θα εστιάσουν στη μείωση της αναλογίας ανενεργών προς ενεργών υλικών με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας, στην αύξηση της απόδοσης μετατροπής και ικανότητας επαναφόρτισης, στη μεγιστοποίηση της απόδοσης υπό τις πιο αυστηρές συνθήκες λειτουργίας και στην ενίσχυση της ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος.

3.15 Εσωτερική Αντίσταση

Η εσωτερική αντίσταση, χαρακτηρίζει την ικανότητα της μπαταρίας να χειρίζεται ένα συγκεκριμένο φορτίο. Καθορίζει την ισχύ εξόδου της μπαταρίας, και μια γενική απαίτηση είναι η DC εσωτερική αντίσταση να είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή της συσκευής (1/10 ή λιγότερο), διαφορετικά η πτώση τάσης που θα προκληθεί από την απαίτηση ρεύματος της συσκευής κατανάλωσης θα περιορίζει την διάρκεια της λειτουργίας της μπαταρίας πολύ νωρίς. Η ερμηνεία του όρου «εσωτερική αντίσταση» θέλει προσοχή, γιατί δεν είναι απλά μια ωμική αντίσταση, και ο καθορισμός της εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται καθώς επίσης και από τη στάθμη φόρτισης της μπαταρίας. Στα περισσότερα συστήματα μπαταριών, η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται όταν η μπαταρία πλησιάζει το τέλος της εκφόρτισης, λόγω της μειωμένης αγωγιμότητας των ενώσεων που έχουν σχηματιστεί. Κυρίως, εφαρμόζεται η μέθοδος συνεχούς ρεύματος, όπου η τελική τάση συγκρίνεται σε 2 διαφορετικά φορτία. Η μπαταρία φορτίζεται για μερικά δευτερόλεπτα με το ρεύμα I_1 και προκύπτει η τάση U_1 . Στη συνέχεια, το ρεύμα αυξάνεται στην τιμή I_2 και η τάση της μπαταρίας μειώνεται στην τιμή U_2 και η εσωτερική αντίσταση R_i υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

Εξίσωση 3.5: Υπολογισμός εσωτερικής αντίστασης

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Αυτό το R_i , περιλαμβάνει την ωμική αντίσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και τον ηλεκτρολύτη, καθώς επίσης και την υπέρταση στα όρια φάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Η παραπάνω εξίσωση, υποδεικνύει ότι η υπέρταση είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με την ωμική πτώση τάσης.

Για μπαταρίες με υδάτινο ηλεκτρολύτη, η εσωτερική αντίσταση μπορεί να καθοριστεί με αυτή τη μέθοδο μόνο για την εκφόρτιση. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, αυτό δεν είναι δυνατό λόγω της υψηλής υπέρτασης των αντιδράσεων αεριοποίησης. Όταν μια διαδικασία διάχυσης περιορίζει τη μεταφορά των αντιδρώντων σωματιδίων, και δημιουργεί ένα ρεύμα περιορισμού, η αύξηση της τάσης δεν μπορεί πια να αυξήσει το ρεύμα. Η παραπάνω εξίσωση θα οδηγούσε σε αυτή την περίπτωση σε $R_i \rightarrow \infty$. Ένα παράδειγμα τέτοιας συμπεριφοράς, είναι το σύστημα

αέρα/ψευδαργύρου: με την αύξηση του ρεύματος I η μεταφορά του οξυγόνου, που καθορίζεται από το ρυθμό διάχυσης, και η τάση υπό ένα μεγαλύτερο φορτίο καταρρέουν.

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος έχει ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για μεγάλες στάσιμες μπαταρίες, εφόσον αναπαριστά το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει η μπαταρία για μια μικρή χρονική περίοδο.

Η τιμή του, βοηθάει στην εκτίμηση του μεγέθους μιας ασφάλειας που μπορεί να λειτουργεί μαζί με την μπαταρία. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος καθορίζεται από την παραπάνω εξίσωση, με προέκταση του αποτελέσματος για μηδενική τάση. Αναπαριστά μια δυναμική παράμετρο, η οποία μειώνεται γρήγορα με τη διαδικασία της εκφόρτισης. Οι τιμές που δίνονται πάντα αναφέρονται σε φορτισμένη μπαταρία, αν δε διευκρινίζεται το αντίθετο.

Η AC εσωτερική αντίσταση μιας μπαταρίας, είναι μια σύνθετη παράμετρος με δυσκολία στην ερμηνεία, αφού η AC συμπεριφορά μιας μπαταρίας μπορεί μόνο να προσεγγιστεί από ένα ισοδύναμο κύκλωμα με πολλά στοιχεία. Τις τελευταίες δεκαετίες, το ωμικό μέρος της αντίστασης έχει αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία ως μια δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης των ρυθμιζόμενων από βαλβίδα μπαταριών μολύβδου οξέος, οι οποίες διαφορετικά θα μπορούσαν να καθοριστούν μόνο από την εκφόρτιση. Η αντίσταση μετράται κυρίως σε μια συχνότητα 1000Hz. Σε μια τόσο μεγάλη συχνότητα, δε δίνει καμία πληροφορία για την ηλεκτροχημεία της μπαταρίας, παρά μόνο για τα ωμικά στοιχεία του, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρολύτη. Οι τιμές που προκύπτουν, χρησιμοποιούνται μόνο για τη σύγκριση και τον εντοπισμό ελαττωματικών κυττάρων σε μια σειρά[13].

3.16 Ειδικό βάρος

Ειδικό βάρος (specific gravity), ονομάζεται ο λόγος ενός διαλύματος προς έναν ίσο όγκο νερού σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Το μέγεθος αυτό, χρησιμοποιείται σαν δείκτης για τη στάθμη φόρτισης ενός στοιχείου ή μιας μπαταρίας[12].

3.17 Ειδική Ισχύς

Η ειδική ισχύς (specific power), δείχνει την ικανότητα φόρτισης ή το ποσό του ρεύματος που μπορεί να τροφοδοτήσει η μπαταρία. Μπαταρίες για εργαλεία ισχύος, παρουσιάζουν υψηλή ειδική ισχύ αλλά μειωμένη ειδική ενέργεια[14]. Ειδική ισχύς, σημαίνει χαμηλή εσωτερική αντίσταση. Μια μπαταρία μπορεί να έχει υψηλή ειδική ενέργεια αλλά χαμηλή ειδική ισχύ, όπως είναι η περίπτωση της αλκαλικής μπαταρίας. Εναλλακτικά, μια μπαταρία μπορεί να έχει χαμηλή ειδική ενέργεια, αλλά να μπορεί να αποδώσει μεγάλη ειδική ισχύ, κάτι το οποίο είναι δυνατό με τους super capacitors.

4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Λόγοι που επιβάλλουν την ανάπτυξη μεθόδων αποθήκευσης

Ένα πρόβλημα μεγάλης σημασίας, είναι η διαδικασία αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας όπου καθίσταται δύσκολη και αντιοικονομική. Η ενέργεια που παράγεται στους ηλεκτρικούς σταθμούς, είναι όση και η ζήτηση φορτίου, ενώ η επιπλέον παραγωγή της είναι ανώφελη λόγω του ότι δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ή να αποθηκευτεί. Επειδή, η ηλεκτρική ενέργεια σε ένα ΣΗΕ δεν μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρικά, παρουσιάζεται η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων μετατροπής της, σε μορφές που μπορούν να αποθηκευτούν πιο εύκολα. Η ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να μετατραπεί αποδοτικά σε κάποια άλλη μορφή, η οποία μπορεί με τη σειρά της να αποθηκευτεί πιο εύκολα, κάτι που αποτελεί ένα σημαντικό πλεονεκτήματα της. Οι μορφές αποθήκευσης που μπορεί να αποθηκευτούν είναι, ως ηλεκτρομαγνητικά, ηλεκτροχημικά και υπό μορφή κινητικής ή δυναμικής ενέργειας. Η αποθήκευση ηλεκτρισμού, μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη στην ασφαλή και οικονομική λειτουργία ενός ΣΗΕ.

Λόγοι που επιβάλλουν την ανάπτυξη μεθόδων αποθήκευσης είναι:

1. Ότι η παραγωγή των μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που παράγουν πρέπει να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρξει μεγάλη ζήτηση
2. Αποθήκευση ενέργειας, για αποφυγή παραβίασης τεχνικών ελαχίστων στις θερμικές μονάδες παραγωγής
3. Η Οικονομική λειτουργία των ΣΗΕ. Η απότομη διακύμανση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, όπου βρίσκονται οι αιχμές φορτίου, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας μπορούν τώρα να καλυφθούν από την αποθηκευμένη ενέργεια ενός σταθμού παραγωγής. Ενώ, αν ενεργοποιηθεί ένας σταθμός αιχμής, η λειτουργία του κοστίζει πολύ.
4. Γίνεται εκμετάλλευση της διαφοράς κόστους παραγωγής, από τις συμβατικές μονάδες χωρίς αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων
5. Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών ισχύος και επιπλέον πρόοδος της έρευνας στις αποθηκευτικές διατάξεις

Τα συστήματα αποθήκευσης αναμένεται να συμβάλλουν στην απαραίτητη σύγκλιση παραγωγής και κατανάλωσης καθώς και στην επίτευξη αξιοπιστίας. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, αφού τώρα περιορίζεται η πιθανότητα μη επαρκούς ενέργειας τη στιγμή που θα ζητηθεί. Επιτρέποντας έτσι, τη δημιουργία περισσότερο μακροπρόθεσμων σχεδίων διαχείρισης, και αναβάλλοντας κάποιες επενδύσεις επέκτασης δικτύων ή συμφωνίες ανταλλαγής ισχύος. Οι παραπάνω λόγοι βοηθούν τους ερευνητές να εντάξουν στις ερευνητικές του προσπάθειες τον τομέα της ανάπτυξης, και της διάδοσης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

1. Κατασκευαστικά:

- Μείωση του μεγέθους και του βάρους των διατάξεων ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούνται σε περισσότερες εφαρμογές
- Μείωση των ενεργειακών απωλειών κατά τη φάση μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε άλλη μορφή, βελτιώνει την απόδοση της διαδικασίας αποθήκευσης και επανέγχυσης της ενέργειας στο δίκτυο
- Χρήση καινούριων υλικών για την κατασκευή αποθηκευτικών διατάξεων
- Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την χρήση διατάξεων λόγω ανακύκλωσή τους μετά το πέρας της διάρκειας ζωής τους
- Μείωση του κόστους εγκατάστασης και κατασκευής των διατάξεων
- Τη δημιουργία των μοντέλων πρόβλεψης διάρκειας ζωής και την κατανόηση μηχανισμών γήρανσης τους
- Αύξηση του χρόνου ζωής τους

2. Λειτουργία και ένταξη στο δίκτυο:

- Τη μοντελοποίηση της λειτουργίας των διατάξεων
- Η διαδικασία διαχείρισης των διατάξεων μεγιστοποιεί τα οφέλη για το δίκτυο
- Η συνεργασία διατάξεων στις μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σχηματίζουν Υβριδικά Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, σε απομακρυσμένες περιοχές του δικτύου

3. Ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο:

- Η αποτίμηση της αξίας που μπορεί να προσφέρει σε ένα δίκτυο τη χρήση περαιτέρω διάδοση των αποθηκευτικών διατάξεων
- Οι αλλαγές που απαιτούνται στο ρυθμιστικό πλαίσιο, προσφέρουν ικανοποιητικά έσοδα για την αποπληρωμή των επενδύσεων σε αποθηκευτικές διατάξεις, όπου ορίζονται οι όροι λειτουργίας των διατάξεων

4.2 Οι εφαρμογές των αποθηκευτικών διατάξεων σε ένα ΣΗΕ

Οι πιθανές εφαρμογές που μπορεί να έχουν οι αποθηκευτικές διατάξεις σε ένα ΣΗΕ συνοψίζονται πιο κάτω:

1. **Load Leveling**: είναι η αποθήκευση φθηνής πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από τις μονάδες βάσης, κατά τις περιόδους εκτός αιχμής και η χρήση της είναι σε περιόδους αιχμής φορτίου, αντί της χρήσης των ακριβών μονάδων. Η εφαρμογή της αφορά το στάδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
2. **Transmission Voltage:Regulation**: είναι η διατήρηση της τιμής της τάσης μεταφοράς, μέσα σε συγκεκριμένα προκαθορισμένα όρια διακύμανσης, σε δυο σημεία κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας και στα σημεία του φορτίου. Αφορά το στάδιο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
3. **Power Quality Improvement**: Διακρίνεται σε μικρή διάρκεια βελτίωσης ποιότητας ισχύος, σχετίζεται με τις αιχμές τάσεων, την εξομάλυνση βυθίσεων τάσεως και των διακοπών ρεύματος για χρονικό διάστημα από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά, για απαιτήσεις ισχύος < 1MW. Ο χρόνο μερικών λεπτών και η μεγάλη διάρκεια βελτίωσης ποιότητας σχετίζεται με τις απαιτήσεις ισχύος >1MW για χρονική διάρκεια 1-2 ώρες.

4. **Spinning Reserve**: ονομάζεται διαφορετικά και στρεφόμενη εφεδρεία. Είναι η διατήρηση μέρους της παραγωγής ισχύος, από τις μονάδες και η παροχή της γίνεται σε έκτακτες χρονικές στιγμές. Η εφαρμογή απαιτεί αποθήκευση ισχύος της τάξης των 10-100MW για παροχή χρονικού διαστήματος < 30 λεπτών.
5. **Black-start error**: είναι η ικανότητα ενός εργοστασίου να τεθεί σε λειτουργία μετά από την πλήρη αποκοπή του από το δίκτυο λόγω κάποιου σφάλματος. Αυτό συμβαίνει, λόγω του ότι μερικές μονάδες παραγωγής (π.χ. πυρηνικές μονάδες) απαιτούν μια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για να μπουν ξανά σε λειτουργία μετά από ένα σφάλμα. Η απαιτούμενη ενέργεια επανεκκίνησή της θα δίνεται από την αποθηκευόμενη.
6. **Transmission&Distribution System Stability**: Αφορά την διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος μεταφοράς, διανομής και την αποτροπή της κατάρρευσής του, όλα τα στοιχεία της γραμμής διατηρούνται συγχρονισμένα μεταξύ τους. Η εφαρμογή αυτή απαιτεί ισχύ >100MW για χρονική διάρκεια μερικών δευτερολέπτων.
7. **Transmissions Facility Deferral**: είναι η ικανότητα μιας μονάδας να αναβάλει την εγκατάσταση νέων γραμμών μεταφοράς και μετασχηματιστών, τροφοδοτώντας τις υπάρχουσες μονάδες από άλλες πηγές.
8. **Frequency Control**: είναι η διατήρηση της συχνότητας στην τιμή 50 ή 60 Hz.
9. **Generation Capacity Deferral**: είναι η ικανότητα μιας μονάδας να αναβάλει την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τροφοδοτώντας τις με άλλες πηγές. Η εφαρμογή απαιτεί 10-100MW για 2-4 ώρες.
10. **Distribution Facility Deferral**: είναι η ικανότητα μιας μονάδας να αναβάλει την εγκατάσταση νέων γραμμών διανομής και μετασχηματιστών, τροφοδοτώντας τις υπάρχουσες μονάδες από άλλες πηγές. Η εφαρμογή απαιτεί περίπου 1MW για 1-3 ώρες.
11. Η χρήση αποθηκευμένης ενέργειας της ζήτησης γίνεται για εξάλειψης της ικανότητας παράγωγης των διαθέσιμων μονάδων
12. Θα γίνεται απόσβεση ταλαντώσεων της σύγχρονης γεννήτριας μετά από σφάλμα
13. Ο περιορισμός απωλειών δικτύου θα γίνεται λόγω της παροχής ισχύος που βρίσκεται σε πολύ τοπικό επίπεδο.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι χρονικοί ορίζοντες των αποθηκευτικών διατάξεων ανάλογα με την εφαρμογή τους χωρίζονται σε:

1. **Διατάξεις Βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης**: Οι διατάξεις αποθήκευσης μπορούν να προσφέρουν ή να απορροφήσουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα για λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά. Οι τυπικές εφαρμογές του είναι η αδιάλειπτη παροχή ισχύος και η ευστάθεια λειτουργίας ενός ΣΗΕ.
2. **Διατάξεις Μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης**: Αυτό το είδος αφορά διατάξεις που χρησιμοποιούνται για χρονικούς ορίζοντες από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες. Οι εφαρμογές του είναι η διαχείριση ενέργειας από μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η ενίσχυση της παροχής στρεφόμενης εφεδρείας και η διαχείριση παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές.
3. **Διατάξεις Μακροπρόθεσμης αποθήκευσης**: Οι διατάξεις αποθήκευσης χρησιμοποιούνται από αρκετές ώρες μέχρι βδομάδα και μήνες. Κυρίως όμως, χρησιμοποιούνται για την

εξομάλυνση της ζήτησης μεταξύ ωρών αιχμής και μη αιχμής ή την ικανοποίηση ζήτησης αιχμής έχοντας αποθηκεύσει ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.

4.3 Συνοπτική περιγραφή των μεθόδων αποθήκευσης

Η ηλεκτρική ενέργεια στις περισσότερες περιπτώσεις δεν μπορεί να αποθηκευτεί ως έχει, με αποτέλεσμα να μετατρέπεται σε άλλη μορφής ενέργειας, η οποία είναι πιο εύκολο να αποθηκευτεί και να μετατραπεί πάλι πίσω σε ηλεκτρική ενέργεια με τις αντίστοιχες απώλειες μετατροπής. Το 'ξ' συμβολίζει την κυκλική απόδοση αυτής της διαδικασίας. Για να έχουμε οικονομικά βιώσιμη αποθήκευση ενέργειας, αγνοώντας το κόστος εγκατάστασής της, χρειάζεται να γίνει ικανοποίηση της εξίσωσής οπου είναι η αναγκαία συνθήκη:

Εξίσωση 4.1: Κυκλική απόδοση μετατροπής ενέργειας από μια μορφή σε άλλη

$$\xi > \frac{C_{ost-high}}{C_{ost-low}}$$

** Cost low είναι το κόστος για την αποθήκευση ενέργειας και
Cost high είναι το όφελος από την χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας

Το κύριο όφελος από την αποθήκευση ενέργειας, είναι η αποπληρωμή σε χρονικό διάστημα της επένδυσης για την προμήθεια και την συντήρηση της αποθηκευμένης διάταξης. Υπάρχουν διάφορα μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική, μαγνητική ή δυναμική ενέργεια και στη συνέχεια γίνεται η μετατροπή της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις διάφορες μορφές ενέργειας από τις οποίες μπορεί να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να αποθηκευτεί καθώς και χαρακτηριστικά παραδείγματα διάταξης για κάθε μορφή μετατροπής.

Πίνακας 4.1: Μορφές ενέργειας και χαρακτηριστικά παραδείγματα διάταξης για κάθε μορφή μετατροπής.

Μορφή μετατροπής	Αντιπροσωπευτική διάταξη
Ηλεκτρική	Πυκνωτές και υπερπυκνωτές
Χρήση μηχανικής ενέργειας (περιστροφή ή δυναμική)	Αντλιοσταμείωση(PHS)
	Σύστημα με Συμπιεσμένο αέρα (CAES)
	Στρεφόμενοι Σφόνδυλοι (Flywheels)
Μαγνητική	Υπεραγώγιμα πηνία – Superconducting Magnetic Energy Storage systems (SMES)
Χημικές μέθοδοι	Μπαταρίες, μπαταρίες ροής, προχωρημένοι τύπου μπαταρίες (BESS)

Ανάλογα με την εφαρμογή της ενέργειας, χρειάζεται μια αποθηκευτική διάταξη με κατάλληλες ιδιότητες. Προκειμένου να αποφασιστεί ποιο αποθηκευτικό μέσο είναι κατάλληλο για κάθε περίπτωση εφαρμογής, χρειάζεται να εξεταστεί μια ευρεία γκάμα αποθηκευτικών διατάξεων. Ο

πίνακας 2 παρουσιάζει συνοπτικά την καταλληλότητα των αποθηκευτικών διατάξεων, ανάλογα με το ποια εφαρμογή ισχύος και ενέργειας έχουν και ποια είναι η συνηθισμένη τους εφαρμογή.

Πίνακας 4.2: Σύνοψη εφαρμογών και πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων αποθηκευτικών διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας

Αποθηκευτική Διάταξη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογές Ισχύος	Εφαρμογές Ενέργειας	Συνήθης εφαρμογή
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος – ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	/		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών
Μόλυβδου οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένο κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση		–	Εξομάλυνση αιχμών
Ni–Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, απόδοση			/	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Li – ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενεργείας, υψηλή απόδοση	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης		–	Κινητή τηλεφωνία, υποσταθμοί ενέργειας
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλής απόδοσης	Κόστος παραγωγής μετρά ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)			Εξομάλυνση ζήτησης ωρών-λεπτών
Σφόνδυλοι (flywheels)	Υψηλής ισχύος	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας		–	Εξομάλυνση ισχύος για λίγα λεπτά
SMES (Υπεραγωγίμη Μαγνητική Αποθήκευση)	Υψηλής ισχύος	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής			Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
E.C. Capacitors	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλής απόδοσης	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας		/	Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
Αντλιοσταμείωση (pumped storage)	Υψηλής χωρητικότητας, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία			Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο

					χρονικό διάστημα
Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου αέρα CAES	Υψηλής χωρητικότητας, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία για τις χρησιμοποιούμενες			Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα

***Υπόμνημα:**

| : πλήρως κατάλληλο και λογικό

/ : λογικό για αυτή την εφαρμογή

_ : εφικτό αλλά όχι αρκετά πρακτικό ή οικονομικό

Κανένα σύμβολο : μη εφικτό ή μη οικονομικό

4.3.1 Συστήματα αποθήκευσης με μπαταρίες

Το 1/3 του πληθυσμού της γης, ακόμη δεν είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μπαταρία παραμένει ο βασικός φορέας ενεργειακής αποθήκευσης. Οι μπαταρίες είναι μια από τις πιο οικονομικές, διαθέσιμες, αποδοτικές και ώριμες τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, οι μπαταρίες βασίζονται στην αποθήκευση της ενέργειας με ηλεκτροχημικό τρόπο. Ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από μπαταρίες σε σειρές χαμηλής τάσης-ισχύος κυττάρων, συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα για να πετύχουν τα επιθυμητά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Οι μπαταρίες "φορτίζονται", όταν υφίστανται μια εξωτερική χημική αντίδραση υπό την επίδραση μιας διαφοράς δυναμικού στους ακροδέκτες τους. Αποδίδονται σε αποθηκευμένη ενέργεια, ή αλλιώς εκφορτίζονται, όταν αντιστραφεί η χημική αυτή αντίδραση. Λόγω του ότι οι μπαταρίες διατηρούν μια dc διαφορά δυναμικού στα άκρα τους, είναι αναγκαία η μετατροπή της σε ac, προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3.2 Συστήματα αποθήκευσης με υπέρ-πυκνωτές

Οι μονάδες υπέρ-πυκνωτών, έχουν χωρητικότητα ισχύος και ενέργειας χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών, οι οποίοι είναι ικανοί να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW. Η ενέργειά τους είναι εφικτό να διοχετευτεί από κλάσματα του δευτερολέπτου έως και ένα λεπτό. Η λειτουργία των διατάξεων υπεραγωγίων πηνίων, στηρίζεται από την χρήση των υπεραγωγίων υλικών γι' αυτό και απαιτούν σημαντικές ποσότητες ψύξης.

Οι διατάξεις αυτές, μπορούν να διαθέσουν έως και 2MW μέσα σε λίγους κύκλους του εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι δύο τύπου διατάξεις, αποτελούν μια αποτελεσματική λύση σε παροχή ποιότητας ισχύος στα δίκτυα διανομής, ειδικά αυτές των υπεραγωγίων πηνίων. Υπάρχουν εταιρίες στις Η.Π.Α. οι οποίες διαθέτουν τέτοιου είδους μεταφερόμενες μονάδες σε containers για την εφαρμογή τους σε διάφορες περιοχές του δικτύου.

4.3.3 Συστήματα αποθήκευσης με υπεραγώγιμα πηνία

Τα χαρακτηριστικά της διάταξης των υπεραγώγιμων πηνίων, είναι καθορισμένα ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και να οδηγούν τον ηλεκτρισμό. Αυτή η διαδικασία γίνεται σχεδόν χωρίς απώλειες, σε συστήματα ειδικά σχεδιασμένα ώστε να ‘εγκλωβίζουν’ αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Πρόσφατες παρουσιάσεις εφαρμογών διανομής ενέργειας που έγιναν στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη, δείχνουν ότι τα υπεραγώγιμα πηνία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές, ειδικά όταν υπάρχει ήδη κατάλληλη υποδομή ψύξης. Τα πρώιμα υπεραγώγιμα υλικά για να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά, χρειάζονται κρυογόνο ψύξη η όποια έχει μεγάλο κόστος.

Τον τελευταίο καιρό εμφανίστηκαν High Temperature Superconductors, HTS (υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγοί) οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες, σύμφωνες με τη βιομηχανικά τυποποιημένη ψύξη υγρού αζώτου, περισσότερο συμφέρουσα από την κρυογόνο ψύξη. Αυτό το γεγονός ώθησε αρκετές αμερικανικές επιχειρήσεις να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο υπεραγώγιμα καλώδια και ταινίες.

4.3.4 Στρεφόμενες μάζες –Σφόνδυλοι

Οι στρεφόμενες μάζες ή σφόνδυλοι (flywheels), έχουν εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα. Οι σφόνδυλοι, εφαρμόζονται κυρίως για την παροχή εφεδρείας και όχι τόσο για την παροχή ενέργειας. Η ενέργεια που αποθηκεύεται, μετατρέπεται ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια όταν είναι σε σύνδεση με την γεννήτρια, και αυτή με την σειρά της με μια στρεφόμενη μάζα που περιστρέφεται.

Η κινητική ενέργεια μιας μάζας που περιστρέφεται, είναι ανάλογη της ροπής αδράνειας και του τετραγώνου της γωνιακής ταχύτητας:

Εξίσωση 4.2: Κινητική Ενέργεια μιας περιστρεφόμενης μάζας

$$E_k = \frac{1}{2} * I * \omega^2$$

E_k =Κινητική ενέργεια,

I =Ροπή αδράνειας μάζας στροφέα

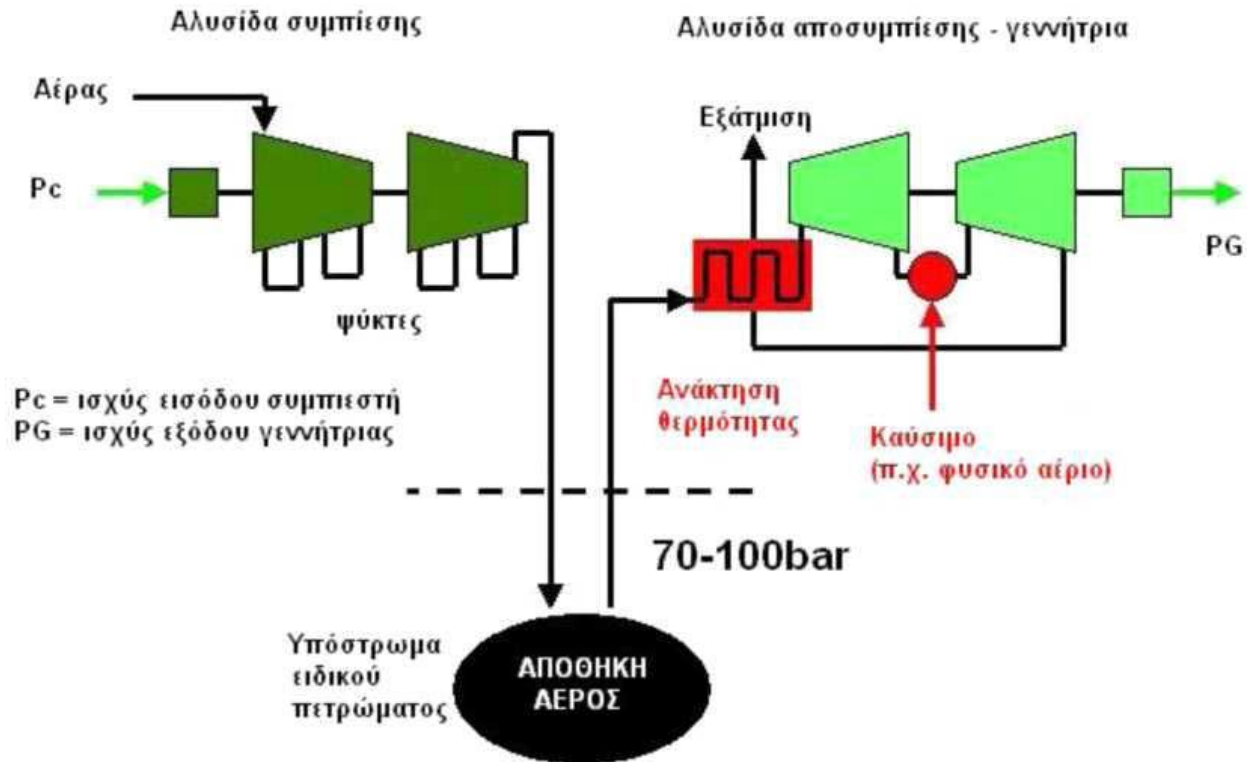
ω =Γωνιακή ταχύτητα του στροφέα

Στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών, η έμφαση έχει μετατοπιστεί από το σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας, στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες. Ταχύτητες μέχρι 40.000 rpm έχουν ήδη επιτευχθεί, ενώ μέχρι 60.000 rpm προβλέπονται για τις μελλοντικές γενιές. Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων, κυμαίνεται μεταξύ λίγων δευτερολέπτων μέχρι 15-30 λεπτών, σε εφαρμογές ισχύος παρά ενέργειας. Τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία, και η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει ως το 80-90% χωρίς ιδιαίτερη πτώση της με το χρόνο ζωής τους, ο οποίος φτάνει τα 15-20 χρόνια. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν μικρό κόστος συντήρησης και εγκατάστασης.

4.3.5 Συστήματα αποθήκευσης με συμπιεσμένο αέρα(CAES)

Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 ως 1600psi σε ειδικές γεωλογικές δομές, και αφού αποσυμπιεστεί μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό κινώντας έναν αεριοστρόβιλο. Η συμπίεση του αέρα, μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια κοιλάδων φορτίου και αποσυμπιέσει κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου. Λόγω της ιδιαίτερης γεωλογικής δομής που απαιτείται υπόστρωμα ορυκτού άλατος, μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως. Η μία εγκατάσταση βρίσκεται στο McIntosh, Alabama της Η.Π.Α με 110MW και η άλλη στη Γερμανία στο Huntorf με 290MW.

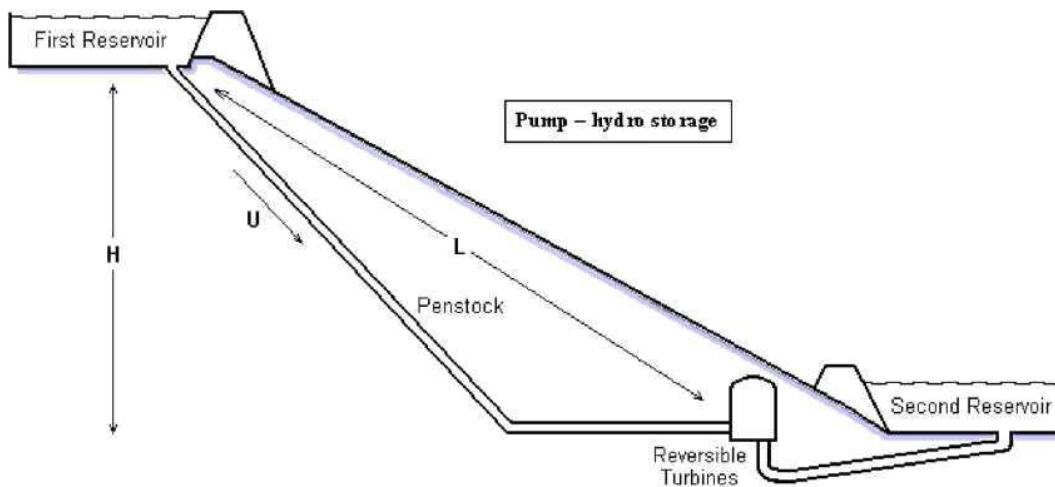
Η αρχή λειτουργίας του συστήματος παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές στο παρακάτω σχήμα. Η προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύος και της πιο ευέλικτης εφαρμογής τέτοιων διατάξεων με τη μορφή Transport table-CAES ή micro-CAES για την εκμετάλλευση αιολικής παραγωγής, ενώ οι νέες εγκαταστάσεις αυτής της μορφής είναι εγκατεστημένες στις Η.Π.Α.



Διάγραμμα 4.1: Λειτουργία μονάδας CAES

4.3.6 Αντλιοσταμείωση

Η χρήση μονάδων αντλιοσταμείωσης είναι η πιο διαδεδομένη ιδέα για τη μαζική αποθήκευση ενέργειας. Η γενική ιδέα της είναι ότι σε μία δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μία ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία δεύτερη χαμηλότερα τοποθετημένη δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστρόβιλου. Όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη ψηλότερη δεξαμενή. Αυτό το σύστημα αποτελείται από τα εξής μέρη: μία ανώτερη δεξαμενή-First Reservoir, αγωγοί νερού-Penstock, αντλία, υδροστρόβιλος, στρόβιλοι αντιστρέψιμης φοράς-Reversible Turbines και μία κατώτερη, δεύτερη δεξαμενή-Second Reservoir η οποία μπορεί να είναι ακόμη και η θάλασσα. Αναπαράσταση του συστήματος αντλιοσταμείωσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



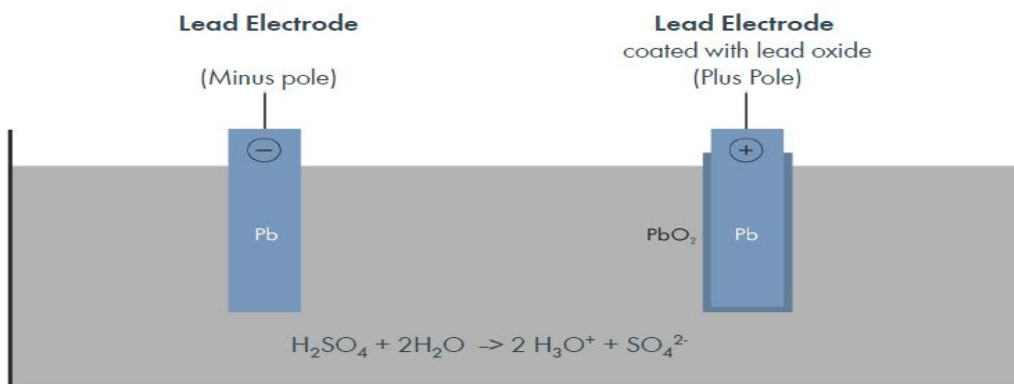
Διάγραμμα 4.2: Σύστημα αντλιοσταμείωσης

Η αντλιοσταμείωση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας σε χαμηλό κόστος ενώ δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια. Αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος εκκίνησης. Για αυτό χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από την αντλιοσταμείωση, παγκοσμίως.

5 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΟΞΕΟΣ

5.1 Γενικά

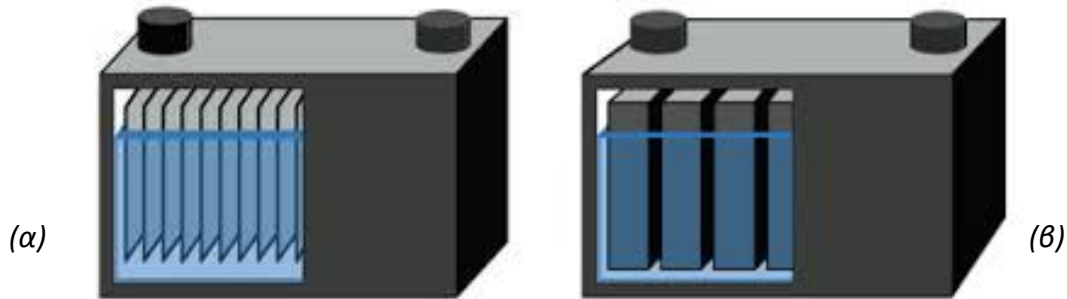
Ο πιο παλιός τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, εφευρέθηκε από τον Gaston Planté το 1859, ο οποίος ήταν φυσικός και καταγόταν από την Γαλλία. Αυτός ο τύπος μπαταρίας, δεν είναι άλλος από την μπαταρία μολύβδου οξέος που σύμφωνα με την αγγλική ορολογία, είναι η lead acid (L-A) battery, η οποία υπολογίζεται να βρίσκεται στο εμπόριο, πάνω από 1.000 χρόνια με σκοπό την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Εδώ και δεκαετίες, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος αποτελούν τον πιο περιζήτητο τρόπο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το χαρακτηριστικό που περιγράφει αυτές τις μπαταρίες, είναι η χρήση μολύβδου και στα δύο ηλεκτρόδια σαν ενεργό υλικό, εξ' αυτού και το χαρακτηριστικό που τις καθιστά τις πιο οικονομικές μπαταρίες σε σχέση με άλλα συστήματα αποθήκευσης, καθώς ικανοποιούν τις απαιτήσεις που θέτει ένα αυτόνομο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός του γεγονότος ότι, η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι η πιο οικονομική για οποιαδήποτε χρήση, έχει και την ικανότητα να φέρει εις πέρας τις αναμενόμενες απαιτήσεις κάθε χρήστη, αφού η απόδοση και τα χαρακτηριστικά της βρίσκονται σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα. Παρόλα αυτά, δεν παύουν να έχουν και οι μπαταρίες μολύβδου οξέος μειονεκτήματα. Ένα από τα σημαντικότερα λοιπόν μειονεκτήματα, είναι ότι έχουν χαμηλό ειδικό σταθμικό ενεργειακό περιεχόμενο (specific gravimetric energy content), κάτι που οφείλεται στο ψηλό μοριακό βάρος του μολύβδου. Αξιοσημείωτο δε είναι και το γεγονός ότι, η συγκεκριμένη παράμετρος δεν επηρεάζει τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μολονότι είναι σταθερή η μπαταρία που χρησιμοποιείται στο σύστημα [3]. Εξ' αυτού και ο λόγος που αποτέλεσαν οι μπαταρίες μολύβδου οξέος η πρώτη επιλογή για πολλά χρόνια για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτόνομα συστήματα, αφού όπως έχουμε προαναφέρει, μπορούν να δώσουν τα πιο επιθυμητά αποτελέσματα στους χρήστες. Εν κατακλείδι, όπως μας επιβεβαίωσε και ο Κ. Κυριάκος Γεωργίου σε μια από τις διαλέξεις του, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος, «lead acid» βαθιάς εκφόρτισης, αποτελούν σήμερα τη πιο διαδεδομένη μορφή συσσωρευτών στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς οι μπαταρίες εκκίνησης «starter» εκ κατασκευής δεν αποτελούνται κατάλληλες για να χρησιμοποιούνται στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. [24]



Διάγραμμα 5.1: Ηλεκτρόδιων μολύβδου αρνητικού και θετικού πόλου εκ των οποίο ο θετικός πόλος είναι καλυμμένο με μολύβδο οξέος. [24]

5.2 Όροι που περιγράφουν μια μπαταρία μολύβδου οξέος

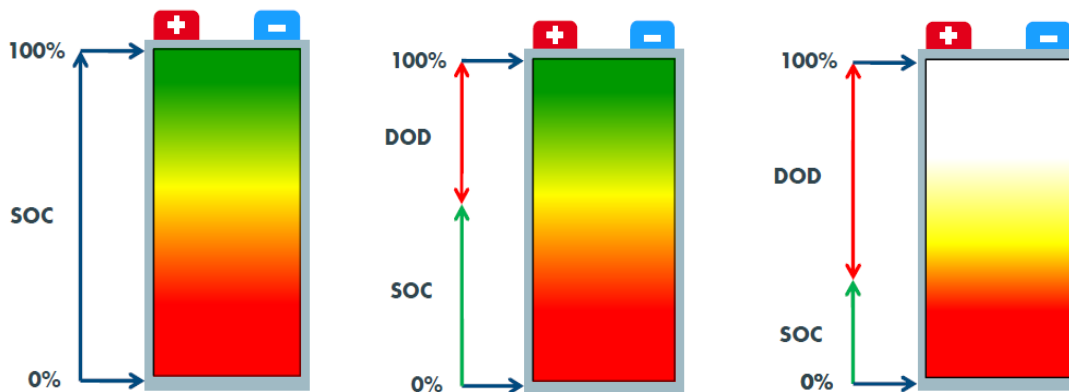
Όπως έχει αναφέρει στην παρουσίαση του ο Κ. Κυριάκος Γεωργίου, οι μπαταρίες εκκίνησης είναι κατασκευασμένες να δίνουν μεγάλα ρεύματα για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, ενώ οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης είναι κατασκευασμένες να δίνουν μικρότερα ρεύματα με έμφαση στους πολλούς κύκλους λειτουργίας. [24]



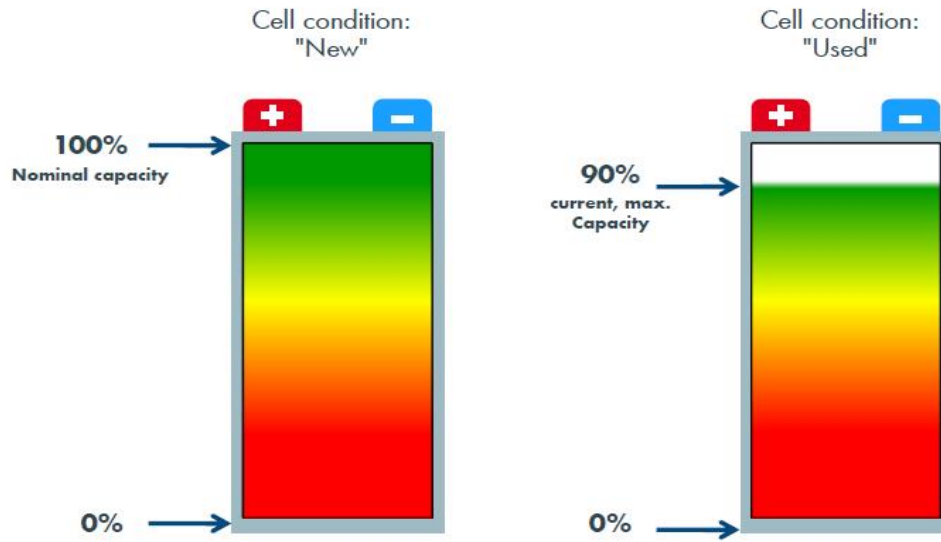
Διάγραμμα 5.2: (α) Μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης (β) Μπαταρία εκκίνησης [24]

