



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

2018

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΟΥΛΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΙΣΤΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Περίληψη

Στόχος της εργασίας είναι να γίνει μία έρευνα αγοράς για τους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται για αυτόνομα συστήματα ΑΠΕ. Έτσι προέκυψαν τα δύο πρώτα κεφάλαια, όπου αναλύθηκαν οι συσσωρευτές και τα χαρακτηριστικά μεγέθη τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύθηκαν κάποια εμπορικά προϊόντα συσσωρευτών που υπάρχουν στο εμπόριο και εξετάστηκαν σε κάθε περίπτωση τα εξής: τάση, Ah, διάρκειας ζωής, φορτο-εκφορτίσεις και βαθιές εκφορτίσεις και η τιμή αγοράς.

Έπειτα θα γίνει μία ανάλυση σε ένα αυτόνομο σύστημα κατοικίας, όπου θα εγκατασταθεί για την κάλυψη των αναγκών του ένα αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκό και ανεμογεννήτριας και τέλος θα συγκριθεί το κόστος αποθήκευσης της ενέργειας με αυτό της αγοράς από το δίκτυο.

Στο τελευταίο κεφάλαιο να αναπτυχθούν τα συμπεράσματα της εργασίας και θα αναλυθούν περιπτώσεις μελλοντικής εργασίας για το παρών θέμα.

Abstract

The aim of that thesis is to do a market research for the batteries that are used for autonomous RES systems. This led to the first two chapters, which analyzed the batteries and their characteristics.

In the third chapter, the available commercial batteries have been analyzed and in each case the following: voltage, Ah, lifetime, load-discharge and deep discharges and the purchase price.

An analysis will then be made into an autonomous residential system where a stand-alone photovoltaic system and wind turbine will be installed to meet the needs of the photovoltaic system and finally compare the cost of energy storage with that of the market by the grid.

In the last chapter we developed the conclusions of the thesis and we were analyzed the cases of future work on this issue.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου και επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας κ. Χριστάκη Δημήτριο για την καθοδήγηση και τις συμβουλές όσον αφορά στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Ωστόσο η ολοκλήρωση της θα ήταν αδύνατη χωρίς την υποστήριξη και την συμπαράσταση από την οικογένεια μου και τους φίλους μου, γι' αυτό θα ήθελα να τους ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την στήριξή τους κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της σχολής μου που προσπάθησαν να μου μεταφέρουν όσο περισσότερη γνώση μπορούσαν σε όλα τα φοιτητικά μου χρόνια

Ανδρουλάκης Νικόλαος

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	2
Ευχαριστίες	3
1. Εισαγωγή	9
1.1. Ιστορική Αναδρομή Συσσωρευτών	9
1.2. Ανάλυση Δομής και Λειτουργίας Συσσωρευτών	16
1.2.1. Δομή και στοιχεία συσσωρευτών	16
1.2.2. Αρχή λειτουργίας συσσωρευτών	18
1.2.3. Διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης	18
1.3. Κατηγορίες και Τύποι Μπαταριών	20
1.3.1. Πρωτογενείς Μπαταρίες	20
1.3.2. Δευτερογενείς Μπαταρίες.....	22
2. Χαρακτηριστικά Μεγέθη συσσωρευτών	23
2.1. Τάση	24
2.2. Χωρητικότητα	24
2.3. Ειδική Ενέργεια/ Ενεργειακή Πυκνότητα	25
2.4. Ειδική Ισχύς	25
2.5. Εσωτερική αντίσταση	25
2.6. Βαθμός Απόδοσης	26
3. Ταξινόμηση Στοιχείων και Μπαταριών	26
3.1. Μπαταρίες που Χρησιμοποιούνται από Συστήματα ΑΠΕ	27
3.1.1. Μπαταρίες Μολύβδου – Οξέος.....	27
3.2. Εμπορικά Προϊόντα Συσσωρευτών και Τιμή Πώλησης.....	39
3.2.1. Συσσωρευτές οξέος μολύβδου κλειστού τύπου χαμηλού αντιμονίου αι ονομαστικής τάσης 12V, 6V και 2 V	40
4. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	55

4.1.	Υβριδικές Διατάξεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	58
4.2.	Αυτόνομα Ενεργειακά Συστήματα.....	60
4.3.	Ανάλυση Αυτόνομου Ενεργειακά Συστήματος.....	61
4.4.	Νομοθεσία.....	64
5.	Περιγραφή του Συστήματος Μελέτης.....	66
5.1.	Προσδιορισμός Ηλεκτρικών Καταναλώσεων	74
5.2.	Μηχανικά Χαρακτηριστικά και Κόστος Εγκατάστασης του Συστήματος.....	75
5.2.1.	Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	76
5.2.2.	Ανεμογεννήτρια.....	78
5.2.3.	Μπαταρίες.....	2
5.2.4.	Μετατροπέας.....	3
5.3.	Συγκριτική Ανάλυση Κόστους Αποθήκευσης Ενέργειας με το Κόστος Αγοράς του Δικτύου.....	4
6.	Συμπεράσματα	9
	Βιβλιογραφία	10