Οι όροι που περιγράφουν μια μπαταρία είναι οι ακόλουθοι:

- Επίπεδο φόρτισης ή SOC «state of charge»
- Βάθος εκφόρτισης ή DOD «depth of discharge»
- Κατάσταση υγείας ή SOH «state of health»
- Αριθμοί κύκλων μπαταρίας ή «battery cycles.
- Χωρητικότητα ή C_n «battery capacity



Διάγραμμα 5.3: Όροι Μπαταρίας: SOC – DOD

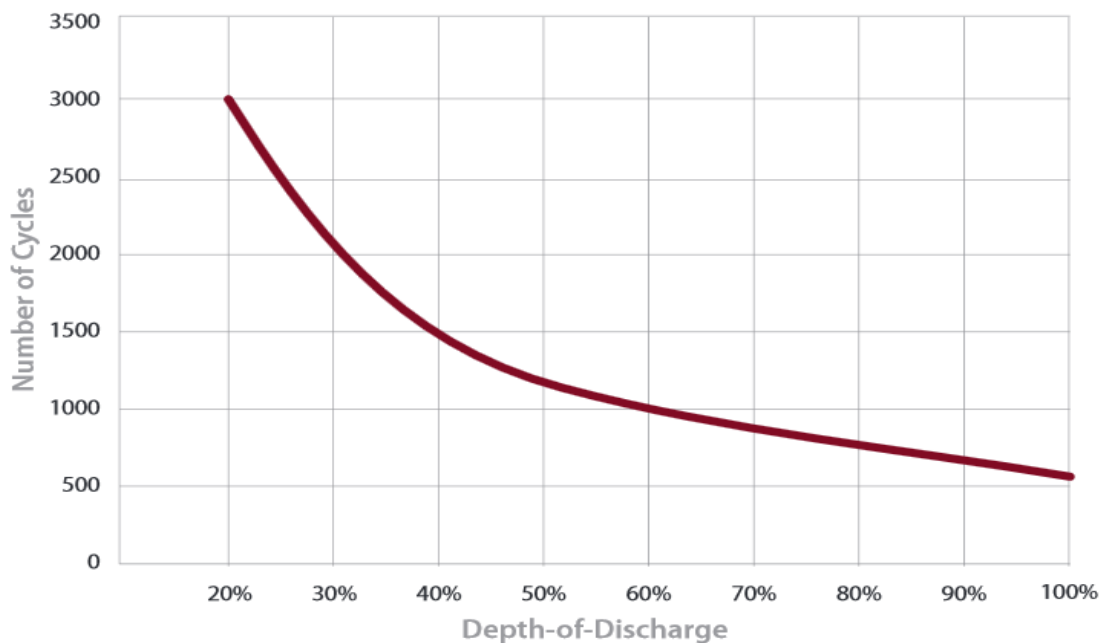


Διάγραμμα 5.4: Όροι Μπαταρίας: SOH

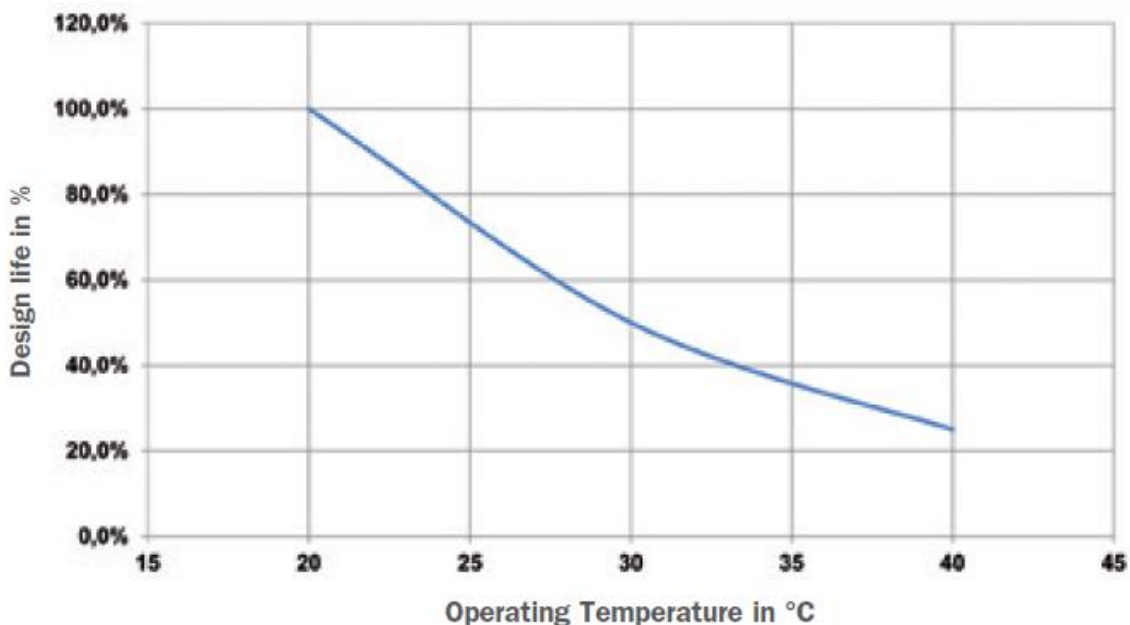
Εξίσωση 5.1 Υπολογισμός κατάστασης υγείας της μπαταρίας

$$SOH = \frac{Current\ max.\ capacity_{(used)}}{Nominal\ capacity_{(new)}}$$

TYPICAL CYCLE LIFE IN A STATIONARY APPLICATION

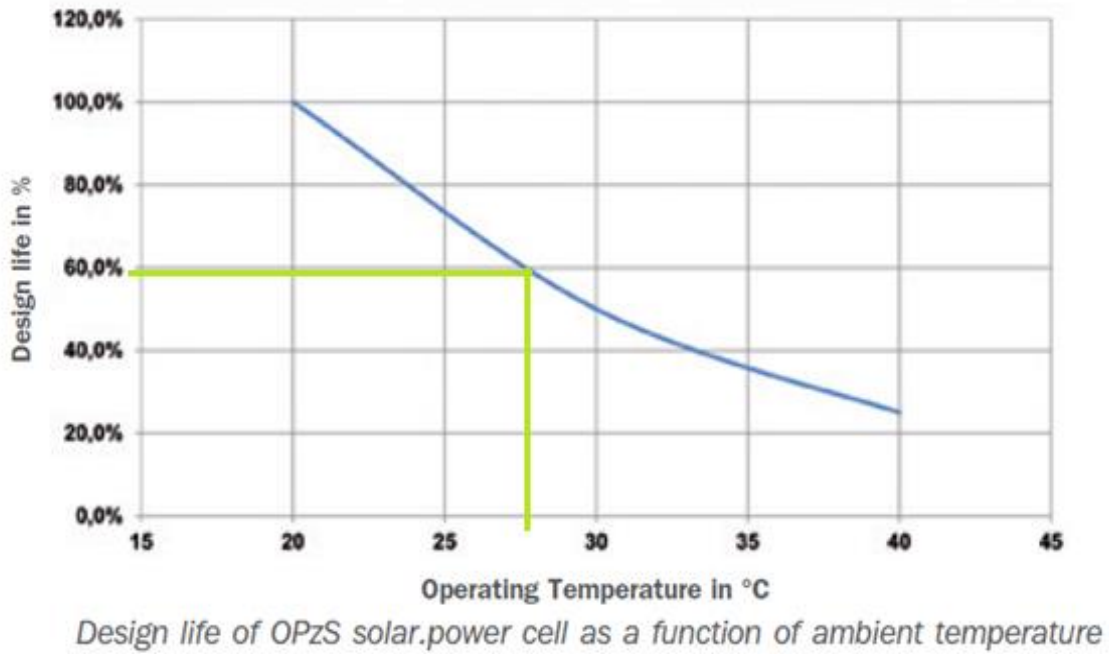


Γραφική 5.1: Κύκλοι μπαταρίας σε συνάρτηση με το βάθος εκφόρτισης



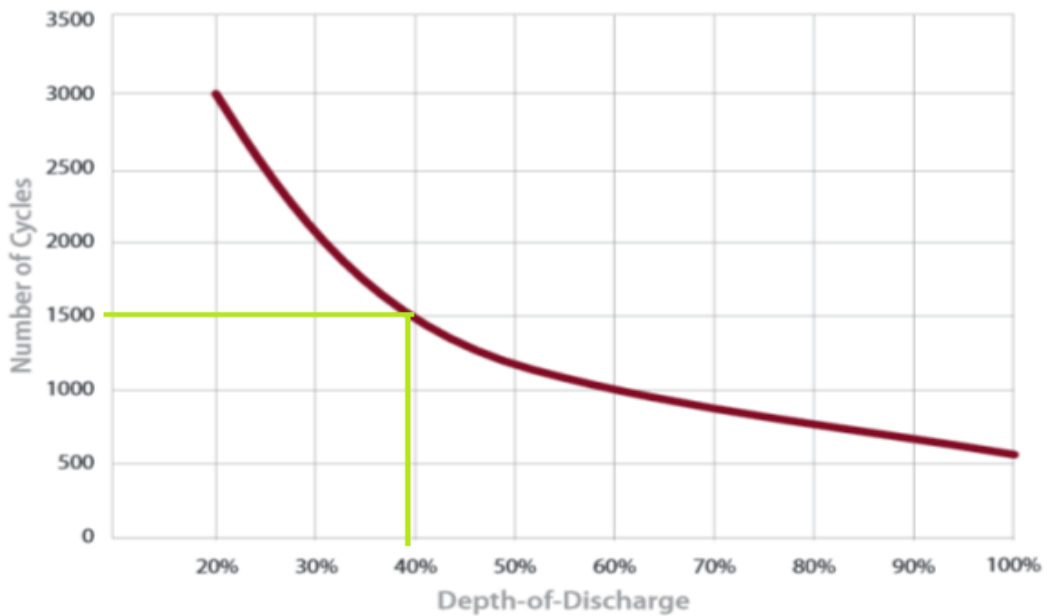
Design life of OPzS solar power cell as a function of ambient temperature

Γραφική 5.2: Διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος



Γραφική 5.3: Διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

TYPICAL CYCLE LIFE IN A STATIONARY APPLICATION



Γραφική 5.4: Κύκλοι μπαταρίας σε συνάρτηση με το βάθος εκφόρτισης

Εύλογα λοιπόν, μπορεί κανείς να πει ότι από τους 3.000 κύκλους που είναι δυνατόν να λειτουργεί μια μπαταρία, με βάθος εκφόρτισης 20% και θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 βαθμούς κελσίου, μπορεί να πέσει η απόδοση της παρατηρώντας τους κύκλους να μειώνονται στους 900 με βάθος εκφόρτισης 40% και θερμοκρασία περιβάλλοντος 28 βαθμούς κελσίου.

Χωρητικότητα C

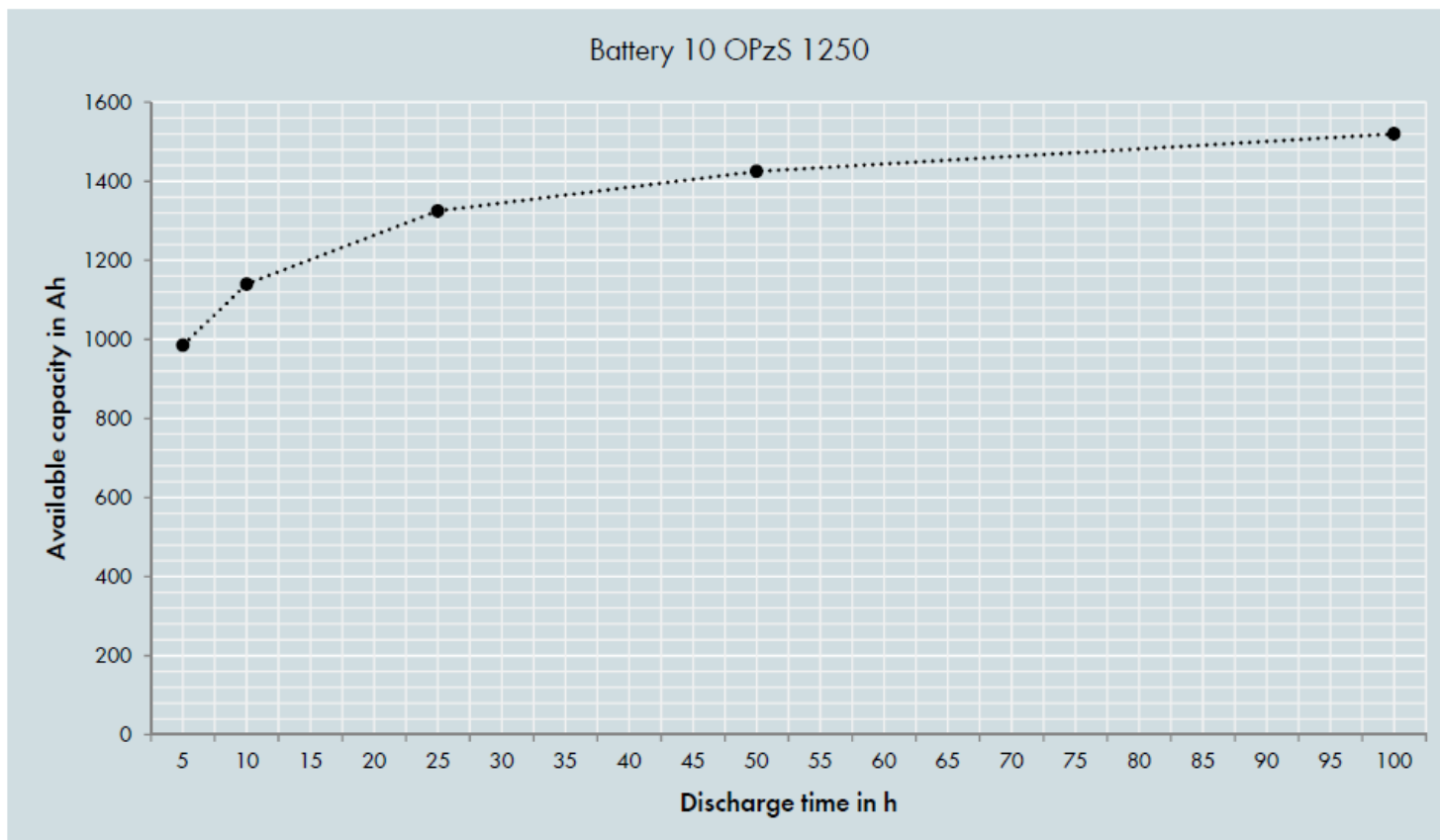
Η τιμή της χωρητικότητας C_n είναι μια μεταβλητή αφού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και το ρεύμα εκφόρτισης I_n .

Εξίσωση 5.2: Υπολογισμός Χωρητικότητας C_n

$$C_n = I_n * t_n$$

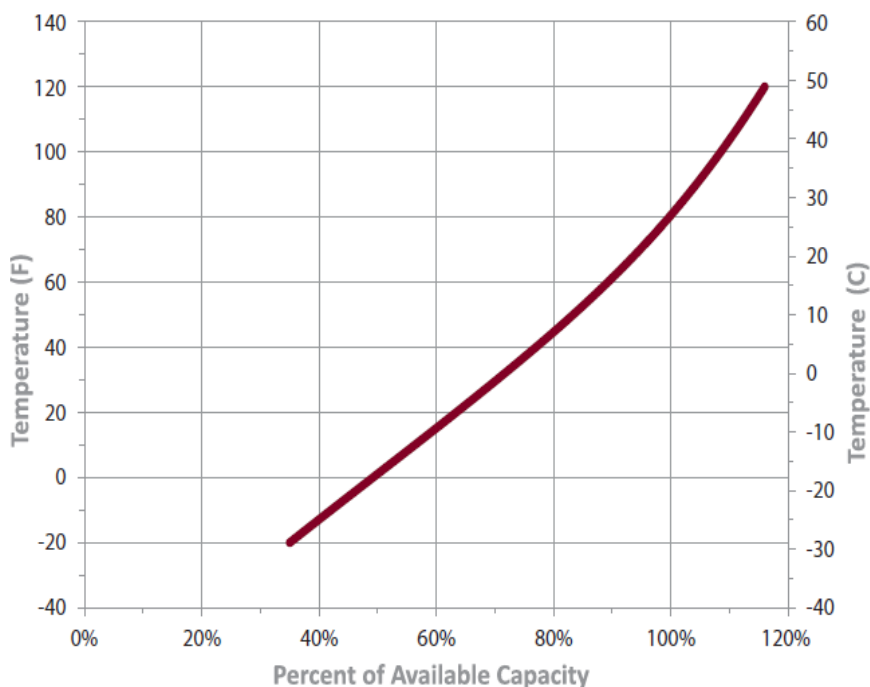
Όπου:

- C_n : Nominal Capacity
- I_n : Constant discharge current
- t_n : Discharge time



Γραφική 5.5: Χωρητικότητα C σε συνάρτηση με το χρόνο εκφόρτισης ανά ώρα

PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE



Γραφική 5.6: Θερμοκρασία σε συνάρτηση με τη χωρητικότητα C

5.3 Η χημεία των μπαταριών μολύβδου οξέος

Ένα θετικό ηλεκτρόδιο με διοξείδιο μολύβδου (PbO_2) σαν ενεργό υλικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο, όπου το ενεργό υλικό είναι σπογγώδης μολύβδος (Pb) μεγάλης επιφάνειας, αποτελούν την κατάσταση φόρτισης μιας μπαταρίας μολύβδου οξέος.

Περιέχεται πλέγμα στήριξης και στα δύο ηλεκτρόδια, το οποίο κατασκευάζεται από σκληρά κράματα μολύβδου, όπως παρουσιάζονται στο πιο κάτω πίνακα (πίνακα 5.1) οι χημικές και φυσικές ιδιότητες αυτών των υλικών.

Πίνακας 5.1: Χημικές και φυσικές ιδιότητες μολύβδου και οξειδίων του μολύβδου

Ιδιότητα	Μόλυβδος	$\alpha\text{-PbO}_2$	$\beta\text{-PbO}_2$
Μοριακό βάρος σε g/mol	207.2	239.19	239.19
Σύνθεση		$\text{PbO}_{:1.94-2.03}$	$\text{PbO}_{:1.87-2.03}$
Κρυσταλλική Δομή	Ενδοκεντρωμένη κυβική	Ρομβική (columbite)	Τετραγωνική (rutile)
Παράμετροι Πλέγματος nm	$\alpha=0.4949$	$a = 0.4977$ $b = 0.5948$ $c = 0.5444$	$a = 0.491-0.497$ $c = 0.337-0.340$
Πυκνότητα Ακτινών X g/cm ³	11.34	9.80	~9.80

Πρακτική Πυκνότητα στους 20 °C (εξαρτάται από καθαρότητα) g/cm ³	11.34	9.1-9.4	9.1-9.4
Θερμοχωρητικότητα cal/deg-mol	6.80	14.87	14.87
Ειδική θερμότητα cal/g	0.0306	0.062	0.062
Ηλεκτρική Αντίσταση στους 20 °C μΩ/cm	20	~100 * 10 ³	
Ηλεκτροχημικό δυναμικό σε 4.4M H ₂ SO ₄ σε 31.8 °C , V	0.356	~1.709	~1.692
Σημείο Τήξης σε °C	327.4		

Αναμενόμενο είναι να έχουμε α-PbO₂ ορθορομβικό και β-PbO₂ τετράγωνο, σ' ένα θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, όπου η σχέση μεταξύ αυτών των 2 στοιχείων είναι ότι το δυναμικό ισορροπίας του α-PbO₂ είναι κατά 0.01V πιο θετικό από το δυναμικό ισορροπίας του β-PbO₂. Επιπρόσθετα, μια άλλη διαφορά που έχουν μεταξύ τους αυτά τα δύο στοιχεία, είναι ότι ο τύπος α φέρεται να έχει μια πιο συμπαγής και μεγαλύτερη κρυστάλλινη μορφολογία, η οποία ηλεκτροχημικά είναι λιγότερη ενεργή και λιγότερη σε βαθμό χωρητικότητας ανά μονάδα βάρους.

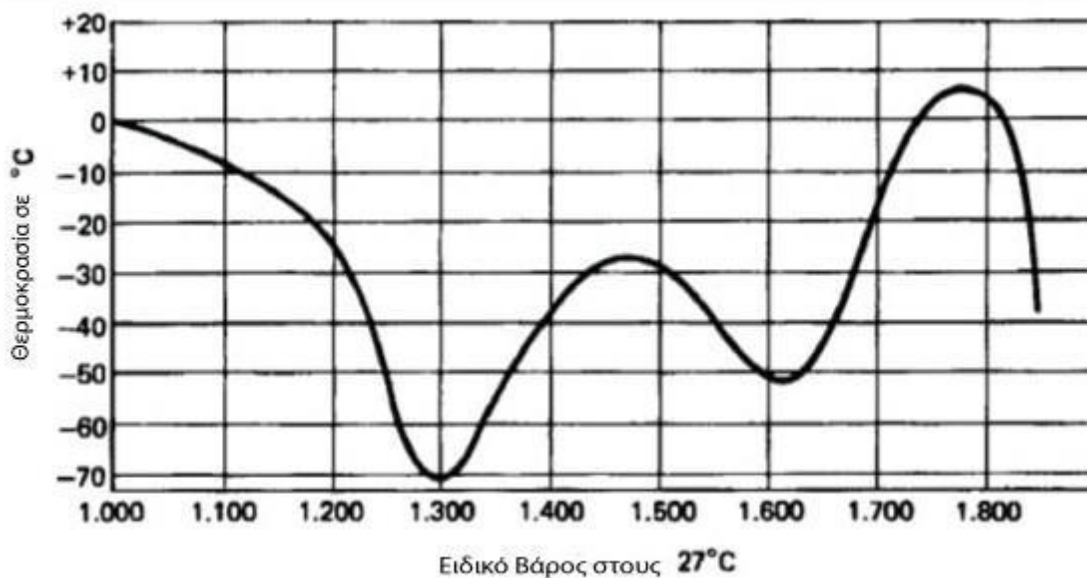
Εντούτοις, παρουσιάζεται να έχει πιο μεγάλο κύκλο ζωής, αφού ένας λόγος μπορούμε να πούμε ότι τοποθετείται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ένας διαχωριστής με απώτερο σκοπό την αποτροπή βραχυκυκλωμάτων μεταξύ των ηλεκτροδίων [9].

Επιπλέον, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για διάλυμα θεικού οξέος σε νερό, ως ηλεκτρολύτης με ποσοστά να υπολογίζονται περίπου στα 400-480 g/l και πυκνότητα 1.24-1.28 kg/l [10], με ιδιότητες και βασικά χαρακτηριστικά να βρίσκουν εφαρμογή στη λειτουργία της μπαταρίας μολύβδου οξέος, βλέπουμε πίνακα 5.2 [9].

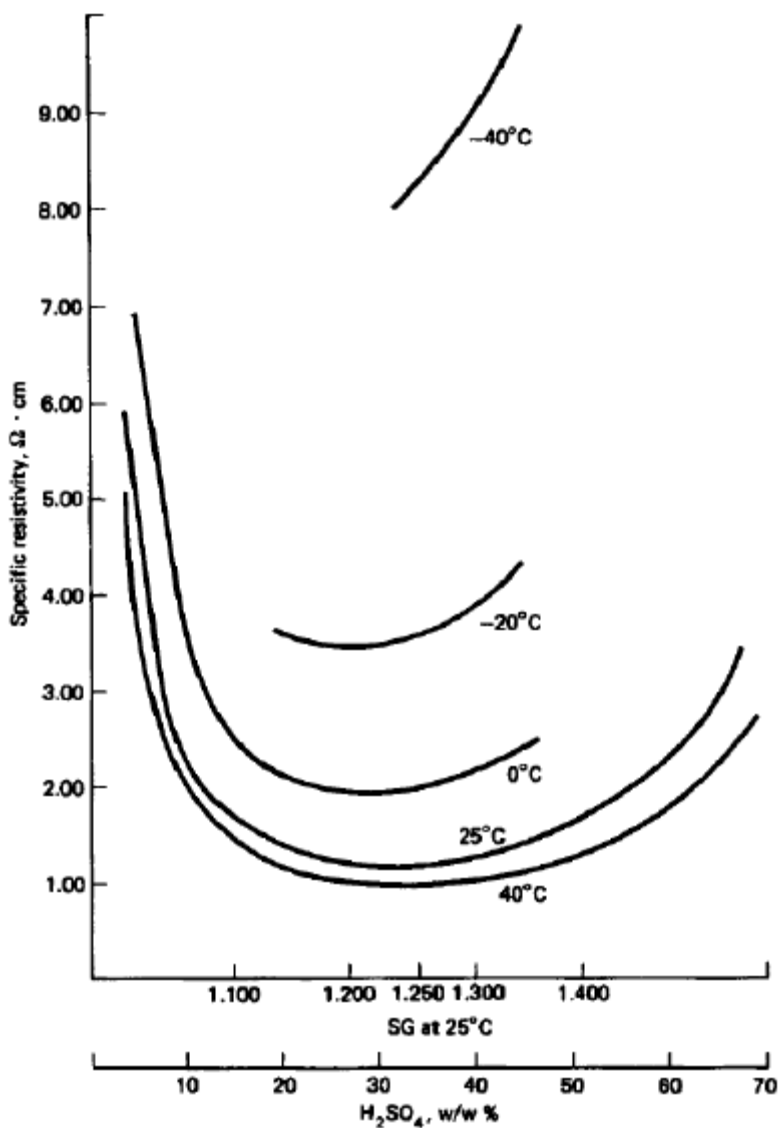
Πίνακας 5.2: Ιδιότητες διαλυμάτων θεικού οξέος

Ειδικό βάρος Στους 15°C	Στους 20 °C	Συντελεστής θερμοκρασίας A	H ₂ SO ₄			Σημείο ψύξης °C	Ηλεκτροχημικό ισοδύναμο (ανά λίτρο οξέος) Ah
			Wt., %	Vol., %	Mol/ L		
1.00	1.000	-	0	0	0	0	0
1.05	1.049	33	7.3	4.2	0.82	-3.3	22
1.10	1.097	48	14.3	8.5	1.65	-7.7	44
1.15	1.146	60	20.9	13.0	2.51	-15	67
1.20	1.196	68	27.2	17.7	3.39	-27	90
1.25	1.245	72	33.2	22.6	4.31	-52	115
1.30	1.295	75	39.1	27.6	5.26	-70	141
1.35	1.345	77	44.7	32.8	6.23	-49	167
1.40	1.395	79	50.0	38.0	7.21	-36	
1.45	1.445	82	55.0	43.3	8.2	-29	
1.50	1.495	85	59.7	48.7	9.2	-29	

Ακολουθεί στη συνέχεια ένα διάγραμμα όπου εμφανίζονται τα σημεία ψύξης των διαλυμάτων θεικού οξέος σε διάφορες συγκεντρώσεις, βλέπουμε σχήμα 5.1. Παρατηρείται, ότι το σημείο ψύξης των υδατινών διαλυμάτων θεικού οξέος ποικίλει σημαντικά σε σχέση με τη συγκέντρωση. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει στο σχεδιασμό μιας μπαταρίας να λαμβάνεται υπόψη ότι η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη θα πρέπει να είναι πάνω από την τιμή στην οποία ο ηλεκτρολύτης θα πάγωνε κατά την έκθεση στο αναμενόμενο κρύο. Εφεδρικά, μπορεί η μπαταρία να θερμαίνεται ή να μονώνεται, με σκοπό η θερμοκρασία της μπαταρίας να παραμένει πάνω από τη θερμοκρασία ψύξης του ηλεκτρολύτη. Ακολουθεί ένα σχηματικό, βλέπουμε σχήμα 5.2, που μπορούμε να παρατηρήσουμε την ειδική αντίσταση διαλυμάτων θεικού οξέος για διάφορες τιμές ειδικού βάρους, σε σχέση με τη θερμοκρασία από -40°C ως 40°C .



Γραφική 5.7: Σημεία ψύξης διαλυμάτων θεικού οξέος σε διάφορες συγκεντρώσεις



Γραφική 5.8: Ειδική αντίσταση διαλυμάτων θεικού οξέος σε διάφορες τιμές ειδικού βάρους σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας

Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται και η εφαρμογή καθορίζουν ποιο ειδικό βάρος ηλεκτρολύτη είναι κατάλληλο για επιλογή, όπως μπορούμε να δούμε παρακάτω μερικά παραδείγματα, βλέπουμε πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη σε πλήρες φορτίο στους 25°C

Τύπος Μπαταρίας	Ειδικό Βάρος	
	Εύκρατα Κλίματα	Τροπικά Κλίματα
SLI	1.260-1.290	1.210-1.230
Heavy duty	1.260-1.290	1.210-1.240
Golf cart	1.260-1.290	1.240-1.260
Golf cart (electric vehicle)	1.275-1.325	1.240-1.275
Traction	1.275-1.325	1.240-1.275
Stationary	1.210-1.225	1.240-1.220
Diesel starting (raiload)	1.250	
Aircraft	1.260-1.285	1.260-1.285

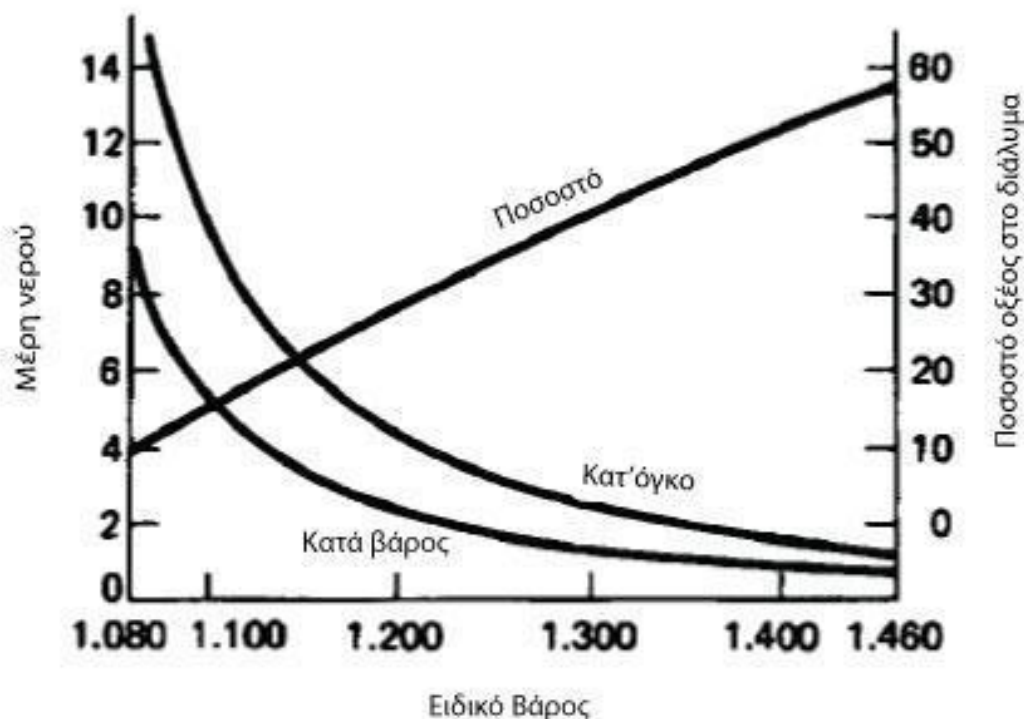
Για να έχουμε καλή ιοντική αγωγιμότητα και να πληρούνται οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, θα πρέπει να έχουμε αρκετά υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρολύτη, αλλά σε επίπεδα όχι αρκετά ψηλά που να προκαλούν διάβρωση σε διάφορα μέρη του στοιχείου και στη συνέχεια θα αύξανε την αυτοεκφόρτιση και τέλος θα μειώνει τη ζωή της μπαταρίας. Επίσης, είναι γεγονός ότι σε θερμά κλίματα, η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη μειώνεται σκόπιμα και κατά την εκφόρτιση, το ειδικό βάρος μειώνεται σε αναλογία με τις αμπερ – ώρες που εκφορτίζονται, βλέπουμε πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Ειδικό βάρος ηλεκτρολύτη μπαταριών μολύβδου οξέος σε διαφορετικές στάθμες φόρτισης για τους παρακάτω σχεδιασμούς: A-μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος, B-μπαταρία έλξης, C-μπαταρία SLI και D-σταθερή μπαταρία

Στάθμη Φόρτισης	Ειδικό Βάρος			
	A	B	C	D
100% (Πλήρης Φόρτιση)	1.330	1.280	1.265	1.225
75%	1.300	1.250	1.225	1.185
50%	1.270	1.220	1.190	1.150
25%	1.240	1.190	1.155	1.115
Εκφορτισμένη	1.210	1.160	1.120	1.0

Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα να πούμε ότι το ειδικό βάρος, είναι ένα μέσο για να ελέγχεται η στάθμη φόρτισης της μπαταρίας, όπως επίσης κατά τη φόρτιση, η αλλαγή στο ειδικό βάρος θα έπρεπε να είναι ανάλογη με τις αμπερ – ώρες με τις οποίες φορτίζεται το στοιχείο, όμως, υπάρχει μια καθυστέρηση, καθώς μέχρι να ξεκινήσει η αεριοποίηση προς το τέλος της φόρτισης, δεν πραγματοποιείται πλήρης ανάμειξη του ηλεκτρολύτη. Μετά από σύγκριση για τα δεδομένα όσο αφορά το σημείο ψύξης, παρατηρείται ότι, όταν είναι η μπαταρία είναι πλήρως εκφορτισμένη, ο τύπος A ψύχεται στους -30 °C, ενώ ο τύπος D ψύχεται γύρω στους -5 °C. Σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό της μπαταρίας και του περιβάλλοντος που θα

τοποθετηθεί. Συνηθίζεται σε εύκρατα κλίματα, στις περισσότερες μπαταρίες μολύβδου οξέος, η στάθμη οξέος να κυμαίνεται μεταξύ 1.26 και 1.28 ειδικό βάρος. Στη περίπτωση υψηλότερης συγκέντρωσης, ηλεκτρολύτες τείνουν να επιτίθενται σε κάποιους διαχωριστές ή άλλα μέρη του στοιχείου, ενώ χαμηλότερης συγκέντρωσης, ηλεκτρολύτες τείνουν να είναι ανεπαρκώς αγώγιμοι σε ένα μερικώς φορτισμένο στοιχείο και ψύχονται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το σχήμα 5.3 παριστάνει τη μέθοδο προετοιμασίας διαλυμάτων θεικού οξέος οποιουδήποτε ειδικού βάρους από πυκνό θεικό οξύ.

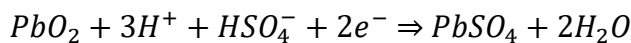


Γραφική 5.9: Προετοιμασία διαλυμάτων θεικού οξέος οποιουδήποτε ειδικού βάρους από πυκνό θεικό οξύ

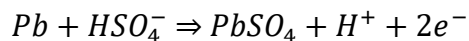
Οι παρακάτω αντιδράσεις περιγράφουν τις χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε ένα στοιχείο μολύβδου οξέος:

Εξίσωση 5.3 Χημικές Διεργασίες που γίνονται σ' ένα στοιχείο μολύβδου οξέος

Θετικό ηλεκτρόδιο



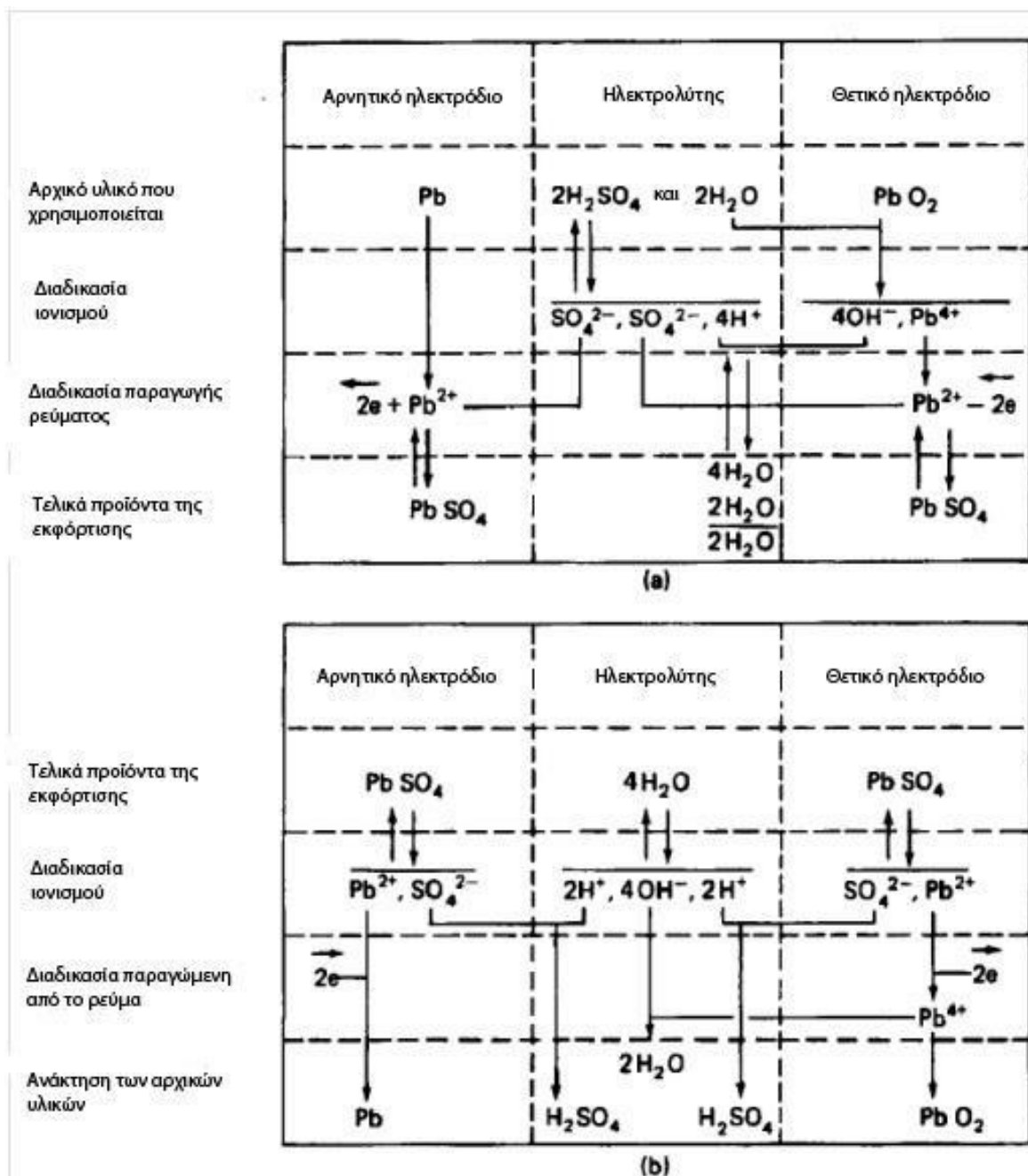
Αρνητικό ηλεκτρόδιο



Αντίδραση στοιχείου



Ο μόλυβδος και το διοξείδιο του μολύβδου, μετατρέπονται και τα δύο κατά την εκφόρτιση σε θειικό μόλυβδο (PbSO_4), όπως επίσης μπορούμε να πούμε ότι ο μηχανισμός φόρτισης – εκφόρτισης, που δεν είναι άλλος από την αντίδραση διπλής θείωσης (double sulphate reaction), βλέπουμε γραφικά στο σχήμα 5.4.



Διάγραμμα 5.5: Αντιδράσεις εκφόρτισης και φόρτισης του κυττάρου μολύβδου οξέος: (α) Αντιδράσεις εκφόρτισης, (β) Αντιδράσεις φόρτισης

5.4 Τύποι μπαταριών μολύβδου οξέος

Κάθε τύπος μπαταρίας μολύβδου οξέος βρίσκει διαφορετική εφαρμογή. Στην αγορά υπάρχουν και κάποιοι ελαφρώς τροποποιημένοι «ηλιακοί τύποι μπαταριών», παρόλο που δεν είναι αρκετά μεγάλη η αγορά των φωτοβολταϊκών στις μέρες μας έτσι ώστε να αιτιολογεί τη κατασκευή ενός εντελώς διαφορετικού σχεδιασμού μπαταρίας μολύβδου οξέος απ' αυτούς που κατασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες για άλλες χρήσεις. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε μπαταρίες ανοικτού τύπου ή πλημμυρισμένες «Flooded Lead Acid» και σε μπαταρίες κλειστού τύπου, ρυθμιζόμενες από βαλβίδα «Valve Regulated Lead Acid».

(α)



(β)



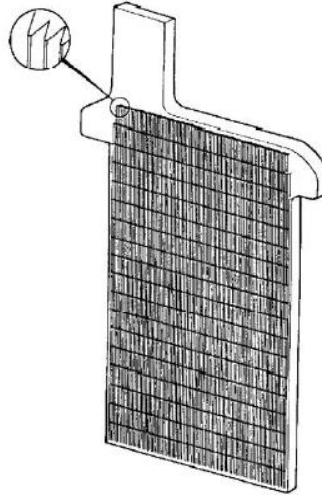
Διάγραμμα 5.6: (α) Μπαταρία ανοικτού τύπου και (β) Μπαταρία κλειστού τύπου

Επίσης υπάρχουν και οι μπαταρίες μαζικής παραγωγής ή βιομηχανικού τύπου. Για το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, υπάρχει μεγάλη ποικιλία μπαταριών μολύβδου οξέος όπου η επιλογή γίνεται ως συνήθως σύμφωνα με το κόστος και το προσδόκιμο ζωής της μπαταρίας. Οι διαφορές μεταξύ των διάφορων τύπων των μπαταριών βρίσκεται στο τρόπο κατασκευής τους [10]. Όπως μπορούμε να δούμε πιο κάτω αναλυτικά:

Τύπος ηλεκτροδίων:

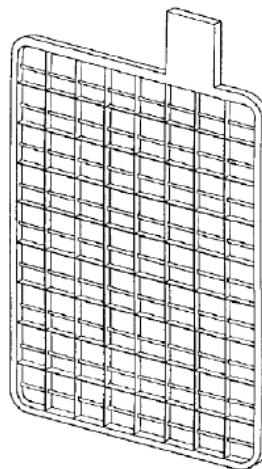
Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιείται ένας από τους πιο κάτω τύπους ηλεκτροδίων για τις μπαταριών μολύβδου οξέος [12]:

- Η απλούστερη μέθοδος για την κατασκευή των ηλεκτροδίων των μπαταριών μολύβδου οξέος είναι τα ηλεκτρόδια planté, τα οποία παίρνουν το όνομα τους από τον εφευρέτη της μπαταρίας μολύβδου οξέος. Ένα ηλεκτρόδιο planté, είναι απλώς μια επίπεδη πλάκα που αποτελείται από καθαρό μόλυβδο. Εφόσον η χωρητικότητα μιας μπαταρίας μολύβδου οξέος είναι ανάλογη της επιφάνειας των ηλεκτροδίων που είναι εκτεθειμένη στον ηλεκτρολύτη, διάφορα συστήματα χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την επιφάνεια των ηλεκτροδίων ανά μονάδα όγκου ή βάρους. Οι πλάκες planté έχουν αυλάκια ή είναι διάτρητες για να αυξήσουν τη συνολική επιφάνειά τους. Μια τυπική πλάκα planté φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (5.5).



Διάγραμμα 5.7: Τυπική πλάκα planté

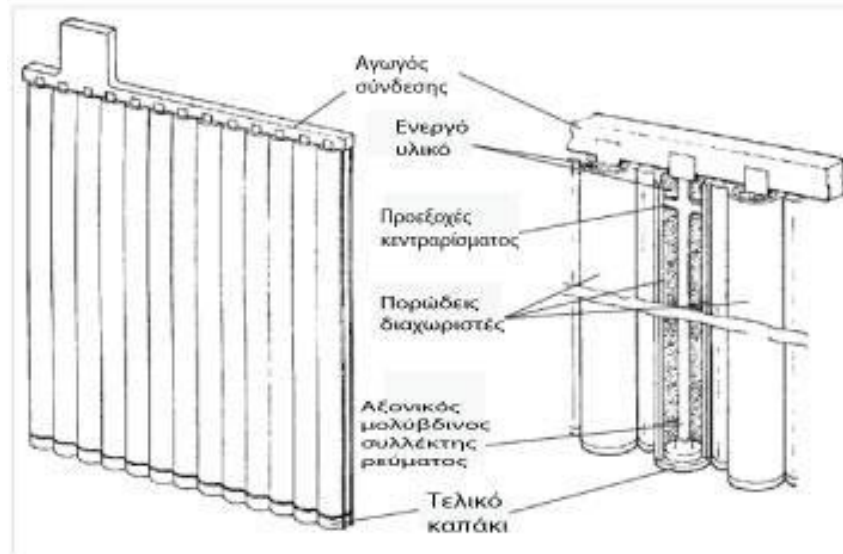
- Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για να αυξηθεί η επιφάνεια είναι να μετατραπεί το ενεργό υλικό σε μια κόλλα που ενεργεί σαν σφουγγάρι εκεί που ο ηλεκτρολύτης γεμίζει όλους τους πόρους. Η κόλλα, ή το ενεργό υλικό, τοποθετείται σε ένα πλαίσιο ή πλέγμα που το υποστηρίζει μηχανικά και χρησιμεύει ως ο ηλεκτρικός αγωγός που μεταφέρει το ρεύμα τόσο κατά την φόρτιση όσο και κατά την εκφόρτιση. Ο πιο συνήθης σχεδιασμός ηλεκτροδίου στην μπαταρία μολύβδου οξέος σήμερα είναι αυτός της επικολλημένης πλάκας, επίσης γνωστή ως επίπεδη πλάκα (pasted flat plate). Η δομή του πλέγματος μοιάζει με κηρήθρα με την κόλλα να γεμίζει όλα τα ορθογώνια παράθυρα στο πλέγμα. Στο σχήμα 5.6 φαίνεται μια τυπική κατασκευή ενός επικολλημένου επίπεδου πλέγματος. Η κατασκευή της επίπεδης πλάκας χρησιμοποιείται σαν το αρνητικό ηλεκτρόδιο σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις και λειτουργεί σαν θετικό ηλεκτρόδιο στις περισσότερες εφαρμογές αναμονής.



Διάγραμμα 5.8: Επίπεδη πλάκα

- Τα θετικά ηλεκτρόδια έχουν συνήθως κατασκευή επικολλημένων ή σωληνωτών πλακών (tubular plates). Αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως ως το θετικό ηλεκτρόδιο μερικών μεγάλων βιομηχανικών μπαταριών μολύβδου οξέος που προορίζονται για εφαρμογές μεγάλων κύκλων. Η κατασκευή αυτή χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο που αποτελείται από μια σειρά από κάθετα αγκάθια συνδεδεμένα σε μια κοινή ράχη. Η κόλλα κρατείται σε μικρό – πορώδεις, μη αγωγίμους κυλίνδρους που τοποθετούνται σε κάθε αγκάθι.

Ο κύκλος ζωής είναι μεγαλύτερος επειδή το ενεργό υλικό συγκρατείται πιο σταθερά στους συνδεδεμένους σωλήνες. Τα αγκάθια που μεταφέρουν το ρεύμα είναι περισσότερο προστατευμένα από τη διάβρωση. Οι επονομαζόμενες μπαταρίες θετικού ηλεκτροδίου έχουν στην πραγματικότητα ένα θετικό σωληνωτό ηλεκτρόδιο και ένα επίπεδο αρνητικό ηλεκτρόδιο, βλέπουμε σχήμα 5.7.



Διάγραμμα 5.9: Απλοποιημένη μορφή του σωληνωτού ηλεκτροδίου

Σημειώνεται ότι, ανεξάρτητα από τον τύπο των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται, η χωρητικότητα οποιασδήποτε μπαταρίας αυξάνεται με την προσθήκη πολλαπλών παράλληλων πλακών.

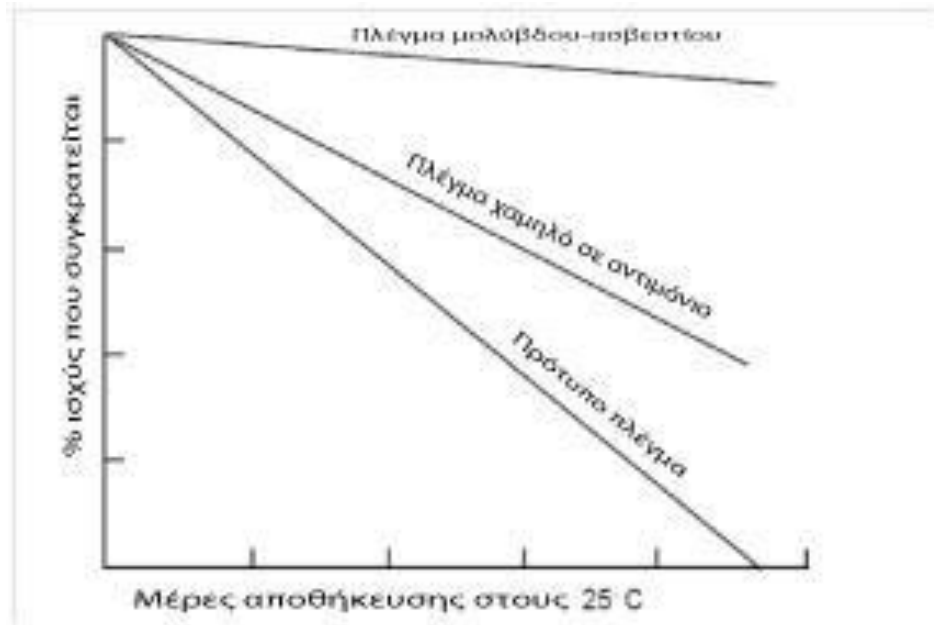
Κράμα του πλέγματος.

Το πλέγμα, στις μπαταρίες τόσο με επικολλημένες όσο και με σωληνωτές πλάκες, είναι φτιαγμένο από ένα κράμα μολύβδου. Αυτό είναι απαραίτητο για να επιτευχθεί ικανοποιητικός χρόνος ζωής για τη μπαταρία. Ένα πλέγμα από καθαρό μόλυβδο δεν είναι αρκετά δυνατό από μόνο του να στέκεται κάθετα και να υποστηρίζει και το ενεργό υλικό. Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται μόνος του ως το υλικό του πλέγματος μόνο σε ειδικές κατασκευές. Πρόσθετα μέταλλα (αντιμόνιο ή ασβέστιο) χρησιμοποιούνται κυρίως για την ενδυνάμωση του πλέγματος, αλλά αυτά τα πρωτεύοντα πρόσθετα μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις στον κύκλο φόρτισης – εκφόρτισης, στη διάβρωση ή την κατανάλωση νερού και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται και δευτερεύοντα πρόσθετα όπως είναι ο κασσίτερος και το σελήνιο [10].

- Κράματα υψηλής περιεκτικότητας σε αντιμόνιο (5 – 11%) έχουν μεγάλη κατανάλωση νερού καθώς η μπαταρία γερνάει αλλά δίνουν καλό κύκλο ζωής. Η χρήση τους σήμερα έχει περιοριστεί σε μπαταρίες έλξης.
- Κράματα χαμηλής περιεκτικότητας σε αντιμόνιο (1 – 3%) με άλλα στοιχεία όπως το σελήνιο ή το αρσενικό χρησιμοποιούνται ευρέως σε ανοικτού τύπου μπαταρίες μολύβδου οξέος, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κλειστού τύπου μπαταρίες επειδή πάντα θα παράγεται μια μικρή ποσότητα υδρογόνου.
- Κράματα ασβεστίου (0.06 - 0.9%) χρησιμοποιούνται για τις κλειστές μπαταρίες αλλά ένα κράμα μολύβδου – ασβεστίου μόνο δίνει κακό κύκλο ζωής και άσχημη ανάρρωση μετά από μια βαθειά εκφόρτιση. Η προσθήκη κασσίτερου στο κράμα διορθώνει αυτό το πρόβλημα.
- Κάποιοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν άλλα κράματα τα οποία όμως έχουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτές των κραμάτων χαμηλού αντιμονίου ή μολύβδου – ασβεστίου – κασσίτερου.

Οι κύριες διαφορές ανάμεσα στις μπαταρίες με κράματα μολύβδου – αντιμονίου και μολύβδου – ασβεστίου είναι οι ακόλουθες [12]:

1. Οι μπαταρίες με κράμα μολύβδου αντιμονίου μπορούν να υποστούν βαθείς κύκλους περισσότερες φορές από αυτές με μολύβδο και ασβέστιο.
2. Οι ανοικτές μπαταρίες (flooded) με κράμα μολύβδου αντιμονίου απαιτούν συχνότερη συντήρηση προς το τέλος της ζωής τους γιατί χρησιμοποιούν ολοένα και αυξανόμενη ποσότητα νερού και απαιτούν περιοδικές φορτίσεις εξισορρόπησης.
3. Οι μπαταρίες με κράμα μολύβδου ασβεστίου έχουν χαμηλότερους ρυθμούς αυτοεκφόρτισης, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8, και ως εκ τούτου τραβούν λιγότερο ρεύμα κατά τη φόρτιση αναμονής (float charging) από ότι οι μπαταρίες με μολύβδο και αντιμόνιο.
4. Τα θετικά ηλεκτρόδια μολύβδου ασβεστίου μπορεί να μεγαλώσουν σε μήκος και σε πλάτος λόγω της οξειδωσης του πλέγματος στα όρια των κόκκων (grain boundaries). Αυτή η οξειδωση προκαλείται συνήθως από μακροχρόνια υπερφόρτιση, που είναι συνήθης σε UPS και άλλες μπαταρίες σε συνεχή φόρτιση αναμονής (constant – float charging). Τα πλέγματα μπορούν να μεγαλώσουν επαρκώς ώστε να προκαλέσουν το λύγισμα ή τη ρήξη των δοχείων τους.



Γραφική 5.10: Ποσοστό ισχύος που παραμένει στη μπαταρία (ρυθμοί αυτοεκφόρτισης) για διαφορετικά κράματα του πλέγματος

Σημειώνεται ότι είναι απαραίτητο να ελέγχεται ότι ένα κράμα είναι κατάλληλο για μια μπαταρία που προορίζεται για χρήση σε φωτοβολταϊκό σύστημα.

Πάχος πλέγματος

Ειδικά για το θετικό ηλεκτρόδιο, όπου συμβαίνει συνήθως η διάβρωση, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του πλέγματος τόσο μεγαλύτερη αναμένεται να είναι η ζωή της μπαταρίας στις περισσότερες περιπτώσεις. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του πλέγματος, τόσο ακριβότερη θα είναι και η μπαταρία. Στα σωληνωτά ηλεκτρόδια ισχύει το ίδιο αλλά για το πάχος της ράχης [10].

5.4.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος ανοικτής ή κλειστής κατασκευής.

Γενικά, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος διακρίνονται σε δύο τύπους με βάση τη μέθοδο κατασκευής τους. Αυτές οι μπαταρίες είναι οι ανοικτού τύπου ή πλημμυρισμένες ή εξαεριζόμενες (flooded/vented) και οι κλειστού τύπου ή σφραγισμένες (sealed). Οι ανοικτές και οι κλειστές μπαταρίες διαφέρουν επίσης και στη λειτουργία τους. Όλες οι μπαταρίες μολύβδου οξέος παράγουν αέρια υδρογόνου και οξυγόνου (αεριοποίηση) στα ηλεκτρόδια κατά τη φόρτιση μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Αυτά τα αέρια δραπετεύουν από ένα ανοικτό στοιχείο ενώ το κλειστό στοιχείο είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε τα αέρια να συγκρατούνται και να ανασυνδυάζονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αέρια υδρογόνου είναι εκρηκτικά στον αέρα μόνο σε 4% κατ' όγκο. Οι ανοικτού και κλειστού τύπου μπαταρίες μολύβδου οξέος παρουσιάζονται παρακάτω.

Ανοικτού τύπου μπαταρίες μολύβδου οξέος

Τα ανοικτά στοιχεία είναι εκείνα στα οποία τα ηλεκτρόδια/πλάκες είναι βυθισμένα στον ηλεκτρολύτη. Εφόσον τα αέρια που δημιουργούνται κατά την φόρτιση διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα, πρέπει περιστασιακά να προστίθεται αποσταγμένο νερό για να επαναφέρει τον ηλεκτρολύτη στο απαιτούμενο επίπεδο. Το πιο γνωστό παράδειγμα μπαταρίας μολύβδου οξέος ανοικτού τύπου είναι η 12 V μπαταρία αυτοκινήτου. Προς το τέλος της φόρτισης και κατά την υπερφόρτιση, ο ηλεκτρολύτης θεικού οξέος στις μπαταρίες μολύβδου οξέος υποβάλλεται σε ηλεκτρόλυση για την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου. Κατά συνέπεια, το επίπεδο του ηλεκτρολύτη πέφτει και η συγκέντρωση του θεικού οξέος αυξάνεται. Και οι δύο αυτές συνέπειες είναι επιβλαβείς για την απόδοση της μπαταρίας και θα οδηγήσουν τελικά στην καταστροφή της αν αυτό το πρόβλημα δεν αντιμετωπιστεί με τη συμπλήρωση με αποσταγμένο νερό. Η ανάγκη για συχνή συμπλήρωση νερού έχει περιορίσει στο παρελθόν τις εφαρμογές στις οποίες οι μπαταρίες μολύβδου οξέος μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Έτσι, οι κατασκευαστές χρησιμοποίησαν δύο μεθόδους για την αποφυγή της συμπλήρωσης με νερό [15]:

1. Την ανάπτυξη μπαταριών μερικού ανασυνδυασμού, στις οποίες με προσοχή στο σχεδιασμό της μπαταρίας (νέα κράματα μολύβδου για το πλέγμα κλπ) και με χρήση πιο εξειδικευμένων μεθόδων φόρτισης, η παραγωγή αερίων περιορίζεται στο ελάχιστο και αποφεύγεται η συμπλήρωση.
2. Την ανάπτυξη μπαταριών πλήρους ανασυνδυασμού, στις οποίες όσο υδρογόνο και οξυγόνο παράγεται κατά την αεριοποίηση ανασυνδυάζεται πλήρως σε νερό αποφεύγοντας έτσι απώλεια του όγκου του ηλεκτρολύτη.

Και οι δύο αυτές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ενός εύρους μπαταριών κλειστού τύπου που χρησιμοποιούνται πλέον σε ολοένα αυξανόμενες εφαρμογές.

Κλειστού τύπου μπαταρίες μολύβδου οξέος

Αυτός ο τύπος μπαταριών «φυλακίζει» τον ηλεκτρολύτη αλλά έχει ένα άνοιγμα ή μια βαλβίδα για να επιτρέπει στα αέρια να διαφεύγουν εάν η εσωτερική πίεση ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο. Τυπικά όρια για την πίεση είναι από 2 έως 5 psi (1 psi=0.068 atm), ανάλογα με το σχεδιασμό της μπαταρίας. Κατά τη φόρτιση, μια μπαταρία μολύβδου οξέος παράγει αέρια οξυγόνου στο θετικό ηλεκτρόδιο [12].

Οι κλειστές μπαταρίες μολύβδου οξέος, οι οποίες συχνά αναφέρονται ως μπαταρίες μολύβδου οξέος ρυθμιζόμενες από βαλβίδα (valve regulate lead acid, VRLA) , είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε το οξυγόνο που παράγεται κατά τη φόρτιση να εγκλωβίζεται και να ανασυνδυάζεται στη μπαταρία. Αυτό συμβαίνει επειδή το κενό μεταξύ των πλακών δεν είναι τελείως γεμάτο με οξύ και έτσι το οξυγόνο που παράγεται στο θετικό ηλεκτρόδιο μπορεί να φτάσει στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και να μετατραπεί ξανά σε νερό.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κύκλος ανασυνδυασμού του οξυγόνου (oxygen recombination cycle) και λειτουργεί καλά όσο ο ρυθμός φόρτισης δεν είναι πολύ μεγάλος. Εάν το ρεύμα φόρτισης είναι πολύ μεγάλο, τότε το οξυγόνο θα δημιουργήσει πίεση στο εσωτερικό του στοιχείου και τελικά η βαλβίδα ασφαλείας θα απελευθερώσει οξυγόνο (και μικρή ποσότητα οξέος) στην ατμόσφαιρα. Αυτό θα οδηγήσει σε μόνιμη απώλεια νερού.

Αξίζει να σημειωθεί πως, ενώ ο όρος «ρυθμιζόμενες από βαλβίδα» χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει το σύνολο των μπαταριών κλειστού τύπου, όλες οι μπαταρίες κλειστού τύπου δεν είναι VRLA. Μερικοί σχεδιασμοί μπαταριών χρησιμοποιούν πώματα που αντικαθίστανται ή άλλους μηχανισμούς για την ανακούφιση της μπαταρίας από την υπερβολική πίεση.

Οι μπαταρίες κλειστού τύπου αναπτύχθηκαν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να ελαττωθεί η συντήρηση που απαιτούσαν οι μπαταρίες κατά τη λειτουργία τους. Αφού τα επίπεδα του ηλεκτρολύτη διατηρούνται μέσω της παγίδευσης και του ανασυνδυασμού των αερίων που εκλύονται, δε θα έπρεπε να υπάρχει η ανάγκη προσθήκης αποσταγμένου νερού κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Για το λόγο αυτό, συχνά οι μπαταρίες αυτές θεωρείται ότι λειτουργούν χωρίς συντήρηση. Στην πραγματικότητα, όλες οι πρακτικές συντήρησης που εφαρμόζονται στις μπαταρίες ανοικτού τύπου μπορούν να εφαρμοστούν και στις μπαταρίες κλειστού τύπου. Η μόνη εξαίρεση είναι ότι τα επίπεδα του ηλεκτρολύτη δεν μπορούν και δεν πρέπει να χρειάζονται συντήρηση.

Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των VRLA μπαταριών [9].

Πλεονεκτήματα:

- Ευκολία στη συντήρηση
- Δεν εμφανίζουν φαινόμενα μνήμης (σε σχέση με τις μπαταρίες νικελίου καδμίου)
- Υψηλή αποδοτικότητα φόρτισης
- Η στάθμη φόρτισης μπορεί συνήθως να καθοριστεί μετρώντας την τάση
- Σχετικά χαμηλό κόστος
- Διαθέσιμες από μικρές μονάδες ενός στοιχείου (2 V) μέχρι μεγάλες μπαταρίες των 48 V

Μειονεκτήματα:

- Δεν πρέπει να αποθηκεύονται σε κατάσταση εκφόρτισης
- Σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα
- Χαμηλότερος κύκλος ζωής από ότι οι κλειστές μπαταρίες νικελίου καδμίου
- Καταστροφή λόγω θερμότητας μπορεί να συμβεί με εσφαλμένη φόρτιση ή ακατάλληλη διαχείριση της θερμότητας
- Μεγαλύτερη ευαισθησία σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας από ότι οι συμβατικές μπαταρίες μολύβδου οξέος

Υπάρχουν δύο τύποι VRLA μπαταριών, ο τύπος AGM και ο τύπος gel.

Τύπος AGM

Αυτός ο τύπος μπαταρίας παίρνει το όνομά του από ένα απορροφητικό στρώμα γυαλιού (absorbent glass mat – AGM) που χρησιμοποιεί ανάμεσα στις σφικτά τοποθετημένες επίπεδες πλάκες. Όλο το οξύ απορροφάται από το γυάλινο διαχωριστικό στρώμα, του οποίου όμως οι πόροι δε γεμίζουν πλήρως. Οι άδειοι (ή σχεδόν άδειοι) πόροι παρέχουν ένα μονοπάτι ώστε το οξύγονο που σχηματίζεται στο θετικό ηλεκτρόδιο κατά τη φόρτιση να κατευθυνθεί προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο για ανασυνδυασμό. Οι AGM μπαταρίες αναπτύχθηκαν κυρίως για να

έχουν μια καλή επίδοση σε υψηλό ρεύμα (μικρός χρόνος εκφόρτισης). Περιέχουν πολύ μικρή ποσότητα οξέος, κάτι το οποίο σημαίνει ότι είναι πολύ επιρρεπείς σε απώλειες νερού που συμβαίνουν κυρίως σε υψηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα, αντιστέκονται αρκετά καλά στο να παγώσουν, αφού υπάρχει χώρος για επέκταση μέσα στην AGM [10].

Τύπος gel

Στις gel μπαταρίες μολύβδου οξέος, το θειικό οξύ αναμειγνύεται με σκόνη πυριτίου και σχηματίζει μια παχιά πάστα ή ζελέ (gel). Το πρόσφατα αναμειγμένο gel χύνεται στο δοχείο του στοιχείου πριν στερεοποιηθεί. Καθώς το gel στεγνώνει, σχηματίζονται μικροσκοπικές ρωγμές που επιτρέπουν τη διέλευση του αερίου μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ηλεκτροδίου που απαιτείται για τη διαδικασία του ανασυνδυασμού. Αυτός ο σχηματισμός ρωγμών μπορεί να συμβεί κατά τα πρώτα στάδια της ζωής της μπαταρίας έτσι ώστε και υδρογόνο και οξυγόνο να μπορούν να εκλυθούν από τη βαλβίδα ασφαλείας μιας καινούριας μπαταρίας. Όσον αφορά το παραπάνω, πρέπει να δίνεται προσοχή στις οδηγίες του κατασκευαστή κυρίως αυτές που αφορούν τις απαιτήσεις εξαερισμού.

Αντίθετα από τις AGM μπαταρίες, οι gel μπαταρίες μπορεί να είναι κατασκευασμένες είτε με επίπεδες είτε με σωληνωτές πλάκες στο θετικό ηλεκτρόδιο. Το gel παρέχει ένα καλύτερο μέσο για την αγωγή της θερμότητας από τις πλάκες στα τοιχώματα του στοιχείου από ότι οι AGM μπαταρίες, επομένως η θερμότητα που παράγεται κατά την υπερφόρτιση χάνεται πιο αποτελεσματικά.

Η ικανότητα να διατηρείται υψηλό ρεύμα (κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση) δεν είναι τόσο καλή για τις μπαταρίες gel όσο για τις AGM μπαταρίες, αυτό όμως συνήθως δεν είναι πρόβλημα για τη χρήση τους σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, υποφέρουν σε ένα βαθμό από απώλεια νερού αλλά αφού υπάρχει περισσότερο οξύ από ότι σε μία ισοδύναμη AGM μπαταρία, η μείωση του χρόνου ζωής τους δεν θα είναι τόσο σοβαρή [10].

5.4.2 Μπαταρίες μαζικής παραγωγής ή βιομηχανικού τύπου

Οι μπαταρίες μαζικής παραγωγής μπαταρίες μολύβδου οξέος, είναι κατά βάση ο τύπος που βρίσκει εφαρμογή σε αυτοκίνητα για χρήση εκκίνησης, φωτισμού και ανάφλεξης (SLI). Για την εκκίνηση μιας μηχανής οχήματος που χρειάζονται υψηλά ρεύματα, έχουν τις σχετικά λεπτές επίπεδες πλάκες, που είναι βελτιστοποιημένες για να μπορούν να παράγουν τα επιθυμητά ρεύματα. Αντίθετα, οι λεπτές πλάκες δεν οδηγούν σε μεγάλη διάρκεια ζωής σε καμία άλλη εφαρμογή, η οποία περιλαμβάνει είτε κύκλους φόρτισης εκφόρτισης είτε λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι περισσότερες SLI μπαταρίες είναι ανοικτού τύπου, γι' αυτό και στα φορτηγά και στα σκάφη, κατασκευάζονται μπαταρίες με πιο χοντρές πλάκες και με κάποιες τροποποιήσεις όπου μπορούν να αποτελέσουν μια καλή φωτοβολταϊκή μπαταρία για ελαφριά χρήση (σπάνιους ή όχι βαθείς κύκλους, όχι λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες).

Μπαταρίες κλειστού τύπου με σχετικά χοντρές πλάκες κατασκευάζονται για να βρίσκουν εφαρμογές όπως σε αμαξάκια του γκολφ, αναπηρικά καροτσάκια κλπ. Παρ' όλο που οι SLI μπαταρίες είναι μεγάλης μαζικής παραγωγής σε σχέση με τις μπαταρίες κλειστού τύπου, είναι ικανές να κατασκευάζονται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες με σχετικά χαμηλό κόστος.

Γενικά, οι βιομηχανικές μπαταρίες κατασκευάζονται για δύο κατηγορίες εφαρμογών:

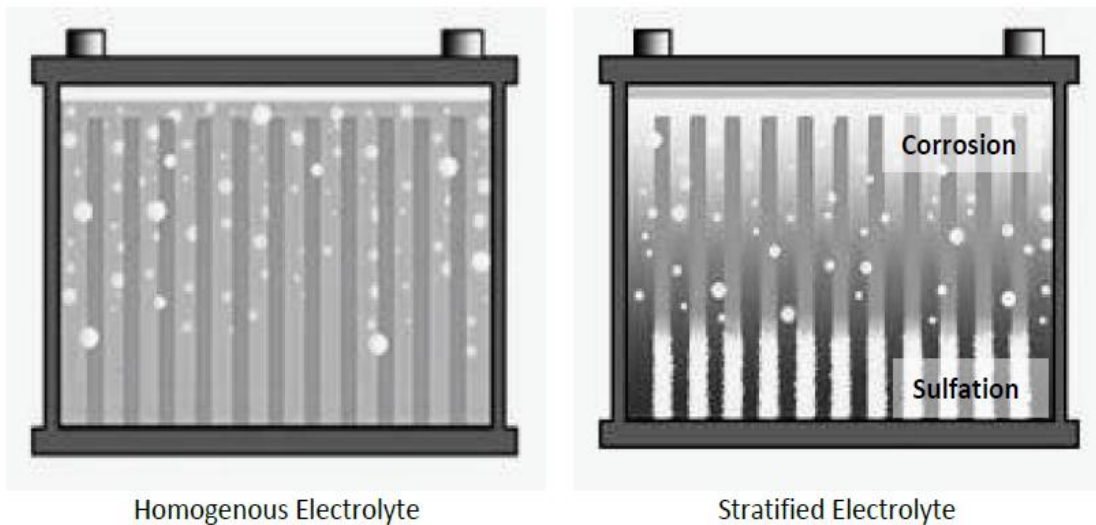
- κατάσταση αναμονής και
- βαθείς κύκλους

Η κατασκευή των σωληνωτών πλακών συχνά χρησιμοποιείται και για τους δύο τύπους, ιδίως στην Ευρώπη, καθώς η μπαταρία αναμονής με σωληνωτές πλάκες, είτε ανοικτού τύπου είτε τύπου gel, είναι συχνά η μπαταρία που επιλέγεται για μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά συστήματα όπου απαιτείται η υψηλότερη δυνατή διάρκεια ζωής για μια μπαταρία μολύβδου οξέος. Όμως, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί ο κύκλος ζωής, σχεδόν πάντα έχουν ως αντίκτυπο στο να μειώνουν τη ζωή αναμονής, κάτι που συνεπάγεται σε μικρότερο χρόνο λειτουργίας σε φωτοβολταϊκό σύστημα, εκτός εάν υπάρχουν απαιτήσεις ασυνήθιστα βαθέων κύκλων.

Οι βιομηχανικές μπαταρίες μολύβδου οξέος με πολύ χοντρές επίπεδες πλάκες κατασκευάζονται, και για χρήση σε αναμονή και είναι διαθέσιμες σε ανοικτούς, gel ή AGM τύπους μπαταριών. Ο μέγιστος χρόνος ζωής των μπαταριών σε κατάσταση αναμονής, καθορίζεται από το πάχος των επίπεδων πλακών τους, καθώς συνηθίζεται για τέτοιες βιομηχανικές μπαταρίες, σύμφωνα με τους κατασκευαστές το προσδόκιμο ζωής τους να υπολογίζεται γύρω στα 5, 10 ή ακόμα και 20 χρόνια. Τις συγκεκριμένες μπαταρίες, τις βιομηχανικές μπαταρίες μολύβδου οξέος υψηλής χωρητικότητας, μπορεί κανείς να τις βρει σε μονά στοιχεία των 2V, τα οποία με την απαιτούμενη τάση συναρμολογούνται σε μπαταρίες, ενώ οι βιομηχανικές μπαταρίες χαμηλής χωρητικότητας διατίθενται συνήθως σε μονάδες των 6 η 12 V.

5.5 Σημαντικές διαδικασίες γήρανσης της μπαταρίας

Κάποιες σημαντικές διαδικασίες γήρανσης, που είναι πιθανόν να κάνουν την εμφάνιση τους στις μπαταρίες, είναι η στρωμάτωση «Stratification», η θειίκωση «Sulfation» και η διάβρωση «Corrosion».

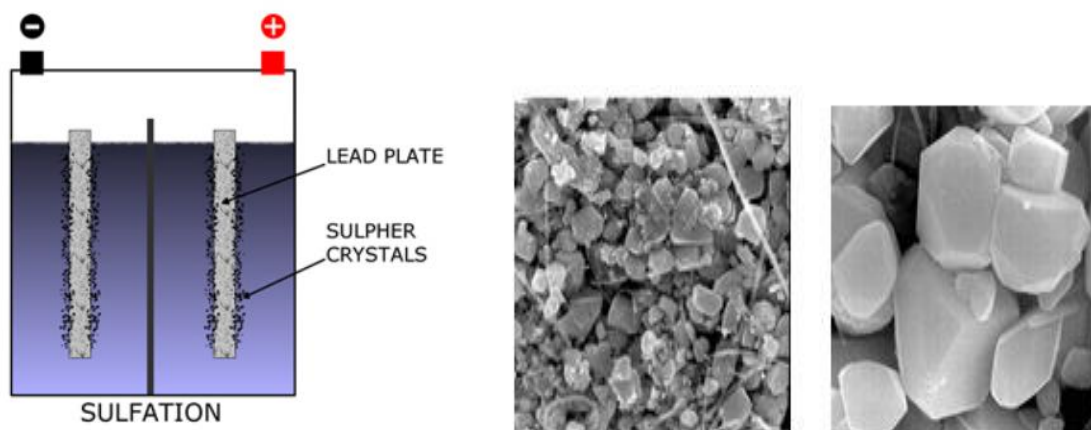


Consequences of electrolyte stratification on lead acid batteries

Διάγραμμα 5.10: Συνέπειες Ηλεκτρολυτικής Στρωμάτωσης σε μπαταρίες μολύβδου οξέος

Στρωμάτωση, είναι η τάση του οξέος να σχηματίζει στρώματα διαφορετικής πυκνότητας, καθώς αποτελεί ένα αίτιο και όχι φαινόμενο γήρανσης. Πολύ πιθανόν να παρατηρήσει κανείς τη στρωμάτωση συνήθως στις μπαταρίες ανοικτού τύπου, και μπορεί σχεδόν να εξαλειφθεί εφαρμόζοντας κατά διαστήματα μια σκόπιμη υπερφόρτιση.

Η θειίκωση κάνει την εμφάνιση της, όταν η μπαταρία εκφορτίζεται και αρχίζουν να δημιουργούνται κρύσταλλοι άλατος πάνω στα ηλεκτρόδια. Στην περίπτωση που η μπαταρία δεν επαναφορτιστεί σύντομα, το φαινόμενο της θειίκωση επιταχύνεται και οι θειικοί κρύσταλλοι αρχίζουν να μεγαλώνουν. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι, στην επακόλουθη φόρτιση, όσο πιο μεγάλοι είναι οι θειικοί κρύσταλλοι τόσο πιο δύσκολα διαλύονται και ένα τέτοιο φαινόμενο μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο εάν μετά από κάθε διαδικασία εκφόρτισης ακολουθεί μια επαρκής πλήρης φόρτιση.



Διάγραμμα 5.11: Θειίκωση σε μια μπαταρία

Ο ρυθμός της διάβρωσης στις μπαταρίες, εξαρτάται και μπορεί να επηρεαστεί από την πυκνότητα του οξέος, τη θερμοκρασία, το δυναμικό του ηλεκτροδίου, τη κάλυψη του ενεργού υλικού και τη ποιότητα κατασκευής του πλέγματος. Μπορεί να γίνει ιδιαίτερα έντονη για τάσεις στοιχείου κάτω από 2V και πάνω από 2.4V ενώ είναι ελάχιστη για τάσεις γύρω στα 2.23V.

5.6 Άλλες εφαρμογές των μπαταριών μολύβδου οξέος

Αυτές οι μπαταρίες βρίσκουν εφαρμογή, σε μεγάλο βαθμό στα αυτοκίνητα από μπαταρίες ταχείας εκφόρτισης– εκκίνησης (SLI batteries–starting lights ignition). Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών από SLI μπαταρίες σε αυτοκίνητα και φορητά μέχρι UPS, από μπαταρίες ανύψωσης φορτίου για σταθεροποίηση του δικτύου μέχρι μπαταρίες έλξης (περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα και άλλα) και φυσικά αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Διαφορετικοί σχεδιασμοί έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικές εφαρμογές έτσι ώστε να καλύπτονται οι κάθε είδους απαιτήσεις.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών και μπορεί να είναι από πολύ μεγάλα συστήματα μπαταριών που χρησιμοποιούνται για ανύψωση φορτίου από ηλεκτρικές εταιρείες έως σχετικά μικρές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε εργαλεία χειρός.

Οι μπαταρίες μπορεί να υποβάλλονται σε βαθείς και συχνούς κύκλους όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα ή μπορεί να παραμένουν σε αναμονή, όπως σε εφαρμογές φωτισμού έκτακτης ανάγκης, και να εκφορτίζονται σπάνια. Προφανώς, όλες αυτές οι εφαρμογές δεν μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια μπαταρία. Περιορισμοί σε παραμέτρους όπως η θερμοκρασία λειτουργίας, η επιθυμητή χωρητικότητα, οι απαιτήσεις τάσης και ισχύος κλπ, επηρεάζουν τον τύπο της μπαταρίας που επιλέγεται.

Όλες οι παραπάνω απαιτήσεις λαμβάνονται υπόψη και καθορίζουν τον κύκλο λειτουργίας της μπαταρίας (duty cycle). Ο κύκλος λειτουργίας είναι οι απαιτούμενες παράμετροι λειτουργίας ενός στοιχείου ή μπαταρίας, που περιλαμβάνουν παράγοντες όπως οι ρυθμοί φόρτισης και εκφόρτισης, το βάθος εκφόρτισης (DOD), η διάρκεια του κύκλου και η διάρκεια που η μπαταρία θα είναι σε κατάσταση αναμονής.

Ο κύκλος λειτουργίας πρέπει να είναι γνωστός και να περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές της μπαταρίας. Ο κύκλος λειτουργίας μαζί με την μπαταρία που θα επιλεγεί καθορίζουν και τον τύπο του φορτιστή που θα χρησιμοποιηθεί. Οι κύριες κατηγορίες εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιούνται οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι οι εφαρμογές εκκίνησης, φωτισμού και ανάφλεξης (SLI), οι βιομηχανικές (στις οποίες περιλαμβάνονται εφαρμογές κίνησης αλλά και σταθερές) και οι εφαρμογές σε μικρό φορητό εξοπλισμό [12].

SLI

Οι SLI μπαταρίες χρησιμοποιούνται καθημερινά από την πλειοψηφία των ανθρώπων και παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από οποιονδήποτε άλλο τύπο αποθηκευτικής μπαταρίας μολύβδου οξέος. Χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση αυτοκινήτων και των περισσότερων μηχανών εσωτερικής καύσης.

Δεν είναι κατάλληλες για εφαρμογές βαθιάς εκφόρτισης αλλά υπερέχουν των άλλων για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλό ρεύμα για σύντομο χρονικό διάστημα. Φορτίζονται συνήθως με έναν «μερικώς σταθερό» τρόπο, το οποίο σημαίνει ότι η μπαταρία λαμβάνει σταθερή φόρτιση μόνο όσο το όχημα κινείται. Οι SLI μπαταρίες είναι συνήθως κατασκευασμένες με επικολλημένες επίπεδες πλάκες.

Βιομηχανικές

Οι βιομηχανικές μπαταρίες έχουν γενικά τη μεγαλύτερη χωρητικότητα από τις τρεις κύριες κατηγορίες μπαταριών μολύβδου οξέος. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση οχημάτων καθώς και σταθερές εφαρμογές.

Κίνηση

Οι μπαταρίες κίνησης χρησιμοποιούνται για να παρέχουν κινητήρια δύναμη σε ηλεκτρικά ή υβριδικά οχήματα. Κατά το σχεδιασμό μπαταριών κίνησης, πρέπει να δίνεται έμφαση στην αναγκαιότητα για έναν υψηλό λόγο χωρητικότητας προς βάρος και όγκο, αφού το όχημα πρέπει επίσης να μεταφέρει την πηγή ενέργειάς του. Οι μπαταρίες κίνησης υποβάλλονται σε συχνούς, βαθείς κύκλους και απαιτούν γρήγορο ρυθμό φόρτισης για χρήση συνήθως μέσα σε 24 ώρες.

Τυπικές εφαρμογές είναι τα περονοφόρα οχήματα ή ηλεκτρικά καρότσια. Συνήθως έχουν ηλεκτρόδια σωληνωτών πλακών, που είναι και η κατασκευή που έχει την καλύτερη επίδοση σε λειτουργίες βαθέων κύκλων.

Σταθερές εφαρμογές

Οι σταθερές μπαταρίες εμφανίζονται σε ποικιλία σχεδιασμών για τις διαφορετικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές όπου η ενέργεια είναι απαραίτητη μόνο για την κατάσταση αναμονής ή σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και εκφορτίζονται σπάνια. Οι σταθερές μπαταρίες παραμένουν σε μια συνεχή φόρτιση έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν χρειάζεται. Οι μεγαλύτεροι τύποι σταθερών μπαταριών είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται για ηλεκτρική ανύψωση φορτίου (electric load leveling). Οι μπαταρίες ανύψωσης φορτίου αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια για τις φορές που απαιτείται μέγιστη ισχύς και βγαίνουν εκτός λειτουργίας όταν υπάρχει χαμηλή ζήτηση ισχύος. Οι σταθερές μπαταρίες χρησιμοποιούνται επίσης για εφεδρική ενέργεια έκτακτης ανάγκης, σε εξοπλισμούς τηλεπικοινωνιών και για αδιάλειπτη παροχή ρεύματος (uninterruptible power supply – UPS) και για τα ηλεκτρόδιά τους χρησιμοποιείται ένα πλήθος σχεδιασμών.

Φορητές

Οι φορητές μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι συνήθως κλειστού τύπου και η λειτουργία τους δεν μπορεί συνήθως να περιγραφεί ως κυκλική ή σταθερή αλλά βρίσκεται κάπου μεταξύ αυτών. Τυπικές εφαρμογές είναι φορητά εργαλεία, παιχνίδια, φωτισμός και φωτισμός έκτακτης ανάγκης, ραδιοεξοπλισμοί και συστήματα συναγερμού. Οι περισσότερες φορητές μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν στο 80 – 90 % της αρχικής τους χωρητικότητας σε λιγότερο από μία ώρα χρησιμοποιώντας φορτιστή σταθερής τάσης.

6 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ

6.1 Γενικά

Παραδοσιακά, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος ήταν η πρώτη επιλογή ως μέσο αποθήκευσης για τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα [17]. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος χρησιμοποιούνται από τα μέσα του 19ου αιώνα, όμως, παρά τη μακρόχρονη και ευρεία χρήση τους παραμένουν από τους σχεδιασμούς μπαταριών με τη μικρότερη αναλογία ενέργειας βάρους και ενέργειας όγκου. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ μεγάλες και βαριές για την ενέργεια που παρέχουν. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι είναι πιο οικονομικές [18].

Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές εξελίσσονται, μεγαλώνει και η ανάγκη για καλύτερα συστήματα αποθήκευσης. Οι μπαταρίες λιθίου είναι η περισσότερο αναπτυσσόμενη τεχνολογία στο χώρο των μπαταριών τα τελευταία χρόνια. Μετά την τεράστια επιτυχία και επικράτησή τους στο χώρο των φορητών συσκευών όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και τα laptops, τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε η μετάβασή τους από τα μικρά στοιχεία στις μπαταρίες μεγάλου μεγέθους με σκοπό τη χρήση τους σε ένα πλήθος εφαρμογών. Παρ' όλο που μέχρι πρόσφατα δεν χρησιμοποιούνταν σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες όσον αφορά την αποδοτικότητα και τα χαρακτηριστικά φόρτισης/εκφόρτισης, που είναι πολύ χρήσιμες για τέτοιου τύπου εφαρμογές, οδήγησαν σε περισσότερη έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση. Η λειτουργία της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου, βασίζεται στη μετακίνηση ιόντων λιθίου, μεταξύ της καθόδου και της ανόδου και ως εκ τούτου είναι ουσιώδης η διαφορά τους με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου, στις οποίες η βασική μορφή των υλικών καθόδου και ανόδου παραμένει αμετάβλητη [3].

Τα τρία κύρια στοιχεία μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το θετικό ηλεκτρόδιο και ο ηλεκτρολύτης. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ενός συμβατικού στοιχείου ιόντων λιθίου είναι κατασκευασμένο από άνθρακα. Το θετικό ηλεκτρόδιο είναι ένα οξειδίο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι ένα άλας λιθίου σε οργανικό διάλυμα. Οι ηλεκτροχημικοί ρόλοι των ηλεκτροδίων αλλάζουν μεταξύ της ανόδου και της καθόδου, ανάλογα με τη διεύθυνση του ρεύματος που ρέει μέσα από το στοιχείο. Ανάλογα με την επιλογή των υλικών, η τάση, η χωρητικότητα, η ζωή και η ασφάλεια μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου μπορεί να αλλάξουν δραματικά. Στο σημείο αυτό, αξίζει να δούμε ξεχωριστά τα τρία αυτά δομικά συστατικά της μπαταρίας ιόντων λιθίου και τα υλικά από τα οποία αποτελούνται.

Θετικό ηλεκτρόδιο

Ένα βιώσιμο υλικό ηλεκτροδίου πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές καθορίζουν την επιλογή και την ανάπτυξη των υλικών του θετικού ηλεκτροδίου. Για να υπάρξει η δυνατότητα μεγάλης χωρητικότητας, τα υλικά πρέπει να ενσωματώνουν μεγάλες ποσότητες λιθίου. Επιπλέον η αντιστρεπτή ανταλλαγή του λιθίου αυτού πρέπει να πραγματοποιείται με μικρή αλλαγή στη δομή των υλικών έτσι ώστε αυτά να επιτρέπουν μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή ηλεκτρική και ενεργειακή αποδοτικότητα. Για την επίτευξη υψηλής τάσης στοιχείου και υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, η αντίδραση ανταλλαγής λιθίου πρέπει να πραγματοποιείται σε υψηλό δυναμικό σε σχέση με το λίθιο. Όταν ένα στοιχείο φορτίζεται ή

εκφορτίζεται, ένα ηλεκτρόνιο απομακρύνεται ή επιστρέφει στο θετικό υλικό. Για να μπορεί αυτή η διαδικασία να πραγματοποιηθεί σε υψηλό ρυθμό, πρέπει η ηλεκτρονική αγωγιμότητα και η κινητικότητα των ιόντων λιθίου (Li^+) στο υλικό να είναι υψηλή. Ακόμη, το υλικό πρέπει να είναι συμβατό με τα υπόλοιπα υλικά στο στοιχείο και, πιο συγκεκριμένα, να μην είναι διαλυτό στον ηλεκτρολύτη. Τέλος, το υλικό πρέπει να έχει αποδεκτό κόστος[9]. Για ελαχιστοποίηση του κόστους, προτιμάται η παρασκευή από οικονομικά υλικά μέσω μιας διαδικασίας χαμηλού κόστους. Το υλικό του θετικού ηλεκτροδίου είναι συνήθως ένα οξειδίο μετάλλου με πολυεπίπεδη δομή, όπως είναι το οξειδίο λιθίου κοβαλτίου (LiCoO_2) ή ένα υλικό με δομή σήραγγας όπως το οξειδίο λιθίου μαγγανίου (LiMn_2O_4), πάνω σε ένα συλλέκτη ρεύματος από λεπτό φύλλο αλουμινίου [19].

Αρνητικό ηλεκτρόδιο

Από το 1970, στοιχεία παρεμβολής έχουν θεωρηθεί σαν υλικά ηλεκτροδίων για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου. Ωστόσο, οι προσπάθειες ανάπτυξης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές τις δεκαετίας το 1980 εστίασαν στη χρήση μετάλλου λιθίου σαν το αρνητικό ηλεκτρόδιο λόγω της υψηλής ειδικής χωρητικότητας του μετάλλου. Με τον τρόπο αυτό αναπτύχθηκαν πολύ αποδοτικά στοιχεία, όμως, ζητήματα ασφάλειας στη χρήση μπαταριών μετάλλου λιθίου έστρεψαν τους κατασκευαστές στη χρήση παρεμβαλλόμενου σε άνθρακα λιθίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα ζητήματα ασφάλειας οφείλονταν στη μεταβολή της μορφολογίας του λιθίου κατά τη διάρκεια ενός κύκλου του στοιχείου. Για το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι διαθέσιμοι πολλοί τύποι άνθρακα και η δομή του άνθρακα επηρεάζει σημαντικά τις ηλεκτροχημικές του ιδιότητες συμπεριλαμβανομένων και της χωρητικότητας και του δυναμικού του λιθίου παρεμβολής. Το υλικό που χρησιμοποιείται για το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι συνήθως γραφιτικός άνθρακας (Graphitic carbon), ένα επίσης πολυεπίπεδο υλικό, πάνω σε ένα χάλκινο συλλέκτη ρεύματος [9].

Ηλεκτρολύτης

Στις μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν χρησιμοποιηθεί 4 είδη ηλεκτρολυτών: υγροί ηλεκτρολύτες, gel ηλεκτρολύτες, ηλεκτρολύτες πολυμερούς και κεραμικοί ηλεκτρολύτες. Οι υγροί ηλεκτρολύτες είναι διαλύματα ενός άλατος λιθίου σε οργανικούς διαλύτες, συνήθως ανθρακικά άλατα. Ένας ηλεκτρολύτης πολυμερούς είναι ένα υλικό χωρίς διαλύτες, όπου μια ιοντικά αγωγή φάση σχηματίζεται διαλύοντας ένα άλας σε ένα πολυμερές υψηλού μοριακού βάρους, ενώ ένας gel ηλεκτρολύτης ένα ιοντικά αγωγή υλικό όπου ένα άλας και ένα διάλυμα διαλύονται ή αναμειγνύονται με ένα πολυμερές υψηλού μοριακού βάρους. Οι κεραμικοί ηλεκτρολύτες αναφέρονται σε ανόργανα υλικά στερεάς κατάστασης που είναι ιοντικά αγωγή.

Στα πλεονεκτήματα των ηλεκτρολυτών πολυμερών συμπεριλαμβάνονται οι βελτιωμένες ιδιότητες ασφάλειας που απορρέουν από τη χαμηλή τους μεταβλητότητα και το υψηλό τους ιξώδες, αφού δεν περιέχουν ένα μεταβλητό, εύφλεκτο διάλυμα. Ένα πιθανό πλεονέκτημα των gel ηλεκτρολυτών είναι ότι η υγρή φάση απορροφάται στο πολυμερές και έτσι είναι λιγότερο πιθανή η διαρροή από τη μπαταρία. Ωστόσο, σε μια τυπική μπαταρία ιόντων λιθίου με υγρό ηλεκτρολύτη, ο ηλεκτρολύτης απορροφάται σχεδόν ολοκληρωτικά στα υλικά του ηλεκτροδίου και του διαχωριστή και έτσι η πιθανότητα διαρροής σχεδόν μηδενίζεται. Οι σύγχρονοι τύποι των μπαταριών λιθίου έχουν ονομαστική τάση 3.6 V. Η τιμή αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από την

τάση ηλεκτρόλυσης του νερού, η οποία είναι 1.23 V. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν υδάτινοι ηλεκτρολύτες. Ο ηλεκτρολύτης στις μπαταρίες λιθίου είναι ένα οργανικό διάλυμα με διαλυμένα άλατα λιθίου. Συχνά, δύο με τέσσερα διαφορετικά διαλύματα αναμειγνύονται σε συγκεκριμένες αναλογίες και στη συνέχεια προστίθενται και άλλες ουσίες με σκοπό να κατασκευαστεί ο ηλεκτρολύτης με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν μια δομή τριών επιπέδων που αποτελείται από έναν πορώδη διαχωριστή στριμωγμένο μεταξύ των υλικών της ανόδου και της καθόδου, τα οποία, στην περίπτωση ενός πρισματικού στοιχείου, είναι τυλιγμένα σε ελλειπτική μορφή. Τα υλικά αυτά είναι εμποτισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη και κλεισμένα σε μια μεταλλική θήκη. Η μεταλλική αυτή θήκη περιλαμβάνει μια βαλβίδα ασφαλείας για να προστατεύει την μπαταρία με την απελευθέρωση αερίων προς το εξωτερικό, σε περίπτωση που η πίεση στο εσωτερικό του στοιχείου ανέλθει σε υπερβολικά υψηλά επίπεδα[3].

Σε μια μπαταρία ιόντων λιθίου, οι χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης εκφόρτισης περιγράφονται ως εξής: κατά την εκφόρτιση, ιόντα λιθίου Li^+ μεταφέρουν το ρεύμα από το αρνητικό στο θετικό ηλεκτρόδιο μέσα από τον μη υδάτινο ηλεκτρολύτη και το διαχωριστικό διάφραγμα. Κατά τη φόρτιση, μια εξωτερική πηγή ενέργειας (το κύκλωμα φόρτισης) εφαρμόζει μια υπέρταση (μεγαλύτερη τάση αλλά με την ίδια πολικότητα) σε σχέση με αυτήν που παράγεται από την μπαταρία, αναγκάζοντας το ρεύμα να περάσει στην αντίθετη κατεύθυνση. Τα ιόντα λιθίου, στη συνέχεια, μεταναστεύουν από το θετικό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, όπου ενσωματώνονται στο πορώδες υλικό του ηλεκτροδίου σε μια διαδικασία που ονομάζεται παρεμβολή.

Οι χημικές αντιδράσεις για την αναστρέψιμη διαδικασία φόρτισης/εκφόρτισης για τους δύο τύπους του θετικού ηλεκτροδίου φαίνονται παρακάτω.

Για τον τύπο κοβαλτίου:

⇌

Για τον τύπο μαγγανίου:

⇌

6.2 Χαρακτηριστικά

Οι ηλεκτροχημικές δυνατότητες των πηγών ενέργειας που έχουν ως βάση το λίθιο είναι γνωστές εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Οι εξελίξεις στην επεξεργασία και το χειρισμό των υλικών καθώς και στους μη υδάτινους ηλεκτρολύτες έδωσαν τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να φτιάξουν στοιχεία στα οποία απεικονίζονται τα οφέλη που ήταν πιθανά με βάση τη θεωρία.

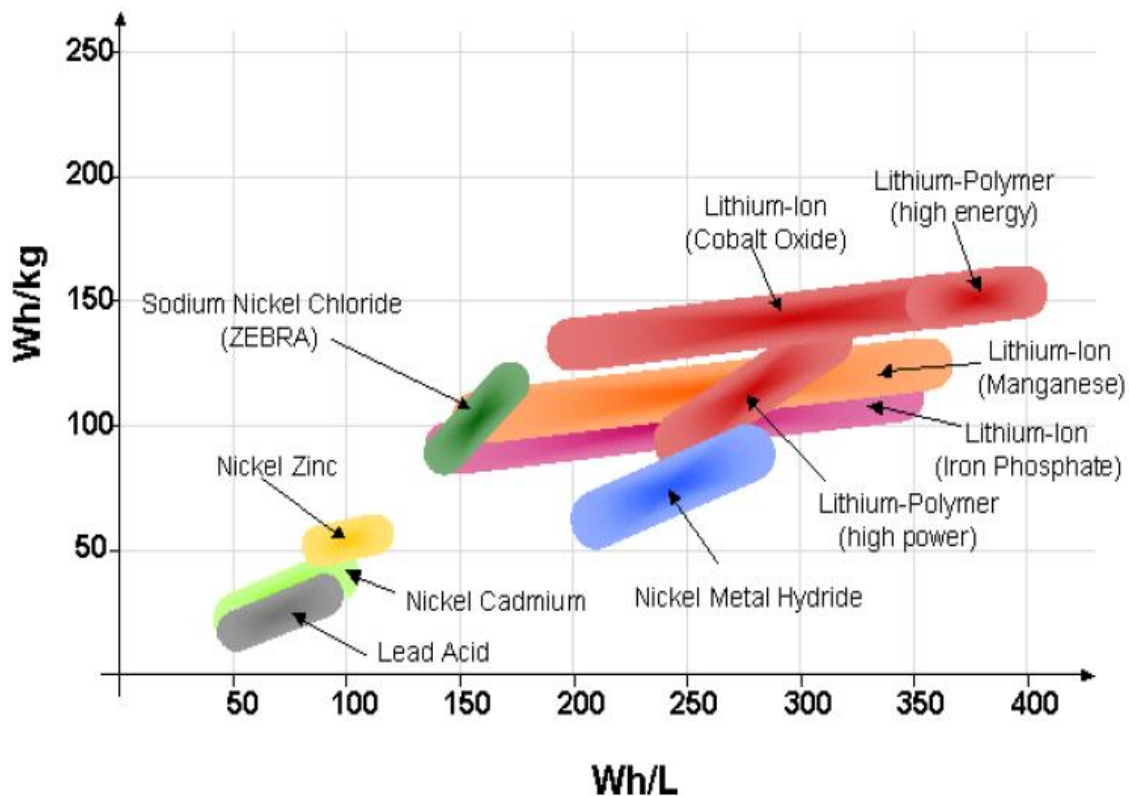
Τα στοιχεία λιθίου προσφέρουν τη δυνατότητα μείωσης μεγέθους και βάρους στις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές και καθιστούν δυνατή την κατασκευή νέων ελαφρύτερων σχεδιασμών. Επίσης, ο εξαιρετικός «χρόνος ραφιού» που έχουν, προσφέρει νέες δυνατότητες στους κατασκευαστές. Κάποια άλλα χαρακτηριστικά των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητά τους, η καλύτερη απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Στη συνέχεια, εξετάζουμε ορισμένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των μπαταριών ιόντων λιθίου και παραθέτουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου.

Πολύ καλή απόδοση

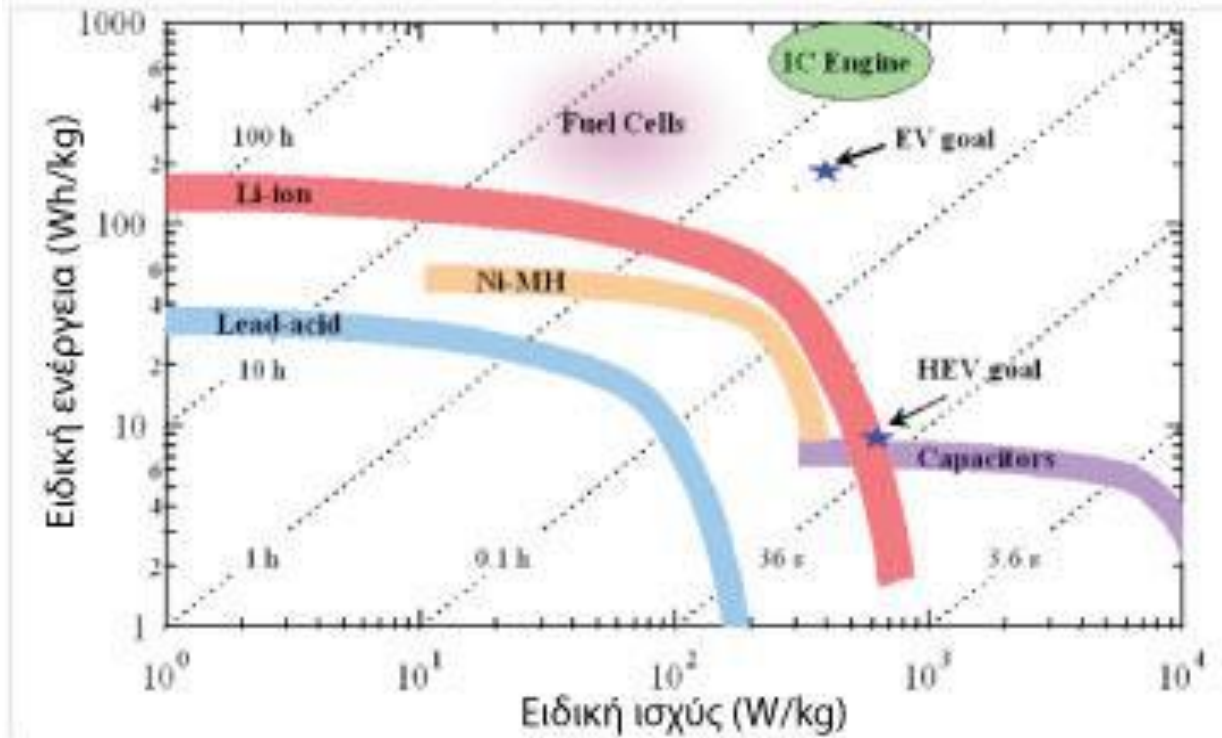
Η μεγάλη επιτυχία που γνώρισαν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου στις φορητές εφαρμογές, οφείλεται κυρίως στην πολύ καλή απόδοσή τους. Η απόδοση της μπαταρίας σχετίζεται πάντα και με άλλα χαρακτηριστικά του συστήματος. Ένας τρόπος να συγκρίνουμε τα διάφορα συστήματα αποθήκευσης είναι αυτός που φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 6.1, όπου βλέπουμε τη σχέση μεταξύ της ειδικής ενέργειας σε Wh/kg και της ενεργειακής πυκνότητας σε Wh/L για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης.

Από το σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά ότι οι μπαταρίες λιθίου έχουν πολύ μικρότερο μέγεθος και πολύ χαμηλότερο βάρος για δεδομένη αποθηκευμένη ενέργεια σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και τις μπαταρίες νικελίου καδμίου[20].

Στο διάγραμμα του σχήματος 6.2 απεικονίζεται η ειδική ενέργεια σε σχέση με την ειδική ισχύ για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης. Είναι προφανές ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν καλύτερη επίδοση από τις μολύβδου οξέος όσον αφορά τόσο την ενέργεια όσο και την ισχύ για δεδομένο βάρος μπαταρίας.



Γραφική 6.1: Σχέση μεταξύ ειδικής ενέργειας και ειδικής πυκνότητας για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης



Γραφική 6.2: Σχέση μεταξύ ειδικής ενέργειας και ειδικής ισχύος για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης

Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα

Η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, οφείλεται κυρίως στην τάση λειτουργίας των περισσότερων ηλεκτροχημικών ζευγών με βάση το λίθιο. Το λίθιο, έχοντας το μεγαλύτερο δυναμικό από τα μέταλλα της ηλεκτροχημικής σειράς (electromotive series), παρέχει μια τάση λειτουργίας περίπου διπλάσια από αυτή των παραδοσιακών συστημάτων. Λόγω της πολύ υψηλής ενεργειακής πυκνότητάς τους και της αντιδραστικότητας του μεταλλικού λιθίου, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι δυνητικά επικίνδυνες. Λανθασμένος χειρισμός μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας λιθίου μπορεί να προκαλέσει θέρμανση, έκρηξη ή πυρκαγιά.

Ως εκ τούτου, είναι πάρα πολύ σημαντικό, όταν έχουμε να κάνουμε με αυτό τον τύπο μπαταριών, να εξασφαλίζεται η προστασία από υπερφόρτιση, υπερεκφόρτιση, πολύ μεγάλα ρεύματα, βραχυκυκλώματα καθώς και η λειτουργία σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Συνήθως, οι μπαταρίες λιθίου παρέχονται με ένα ενσωματωμένο ηλεκτρονικό ελέγχου, ως συσκευή προστασίας. Λειτουργεί ανεξάρτητα από τους εξωτερικούς φορτιστές ή συσκευές παρακολούθησης και επομένως είναι πλήρως ελεγχόμενη από τον κατασκευαστή της μπαταρίας.

Ανώτερη απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες

Λόγω της μη υδάτινης φύσης των ηλεκτρολυτών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα λιθίου, η αγωγιμότητα αυτών των συστημάτων στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι πολύ καλύτερη από αυτή των συστημάτων αποθήκευσης που προϋπήρχαν.

Μεγάλη διάρκεια ζωής «ραφιού»

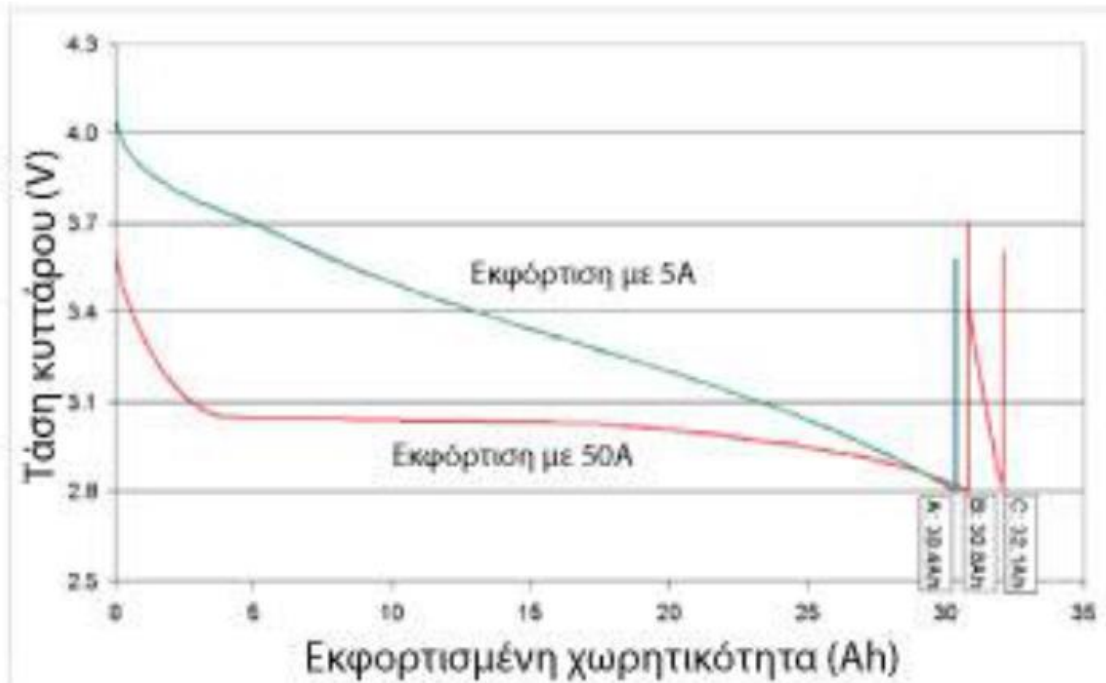
Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρουν τα συστήματα με βάση το λίθιο είναι η δυνατότητα για μεγάλες περιόδους «στο ράφι». Ερμητικά κλειστά στοιχεία, που έχουν κατασκευαστεί από συστήματα που δεν παράγουν αέρια κατά την εκφόρτιση, προστατεύουν το στοιχείο από προσμίξεις από το εξωτερικό περιβάλλον και προλαμβάνουν τη διαρροή του ηλεκτρολύτη από το στοιχείο. Αυτό, σε συνδυασμό με την απουσία αντιδράσεων αυτοεκφόρτισης ή το χαμηλό ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται, δίνει στα συστήματα λιθίου τη δυνατότητα παραμονής στο ράφι για 5 – 10 χρόνια χωρίς να χρειάζεται κάποιο ειδικό περιβάλλον για την αποθήκευσή τους.

Καλή συμπεριφορά επαναφόρτισης

Οι μπαταρίες λιθίου απαιτούν φόρτιση σταθερής τάσης/σταθερού ρεύματος και η συμπεριφορά επαναφόρτισής τους είναι πολύ καλή. Για την επίτευξη επαρκών χρόνων ζωής δεν είναι τόσο σημαντική η πλήρης επαναφόρτιση της μπαταρίας, όπως είναι για τις μπαταρίες μολύβδου οξέος. Παρόλα αυτά, το όριο της τάσης πρέπει να παρατηρείται με ακρίβεια καθώς η τελική τάση φόρτισης (end of charge voltage) περιορίζεται στα 4.1 V και δεν πρέπει να υπερβαίνεται κατά περισσότερο από 50 mV. Υψηλή τάση προκαλεί το σχηματισμό μεταλλικού λιθίου. Σε στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά, πρέπει να διασφαλίζεται η διατήρηση της τάσης μέσα στα επιτρεπτά όρια για κάθε ένα στοιχείο. Η εκφόρτιση των μπαταριών λιθίου πρέπει να περιορίζεται στην τελική τάση εκφόρτισης του κάθε υλικού. Όπως στη φόρτιση έτσι και εδώ, η υπερεκφόρτιση οδηγεί στο σχηματισμό μεταλλικού λιθίου. Για τον τύπο του κοβαλτίου η τελική τάση εκφόρτισης είναι 2.3 V/στοιχείο και για τον τύπο του μαγγανίου είναι 2.7 V/στοιχείο.

Χωρητικότητα

Όπως είδαμε, στις μπαταρίες μολύβδου οξέος, η διαθέσιμη χωρητικότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ρυθμό εκφόρτισης. Στις μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν εμφανίζεται αυτό το πρόβλημα. Στο σχήμα 6.3 φαίνεται ότι η διαθέσιμη χωρητικότητα δε μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του ρυθμού εκφόρτισης.



Γραφική 6.3: Εξάρτηση διαθέσιμης χωρητικότητας από το ρυθμό εκφόρτισης

Φαινόμενο μνήμης / Ανεπαρκής φόρτιση

Όταν εξετάσαμε τις μπαταρίες νικελίου καδμίου συναντήσαμε το φαινόμενο μνήμης. Αν ένα στοιχείο δεν είναι πλήρως φορτισμένο κάποια στιγμή, φαίνεται να θυμάται τη χαμηλότερη αυτή στάθμη φόρτισης την οποία είχε κατά τη διάρκεια των κύκλων του. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, το στοιχείο αυτό δε θα είναι σε θέση να παρέχει επαρκή ισχύ κάτω από αυτή τη στάθμη φόρτισης. Για το λόγο αυτό, τα στοιχεία νικελίου καδμίου χρειάζονται μια πλήρη εκφόρτιση κατά διαστήματα, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα σε ορισμένες εφαρμογές. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος παρουσιάζουν την αντίθετη συμπεριφορά. Αρχίζουν να αποδίδουν λιγότερο αν μένουν σε χαμηλή στάθμη για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η υποφόρτιση καταστρέφει τη μπαταρία μολύβδου οξέος και για αυτό είναι σημαντική η πλήρης επαναφόρτισή της όσο συχνά γίνεται.

Αντίθετα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν παρουσιάζουν κανένα από τα παραπάνω προβλήματα. Μπορούν να αποθηκεύονται ή να χρησιμοποιούνται σε οποιαδήποτε στάθμη φόρτισης και μπορούν να επαναφορτίζονται όποτε χρειάζεται. Ωστόσο, δε θα πρέπει να παραμένουν σε πολύ υψηλές στάθμες και πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς αυτό αυξάνει το πάχος του λεπτού φιλμ που καλύπτει τα σωματίδια στα δύο ηλεκτρόδια (solid – electrolyte – interphase, SEI). Η ιοντική αγωγιμότητα του SEI δεν είναι καλή και η μετακίνηση μέσα από αυτό είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες περιορισμού της ταχύτητας ανταλλαγής των ιόντων Li^+ . Η αύξηση του SEI, επομένως, συνεπάγεται μικρότερη αποδοτικότητα.

Συμπεριφορά στη ζέστη

Πολλοί τύποι μπαταριών εμφανίζουν κάποια προβλήματα στη ζέστη. Υποβαθμίζονται γρήγορα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μερικές υπερθερμαίνονται κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση, κυρίως προς το τέλος της φόρτισης όπου μπορεί να χρειάζεται ψύξη. Τα στοιχεία ιόντων λιθίου είναι πολύ αποδοτικά και δεν θερμαίνονται τόσο πολύ. Δεν υπάρχουν παράπλευρες αντιδράσεις και έτσι δε θερμαίνονται σχεδόν καθόλου κατά το τέλος της φόρτισης. Στην πραγματικότητα, αυτό που συμβαίνει είναι ότι δροσίζονται ελαφρώς κατά τη φόρτιση.

Δεν παγώνουν

Οι μπαταρίες που οι ηλεκτρολύτες τους έχουν ως βάση το νερό μπορεί να παγώσουν και η θήκη τους μπορεί να σπάσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό είναι ένα πολύ γνωστό πρόβλημα για τις πλήρως εκφορτισμένες μπαταρίες μολύβδου οξέος με χαμηλή συγκέντρωση ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν παρουσιάζουν αυτό το πρόβλημα καθώς το οργανικό διάλυμα στα στοιχεία τους δεν παγώνει σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Δεν υπάρχει αεριοποίηση

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος τείνουν να παράγουν αέρια υδρογόνου κατά το τέλος της φόρτισης. Το υδρογόνο είναι εκρηκτικό ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και αυτός είναι ο λόγος που υπάρχουν πολλοί κανονισμοί για τον εξαερισμό και την προστασία από εκρήξεις όταν χρησιμοποιούμε μπαταρίες μολύβδου οξέος. Τα στοιχεία ιόντων λιθίου είναι σφραγισμένα και δεν υπάρχει αεριοποίηση και επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος εκρήξεων.

Ευαισθησία στις άσχημες συνθήκες

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου είναι ανεκτικές σε συνθήκες υπερφόρτισης και βαθειάς εκφόρτισης. Ανάλογα με το επίπεδο και τη διάρκεια των φαινομένων αυτών, μπορεί να μην υποστούν σημαντική φθορά. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι κάπως πιο ευαίσθητες στις άσχημες συνθήκες. Η κακομεταχείρισή τους μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες καταστάσεις όπως η πυρκαγιά.

Καλή λειτουργία σε συνθήκες υψηλής πίεσης

Οι μπαταρίες λιθίου πολυμερούς είναι πλήρως σφραγισμένες και δεν περιέχουν συμπιεστό όγκο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από συνθήκες πολύ υψηλής πίεσης χωρίς να εμφανίσουν απώλεια χωρητικότητας.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μπαταριών ιόντων λιθίου

Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών (σε κάποια από τα οποία έχουμε ήδη αναφερθεί) παρατίθενται παρακάτω [9][21]:

Πλεονεκτήματα

- Κλειστά στοιχεία – δε χρειάζεται συντήρηση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας
- Μεγάλη διάρκεια ζωής «ραφιού»
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης
- Ικανότητα ταχείας φόρτισης
- Ικανότητα εκφόρτισης υψηλών ρυθμών και μεγάλης ισχύος
- Υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα
- Υψηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα
- Δεν υπάρχει φαινόμενο μνήμης
- Πολύ ελαφρύτερες από άλλες ισοδύναμης ενέργειας επαναφορτιζόμενες μπαταρίες
- Υψηλή τάση ανοικτού κυκλώματος σε σχέση με τις υδάτινες μπαταρίες (όπως οι μολύβδου οξέος και οι νικελίου καδμίου). Αυτό είναι θετικό γιατί αυξάνει το ποσό ισχύος που μπορεί να μεταφερθεί σε χαμηλό ρεύμα

Μειονεκτήματα

- Υψηλό αρχικό κόστος
- Υποβάθμιση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες
- Ανάγκη προστατευτικού συστήματος
- Απώλεια χωρητικότητας ή θερμική διέξοδος όταν υπερφορτίζονται
- Εξαερισμός και πιθανή καταστροφή λόγω θερμότητας όταν συνθλίβονται
- Οι κυλινδρικοί σχεδιασμοί συνήθως προσφέρουν χαμηλότερη πυκνότητα ισχύος από τις μπαταρίες νικελίου καδμίου

Η υψηλή ειδική ενέργεια (150 Wh/kg) και ενεργειακή πυκνότητα (400 Wh/L) καθιστά τις μπαταρίες ιόντων λιθίου ελκυστικές για εφαρμογές ευαίσθητες σε βάρος ή όγκο. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου προσφέρουν ένα χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης (2% με 8% ανά μήνα), μεγάλη διάρκεια ζωής, και ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας (φόρτιση σε -20oC ως 60oC, εκφόρτιση σε -40oC ως 65oC), χαρακτηριστικά που καθιστούν δυνατή τη χρήση τους σε ένα πλήθος εφαρμογών. Μια ποικιλία μεγεθών και σχημάτων διατίθενται από ένα πλήθος κατασκευαστών. Τα μεμονωμένα στοιχεία λειτουργούν συνήθως σε τάσεις από 2.5 έως 4.2 V, περίπου 3 φορές αυτή των μπαταριών νικελίου καδμίου και επομένως απαιτούνται λιγότερα στοιχεία για μια μπαταρία δεδομένης τάσης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν την ικανότητα υψηλών ρυθμών. Έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να υποστούν εκφόρτιση σε συνεχόμενο 5C ή 25C παλμικό [9].

Ένα μειονέκτημα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι ότι υποβαθμίζονται όταν εκφορτίζονται σε τάση μικρότερη των 2V και μπορεί να παρουσιάσουν εξαερισμό κατά την υπερφόρτιση καθώς δεν έχουν ένα χημικό μηχανισμό διαχείρισης της υπερφόρτισης. Συνήθως, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου συνοδεύονται από ένα κύκλωμα διαχείρισης και συσκευές μηχανικής αποσύνδεσης για την παροχή προστασίας σε συνθήκες υπερφόρτισης, υπερεκφόρτισης ή πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Άλλο ένα μειονέκτημα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η μόνιμη απώλεια

χωρητικότητα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (650C), σε μικρότερους ρυθμούς, ωστόσο, από τις περισσότερες μπαταρίες άλλων τύπων. Συγκριτικά με τις νικελίου καδμίου, έχουν το μειονέκτημα ότι είναι λιγότερο ανεκτικές σε λειτουργίες με υψηλά ρεύματα, κάτι το οποίο καθιστά την εκφόρτιση σε υψηλά ρεύματα εμφανώς δυσκολότερη. Ακόμη, μέχρι πρόσφατα υπήρχε το πρόβλημα ότι δεν μπορούσαν να επιτύχουν τον ίδιο κύκλο ζωής με τις μπαταρίες νικελίου καδμίου. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχουν επιτευχθεί σημαντικά βήματα όσον αφορά τη βελτίωση της συμπεριφοράς και τους και για τις δύο περιπτώσεις.

6.3 Ασφάλεια

Το μέταλλο του λιθίου παρέχει ένα πολύ υψηλό δυναμικό και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το στοιχείο ιόντων λιθίου εμφανίζει μια υψηλή τελική τάση της τάξης των 3.6 V. Η τάση αυτή, με τη σειρά της, είναι ο λόγος για την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των στοιχείων. Η υψηλή τελική τάση απαγορεύει, όπως είδαμε, τη χρήση υδάτινων ηλεκτρολυτών αφού θα συνέβαινε ηλεκτρόλυση και έτσι χρησιμοποιείται ένα οργανικό διάλυμα. Αυτό το οργανικό διάλυμα έχει πλεονεκτήματα επειδή δεν παγώνει στις χαμηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα αυτά προκαλούν και τα κύρια μειονεκτήματα που αφορούν την ασφάλεια: το λίθιο μέταλλο είναι υψηλής δραστικότητας και δεν μπορεί να κατασβηστεί με νερό. Οι υψηλές πυκνότητες ενέργειας και ισχύος συνήθως σημαίνουν υψηλότερους κινδύνους και το οργανικό διάλυμα είναι εύφλεκτο. Ευτυχώς, υπάρχουν κάποιες αρχές λειτουργίας που καθιστούν τα στοιχεία αυτά εγγενώς πιο ασφαλή από όσο φαίνονται με μια πρώτη ματιά [20].

Πρώτον, δεν υπάρχει μεταλλικό λίθιο μέσα στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Μεταλλικό λίθιο μπορεί να είναι επενδυμένο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, εάν τα στοιχεία υπερφορτίζονται. Όμως, συνήθως, το επενδυμένο λίθιο μέταλλο αντιδρά ακαριαία με τον ηλεκτρολύτη και αυξάνει ακίνδυνα το στρώμα του SEI. Παρόλα αυτά, η αντίδραση αυτή μπορεί να παράξει επαρκή θερμότητα έτσι ώστε να ξεκινήσει η θερμική διεξοδος σε περίπτωση που η επένδυση πραγματοποιείται σε υψηλό ρυθμό, π.χ. όταν υπερφορτίζεται το στοιχείο με υψηλό ρεύμα. Ευτυχώς, ο διαχωριστής παρουσιάζει μια συμπεριφορά αποκλεισμού, που σημαίνει ότι εμποδίζει τα ιόντα λιθίου να τον διαπεράσουν όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του στοιχείου ανέλθει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτό σταματάει την υπερφόρτιση και επομένως τις περαιτέρω αντιδράσεις.

Δυστυχώς, ο διαχωριστής θα καταρρεύσει εάν η διαδικασία έχει επαρκή θερμική δυναμική και η θερμοκρασία συνεχίσει να ανεβαίνει παρά τη διακοπή της λειτουργίας. Όταν καταρρεύσει, ο διαχωριστής θα χάσει την ακεραιότητά του και μπορεί να επιτραπεί στο θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο να έρθουν σε επαφή. Αυτό θα προκαλέσει μια ταχεία εξώθερμη αντίδραση, ο διαλύτης θα αναφλεχθεί και θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη παραγωγή θερμότητας και ακόμα μεγαλύτερες αντιδράσεις. Μια βαλβίδα ασφαλείας θα ανοίξει και θα αποτρέψει τη συσσώρευση επικίνδυνης πίεσης στο εσωτερικό του στοιχείου. Το στοιχείο δε θα εκραγεί αλλά θα πιάσει φωτιά και η θερμότητα της φωτιάς θα προκαλέσει τα στοιχεία δίπλα σε αυτό να πιάσουν και εκείνα φωτιά. Το θετικό της υπόθεσης είναι ότι, αντίθετα με ότι συμβαίνει στα φλεγόμενα υγρά, η φωτιά θα περιοριστεί στο εσωτερικό της μπαταρίας και δε θα διαχυθεί. Αναστροφή πολικότητας με υψηλά ρεύματα μπορεί να προκαλέσει ένα παρόμοιο σενάριο.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι σημαντικό για κάθε ένα στοιχείο στη μπαταρία να μην εισέρχεται σε καμία από τις παραπάνω άσχημες συνθήκες. Η ηλεκτρονική προστασία και διαχείριση της μπαταρίας θα συζητηθεί σε επόμενη ενότητα. Επικίνδυνες συνθήκες λειτουργίας μπορούν επίσης να προκύψουν από μηχανικές επιπτώσεις, από ελαττωματικά στοιχεία ή από την ανάπτυξη δενδριτών που θα μπορούσαν να εισχωρήσουν στο διαχωριστή και να προκαλέσουν τοπικά εσωτερικά βραχυκυκλώματα. Ωστόσο, κατασκευαστές στοιχείων και ανεξάρτητοι οργανισμοί κάνουν διάφορα μηχανικά και ηλεκτρικά τεστ και υποβάλλουν τα στοιχεία σε κακές συνθήκες προκειμένου να αξιολογήσουν την ασφάλεια του σχεδιασμού τους. Η ανάπτυξη δενδριτών και η εισχώρηση στο διαχωριστή δεν μπορεί συνήθως να προκαλέσει την παραγωγή επαρκούς τοπικής θερμότητας για την εκκίνηση μιας θερμικής διεξόδου. Η χαμηλή τάση των στοιχείων και η τάση 0V στους ακροδέκτες του στοιχείου είναι ενδείξεις εσωτερικών βραχυκυκλωμάτων και δεν πρέπει να αγνοούνται. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να απαγορεύεται η ταχεία φόρτιση για να αποτραπεί η παραγωγή επαρκούς θερμότητας στο εσωτερικό του στοιχείου. Αυτό είναι συνήθως δουλειά των ηλεκτρονικών προστασίας ή διαχείρισης της μπαταρίας. Η ασφαλής χρήση των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι δυνατή, αλλά για την επίτευξή της είναι ζωτικής σημασίας ο καλός σχεδιασμός του συστήματος και η ηλεκτρονική προστασία.

6.4 Γήρανση

Μέχρι τώρα, η μακροζωία των μικρών μπαταριών ιόντων λιθίου στις περισσότερες φορητές εφαρμογές δεν έχει αμφισβητηθεί. Στις μεγάλες μπαταρίες, όμως, η γήρανση και ο χρόνος ζωής είναι ζητήματα που μας απασχολούν. Αντίθετα με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, των οποίων η διάρκεια ζωής είναι γνωστή σε συγκεκριμένες εφαρμογές, η γήρανση των μπαταριών ιόντων λιθίου δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι μεγάλα στοιχεία ιόντων λιθίου δεν ήταν ευρέως διαθέσιμα μέχρι πρόσφατα. Υπάρχουν ορισμένες πληροφορίες για τη διάρκεια ζωής των μπαταριών αυτών που βασίζονται σε δοκιμές υπό συγκεκριμένες λειτουργίες, όμως, επειδή ακόμα δεν μπορεί να δοθεί μια ικανοποιητική απάντηση για το χρόνο ζωής των μπαταριών ιόντων λιθίου, σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε στους πιο σημαντικούς παράγοντες γήρανσης. Η αρχή λειτουργίας των μπαταριών μολύβδου οξέος προκαλεί το σχηματισμό κρυστάλλων, όπως θα δούμε στη θείκωση, και επομένως περιλαμβάνει τη γήρανση της μπαταρίας. Θεωρητικά, δεν υπάρχει κάτι τέτοιο στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Τα ιόντα λιθίου απλώς μετακινούνται προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση, ταξιδεύουν μέσα από το SEI και ενσωματώνονται στα ηλεκτρόδια χωρίς σημαντική αλλαγή στον όγκο. Ωστόσο, στην πράξη, υπάρχουν 3 κύριες διαδικασίες γήρανσης, στις οποίες δε λαμβάνονται υπ' όψιν οι κακές συνθήκες λειτουργίας.

1. Το SEI μπορεί να υποστεί ζημιά καθώς τα ιόντα το διαπερνούν. Το στρώμα αυτό μεγαλώνει και απορροφάται λίθιο, αλλά στη συνέχεια επανέρχεται στο αρχικό του μέγεθος αυξάνοντας όμως το πάχος του γύρω από το σημείο της ζημιάς. Ένα παχύτερο στρώμα SEI έχει ως αποτέλεσμα χειρότερη απόδοση και η κατανάλωση λιθίου μπορεί τελικά να έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη χωρητικότητα.

2. Μόρια του διαλύματος μπορεί να ενσωματωθούν μαζί με τα ιόντα λιθίου στη δομή των ηλεκτροδίων και ως εκ τούτου να προκαλέσουν φθορά στην επιφάνεια και να εμποδίσουν την περαιτέρω ενσωμάτωση ιόντων λιθίου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη χωρητικότητα καθώς επίσης και απώλεια απόδοσης λόγω της μειωμένης ενεργής επιφάνειας.

3. Τέλος, ο ηλεκτρολύτης δεν είναι τελείως σταθερός και με το χρόνο αποσυντίθεται. Ο ρυθμός αποσύνθεσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την τάση ακροδεκτών και το μείγμα των διαλυμάτων. Γενικά, υψηλού ιξώδους μείγματα αποσυντίθενται πιο αργά αλλά έχουν χειρότερες επιδόσεις. Υψηλές θερμοκρασίες και υψηλές τάσεις ακροδεκτών επιταχύνουν τη διαδικασία αποσύνθεσης.

Από τα παραπάνω είναι προφανές, ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλές τάσεις ακροδεκτών κατά το χρόνο αποθήκευσης, θα έχουν ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής της μπαταρίας. Πειραματικά αποτελέσματα (προσομοίωσης) έχουν δείξει ότι για το ίδιο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, σε διάρκεια λειτουργίας 30 ετών, οι συσσωρευτές μολύβδου οξέος θα χρειαστούν αντικατάσταση 2 με 3 φορές, ενώ οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δε θα χρειαστούν αντικατάσταση[22]. Παρ' όλο που οι παράγοντες γήρανσης δεν είναι ακόμα γνωστοί με ακρίβεια για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου και θα χρειαστούν κάποια χρόνια λειτουργίας του σε φωτοβολταϊκά συστήματα για να έχουμε μια πλήρη εικόνα, τα αποτελέσματα αυτά είναι ελπιδοφόρα όσον αφορά τη μείωση του κόστους συντήρησης του συσσωρευτή σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

6.5 Προστασία

Η προστασία μέσω ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος είναι απαραίτητη για την ασφαλή λειτουργία των μπαταριών ιόντων λιθίου. Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζουμε επιγραμματικά τις βασικές απαιτήσεις ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος προστασίας [20]. Υπερβολικά ψηλά ρεύματα μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του στοιχείου και αυτό μπορεί να προκαλέσει καταστροφή λόγω θερμότητας. Μια ασφάλεια είναι ο απλούστερος τρόπος προστασίας από τα υψηλά ρεύματα. Η υπέρταση ή αναστροφή του στοιχείου (αρνητική τάση ακροδεκτών) μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις και πρέπει να προλαμβάνεται για κάθε στοιχείο. Έτσι, η τάση κάθε στοιχείου πρέπει να παρακολουθείται και το κύκλωμα προστασίας πρέπει να είναι ικανό να αποσυνδέει τη μπαταρία από το φορτίο ή τη συσκευή φόρτισης. Στην απλούστερη μορφή, αυτό επιτυγχάνεται με 2 συγκριτές ανά στοιχείο και αφήνοντας κάθε έναν από αυτούς να εναλλάσσει τις θέσεις ενός ρελέ, το οποίο αποσυνδέει το σύστημα των μπαταριών από τυχόν συνδεδεμένο φορτίο ή φορτιστή σε περίπτωση που κάποιο από τα στοιχεία υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπτή τάση στοιχείου ή αν κάποιο από τα στοιχεία πέσει κάτω από την ελάχιστη επιτρεπτή τάση στοιχείου. Τέλος, υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν επικίνδυνες καταστάσεις ειδικά κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Οι περισσότεροι κατασκευαστές δεν επιτρέπουν φόρτιση στοιχείων ιόντων λιθίου σε περίπτωση που η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβαίνει τους 45°C. Το κύκλωμα της ηλεκτρονικής προστασίας στην απλούστερη μορφή του, χρειάζεται να μετράει τις θερμοκρασίες των στοιχείων και να αποσυνδέει τη μπαταρία σε περίπτωση που κάποια από τις θερμοκρασίες υπερβαίνει το μέγιστο όριο. Είναι προφανές ότι η παραπάνω απλουστευμένη έκδοση του κυκλώματος προστασίας δεν καλύπτει τις ανάγκες προστασίας κάθε εφαρμογής, επομένως επιπλέον στοιχεία πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό ενός κυκλώματος με το οποίο θα επιτυγχάνεται πλήρης και αποτελεσματική προστασία. Στόχος της ενότητας αυτής ήταν απλά να δώσει μια εικόνα των βασικών λειτουργιών που πρέπει να επιτελεί ένα τέτοιο σύστημα.

6.6 Πρόσφατες Εξελίξεις

Μια από κοινού έρευνα του πανεπιστημίου του Southampton και της εταιρίας REAP systems για την τεχνολογία μπαταριών λιθίου έδειξε ότι ένας νέος τύπος μπαταρίας λιθίου έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την αποδοτικότητα και να μειώσει το κόστος σε εφαρμογές ηλεκτρικής ενέργειας. Η έρευνα ήταν συγκεκριμένα για τη χρήση μπαταριών λιθίου σαν συσκευές αποθήκευσης σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Η μπαταρία που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια μπαταρία φωσφορικού άλατος λιθίου σιδήρου (lithium iron phosphate), LiFePO_4 , η οποία ήταν συνδεδεμένη σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε ένα από τα κτίρια του πανεπιστημίου [23]. Η έρευνα έδειξε ότι η μπαταρία που χρησιμοποιήθηκε έχει ενεργειακή απόδοση 95%, ενώ οι μπαταρίες μολύβδου οξέος που χρησιμοποιούνται συνήθως έχουν απόδοση περίπου 85%. Επίσης, το βάρος των μπαταριών λιθίου είναι μικρότερο και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου οξέος αφού φτάνουν τους 1600 κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης, πράγμα που σημαίνει ότι είναι λιγότερο συχνή η ανάγκη αντικατάστασής τους.

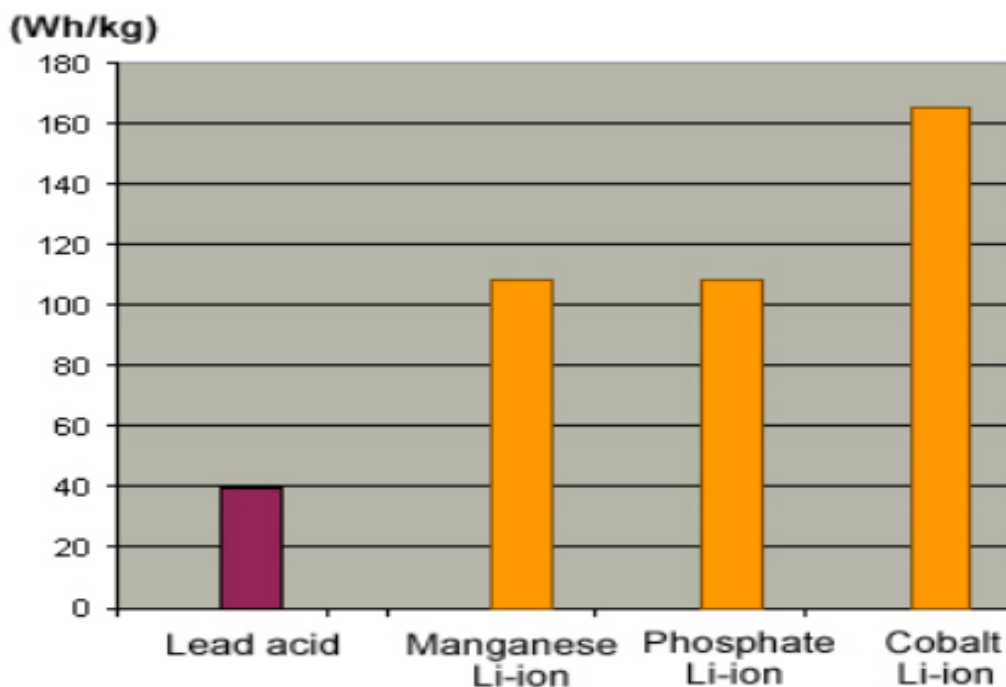
Παρ' όλο που η μπαταρία θα χρειαστεί περαιτέρω έλεγχο πριν δοθεί για εμπορική χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, η έρευνα έδειξε ότι έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και να συμβάλλει στη μείωση τόσο του κόστους εγκατάστασης όσο και συντήρησης.

Μεγάλες εταιρίες ηλεκτρονικών αυξάνουν την παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου και μέσα στο 2013 αναμένεται μαζική παραγωγή μπαταριών λιθίου που έχουν σχεδιαστεί για σπίτια που τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά συστήματα. Ωστόσο, η τιμή των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι ακόμα αρκετά υψηλή και θα πρέπει να περάσουν κάποια χρόνια πριν γίνουν ανταγωνιστικές στην αγορά.

6.7 Γενικότερα για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου

Πίνακας 6.1 : Κατάλογος από διάφορες τεχνολογίες μπαταριών ιόντων λιθίου

Technology	Pros/Cons	Applicationfield
Lithium – Cobalt – Oxide (LCO)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energy density ➤ Dangerous chemistry under some conditions ➤ Lifespan 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Low power application ➤ Power tools
Lithium Iron Phosphate (LFP or LiDePo4)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Excellent Lifespan ➤ Safety ➤ Cost ➤ Specific energy slightly lower than Lithium Cobalt Oxide 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vehicle traction (EV) ➤ Off – Grid ➤ Stationary batteries ➤ UPD, back – up, etc
Lithium Manganese Oxide (LMO)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fast charge ➤ Power available ➤ Safety ➤ Lifespan 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vehicle traction (EV) ➤ Power tools, etc



Γραφική 6.4 : Κατανάλωση σε συνάρτηση με διάφορους τύπους μπαταριών

Μπαταρίες Lithium Iron Phosphate “LiFePO4 “

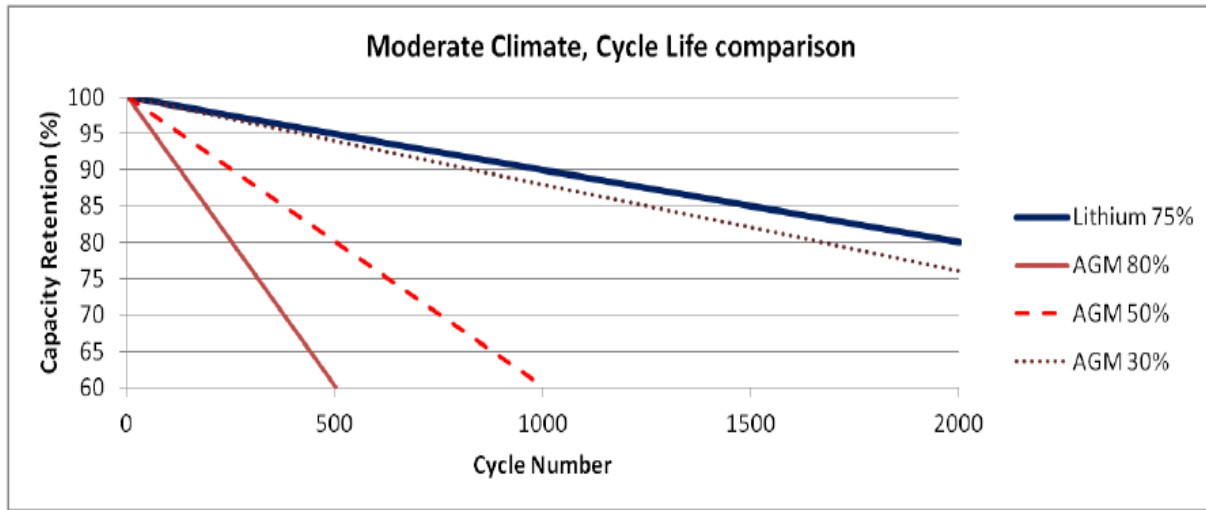
- Πολύ ασφαλής, παρουσιάζει “Thermal Runaway” σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες ιόντων λιθίου.
- Μεγάλη διάρκεια λειτουργίας.
- Έχει πολύ χαμηλό δείκτη τοξικότητας σε σχέση με την τεχνολογία λιθίου κοβαλτίου.
- Είναι εύκολα ανακυκλώσιμη.
- Δεν επηρεάζεται από τις ψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
- Έχει μικρότερο κόστος κατασκευής.
- Αποτελεί ιδανική λύση για αυτόνομα συστήματα, και συστήματα αυτοκατανάλωσης.

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά μπαταρίας Lithium Phosphate

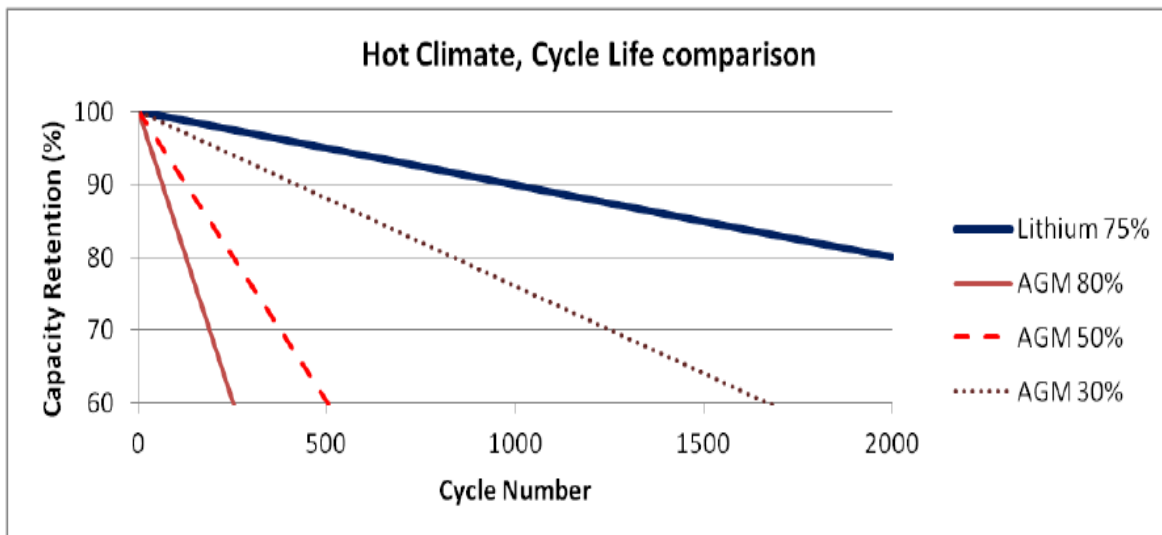
Lithium Phosphate: LiFePO ₄ , Graphite anode, Since 1996 Short form: LFP or Li-phosphate	
Voltage, nominal	3.20V, 3.20V
Specific Energy (capacity)	90-120Wh/kg
Charge (C-rate)	1C typical; 3.65V peak; 3h charge time
Discharge (C-rate)	25-30 continuous, 2V cut-off (lower than 2V causes damage)
Cyclelife	1000-2000 (related to depth of discharge, temperature)
Thermal runaway	270 °C (518 °F) Very safe battery even if fully charged
Applications	Portable and stationary needing high load currents and endurance
Comments	Very flat voltage discharge curve but low capacity. One of safest Li-Ions. Elevated self-discharge

7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΟΞΕΟΣ ΜΕ ΤΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ

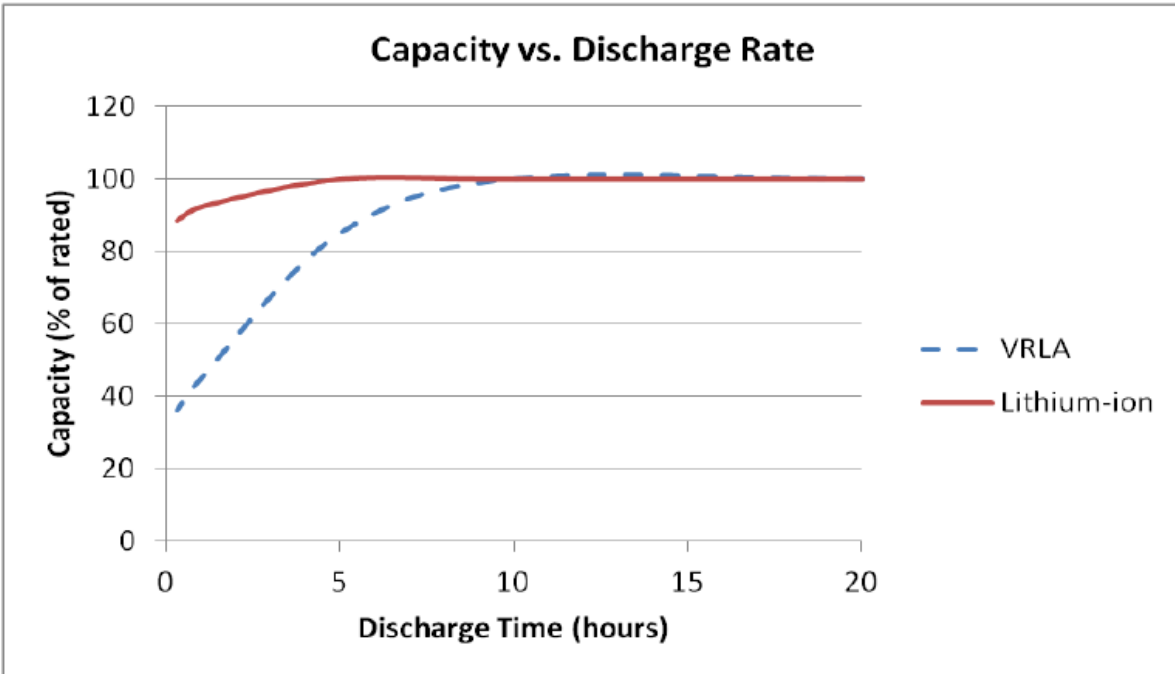
7.1 Χαρακτηριστικά και Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως



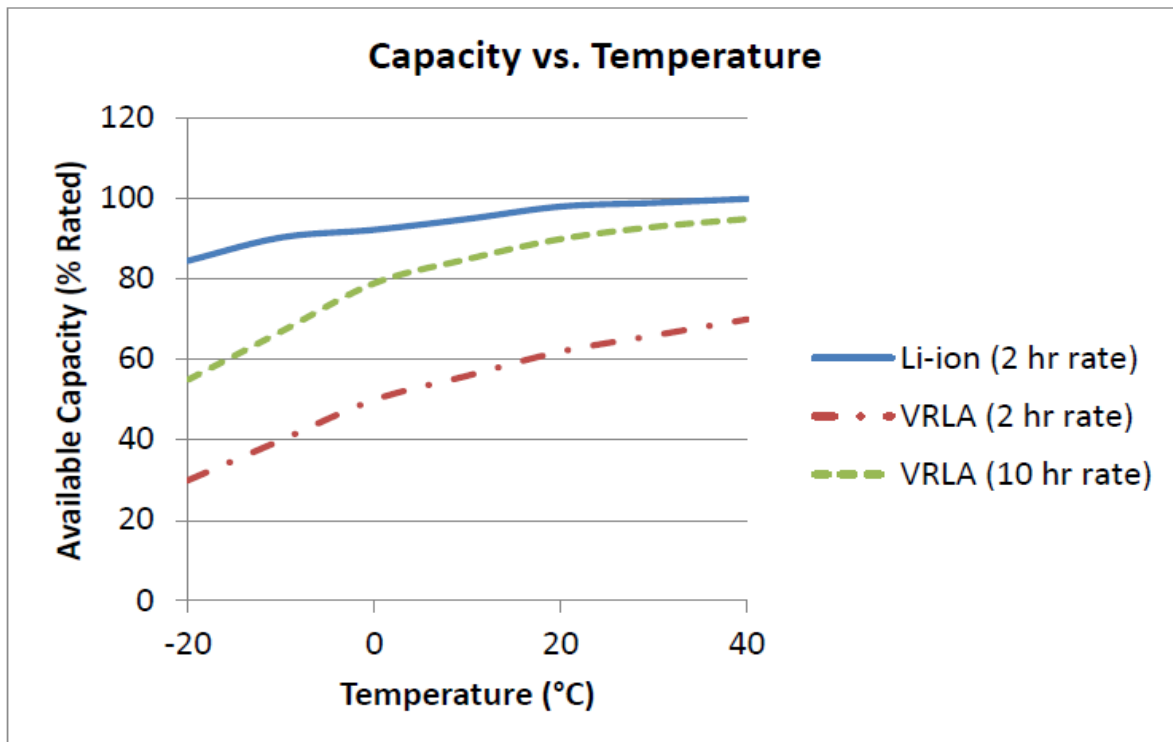
Γραφική 7.1: Αριθμός κύκλων μπαταρίας για θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 βαθμούς κελσίου σε διαφορετικά βάθη εκφόρτισης



Γραφική 7.2: Αριθμός κύκλων μπαταρίας για θερμοκρασία περιβάλλοντος 33 βαθμούς κελσίου σε διαφορετικά βάθη εκφόρτισης



Γραφική 7.3: Χωρητικότητα σε συνάρτηση με το ρυθμό εκφόρτισης



Γραφική 7.4: Χωρητικότητα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία



VS



Charge efficiency = 70%

Charge efficiency = 96%

Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά και Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέως

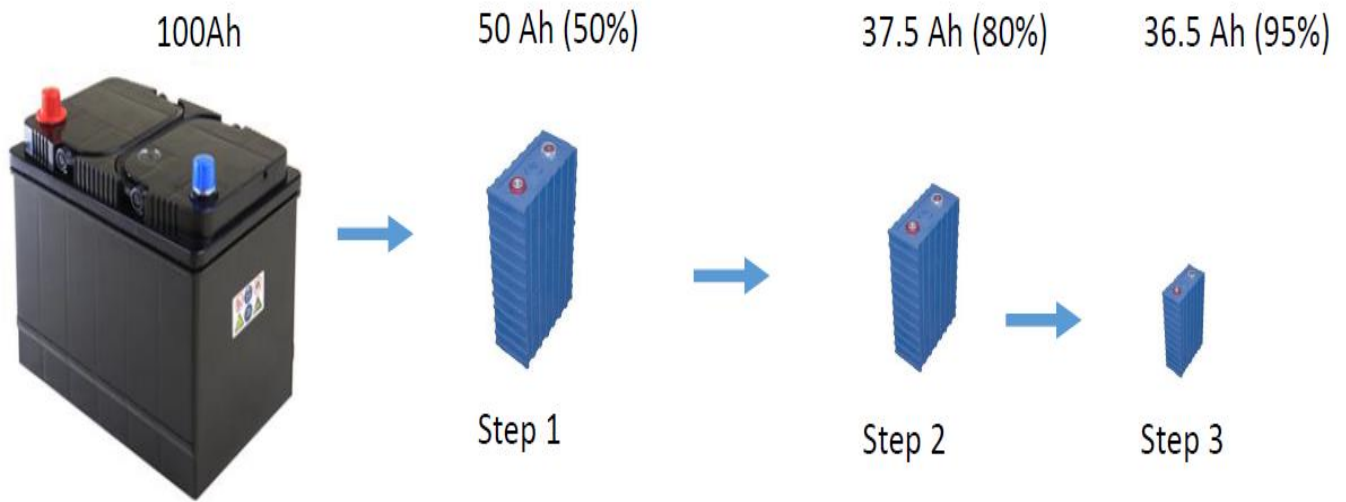
	Voltage	Ah	Wh	Weight (kg)
Lead Acid	12V	200	2400	50
LifePO4	13V	66	864	13
Lead Acid	48V	3461	166111	3461
LifePO4	52	1150	59800	780

Χαρακτηριστικά και Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέως

7.2 Διαστασιολόγηση μπαταρίας ιόντων λιθίου σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως.

- Βάθος εκφόρτισης: 50% Lead – acid , 100% LiFePO4
- Βαθμός απόδοσης εκφόρτισης μπαταρίας: Lead – acid 25% περισσότερες απώλειες από LiFePO4
- Τάση μπαταρίας: Lead – acid 5% χαμηλότερη από LiFePO4

$$= Ah(LA) * 50\% * 75\% * 95\% = 36\%$$



Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος:

5kWh=€5300

7000 cycles

at DOD 80%, 20 °C

5.28kWh=€1192

1000 cycles

at DOD 80%, 20 °C



8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΓΜΟΓΩΝ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

8.1 Βάση ταχύτητας εκφόρτισης

Με βάση την ταχύτητα εκφόρτισης, κατατάσσονται πρώτα οι υψηλής ισχύος πυκνωτές και τα υπεραγωγία πηνία με λίγα δευτερόλεπτα ως προς το χρόνο εκφόρτισης τους. Στους πυκνωτές υψηλής ισχύος η ισχύς τους είναι μεταξύ 100kW ως 1MW. Ακολούθως, έχουμε τις υψηλούς ισχύος στρεφόμενες μάζες, με χρόνο εκφόρτισης ένα ικανοποιητικό χρόνο δευτερολέπτων ως και μερικά λεπτά, για συστήματα ισχύος από 10 ως μερικές προς λίγες εκατοντάδες kW. Με χρόνο εκφόρτισης αρκετά λεπτά ως και μία ώρα ανάλογα, ακολουθούν οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου, λιθίου-ιόντος, μολύβδου-οξέως και οι υψηλής ενέργειας υπέρ-πυκνωτές. Η ισχύς στα συστήματα κυμαίνεται ως ακολούθως:

Μπαταρίες λιθίου-ιόντος:	1 ως 100kW
Μπαταρίες νικελίου-καδμίου :	1kW ως 5MW
Μπαταρίες μολύβδου-οξέως:	1kW ως 10MW
Μπαταρίες υψηλής ενέργειας υπέρ- πυκνωτές:	5 ως 100 kW

Παρομοίως, σε αυτή την κατηγορία βρίσκονται και οι μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες με συστήματα ως και 5kW περίπου σε ισχύ.

Τέλος, στη κατηγορία που ακολουθεί έχουμε συστήματα με χρόνο εκφόρτισης μερικών ωρών.

Σε αυτά τα συστήματα έχουμε μπαταρίες μετάλλου-αέρος με ισχύ ως 10kW , μπαταρίες ροής (Zn/R, Vrb) για συστήματα ισχύος από 10kW ως 10MW.

Σε αυτή την κατηγορία βρίσκονται επίσης συστήματα 1GW όπου είναι η πιο καθωσπρέπει η αντλιοσταμείωση και τα συστήματα συμπυκνωμένου αέρα.

8.2 Βάση το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας

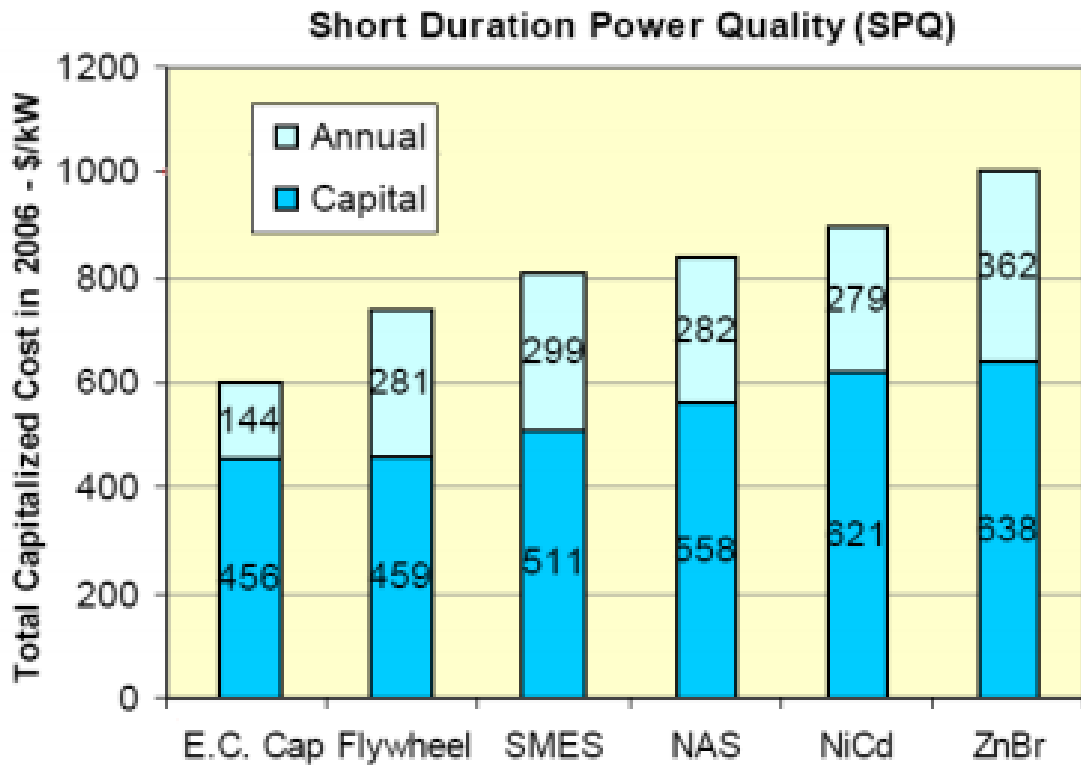
Φθηνότερες διατάξεις και μπαταρίες, με βάση το κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα ενέργειας είναι :

Διατάξεις αντλιοσταμίου	40-100 \$/kWh
Μπαταρίες ροής	100-110 \$/kWh
Μπαταρίες μολύβδου-οξέος	200-1000 \$/kWh
Μπαταρίες νικελίου-καδμίου / λιθίου-ιόντος	800-2000 \$/kWh
Μακράς διάρκειας στρεφόμενες μάζες/υψηλής ισχύος υπερπυκνωτές	σχεδόν 10000\$/kWh

Πιο κάτω θα παρατηρήσουμε διαγράμματα που παρουσιάζουν το χρονιαίο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του κάθε συστήματος αποθήκευσης όπως επίσης και το κόστος αρχικού κεφαλαίου, εξαρτώμενο από την εφαρμογή που αναλαμβάνουν. Οι τιμές αυτές σχετίζονται με μονάδες αποθήκευσης 10MW και το έτος βάσης της τιμής του δολαρίου είναι το 2003. Στην κάθε περίπτωση παρουσιάζονται κάποιοι μέθοδοι αποθήκευσης που σίγουρα υπάρχουν και άλλοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αν και φυσικά αυτοί που θα αναφερθούν είναι οι πιο οικονομικοί.

Πρώτη Περίπτωση (Μικρού χρονικού διαστήματος ανάπτυξη της ποιότητας ισχύος):

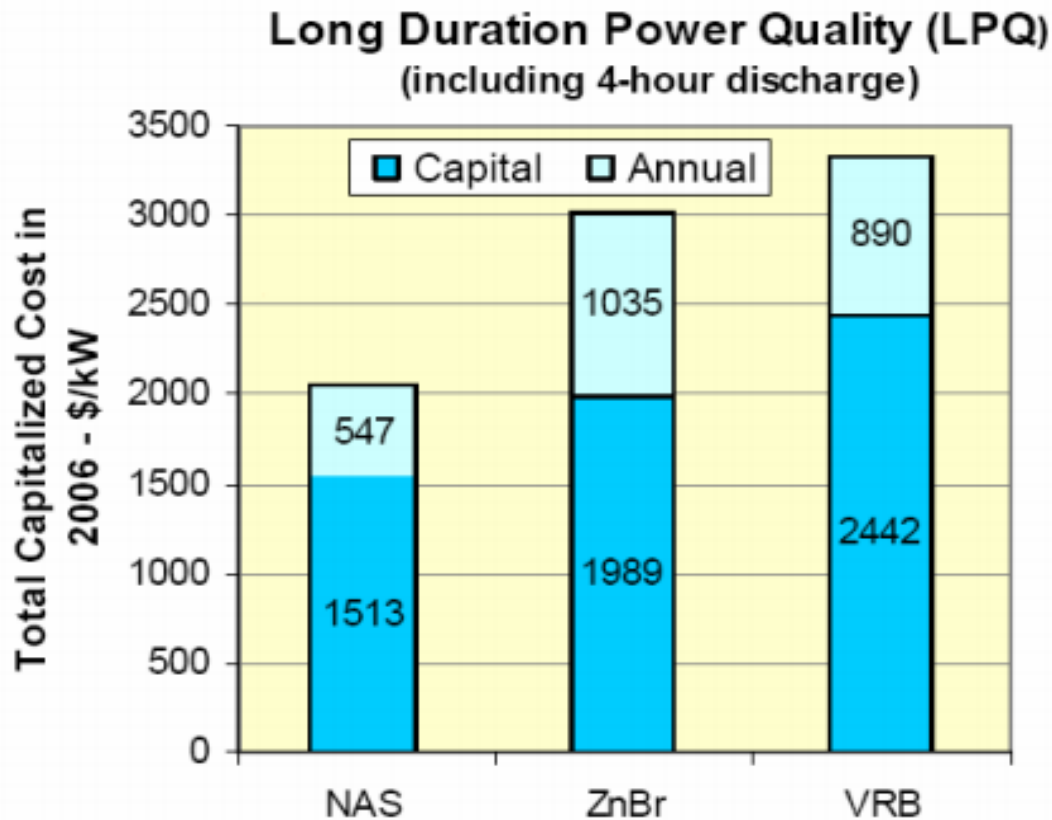
Αυτή η περίπτωση σχετίζεται με την απαλλαγή των βυθίσεων τάσεως. Αναφορικά, θεωρούνται οι βυθίσεις τάσης διάρκειας 2 δευτερολέπτων που γίνονται το μέγιστο ανά μία ώρα, ...Σαν αναφορά θεωρούνται οι βυθίσεις τάσης διάρκειας 2 sec που συμβαίνουν το πολύ ανά 1 ώρα, με το πολύ 5 τέτοιες βυθίσεις την ημέρα και μέγιστο αριθμό 100 τον χρόνο. Μικρού χρονικού διαστήματος ανάπτυξη της ποιότητας ισχύος έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν οικονομικά, ιδίως οι μονάδες υπεραγωγίων πηνίων, οι μονάδες υπέρ-πυκνωτών, οι μονάδες μπαταριών flywheels, NaS, NiCd και ZnBr.



Διάγραμμα 8.1: Ολικό Κόστος σε σύγκριση με τη παροχή ανάπτυξης ποιότητας μικρού χρονικού διαστήματος

Δεύτερη περίπτωση (Μεγάλου χρονικού διαστήματος ανάπτυξη της ποιότητας ισχύος):

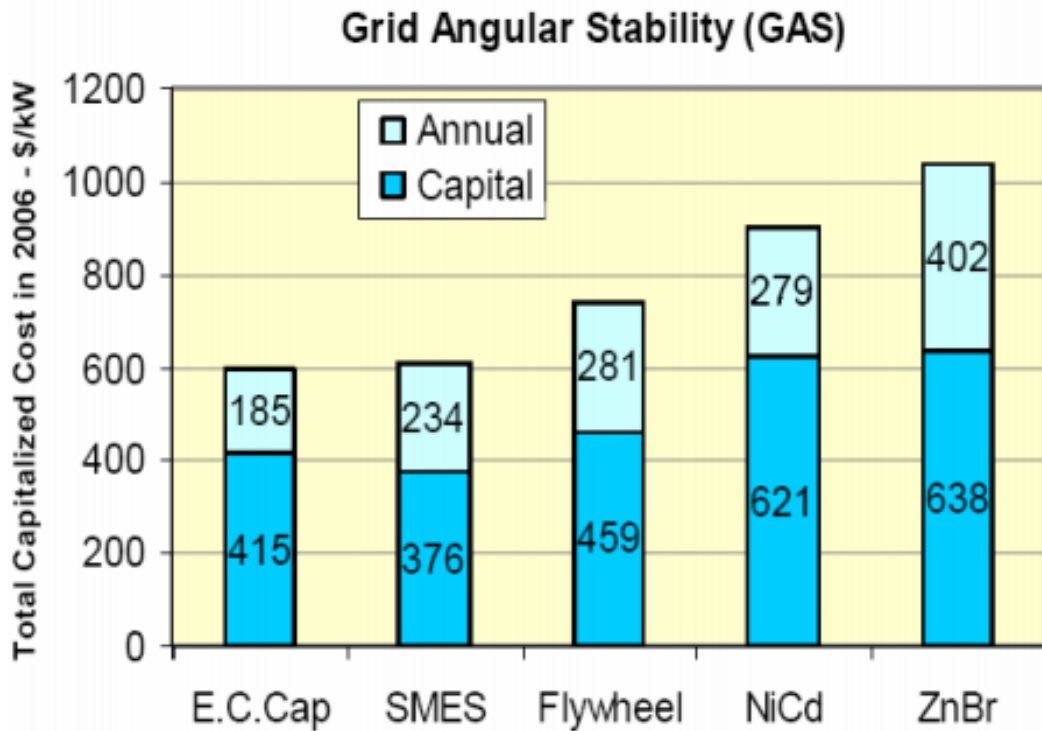
Αυτή η περίπτωση σχετίζεται με την απαλλαγή των βυθίσεων τάσεως μικρού χρονικού διαστήματος SPQ, όπως επίσης και στήριξη φορτίου μέχρι 4 ώρες για μια φορά το χρόνο. Μεγάλου χρονικού διαστήματος ανάπτυξη ποιότητας ισχύος έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν οικονομικά, ιδίως οι μονάδες μπαταριών NaS, ZnBr και VRB.



Διάγραμμα 8.2: Ολικό κόστος σε σύγκριση με την παροχή ανάπτυξης ποιότητας μεγάλης χρονικής περιόδου

Τρίτη περίπτωση (Σταθερότητα ταλαντώσεων ισχύος):

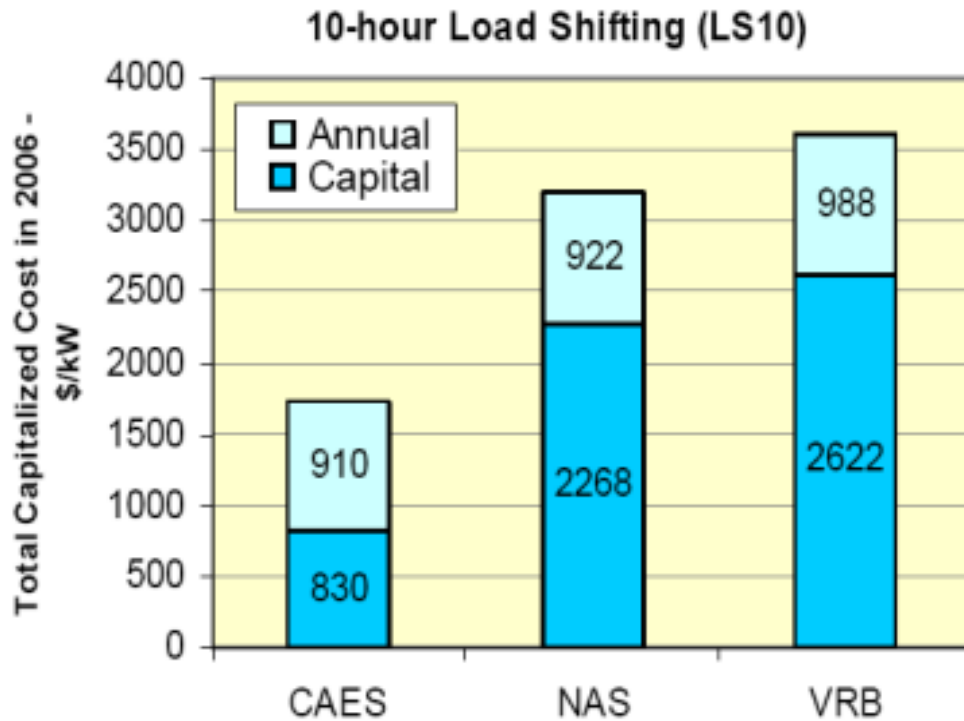
Σε αυτή την εδώ την περίπτωση έχουμε την εξομάλυνση των ταλαντώσεων ισχύος, αφομοιώνοντας ενεργό ισχύ για χρονική περίοδο 1 με 2 δευτερόλεπτα. Σταθερότητα ταλαντώσεων ισχύος έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν οικονομικά, ιδίως οι μονάδες υπέρ-πυκνωτών, οι μονάδες υπεραγωγίμων πηνίων, οι μονάδες flywheels και οι μονάδες μπαταριών NiCd και ZnBr.



Διάγραμμα 8.3: Ολικό κόστος σε σύγκριση με τη παροχή ανάπτυξης σταθερότητας ταλαντώσεων

Τέταρτη Περίπτωση (10 ώρες στήριξη Φορτίου) :

Στην περίπτωση αυτή έχουμε την παραλαβή του φορτίου τις ώρες αποκορύφωσης, σε συνολικό χρονικό διάστημα 10 ωρών. Αυτό το γεγονός συμβαίνει μία φορά την ημέρα, και 250 φορές το χρόνο συνολικά. Τέτοιου είδους σύστημα 10 ωρών στήριξης φορτίου έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν οικονομικά, ιδίως οι μονάδες υπέρ-πυκνωτών, οι μονάδες υπεραγωγίων πηνίων, οι μονάδες CAES και οι μονάδες μπαταριών, NaS και VRB.



Διάγραμμα 8.4: Ολικό κόστος σε σύγκριση με την παροχή 10 –hour Load Shifting

8.3 Σύνοψη

Τα διάφορα αποθηκευτικά μέσα έχουν τοποθετηθεί στους πιο κάτω πίνακες, ως προς αυτές τις κατηγορίες όπου μελετήσαμε προηγουμένως.

Πίνακας 8.1: Αποθηκευτικά μέσα βάση της κατηγορίας τους

Διατάξεις πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος				
Σύστημα πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kW)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
SMES	300	72000	Δευτερόλεπτα	0.95
Στρεφόμενες μάζες (χαμηλή ταχύτητα)	280	300	Δευτερόλεπτα	0.9
Μπαταρίες (μολύβδου οξέος)	175	100-200	Δευτερόλεπτα	0.85
Συμπιεσμένος Αέρας	400	10-20	Δευτερόλεπτα	0.5-0.7
Υπέρ-πυκνωτές	300	82000	Δευτερόλεπτα	0.95

Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εξομάλυνση των διακυμάνσεων της αιολικής ισχύος				
Σύστημα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος Ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kW)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Στρεφόμενες μάζες (ρυθμισμένη ταχύτητα)	100	125	Λίγα λεπτά	0.95
Στρεφόμενες μάζες (υψηλή ταχύτητα)	25000	350	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0.93
Μπαταρίες (μολύβδου οξέος)	175	200	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0.85
Συμπιεσμένος Αέρας	400	10-20	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0.5-0.7

Διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εξομάλυνση του φορτίου				
Σύστημα μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος Ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kW)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Μπαταρίες (μολύβδου οξέος)	175	200	Πάνω από 10 ώρες	0.85
Συμπιεσμένος Αέρας	575	2	Πάνω από 10 ώρες	0.79

8.4 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την παρούσα διπλωματική εργασία και την ανάλυση που διεξάχθηκε βγήκαμε στα ακόλουθα συμπεράσματα.

Για τα ηλεκτρικά συστήματα, η ενεργειακή αποθήκευση είναι αρκετά σημαντική αν και εφόσον δίνει την δυνατότητα για αυξημένη χρήση του συστήματος και καλυτερεύει συνολικά την αξιοπιστία, την ευελιξία και την αποδοτικότητα του δικτύου. Συγχρόνως, εξυπηρετεί την ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα των διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης είναι αναγκαία σε απομακρυσμένα, μη διασυνδεδεμένα συστήματα. Τέτοια συστήματα υπάρχουν για παράδειγμα, σε πολλά ελληνικά νησιά όπου η ενέργεια δημιουργείτε από ανανεώσιμες πηγές. Στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα η αναγκαιότητα αυτή δεν είναι εμφανής, μολονότι η ενεργειακή αποθήκευση δεν θα αποφευχθεί στο μέλλον. Όντως με τη λειτουργία της ενεργειακής αγοράς, πολλές διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές θα συνδεθούν σε ηλεκτρικά δίκτυα, και θα έχουν σαν αποτέλεσμα την ασταθή λειτουργία των τελευταίων. Η βέλτιστη λύση για το πρόβλημα αυτό είναι η αποθήκευση ενέργειας σε συσχέτιση με τον ορθολογικό χειρισμό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από τις τεχνολογίες

μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης και αντλιοσταμίου συμπίεσμένου αέρα είναι σχετικά μεγάλες με κεντρικές εγκαταστάσεις και έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν αρκετά μεγάλες ποσότητες ενέργειας και για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Παράλληλα τα χαρακτηριστικά δραστηριοποίησης τόσο των διατάξεων αποθήκευσης μπαταριών όσο και των συστημάτων κυψέλης καυσίμου υδρογόνου, φέρουν τις τεχνολογίες αυτές κατάλληλες για κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής.

Σε κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι σφόνδυλοι, οι υπέρ-πυκνωτές και τα υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης και είναι ιδανικές για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Ένα παράδειγμα είναι οι υπέρ-πυκνωτές που χρησιμοποιούνται αναλόγως για την μεγέθυνση των ηλεκτρικών συστημάτων μετά από μια μικρή χρονική περίοδο διαταραχής του συστήματος. Συνεπώς βλέπουμε ότι οι σφόνδυλοι, είναι οι πιο ιδανικές διατάξεις για να συγκρατούν σταθερή την τάση, ιδιαίτερα σε συστήματα με σπουδαία διείδυση διαλείπουσας ανανεώσιμης ενέργειας, σαν την αιολική και όλο αυτό λόγω της υψηλότερης αποθηκευτικής τους ιδιότητας. Τέλος, οι πλέον ιδανικές διατάξεις για εφαρμογές μεταφοράς και διανομής είναι τα υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης. Η πρόοδος των τεχνικών αποθήκευσης χρειάζεται συχνές βελτιώσεις όπως επίσης βελτιστοποίηση των συστημάτων που λειτουργούν για τη μετάπλαση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή που να έχει την δυνατότητα να αποθηκευτεί εύκολα και αντίστροφα.

9 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

9.1 Τι είναι ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα;

Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η τεχνολογία που δημιουργεί ηλεκτρική ισχύ διαρκούς ρεύματος και υπολογίζεται σε Watts ή kilowatts , από ημιαγωγούς οι οποίοι φωτίζονται από φωτόνια. Συνεπώς, θα παράγεται ηλεκτρική ισχύ, για όσο χρόνο το φως θα λάμπει στο ηλιακό κύτταρο. Όταν το φως παύει να υπάρχει, τότε παύει και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [3].

Με τη βοήθεια των ηλιακών κυττάρων, των οποίων την αρχή δραστηριοποίησης απαρτίζει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, επιτυγχάνεται η άμεση μετάπλαση της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια [4]. Το 1839 ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το φωτοβολταϊκό σύστημα από τον Henry Becquerel. Ο Henry Becquerel μελέτησε την ανάπτυξη τάσης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων μέσα σε ηλεκτρολύτη, με το που το ηλιακό φως πέσει σε ένα από αυτά. Γενικότερα, το φωτοβολταϊκό σύστημα αφορά την αφομοίωση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του φωτοβολταϊκού στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις φυσικές τους θέσεις και κατά συνέπεια, τη παραγωγή ρεύματος. Το ρεύμα οδηγείται στο φορτίο μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο υπήρχε από πριν στο φωτοβολταϊκό στοιχείο .

Το σύστημα αυτό, διεξάγεται μέσω ενός λεπτού στρώματος κατάλληλου υλικού, όπως πυριτίου, όταν ζεύγη οπών και ηλεκτρονίων παράγονται από την πρόσπτωση ηλιακών φωτονίων, καθώς η έλλειψη συνέχειας του δυναμικού του κυττάρου χωρίζει οπές από ηλεκτρόνια και παράγει διαφορά δυναμικού [5]. Όπως σε κάθε τεχνολογική ανάπτυξη έτσι και εδώ, στο φωτοβολταϊκό σύστημα εμφανίζονται ορισμένα πλεονεκτήματα όπως και μειονεκτήματα .

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα λοιπόν είναι η πηγή «καυσίμου» όπου είναι τεράστια και γενικότερα άπειρη. Ακόμη δεν υπάρχουν καύσεις ή εκπομπές ή διάθεση ραδιενεργών αποβλήτων, που συνεπώς δε συμβάλλουν αισθητά στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή ή μόλυνση. Το φωτοβολταϊκό σύστημα επίσης έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας λόγω του ότι δεν υπάρχει καύσιμο, δεν υπάρχουν κινητά μέρη έτσι ώστε να απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, καθώς και υψηλή αξιοπιστία περισσότερο από 20 χρόνια με εξαιρετικό ιστορικό ασφάλειας. Συνεχίζοντας ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η γρήγορη εγκατάσταση του, όπου μπορούν να ενσωματωθούν σε νέες ή υπάρχουσες εγκαταστάσεις και σχεδόν σε οποιοδήποτε σημείο. Δύο τελευταία πλεονέκτημα ως ότου φτάνει η παρούσα έρευνά μου είναι ότι η ημερήσια παραγωγή μπορεί να καλύψει την τοπική ζήτηση όπως και η υψηλή αποδοχή από το κοινό. Κατ' εξακολούθηση, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο φωτοβολταϊκό σύστημα υπάρχουν και τα μειονεκτήματα, που φυσικά δεν ξεπερνούν τα θετικά τους. Για αρχή η πηγή «καυσίμου» είναι διάχυτη με άλλα λόγια το φως του ήλιου είναι μιας σχετικά χαμηλής πυκνότητας ενέργεια όπου δεν έχουμε πάντα την ίδια ποσότητα ακτινοβολίας. Δυστυχώς, ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι υπάρχει υψηλό κόστος εγκατάστασης, φτωχότερη

αξιοπιστία των βοηθητικών στοιχείων του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων και των στοιχείων αποθήκευσης, έλλειψη ευρέως εμπορικά διαθέσιμων ολοκληρωμένων συστημάτων για εγκατάσταση μέχρι στιγμής και τέλος έλλειψη οικονομικά αποδοτικής αποθήκευσης ενέργειας. Σύμφωνα με τα όσα έχουμε παρατηρήσει σχετικά με τα θετικά και αρνητικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι περίπου αντίθετα με αυτά των συμβατικών ορυκτών καυσίμων.

Ένα παράδειγμα, είναι η παραγωγή ενέργειας από συμβατικές πηγές έχει αρνητικά σαν ευρύ φάσμα περιβαλλοντικά επικίνδυνων εκπομπών, μέρη που έχουν υποστεί φθορά, μικρή αποδοχή από την κοινή γνώμη, σταθερά αυξανόμενο κόστος καυσίμου. Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, κανένα από τα πιο πάνω αρνητικά δεν εμφανίζεται. Επιπρόσθετα, μέσα στα αρνητικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, υπάρχουν κάποια που δεν είναι τεχνικά αλλά συσχετίζονται και με οικονομικά στοιχεία ή με την υποδομή. Φυσικά, αυτά τα αρνητικά εξισορροπούνται περίπου από μία αρκετά υψηλή αποδοχή από το κοινό, λόγω του ότι είναι μια αρκετά φιλική ως προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά και συμβατικά συστήματα είναι και τα δύο αρκετά αξιόπιστα όμως είναι και στα δύο ελλειπή το πλεονέκτημα της αποθήκευσης.



Διάγραμμα 9.1: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

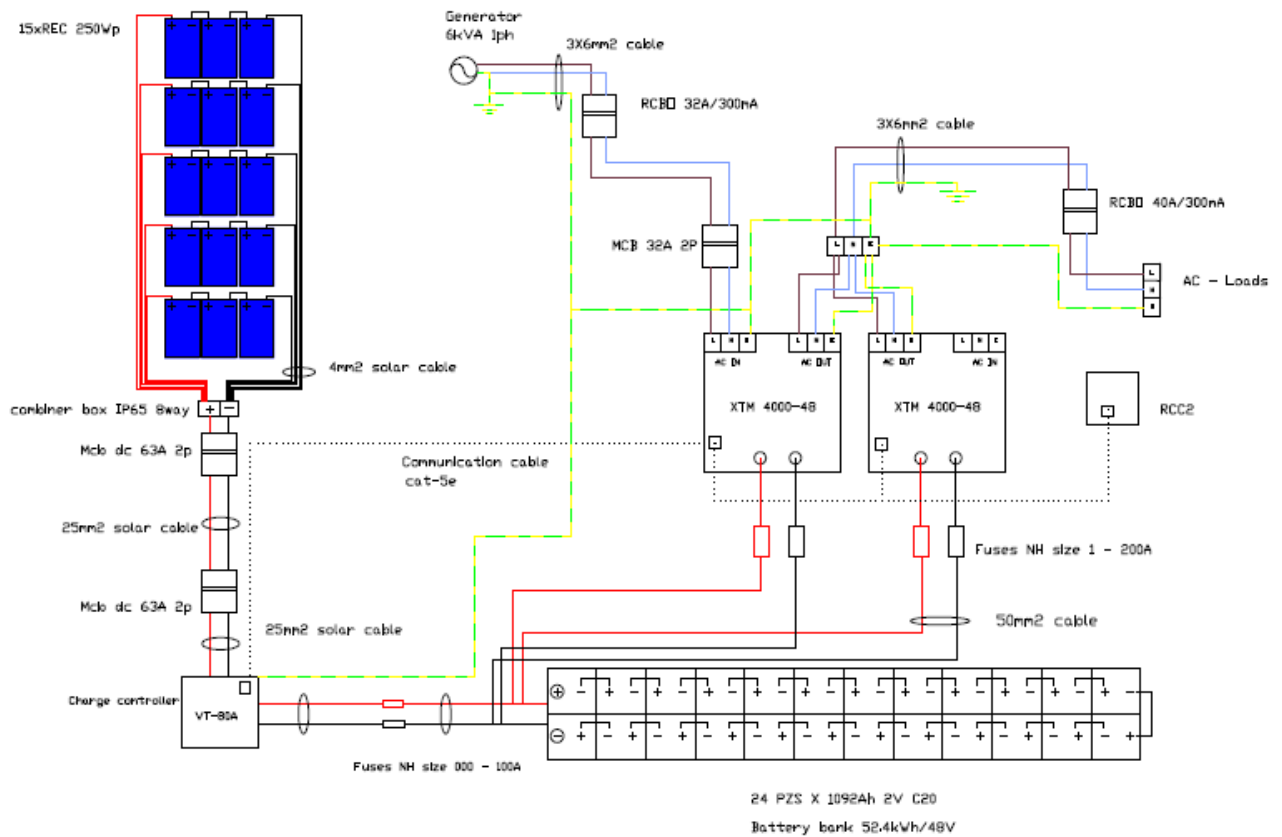
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα υβριδικά συστήματα. Αυτού του είδους συστήματα συσχετίζουν τα φωτοβολταϊκά με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας, ως επί το πλείστον με γεννήτριες diesel, αν και συχνά χρησιμοποιούν και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως για παράδειγμα αιολική. Η δεύτερη κατηγορία έχει σχέση με συστήματα συνδεδεμένα με ένα μεγάλο ανεξάρτητο δίκτυο το οποίο τροφοδοτεί με την παραγόμενη ισχύ. Τέλος, η τρίτη μεγάλη κατηγορία έχει να κάνει με αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτά τα συστήματα όπως αναφέρεται και από το όνομα της κατηγορίας, είναι αυτόνομα και δεν συνεισφέρουν άλλες πηγές ενέργειας καθώς και ούτε υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο πόλεως. Κατά συνέπεια, η ολική απαιτούμενη από το φορτίο ενέργεια οφείλει να δίνεται ολοκληρωτικά από τη διάταξη των φωτοβολταϊκών.

9.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η κατασκευή των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η πιο συνηθισμένη και η πιο κατάλληλη εφαρμογή. Με πιο απλά λόγια εννοούμε εγκαταστάσεις που δραστηριοποιούνται αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς σύνδεση με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, όπου θα είχαν την δυνατότητα να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας [7].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν την δυνατότητα να εκμεταλλευτούν την ηλιακή ενέργεια για διάφορους στόχους. Αυτά τα συστήματα απαρτίζουν μια πηγή ενέργειας που είναι φιλική προς το περιβάλλον, είναι κατάλληλη για πολλές εφαρμογές και τέλος είναι σε πολύ υψηλά ποσοστά αξιόπιστα [8].

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, όπως και κάθε τέτοιο σύστημα έχει ως βασικό συστατικό τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας συμβαίνει η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω του ρυθμιστή φόρτισης. Ακολούθως η αποθηκευμένη ενέργεια διοχετεύεται στον μετατροπέα τάσης όπου αναβαθμίζεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα και χρησιμοποιείται καθ' όλη την διάρκεια του 24ώρου.



Διάγραμμα 9.2: Ηλεκτρολογικό σχέδιο αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Στο πιο πάνω ηλεκτρολογικό σχέδιο, υπάρχουν συνολικά 15 panels REC των 250W. Στα αριστερά των panels όπου είναι οι κόκκινες γραμμές ενώνονται οι θετικοί πόλοι μεταξύ τους σαν ένα, όπως και στα δεξιά που βρίσκονται οι μαύρες γραμμές και ενώνονται οι αρνητικοί πόλοι, πάλι σαν ένα. Στη συνέχεια υπάρχει ένας charge controller, ο οποίος είναι ρυθμιστής φόρτισης της μπαταρίας ή συστοιχίας μπαταριών και μπαίνει πριν την μπαταρία ή τη συστοιχία μπαταριών, και ενώνονται ο θετικός και αρνητικός πόλος των panels αναλόγως. Ο ρυθμιστής φόρτισης ελέγχει και ρυθμίζει τη μπαταρία (ή συστοιχία), έτσι ώστε να μην φορτιστεί ή εκφορτιστεί πέραν του κανονικού για το λόγο ότι θα καταστραφεί. Ακολούθως, τα κόκκινα και τα μαύρα σύρματα που φεύγουν από τον ρυθμιστή φόρτισης, ενώνονται στη συστοιχία μπαταριών οι οποίες κλείνουν κύκλωμα, έτσι ώστε σε ανεπάρκεια ενέργειας να είναι σε θέση να τροφοδοτήσει το φορτίο και στους inverters, όπου θα μετατρέψουν την DC τροφοδοσία μας που έρχεται από τα panels σε AC που λειτουργεί ως επί των πλειίστων ένα σπίτι. Στις περιπτώσεις όπου το φορτίο (είτε σπίτι είτε επιχείρηση) λειτουργούν με DC, απλά δεν χρησιμοποιούνται οι inverters για μετατροπή της τροφοδοσίας σε AC.

9.2.1 Ιδιότητες που παρέχει ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Κατά κανόνα, το σύστημα αυτό, με βάση το τύπο της κατανάλωσης και το βαθμό της ζητούμενης αξιοπιστίας περιέχει ακόμη τέσσερις ιδιότητες. Η πρώτη ιδιότητα έχει σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αν δεν είναι επαρκής ή ακόμη και αν δεν υπάρχει καθόλου, τότε οι συσσωρευτές φροντίζουν για την αποθήκευση της περίσσειας της δημιουργημένης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να χρησιμοποιηθεί σε αυτή την περίπτωση. Η δεύτερη αφορά την αύξηση της απόδοσης του συστήματος μέσω διατάξεων για να ρυθμιστεί και να μετατραπεί η τάση και μέσω της ρύθμισης της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η τρίτη περιέχει άλλες διατάξεις για προστασία και έλεγχο. Τέλος η τελευταία περιλαμβάνει μια βοηθητική γεννήτρια όπου συχνά είναι ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που λειτουργεί με βενζίνη ή πετρέλαιο diesel, για την επίλυση απρόοπτων καταστάσεων, όπως για παράδειγμα τροφοδότηση πρόσθετων φορτιών, συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, επικουρική λειτουργία σε απρόσμενες σχετικά μεγάλες περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας κλπ.

Στον εξοπλισμό των φωτοβολταϊκών, συμπεριλαμβάνονται και τα BOS (Balance of the system), εκτός από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Πιο κάτω στην εικόνα που ακολουθεί, μπορούμε να δούμε τη δομή ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

9.3 Η ανάγκη για αποθήκευση

Η μέση ηλεκτρική κατανάλωση του όλου συστήματος και η μέση ηλιακή ακτινοβολία που παίρνουν ο συλλέκτες στην συγκεκριμένη κρίσιμη περίοδο δραστηριοποίησης του, (όπως για παράδειγμα ένα θερινό ή χειμερινό μήνα/ εποχή ή ακόμη και κατά την διάρκεια ολόκληρου έτους) είναι η βάση για το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Συνάμα πρέπει να αναφερθεί ότι όταν λέμε μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που πιθανόν να μην είναι βέβαιες αφού, μπορεί να μην είναι καν κοντά στις ενδεχόμενες πραγματικές τιμές [7].

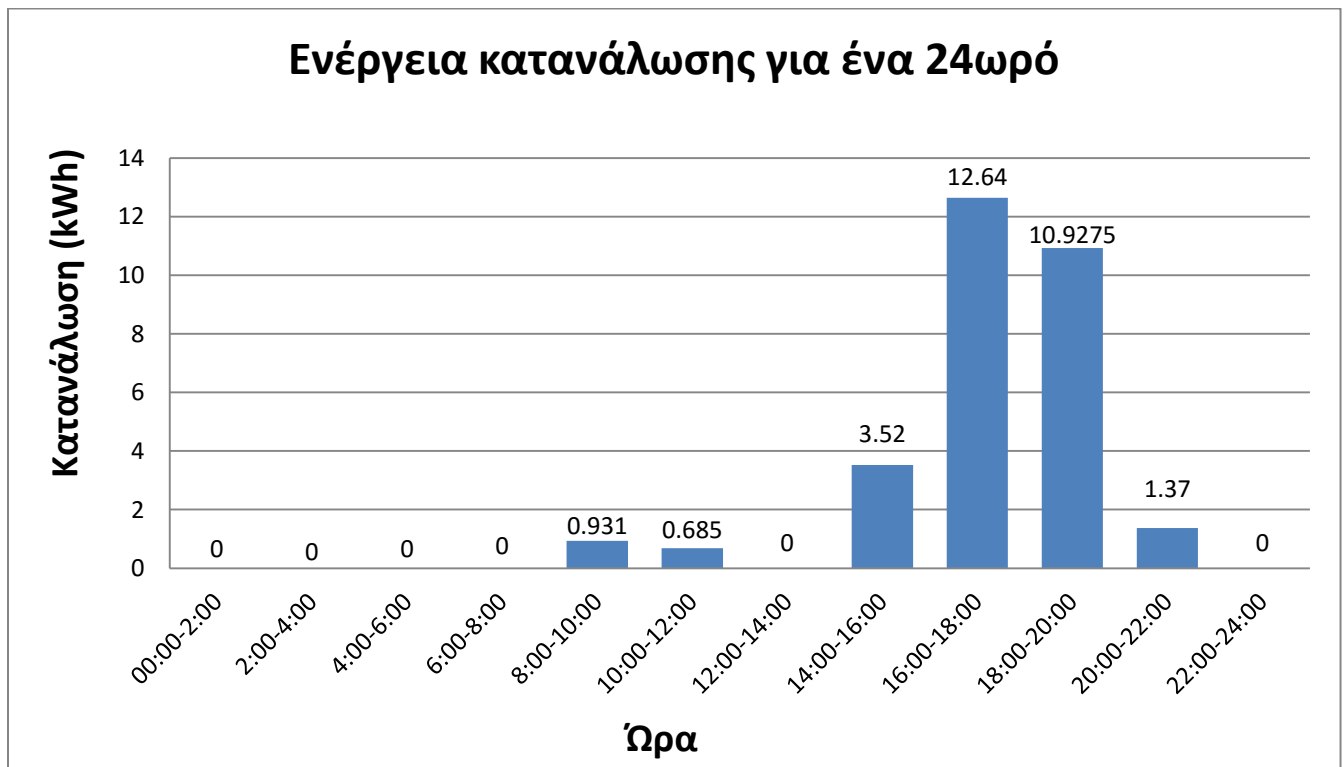
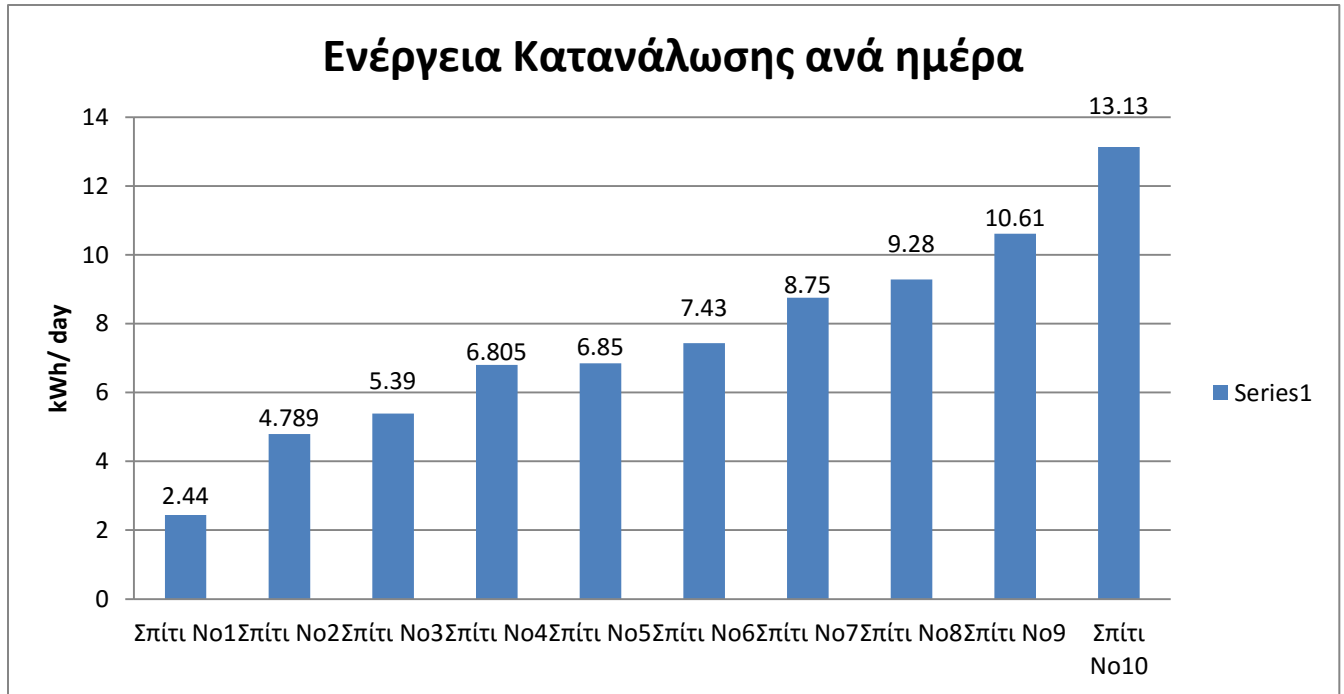
Επιπρόσθετα, όπως είναι κατανοητό, για να θεωρηθεί ένα σύστημα σαν αυτό αξιόπιστο πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική ηλεκτρική ενέργεια, έτσι ώστε να καλύπτει την ζήτηση ακόμη και σε περιόδους που δεν υπάρχει ανάλογη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, οι περίοδοι αυτοί είναι περισσότερο οι νυχτερινές ώρες, οι συννεφιασμένες μέρες και οι χρονικές αιχμές της κατανάλωσης.

Φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία είναι ενωμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, λαμβάνουν από αυτά την ζητούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια. Όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μεταφέρουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της δημιουργημένης ηλεκτρικής-φωτοβολταϊκής ενέργειας. Αντίθετα τα απομονωμένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν αυτή την ιδιότητα ενεργειακής μεταφοράς. Η αυτονομία των συστημάτων αυτών προϋποθέτουν ότι οι μπαταρίες τους θα αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και θα είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν κατά τις βραδινές ώρες ή σε περιόδους, όταν η ηλιακή ακτινοβολία δε θα είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος[8]. Οι τοπικές

συνθήκες και απαιτήσεις και ιδίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς, οι αιχμές της κατανάλωσης και ο βαθμός αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, καθορίζει τη ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως από τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν μια αυτοδυναμία τουλάχιστον 3 έως 10 ημερών περίπου[7]. Σε ειδικές περιπτώσεις, η φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορεί, με νέα μετατροπή, να αποθηκευτεί σε μη ηλεκτρική μορφή. Π.χ. να κινήσει ηλεκτρικές αντλίες που μεταφέρουν νερό σε υπερυψωμένες δεξαμενές, από όπου στη συνέχεια, με την πτώση του νερού, παράγεται πάλι ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Επίσης, μπορεί να ηλεκτρολύσει νερό και να παράγει υδρογόνο, το οποίο αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια και χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως καύσιμο σε μικρούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα γίνεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές, οι οποίοι είναι και το αντικείμενο αυτής της εργασίας.

10 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

10.1 Έρευνα 10 σπιτιών



Από τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι χρειαζόμαστε αποθήκευση ενέργειας σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, αφού μπορεί να γίνει ορθή εκμετάλλευση του ήλιου για ωφέλιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν η ανάγκη κατανάλωσης βρίσκεται σε ψηλά επίπεδα. Ενώ σε ώρες όπου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται σε πιο χαμηλά επίπεδα, να γίνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας που έχει αποθηκευτεί στις μπαταρίες των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά την διάρκεια της ημέρας.

11 Υβριδικό Σύστημα

11.1 Περιγραφή

Ένα υβριδικό σύστημα ισχύος είναι ένα δυναμικό σύστημα ισχύος το οποίο χρησιμοποιεί πάνω από μία μεθόδους παραγωγής ενέργειας για να καλύπτει την απαιτούμενη ενέργεια. Συνήθως, εκτός από τα φωτοβολταϊκά, συνδυάζονται και άλλες πηγές ενέργειας, (κυρίως τοπικές και ανανεώσιμες) όπως ανεμογεννήτριες, μικρο-υδροηλεκτρική ισχύ, υδροηλεκτρική ισχύ ποταμών, βιομάζα. Συχνό φαινόμενο, όμως, είναι να συνδυάζεται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μία συμβατική πηγή όπως η τροφοδοσία από το τοπικό δίκτυο ή από ηλεκτρογεννήτριες πετρελαίου (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος - H/Z), μπαταρίες και γεννήτριες μετατροπής.

Γενικά τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν τις μορφές ενέργειας για να τροφοδοτούν το σύστημα συνεχώς με σταθερή τάση, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους διακοπής της τροφοδοσίας. Χαρακτηρίζονται ως δυναμικά συστήματα, καθώς είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εναλλάσσονται ανάμεσα στις διαθέσιμες πηγές ενέργειας ή και να τις συνδυάζουν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να εξαρτώνται κατά το ελάχιστο από τις μεταβολές των εξωγενών παραγόντων, όπως το τοπικό δίκτυο, η ηλιοφάνεια, η ένταση του ανέμου, η ροή του νερού κ.τ.λ.

11.2 Η ανάγκη που μας ωθεί στη χρήση του υβριδικού συστήματος

Στις μέρες μας, όπου η οικονομική κρίση και η καταστροφή του περιβάλλοντος έχει «χτυπήσει τον κώδωνα κινδύνου», θα πρέπει να αρχίσουμε να σκεπτόμαστε και τρόπους επίλυσης αυτών των προβλημάτων. Το υβριδικό σύστημα, με τη χρήση των μπαταριών δεν είναι απλά μια μεγάλη μετάβαση της τεχνολογίας αλλά αποτελεί και μια πολύ καλή και αποτελεσματική λύση αυτών. Μέσω της χρήσης του λοιπόν, βοηθά σε οικονομικό επίπεδο τις οικογένειες, καθώς η τιμή του ρεύματος καθορίζεται από τις ίδιες για χρόνο που εκτιμάται στα 20 χρόνια.

Όσο αφορά το περιβαλλοντικό όφελος που προσφέρει η χρήση του υβριδικού συστήματος είναι καθοριστική αφού βοηθά πολύ στην άσκοπη ρύπανση του πλανήτη μας, μέσω της μείωσης έλλειψης πόρων, μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και μείωσης της επέκτασης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, ένας καταναλωτής έχει οικονομικά οφέλη από τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος αφού είναι δυνατόν να «καθορίσει μόνος του τη τιμή του ρεύματος» για τα επόμενα 20 χρόνια. Κάτι τέτοιο συμπεραίνεται από το γεγονός ότι, αφού ο καταναλωτής έχει αυτοπαραγωγή είναι σε θέση να ελέγχει και τη παραγωγή όπως και την κατανάλωση.

Επιπλέον, υπάρχει προστασία από τυχόν σφάλματα και διακοπές του ρεύματος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι καθίσταται αναγκαία η χρήση ενός τέτοιου συστήματος αλλά και αποτελεσματική λόγω της αυτούσιας διαχείρισης που παρέχεται στο καταναλωτή, λόγω της επικοινωνίας και αυτονομίας μεταξύ των συσκευών.

11.3 Net Metering - Συμψηφισμός Μετρήσεων

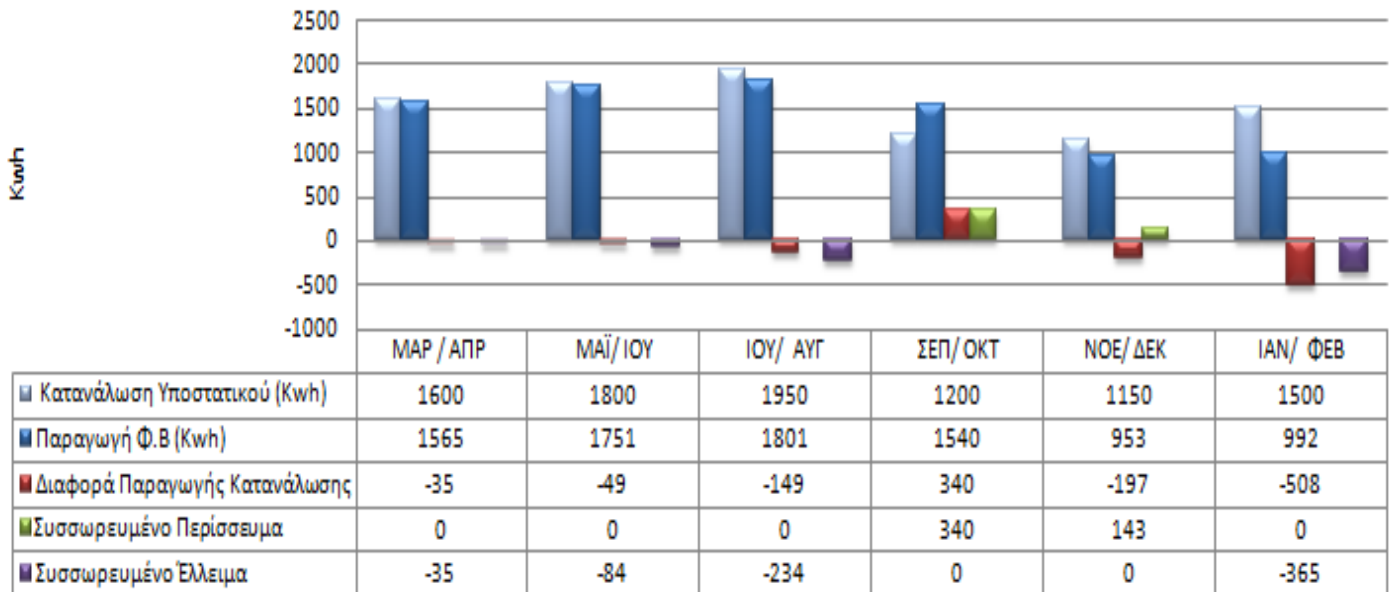
11.3.1 Περιγραφή

Διασυνδεδεμένα Φ.Β συστήματα ισχύος έως 5 kw τα οποία διοχετεύουν την ενέργεια που παράγουν κατά προτεραιότητα στην κατοικία / επιχείρηση την οποία είναι εγκατεστημένα. Τυχόν πλεονάσματα παραγωγής διοχετεύονται στο δίκτυο της Α.Η.Κ και πιστώνονται ενώ ελλείμματα σε ενέργεια καλύπτονται από το δίκτυο της Α.Η.Κ και χρεώνονται.

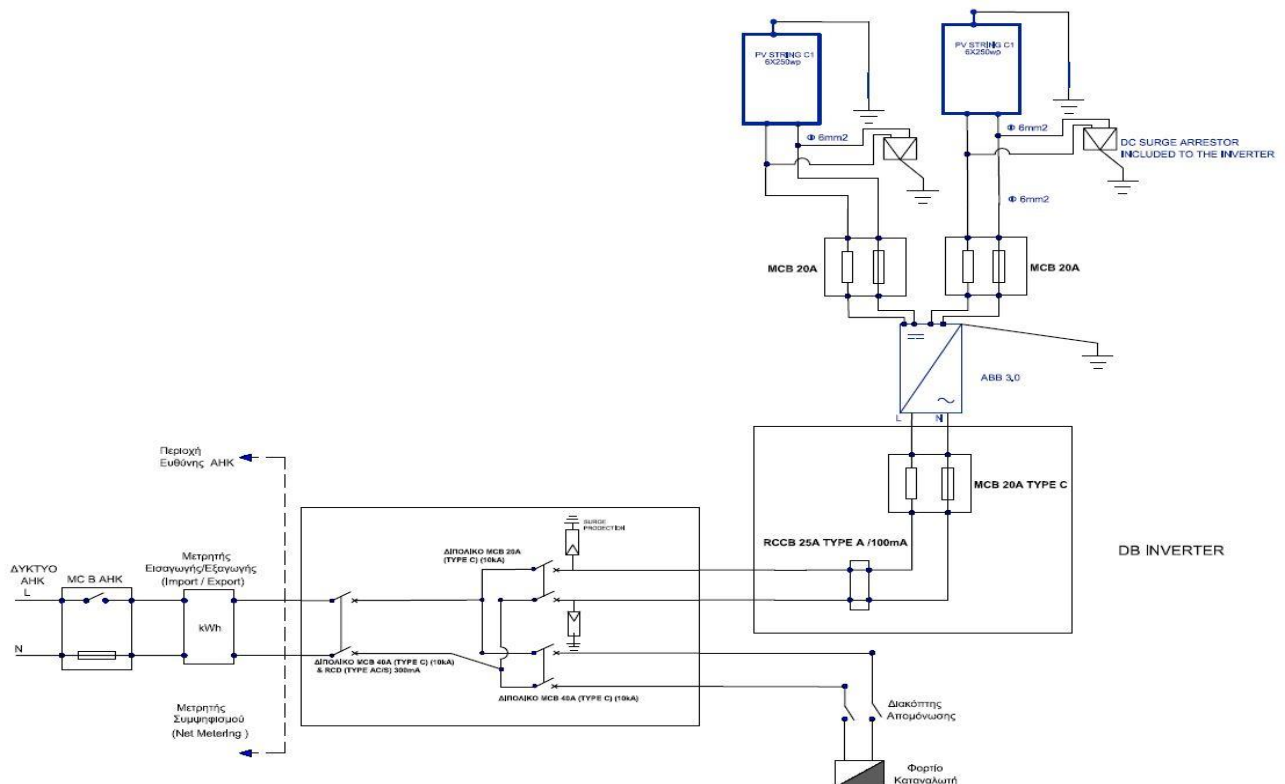
11.3.2 Διαστασιολόγηση Φ.Β Συστήματος - Συμψηφισμός Μετρήσεων

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΚΩΗ/ΚΩ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΓΕΝΑΡΗΣ	716,6666667	5	1720	0,63908	458,01
ΦΛΕΒΑΡΗΣ	716,6666667			0,74559	534,34
ΜΑΡΤΗΣ	716,6666667			1,03448	741,38
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	716,6666667			1,14942	823,75
ΜΑΪΟΣ	716,6666667			1,17839	844,51
ΙΟΥΝΙΟΣ	716,6666667			1,26436	906,12
ΙΟΥΛΙΟΣ	716,6666667			1,21348	869,66
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	716,6666667			1,29885	930,84
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	716,6666667			1,18628	850,17
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	716,6666667			0,962069	689,48
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	716,6666667			0,7279	521,66
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	716,6666667			0,60223	431,60
				ΣΥΝΟΛΟ	8602
ΜΗΝΑΣ	A ΔΙΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ ΚΩΗ	B ΔΙΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΩΗ	C=B-A ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ/ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΩΗ	B+C-A ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ	ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟ ΕΛΛΕΙΜΑ
ΜΑΡ / ΑΠΡ	1600	1565	-35	0	-35
ΜΑΪ/ ΙΟΥ	1800	1751	-49	0	-84
ΙΟΥ/ ΑΥΓ	1950	1801	-149	0	-234
ΣΕΠ/ ΟΚΤ	1200	1540	340	340	0
ΝΟΕ/ ΔΕΚ	1150	953	-197	143	0
ΙΑΝ/ ΦΕΒ	1500	992	-508	0	-365
ΣΥΝΟΛΟ	9200	8602			

Παραγωγή Φ.Β Vs Κατανάλωση Υποστατικού



11.3.3 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο



Όπως μπορούμε να δούμε από το πιο πάνω σχέδιο, έχουμε 2 σειρές panels όπου η κάθε σειρά έχει 6 panels. Επομένως συνολικά έχουμε 12 panels και έναν inverter με 2 MPPT, δηλαδή 2 εισόδους για να ενωθούν οι δύο σειρές των panels.

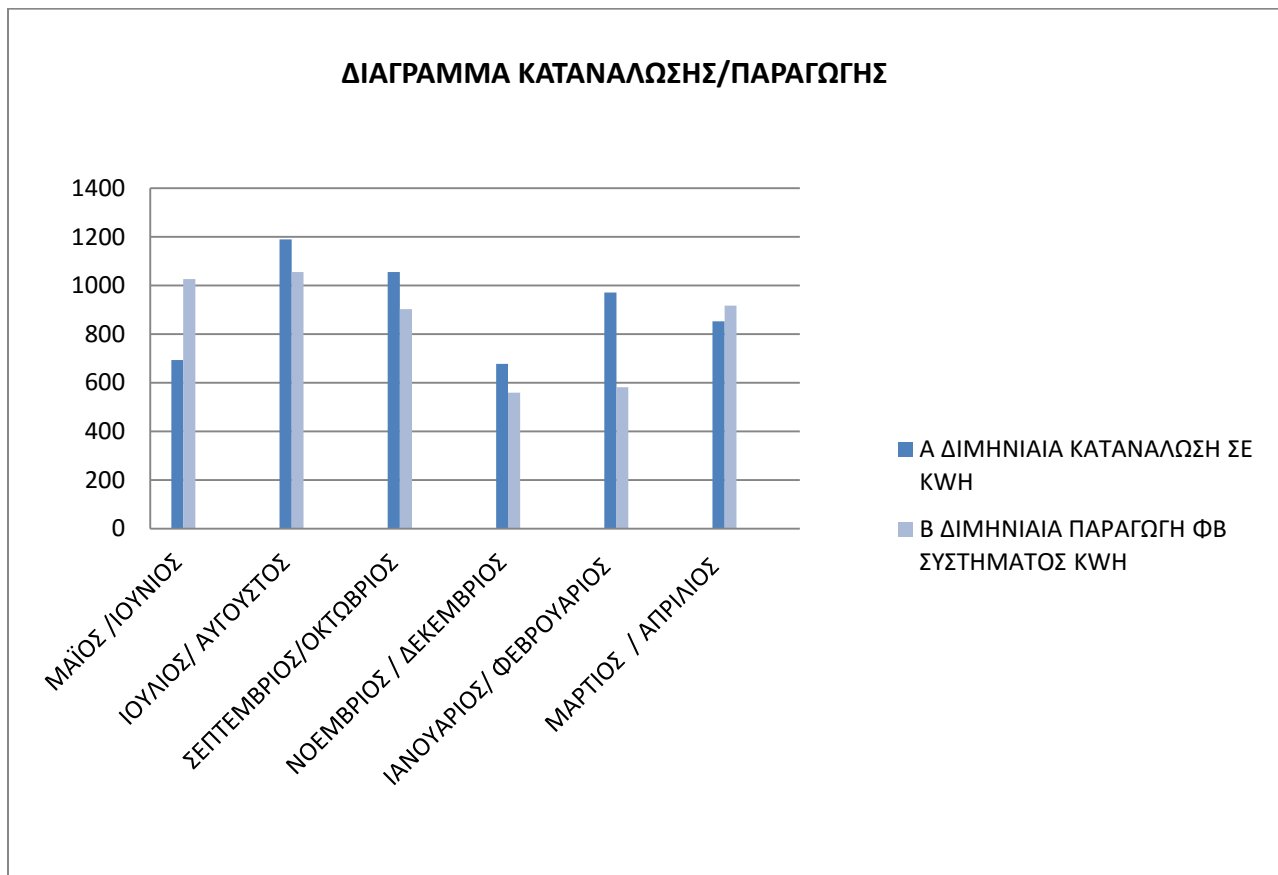
11.3.4 Πλεονεκτήματα

Το υβριδικό σύστημα με την χρήση μπαταριών παρέχει πολυάριθμα πλεονεκτήματα μερικά εκ των οποίων είναι η ασφάλεια, η ανεξάρτητη και ευέλικτη χρήση του. Επίσης, αποτελεί μια πολύ οικονομική λύση, λόγω της κατάλληλης και έξυπνης ενέργειας η οποία λειτουργεί έξυπνη, διαχυτικά και αυτόνομα.

11.3.5 Σύγκριση Παραγωγής και Κατανάλωσης

ΜΗΝΑΣ	A	B
	ΔΙΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ ΚΩΗ	ΔΙΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΩΗ
ΜΑΪΟΣ /ΙΟΥΝΙΟΣ	694	1026
ΙΟΥΛΙΟΣ/ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1190	1055
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ/ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1055	902
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ / ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	677	559
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ/ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	971	582
ΜΑΡΤΙΟΣ / ΑΠΡΙΛΙΟΣ	853	917
ΣΥΝΟΛΟ	5440	5041

ΜΗΝΑΣ	C=B-A	B+C-A
	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ/ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΩΗ	ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ/ ΕΛΛΕΙΜΑ
ΜΑΪΟΣ /ΙΟΥΝΙΟΣ	332	332
ΙΟΥΛΙΟΣ/ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	-135	197
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ/ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	-153	44
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ / ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	-118	-74
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ/ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	-389	-463
ΜΑΡΤΙΟΣ / ΑΠΡΙΛΙΟΣ	64	-399
ΣΥΝΟΛΟ		-399



11.4 Net Metering - Αυτοπαραγωγή

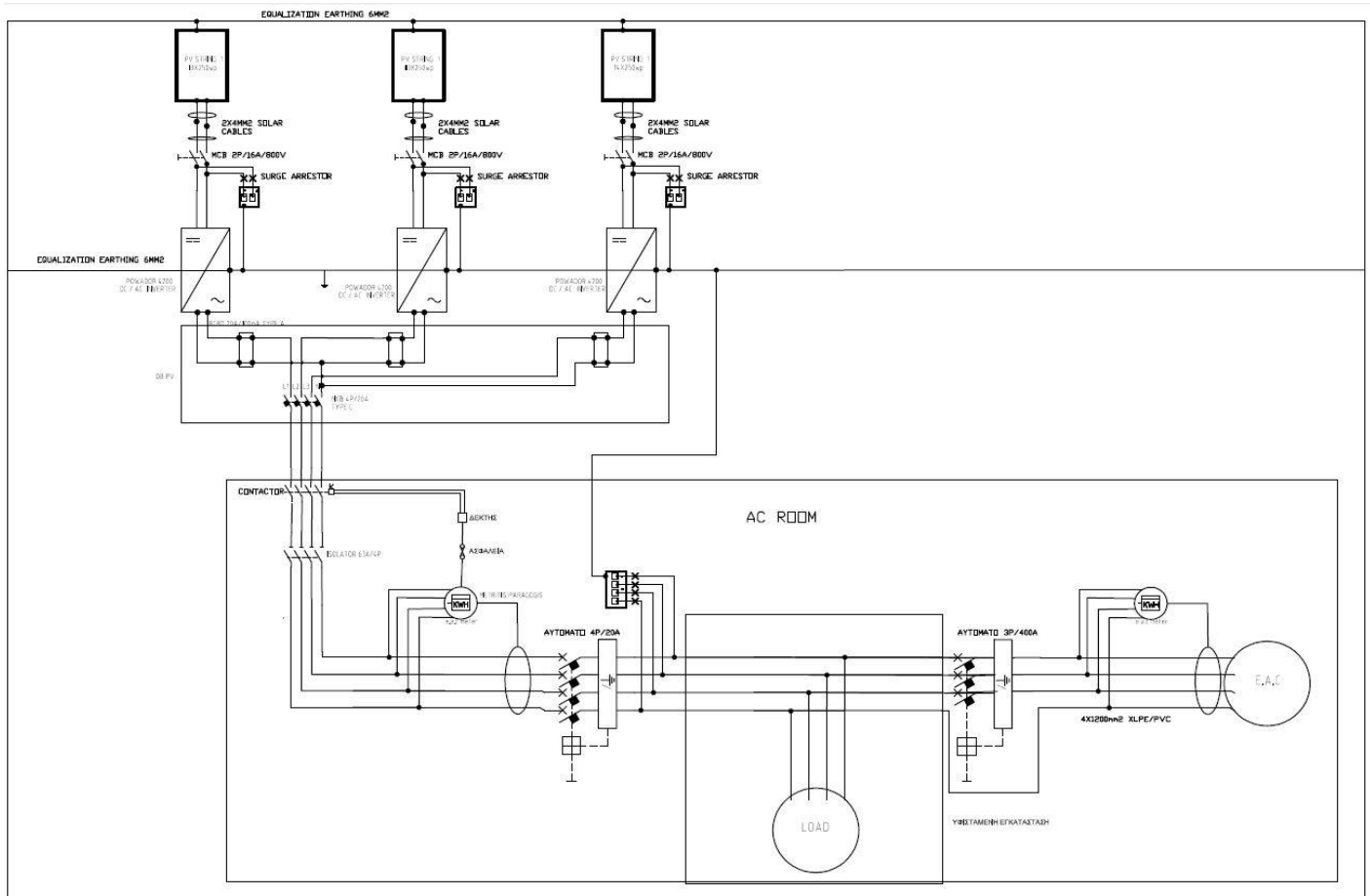
11.4.1 Περιγραφή

Είναι Φ.Β συστήματα 10-2000kW τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν στην ιδιοκτησία βιομηχανικού ή εμπορικού καταναλωτή και να καλύψουν τις ανάγκες του για ηλεκτρισμό οι οποίες ταυτίζονται χρονικά με την παραγωγή των Φ.Β. Τυχόν πλεονάσματα διοχετεύονται χωρίς κέρδος για την επιχείρηση στο δίκτυο της Α.Η.Κ ενώ για την παραγωγή από το ΦΒ που χρησιμοποιείται χρεώνεται τέλος 26cents/kWh.

11.4.2 Διαστασιολόγηση Φ.Β Συστήματος – Αυτοπαραγωγή

Μήνας	Μέσος Όρος Διμηνιαίας Κατανάλωσης 2 χρόνων (Kwh)	Καταναλώσεις οι οποίες μπορούν να καλυφθούν λόγω ταύτισης παραγωγής και κατανάλωσης (60%)	Μηνιαία Παραγωγή Φ.Β (Kwh) (Μέσος όρος πενταετίας)	Επιπλέον Απώλειες Ενέργειας Λόγο μη Ταυτισης Παραγωγής και Κατανάλωσης(Kwh)	Πραγματική Εξοικονόμηση (Kwh)	Κόστος Ωφέλιμης Παραγωγής (€)	Ανάγκες για Επιπλέον Ενέργεια (Kwh)	Κόστος Επιπλέον Ενέργειας (€)	Συνολικό Διμηνιαίο Κόστος Α.Η.Κ Μετά την υλοποίηση της επένδυσης (€)
Ιαν	32850	19710	4346	869	3477	92	29373	6756	6848
Φεβ	35900	21540	5070	1014	4056	107	31844	7324	7431
Μαρ	39810	23886	7034	1407	5628	149	34182	7862	8011
Απρ	41700	25020	7816	1563	6253	165	35447	8153	8318
Μαϊ	53660	32196	8013	1603	6410	169	47250	10867	11037
Ιουν	56800	34080	8598	1720	6878	182	49922	11482	11664
Ιουλη	48020	28812	8252	1650	6601	175	41419	9526	9701
Αυγ	86460	51876	8832	1766	7066	187	79394	18261	18447
Σεπ	165870	99522	8067	1613	6453	171	159417	36666	36836
Οκτ	84560	50736	6542	1308	5234	138	79326	18245	18383
Νοε	54300	32580	4950	990	3960	105	50340	11578	11683
Δεκ	38780	23268	4095	819	3276	87	35504	8166	8253
Σύνολο	738710	443226	81614	16323	65292	1726	673418	154886	156613
Κόστος /Όφελος (€)	169903				15017	1726			156613
Ισχύς Προτεινόμενου Συστήματος (Kw)	50,0	Κοστος Επένδυσης + Αδειοδοτήσεις (€)	53900	Συνολικό Όφελος (€)	13291	Χρόνος Απόσβεσης	4,1	% μείωση του λογαριασμού	8,8
<p>Οι άνωθεν υπολογισμοί προέκυψαν από την ανάλυση των καμπυλών φορτίου του εργοστασίου σας που μας προμήθευσε η Α.Η.Κ για 4μήνες(Σεπτέμβριο - Φεβρουάριο) σε αντιπαραβολή με τις καμπύλες παραγωγής του Φ.Β συστήματος . Από τα δεδομένα που προέκυψαν διαφάνεται ότι 20% της παραγωγής του συστήματος θα δίνετε δωρεάν στην Α.Η.Κ δια του γεγονότος ότι η παραγωγή του Φ.Β ξεπερνά τις ανάγκες για ηλεκτρισμό τα Σαββατοκυριακά και τις αργίες . Το υπόλοιπο 80% της παραγωγής θα καλύψει το 9% των ετήσιων αναγκών σας για ηλεκτρισμό. Στους άνωθεν υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι το μέσο κόστος της μονάδας μέτρησης του ηλεκτρισμού (kwh) είναι 23 cents το οποίο θεωρήτε το πάνω ακραίο σενάριο διατίμησης . Για τον περσινό χρόνο το μέσο κόστος ανήλθε στα 23cents /kwh. Στους υπολογισμούς δεν προσμετρήθηκε το επιπλέον όφελος που θα προκύψει απο την μείωση της μέγιστης ζήτησης ούτε η επιπλέον αφωμίωση της πλεονασματικής παραγωγής που θα προκύψει από πιο αρθρολογιστικό καταμερισμό των αναγκών σας για ηλεκτρισμό</p>									

11.4.3 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο



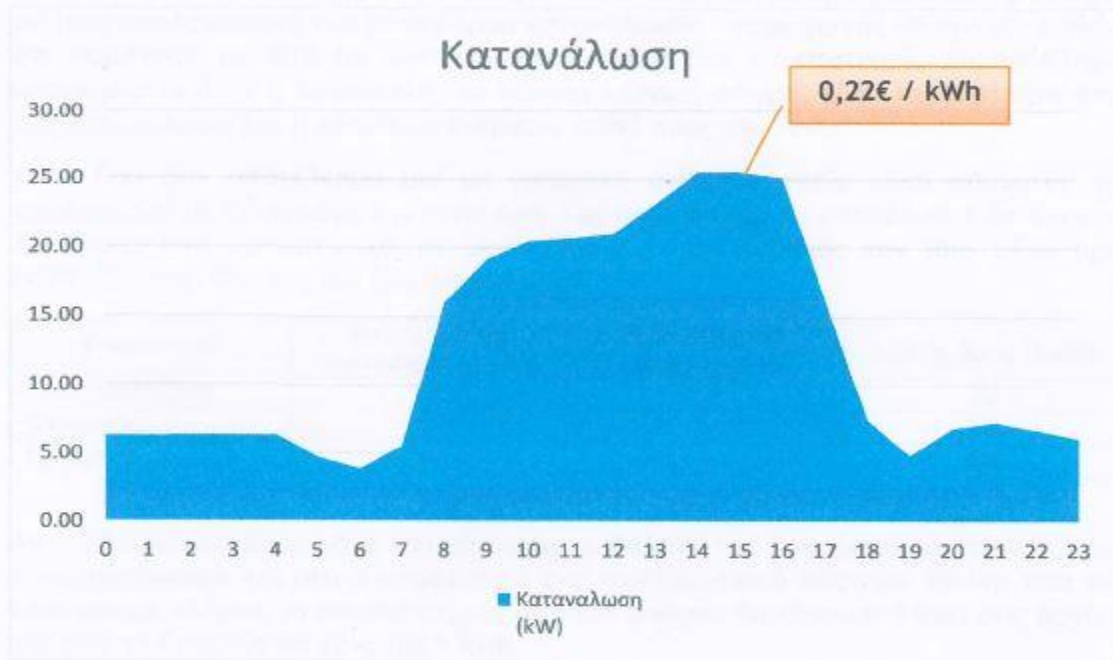
Όπως μπορούμε να δούμε από το πιο πάνω σχέδιο, έχουμε 3 σειρές panels όπου η πρώτη σειρά έχει 11 panels, η δεύτερη 13 και η Τρίτη σειρά 16. Άρα στο σύνολο,

$$40 \text{ panels} \times 250W = 10kW$$

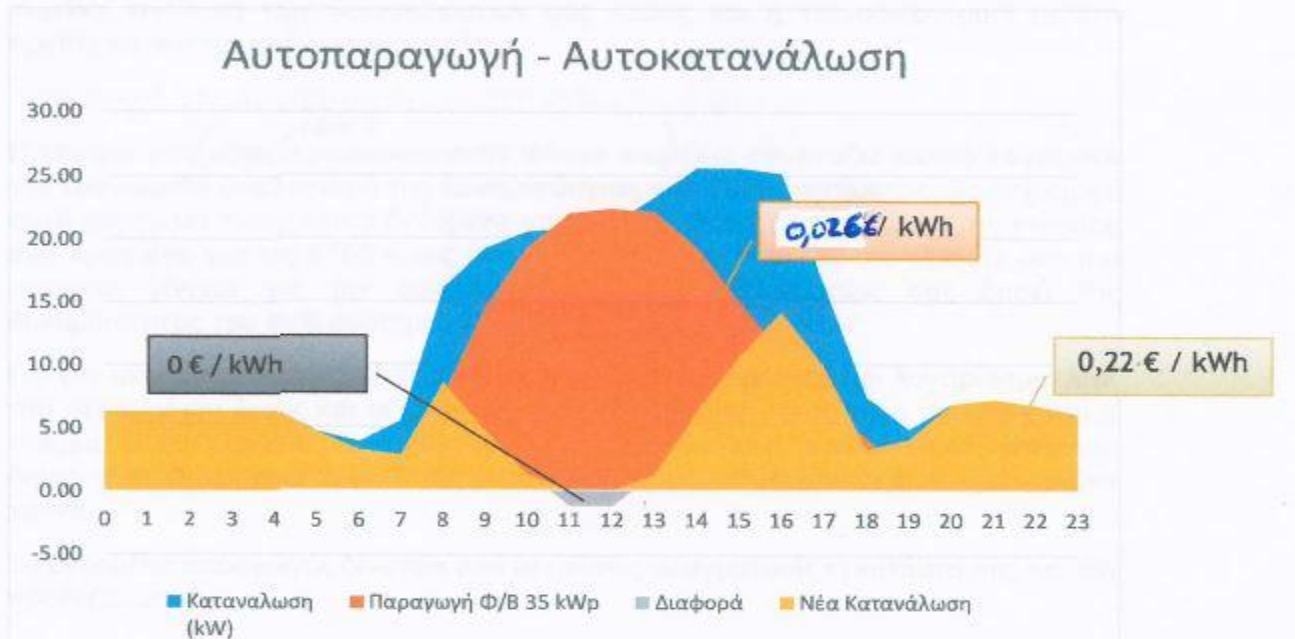
Αφού το κάθε panel έχει 250W, έτσι έχουμε στο πιο πάνω σχήμα ένα σύστημα 10kW ισχύος. Ακολουθώντας, παρατηρούμε ότι υπάρχουν χρησιμοποιούνται 3 inverters, όπου ο κάθε ένας έχει 1 MPPT για είσοδο της κάθε σειράς των panels.

11.4.4 Σύγκριση Παραγωγής και Κατανάλωσης

Πριν την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών



Μετά την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών



11.5 Έξυπνος μετρητής – Smarpee

Η Βελγική εταιρεία Smarpee ο οποίος προσεγγίζει το θέμα της κατανάλωσης ενέργειας συνολικά χρησιμοποιώντας ένα έξυπνο μετρητή.



11.5.1 Χρήση

Ο Smarpee μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύ εύκολα, αφού απλά ενώνεται στη κεντρική φάση με ένα clip-on. Ακολούθως, όταν τεθεί σε λειτουργία, ανιχνεύει όλες τις σημαντικές ηλεκτρικές συσκευές στο σπίτι, βάση του μοναδικού ηλεκτρικού στίγματος, καθώς παρέχει τη δυνατότητα συγχρονισμού όλων των πληροφοριών με τη δωρεάν εφαρμογή σε tablet και Smartphone.

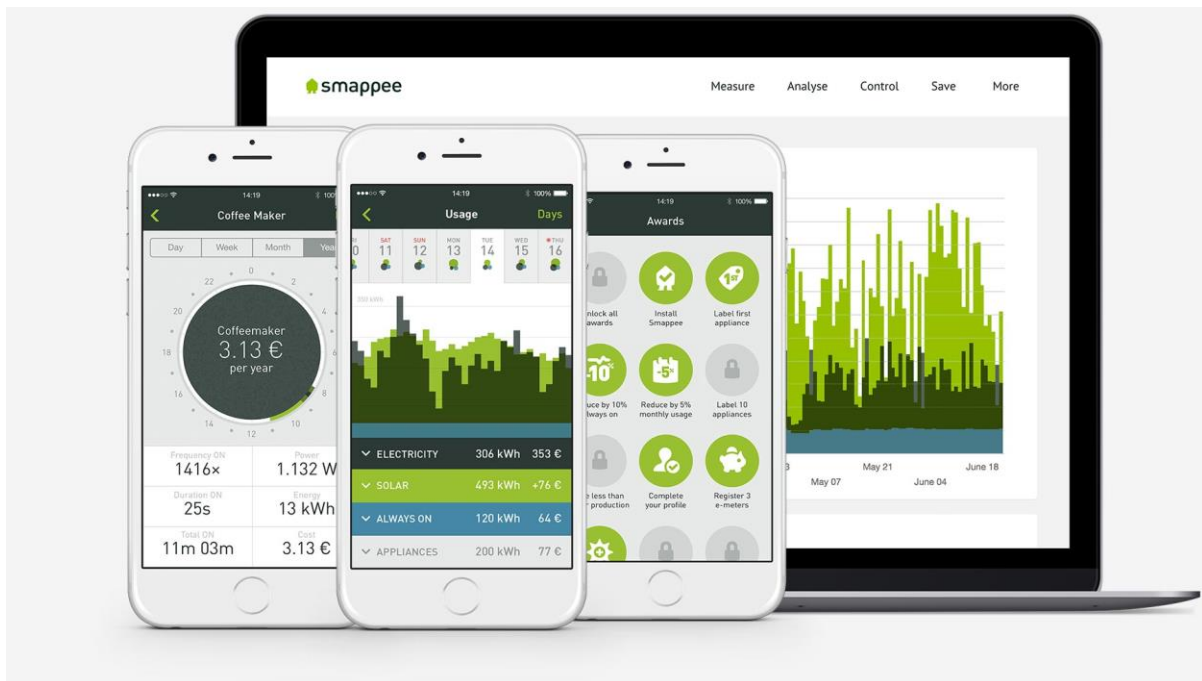


11.5.2 Πλεονεκτήματα

Ο καταναλωτής με την χρήση του έξυπνου μετρητή, είναι σε θέση να λαμβάνει στοιχεία σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη χρήση και το κόστος της κάθε συσκευής που αναγνωρίζει. Έτσι, το Smarpee κάνει εξοικονόμηση επειδή απλά επιτρέπει να γνωρίζει ο κάθε χρήστης του ακριβώς που πηγαίνουν τα χρήματα του.

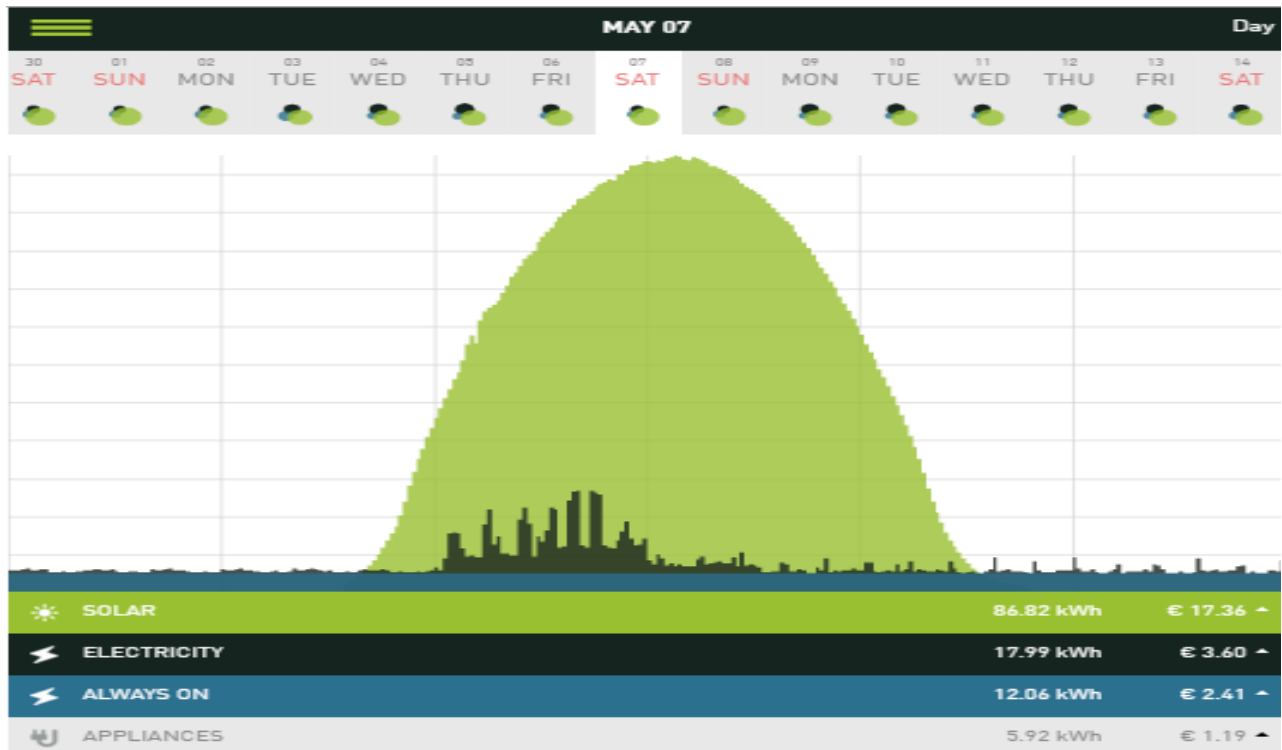
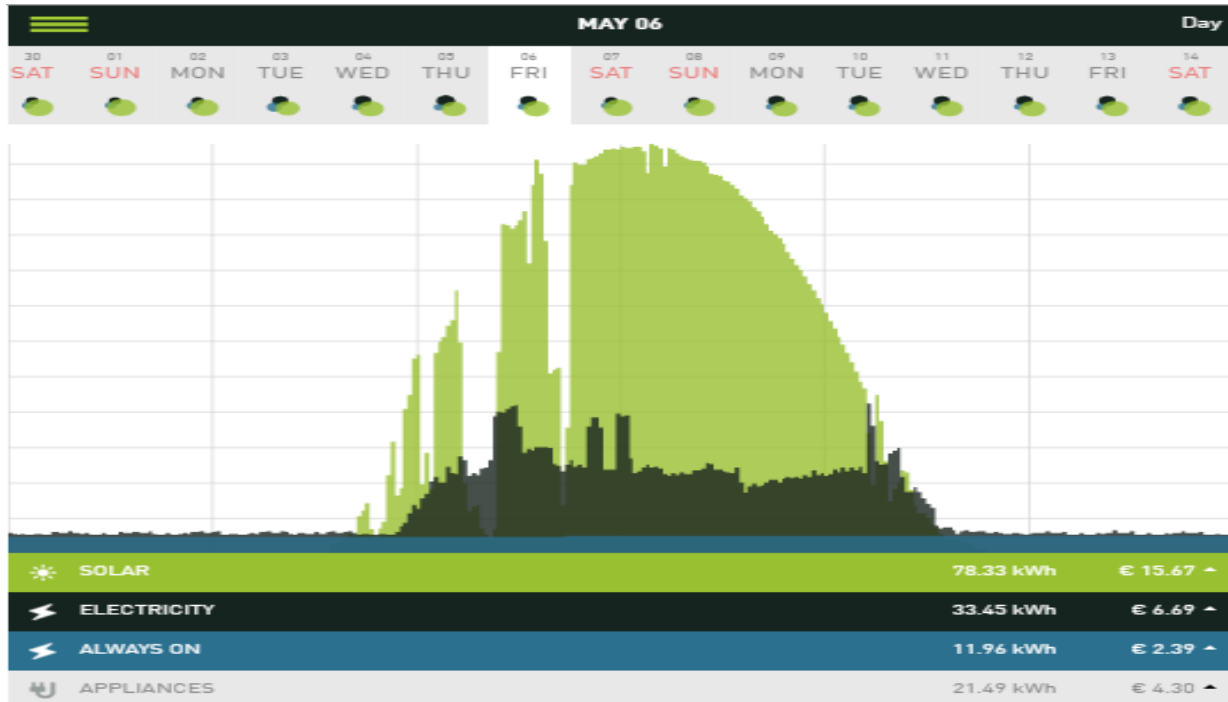


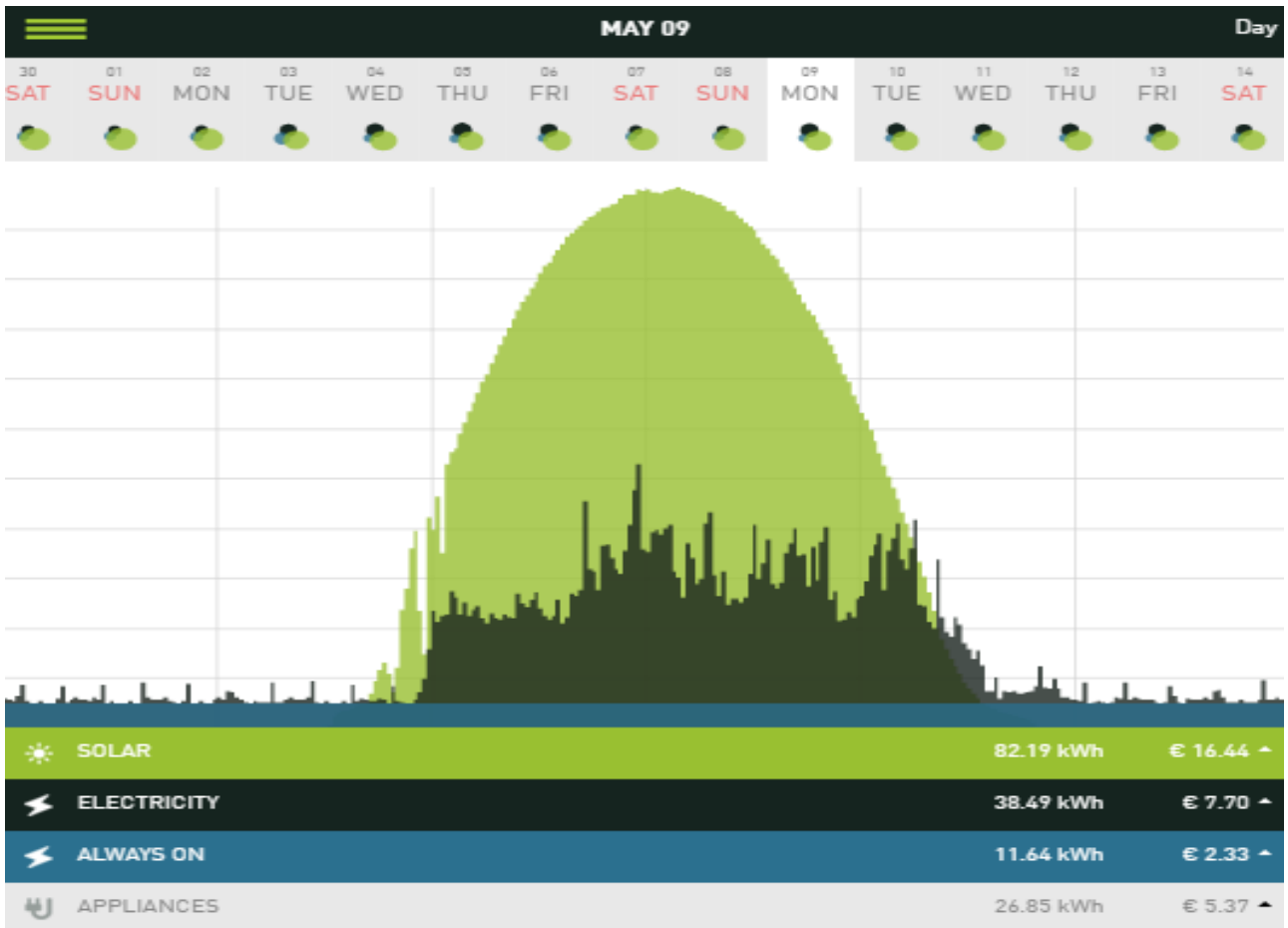
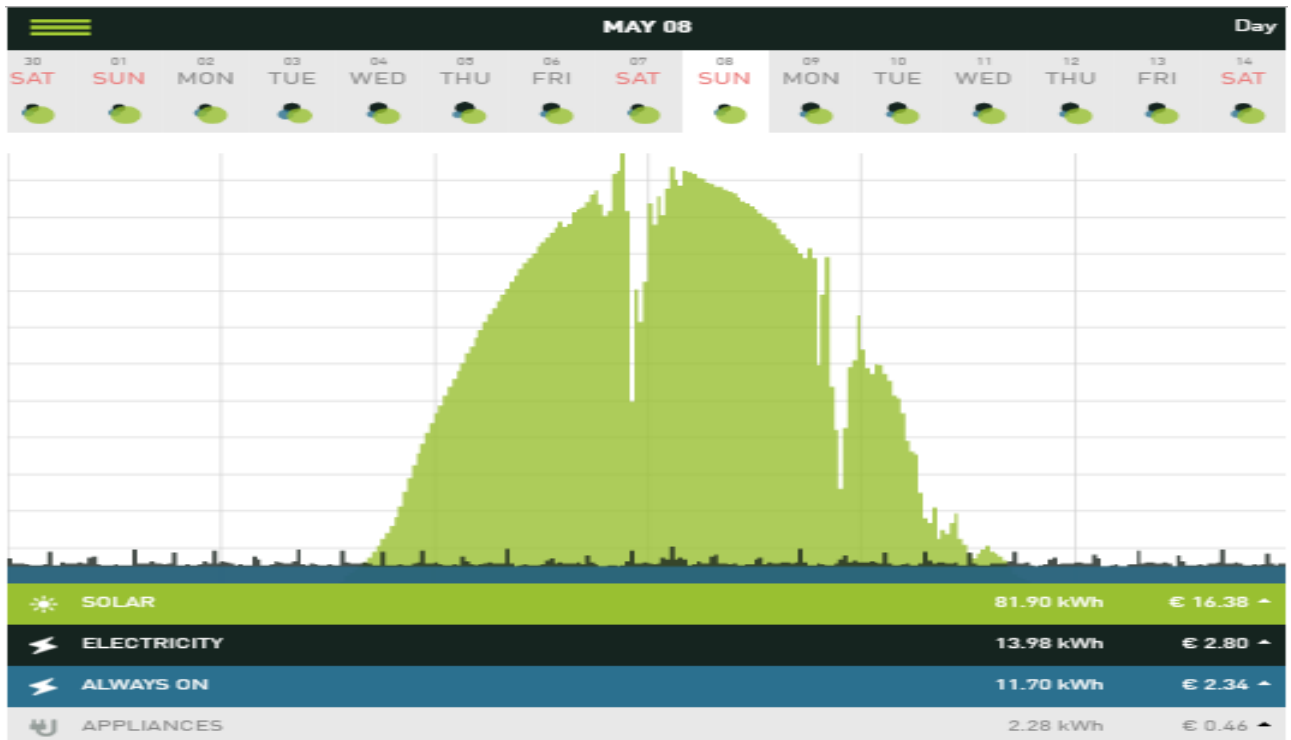
Έτσι, ο χρήστης του έξυπνου μετρητή, θα εντοπίζει όλες τις συσκευές με τις μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις και σταδιακά θα μπορεί να χρησιμοποιεί τις συσκευές πιο αποτελεσματικά παρατηρώντας μείωση στον λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος, αφού αναλύει και παρέχει πλήρη στοιχεία σχετικά με την χρήση και παραγωγή του ΦΒ συστήματος που είναι τοποθετημένο στο συγκεκριμένο σπίτι.

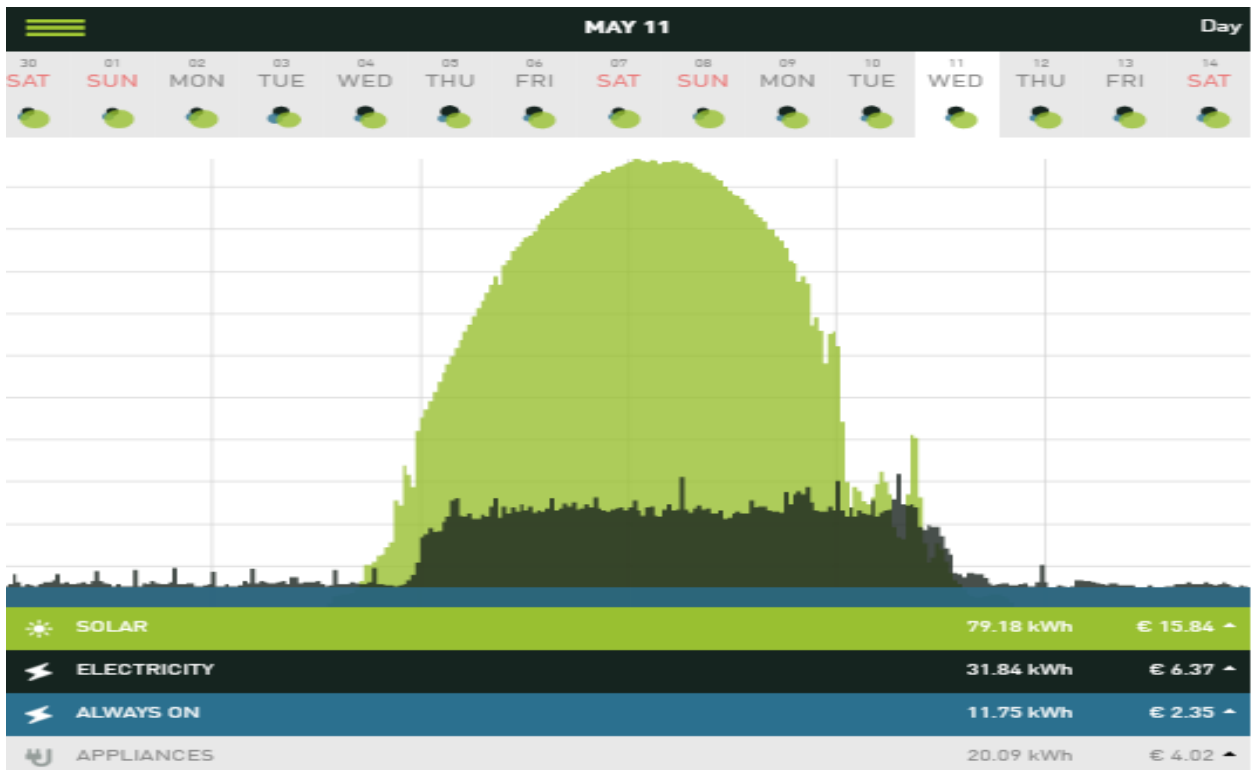
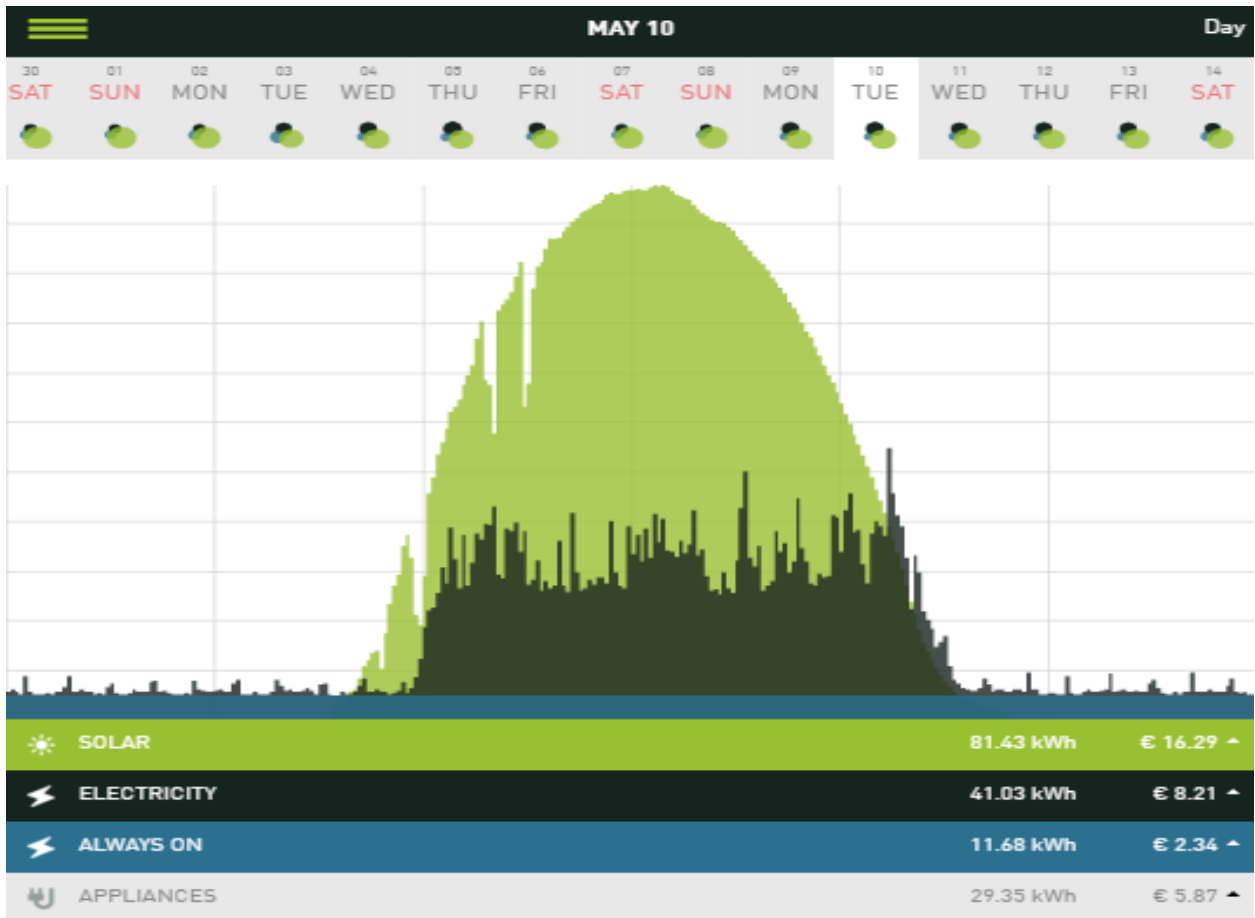


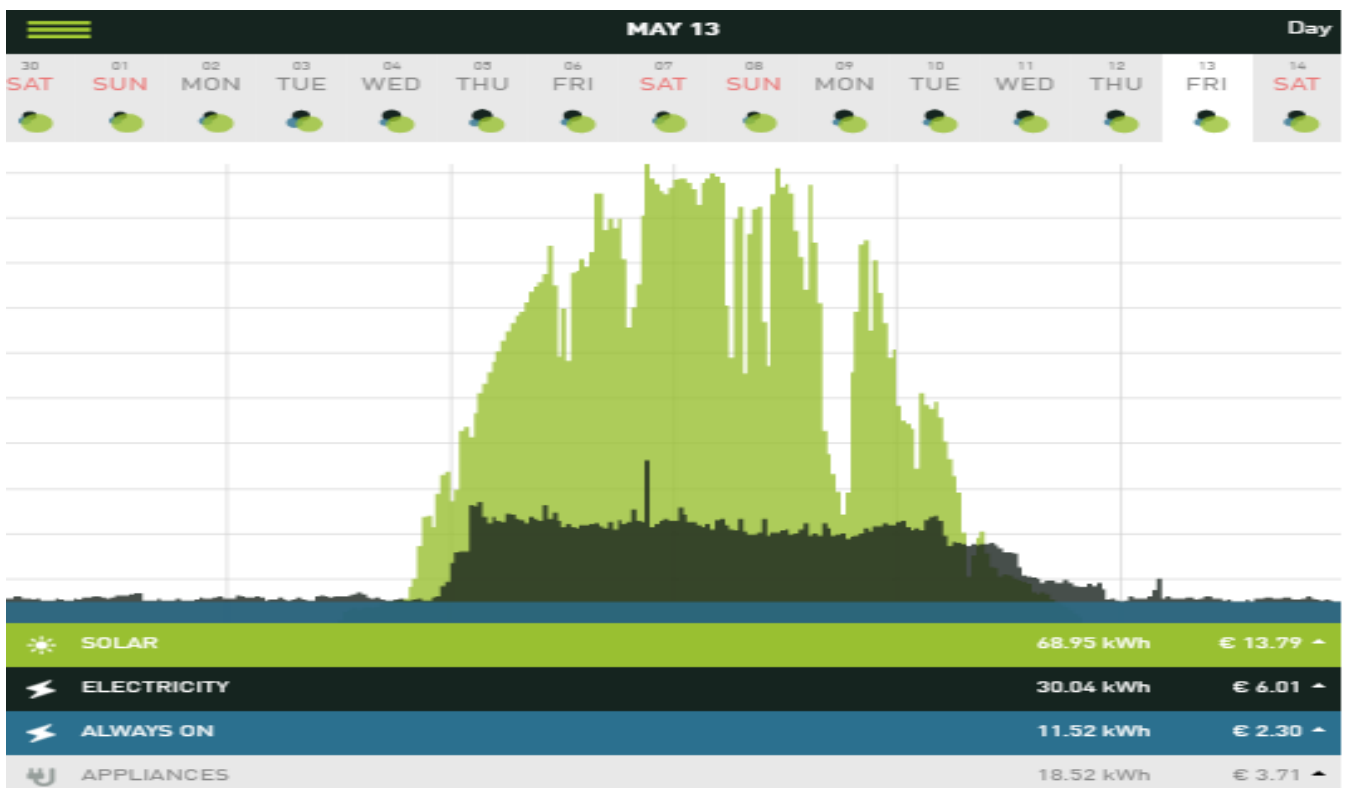
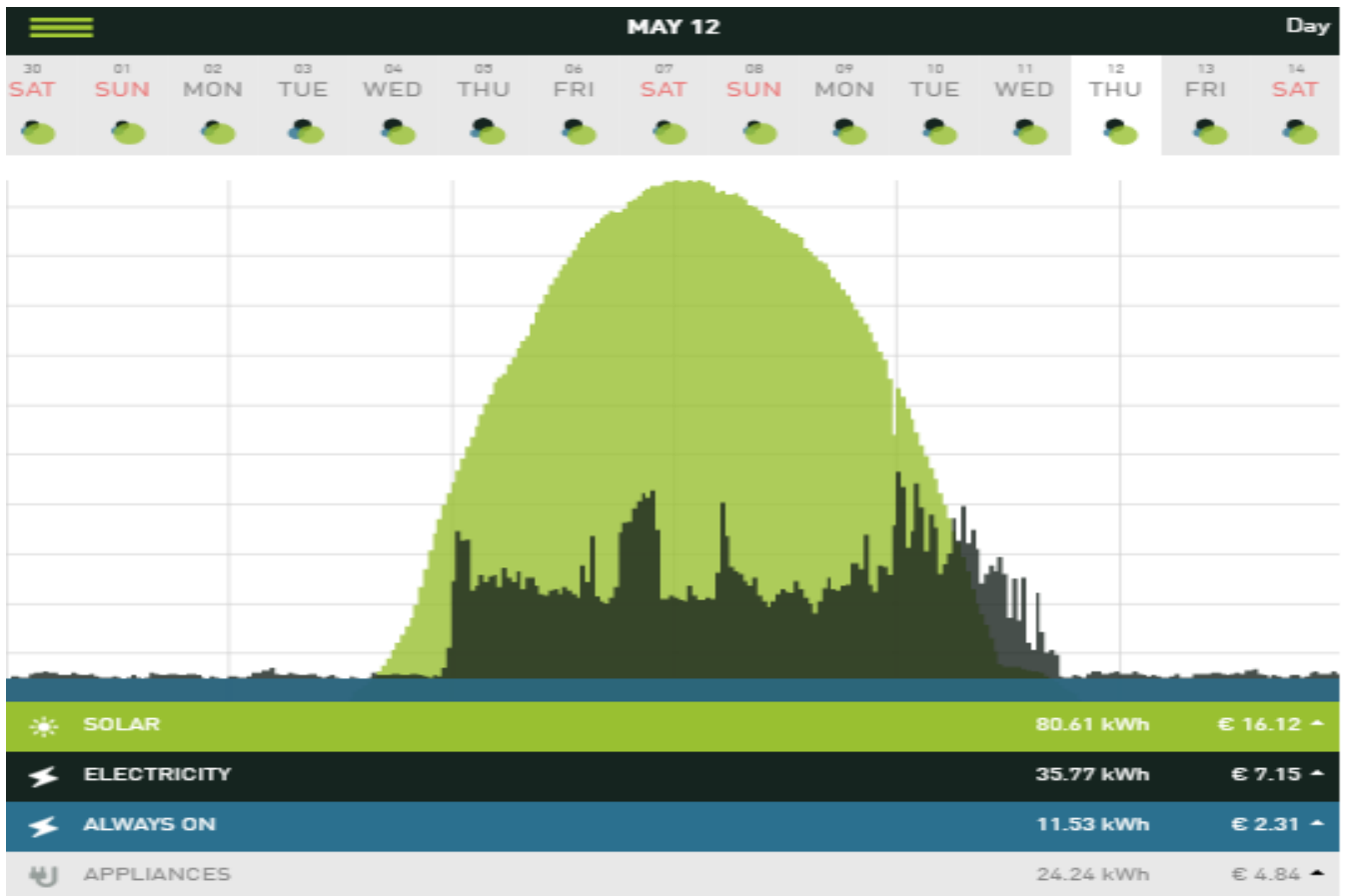
11.6 Μετρήσεις σπιτιού ενός υβριδικό συστήματος με χρήση έξυπνου μετρητή

11.6.1 Μικρομεσαία επιχείρηση



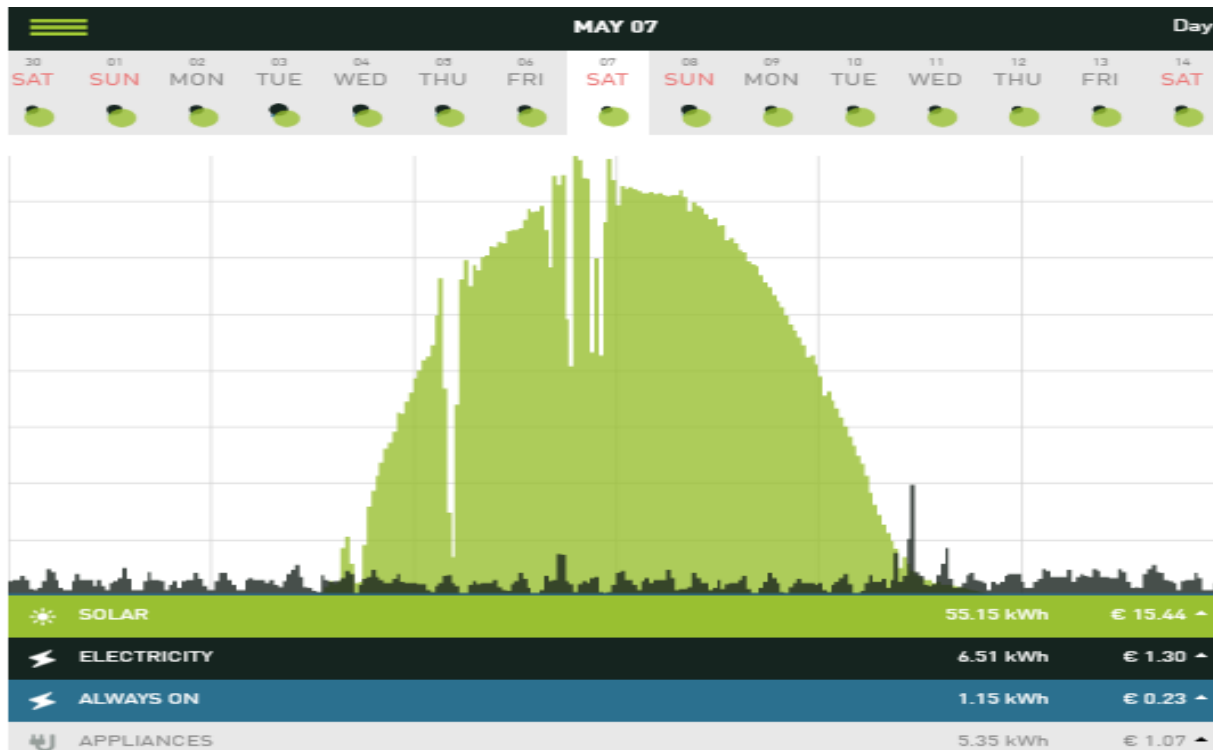
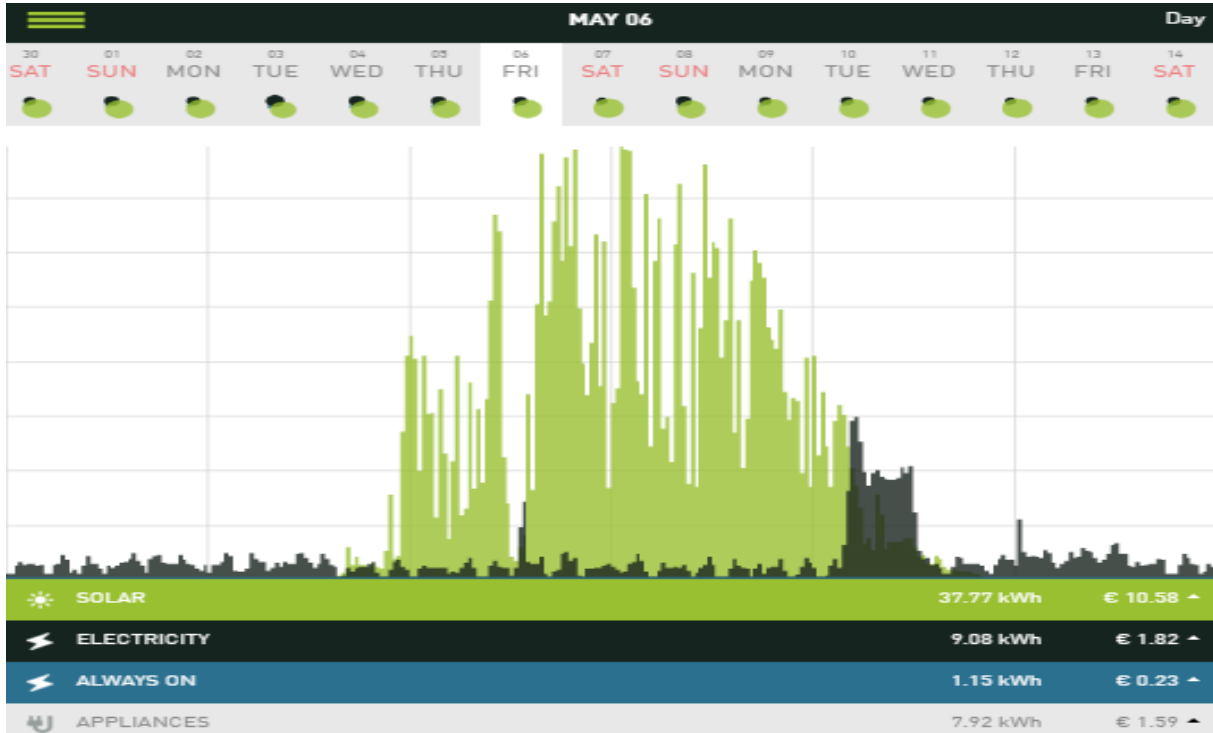


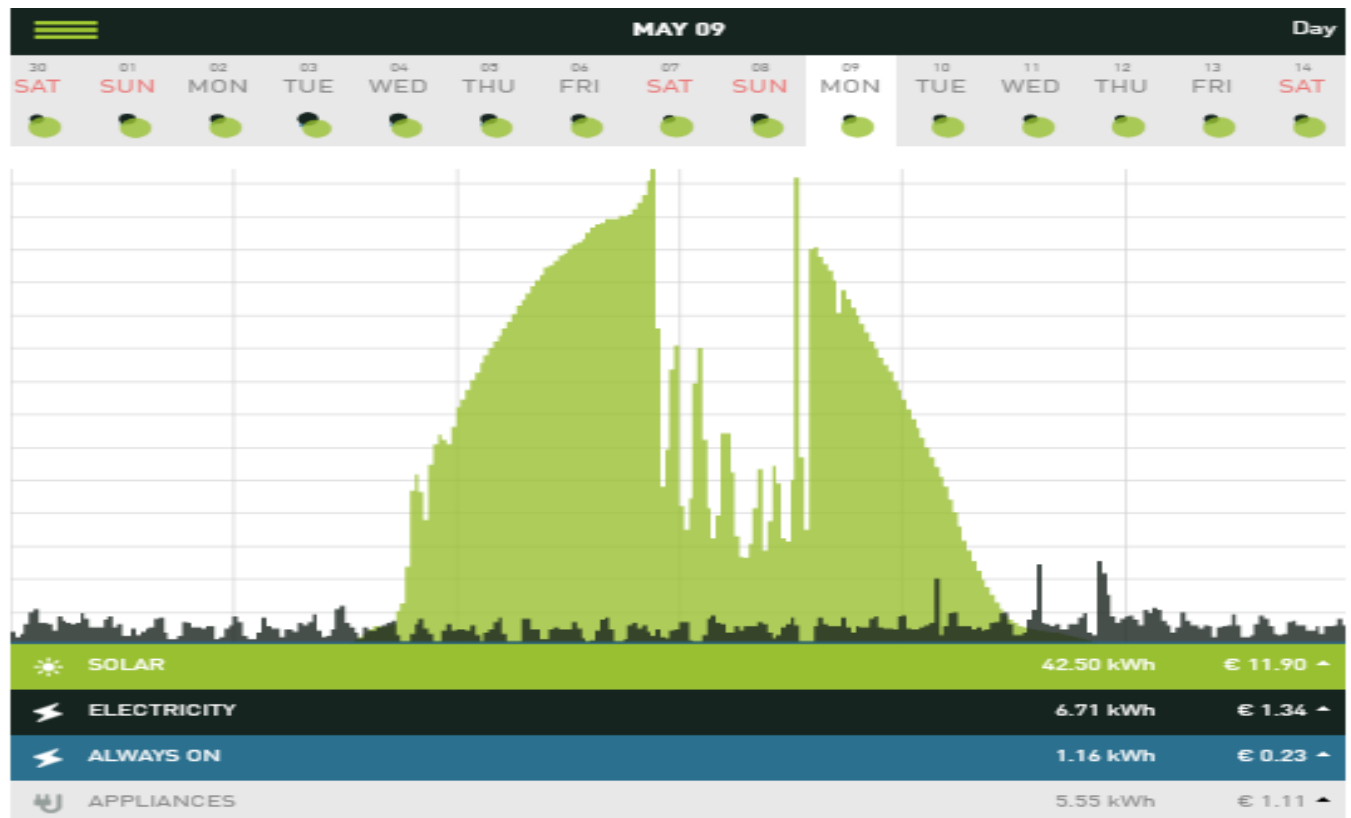
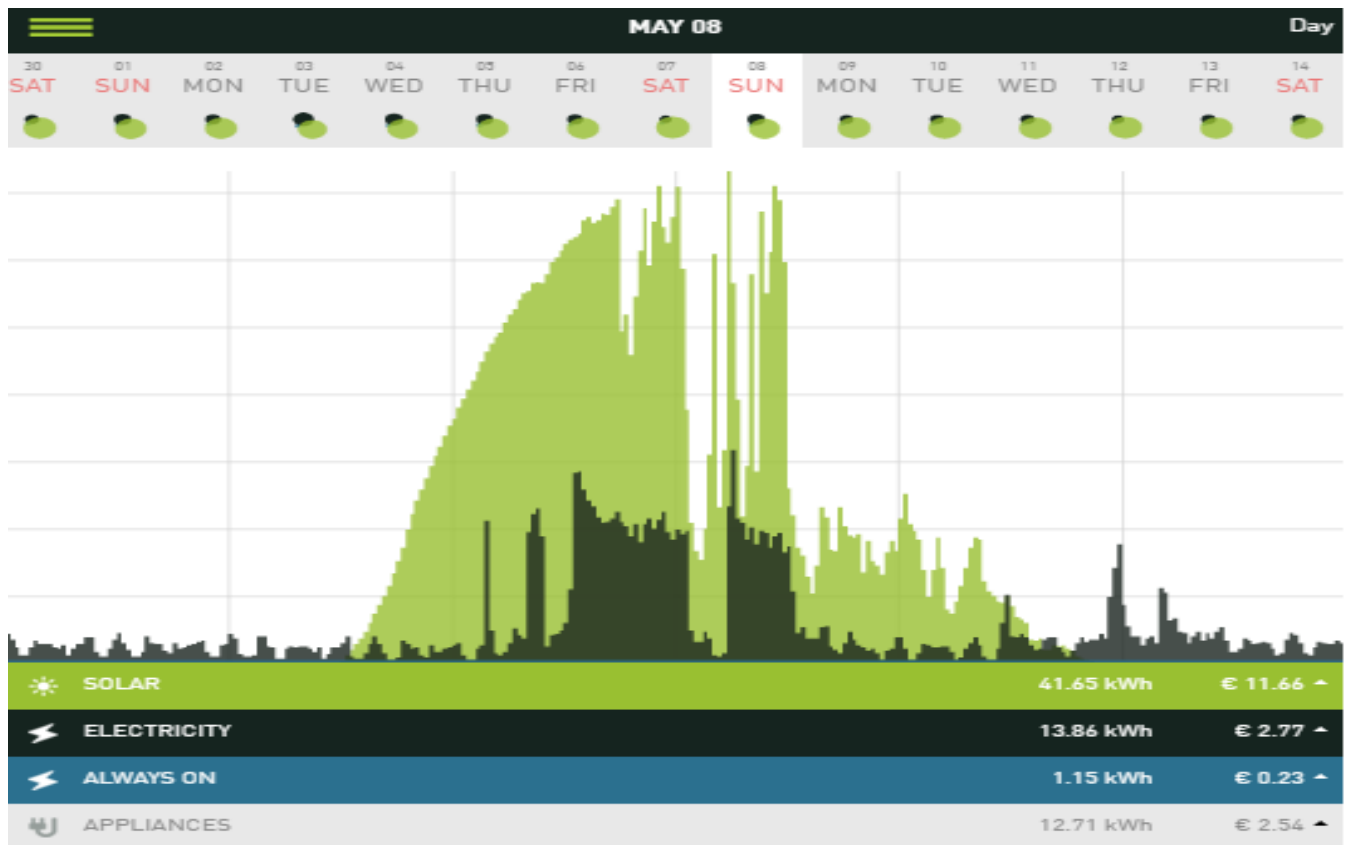


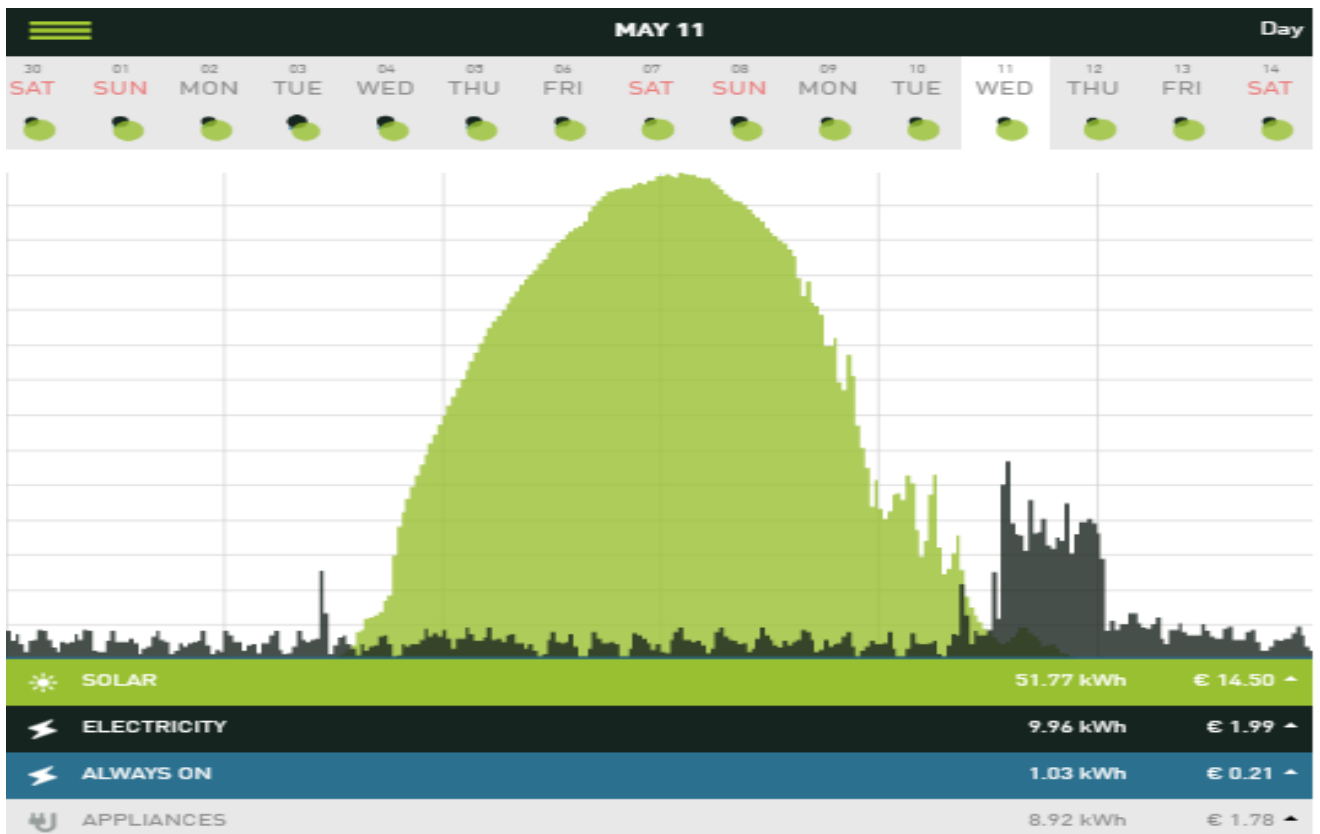
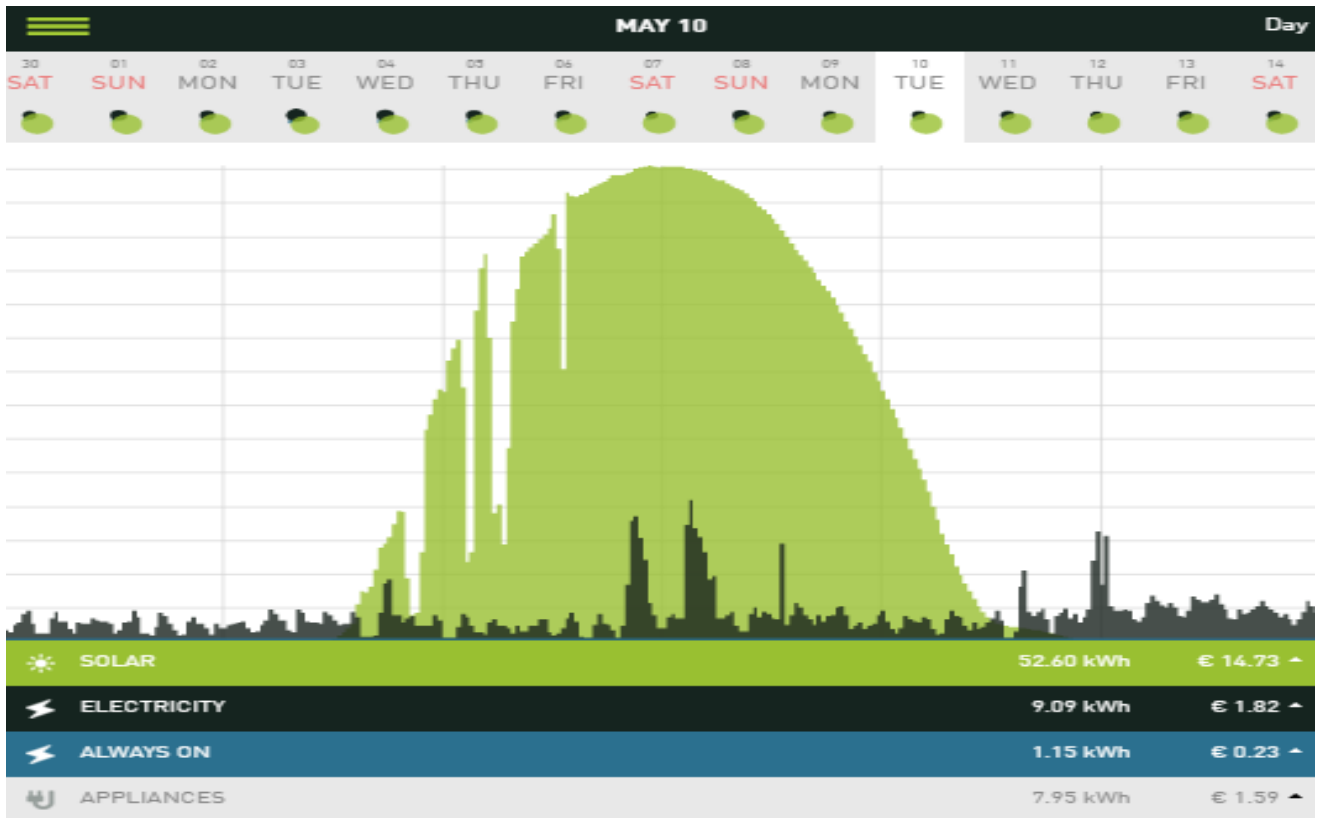


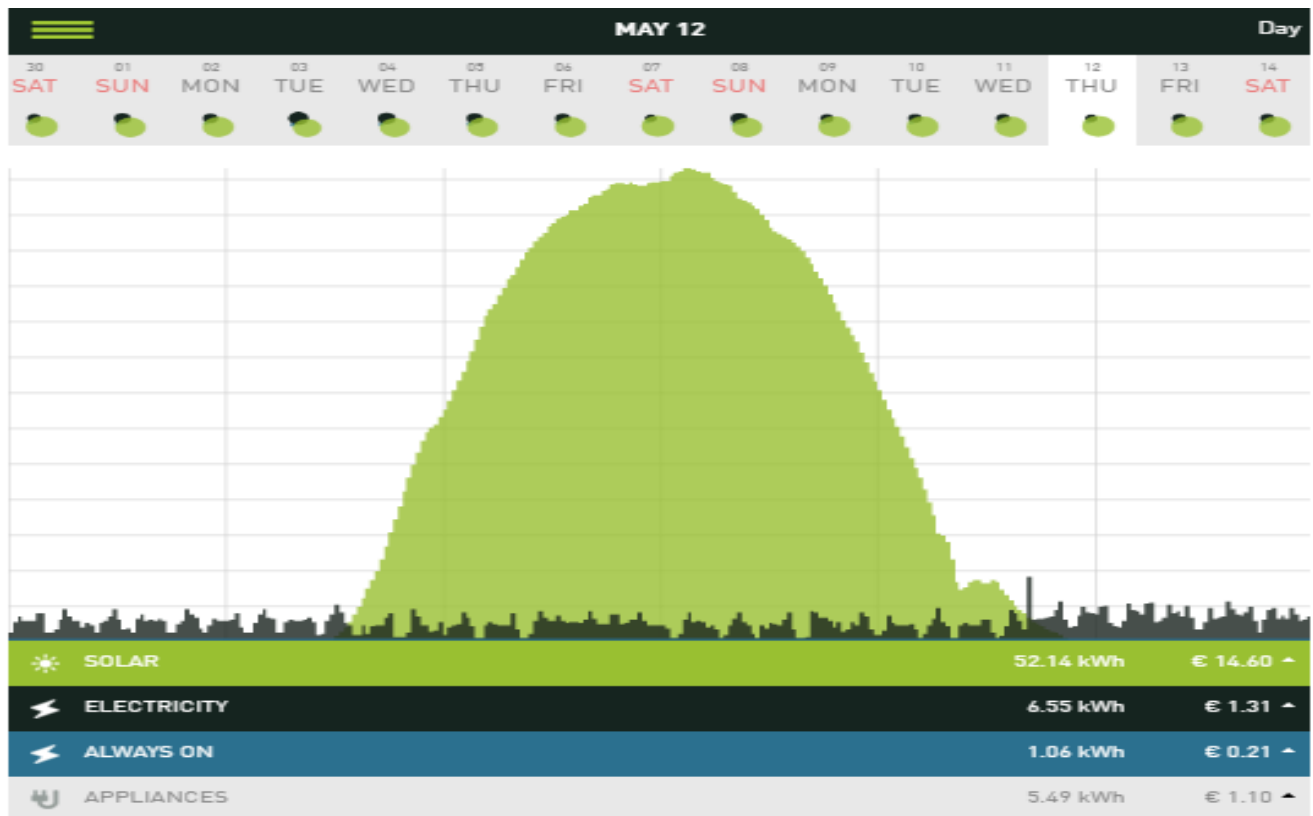
Από τα πιο πάνω σχηματικά μπορούμε να δούμε κάποιες γραφικές που μπορεί να πάρει ένας χρήστης του έξυπνου μετρητή Smarpee σε μια μικρομεσαία επιχείρηση, και μπορεί να δει και να χειριστεί σε πραγματικό χρόνο παραγωγή και κατανάλωση.

11.6.2 Σπίτι τετραμελούς οικογένειας





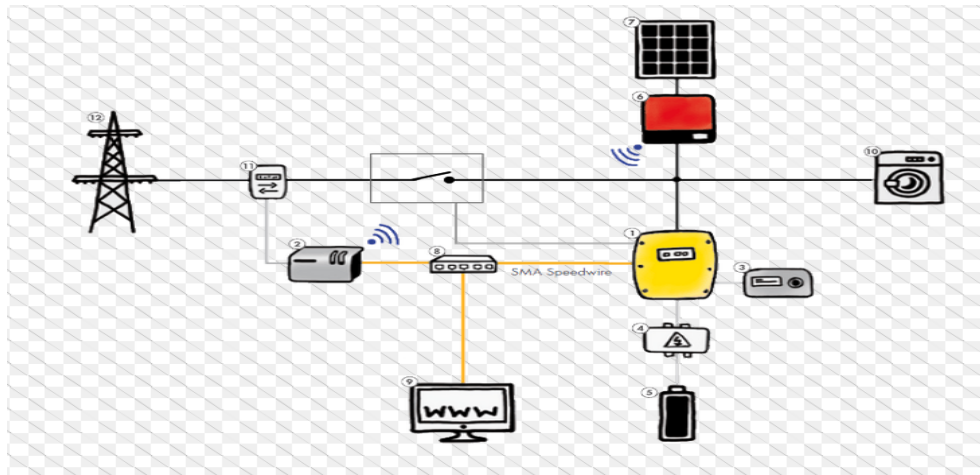




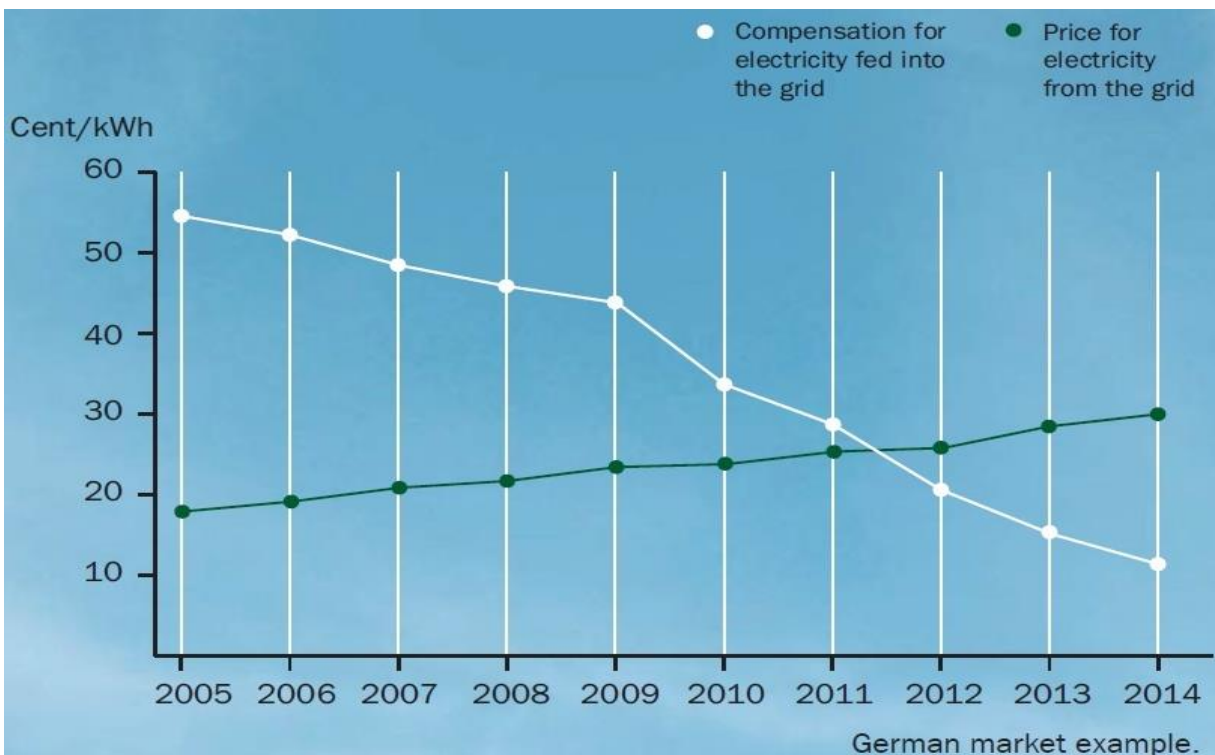
Από τα πιο πάνω σχηματικά μπορούμε να δούμε κάποιες γραφικές που μπορεί να πάρει ένας χρήστης του έξυπνου μετρητή Smarpee σε ένα κανονικό σπίτι, το συγκεκριμένο για μια τετραμελή οικογένεια, και μπορεί να δει και να χειριστεί σε πραγματικό χρόνο παραγωγή και κατανάλωση.

12 Γερμανικό μοντέλο Αυτοκατανάλωσης με την Χρήση Μπαταριών “Self Consumption”

12.1 Ανάλυση



Διάγραμμα 12.1: Γερμανικό μοντέλο Αυτοκατανάλωσης με την Χρήση Μπαταριών “Self Consumption”



Γραφική 12.1: Κατανάλωση ανά έτος

Πλεονεκτήματα:

- Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος πέραν του 80% σε σχέση με το 30% αν δεν υπάρχει σύστημα αποθήκευσης
- Σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος η εγκατάσταση συνεχίζεται να ηλεκτροδοτείται
- Βελτιώνεται η ευστάθεια του δικτύου με αποτέλεσμα να μπορεί να αυξηθεί το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών που είναι διασυνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο

Κίνητρα από την Γερμανική Κυβέρνηση:

- Σε καινούργιες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων όπου θα περιλαμβάνουν και αποθήκευση προσφέρονται χαμηλότοκα δάνεια.
- Επιπλέον επιδότηση 30% του αρχικού κόστους εγκατάστασης.



Ανταπόκριση από το κοινό:

- Από 2013 όταν εφαρμόστηκε το σύστημα αυτοκατανάλωσης έχουν γίνει περίπου 20000 εγκαταστάσεις.
- Η Γερμανική κυβέρνηση επέκτεινε το πρόγραμμα χορηγιών μέχρι το 2018 και με επιπλέον 30 εκατομμύρια ευρώ.
- Οι καταναλωτές επένδυσαν για την εγκατάσταση των συστημάτων 450 εκατομμύρια ευρώ και αναθέρμαναν την αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που τα τελευταία χρόνια είχε συρρικνωθεί.

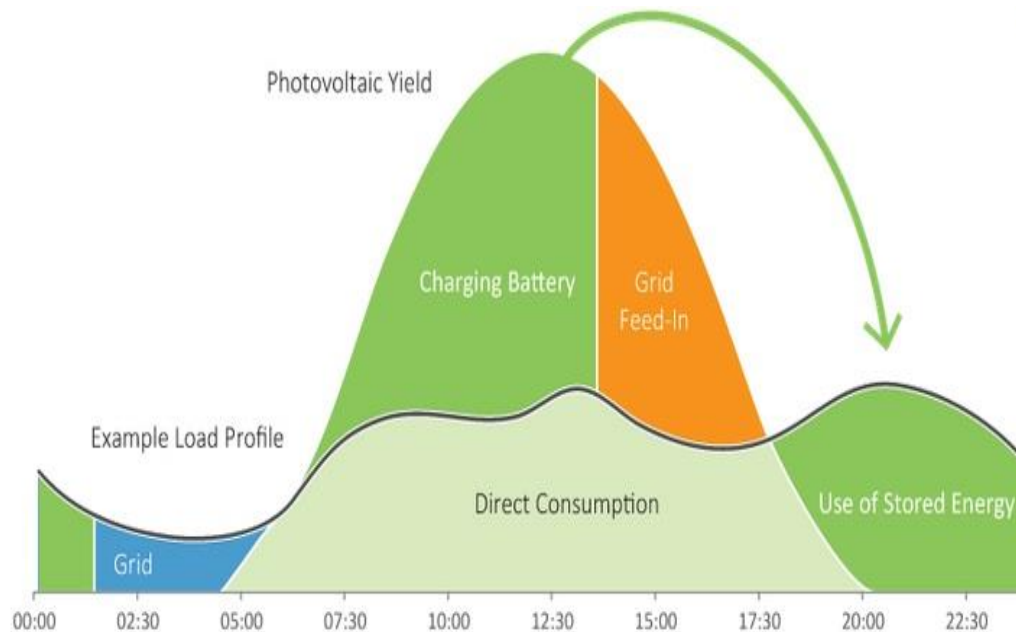
13 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σύμφωνα με τη παρούσα διπλωματική μελέτη, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητη η αποθήκευση αφού όπως μπορούμε να δούμε και στο πιο κάτω σχηματικό, η καμπύλη παραγωγής με τη καμπύλη κατανάλωσης δεν ταυτίζονται, γι' αυτό και μας οδηγούν στην εύρεση μεθόδων αποθήκευσης που θα μετατοπίζουν τις 2 καμπύλες ώστε να υπάρξει ολική ή μερική ταύτιση.

Επομένως, η μοναδική λύση στην αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας με μπαταρίες.

Οι Lead Acid μπαταρίες χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα και είναι ευρέως διαδεδομένες λόγω της αρκετά καλής απόδοσης τους, της χωρητικότητας τους αλλά και το πολύ χαμηλό κόστος τους σε σχέση με άλλες.

Μετά από διάφορες μελέτες που διεξήχθησαν, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι το μέλλον στο κόσμο της ηλεκτρολογίας για αποθήκευση ενέργειας, αφού τεχνικά είναι ανώτερες. Κάτι τέτοιο στηρίζεται στην μεγαλύτερη απόδοση που παρουσιάζουν ως προς το κύκλους ζωής τους, τη χωρητικότητα και το ρυθμό εκφόρτισης. Το μόνο «πρόβλημα» που παρουσιάζουν και τις εμποδίζει να εξαπλωθούν γρήγορα σε διάφορες εγκαταστάσεις, είναι το αρκετά ψηλό τους κόστος, κάτι που υπολογίζεται να μειωθεί σε τρία με πέντε χρόνια περίπου.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>
- [2] Isidor Buchmann, *Batteries in a Portable World*, Cadex Electronics Inc, 2nd edition 2001
- [3] Antonio Luque, Steven Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons Ltd 2003
- [4] Θωμάς Ζαχαρίας, *Ήπιες Μορφές Ενέργειας II*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2005
- [5] Νικόλαος Α. Βοβός, *Ανάλυση, Έλεγχος και Ευστάθεια Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2004
- [7] Κ. Καγκαράκης, *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- [8] A. Daoud, A. Midoun, *Fuzzy Control of a Lead Acid Battery Charger*, Journal of Electrical Systems 01/2005
- [9] David Linden, Thomas Reddy, *Handbook of Batteries*, Mc Graw – Hill, 3rd edition 2001
- [10] Tom Markvart, Luis Castaner, *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd 2003
- [11] Maria Teresa Penella – Lopez, Manuel Gasulla – Forner, *Powering Autonomous Sensors: An Integral Approach With Focus On Solar And RF Energy Harvesting*, Springer 2011
- [12] DOE Handbook, *Primer on Lead Acid Storage Batteries*, Department of Energy, United States of America, 09/1995
- [13] H.A. Kiehne, *Battery Technology Handbook*, Marcel Dekker Inc, 2nd edition 2003
- [14] http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_definitions
- [15] Thomas Crompton, *Battery Reference Book*, Newnes, 3rd edition 2000
- [17] <http://www.renewableenergyfocus.com/view/23890/lithium-batteries-could-enhance-solar-energy/>
- [18] http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/advancing-li-ion-_100006681/501/#axzz2831Uhbds
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- [20] Dennis Doerffel, Suleiman Abu Sharkh, *Large Lithium – Ion Batteries – a Review*, EMA Electro Mobil Ausstellung, Germany, 10/2006
- [21] Simon Schwunk, *Battery Systems for Storing Renewable Energy*, Branchen -/ und Expertenforum Erneuerbare Energien, Hannover, 04/2011
- [22] Y. Thiaux, L. Schmerber, J. Seigneurieux, B. Multon, H. Ben Ahmed, *Comparison Between Lead – acid and Lithium – ion Accumulators in Stand Alone Photovoltaic System Using the Gross Energy Requirement Criteria*, Published in 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany 2009
- [23] http://www.southampton.ac.uk/mediacentre/news/2012/feb/12_24.shtml
- [24] «..»Διάλεξη Κυριάκου Γεωργίου , εταιρία TRIKKIS