Εικόνα 1.	Δομικά στοιχεία της μπαταρίας της Βαγδάτης.....	10
Εικόνα 2.	Η βολταϊκή στήλη και το "στέμμα κυπέλων".....	11
Εικόνα 3.	Ο συσσωρευτής του William Cruickhank.....	11
Εικόνα 4.	Συσσωρευτής Daniell.....	12
Εικόνα 5.	Το στοιχείο Leclanche.....	13
Εικόνα 6.	Διαδικασία εκφόρτισης ενός στοιχείου.....	19
Εικόνα 7.	Διαδικασία φόρτισης ενός επαναφορτιζόμενου στοιχείου.....	19
Εικόνα 8.	Δευτερογενής μπαταρία για συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης. ...	23
Εικόνα 9.	Τυπικά Χαρακτηριστικά τάσης και ειδικού βάρους ενός κυττάρου μολύβδου οξέος σε φόρτιση και εκφόρτιση σταθερού ρυθμού.	30
Εικόνα 10.	Τυπικές Καμπύλες Φόρτισης- Εκφόρτισης ενός κυττάρου μολύβδου οξέος.....	30
Εικόνα 11.	Σχηματική Περιγραφή της διαδικασίας φόρτισης/ εκφόρτισης στο ηλεκτρόδιο μολύβδου μίας μπαταρίας μολύβδου οξέος.	31

Εικόνα 12. Τυπική πλάκα plante.	32
Εικόνα 13. Εικόνα επίπεδης πλάκας.....	33
Εικόνα 14. Απλή μορφή του σωληνωτού ηλεκτροδίου.....	34
Εικόνα 15. Eco Sun Σ/Τ GEL 06 ECOPVV 900, 950Ah/C-100, 2V	42
Εικόνα 16. Όψεις και Κάτοψη της Eco Sun Σ/Τ GEL 06 ECOPVV 900, 950Ah/C-100, 2V.....	43
Εικόνα 17. Σ/Τ ECOGEL G- 55-12, 55Ah, C-100/12V	45
Εικόνα 18. Πόλος συσσωρευτή	46
Εικόνα 19. AccuForce 12V - 120Ah VRLA Battery	48
Εικόνα 20. Κατασκευή συσσωρευτή.	49
Εικόνα 21. ULTRACELL UCG GEL BATTERY 12V - 200AH GEL	52
Εικόνα 22. BAE SECURA PVV N. 2089007	53
Εικόνα 23. Συνδεσμολογία συσσωρευτή.	54
Εικόνα 24. Υβριδικό Σύστημα Ενέργειας.	59
Εικόνα 25. S 235P60 Professional, της Centrosolar AG	76

Πίνακας 1. Κύρια χαρακτηριστικά και εφαρμογές των πρωτογενών μπαταριών.	22
Πίνακας 2. Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες μολύβδου και οξειδίων του μολύβδου.....	28
Πίνακας 3. Ιδιότητες Διαλύματος Θεικού Οξέος.....	29
Πίνακας 4. Τύποι Συσσωρευτών και τα Χαρακτηριστικά τους.	40
Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά στους 25° C.....	43
Πίνακας 6. Συντελεστές χωρητικότητας σε διάφορες θερμοκρασίες για το συσσωρευτή. ...	47
Πίνακας 7. Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή στους 25° C.	48
Πίνακας 8. Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.	49
Πίνακας 9. Συγκριτικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.....	52
Πίνακας 10. Γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.	53
Πίνακας 11. Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή στους 20° C.	54
Πίνακας 12. Ενδεικτική Κατανομή του Κόστους ενός αυτόνομου Φ/Β Συστήματος.	61
Πίνακας 13. Τα βασικά στάδια υπολογισμού για τον προσδιορισμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.....	63
Πίνακας 14. Όρια εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία ΑΠΕ και κατηγορία παραγωγού.65	
Πίνακας 15. Φορτία προς της μελέτη οικίας.	67
Πίνακας 16. Ώρες και ποσοστό ονομαστικής ισχύος που θα λειτουργούν οι διάφορες συσκευές του σπιτιού μία τυπική μέρα του χειμώνα εργάσιμη.	70

Πίνακας 17. Ετήσια και ημερήσια κατανάλωση ενέργεια και αιχμή φορτίου για διάφορα σενάρια φορτίου στην υπό εξέταση κατοικία.	75
Πίνακας 18. Τεχνικά Χαρακτηριστικά του επιλεγμένου Φ/Β πάνελ.	78
Πίνακας 19. Ισχύς εξόδου συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την Α/Γ και κόστος εγκατάστασης (Bornay, 2012).	0
Πίνακας 20. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Α/Γ (Bornay, 2012).	0
Πίνακας 21. Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Μπαταρίας OPzS 620.	2
Πίνακας 22. Ικανότητα Μπαταριών για διάφορους χρόνους εκφόρτισης και τάση στοιχείων.	2
Πίνακας 23. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα (ASP, 2014).	4
Πίνακας 24. Σύγκριση Κόστους των σεναρίων υβριδικού συστήματος κατοικίας για χαμηλό φορτίο.	4
Πίνακας 25. Σύγκριση Κόστους των σεναρίων υβριδικού συστήματος κατοικίας για μέσο φορτίο.	5
Πίνακας 26. Σύγκριση Κόστους των σεναρίων υβριδικού συστήματος κατοικίας για υψηλό φορτίο.	6
Σχήμα 1. Επιρροή της θερμοκρασίας.	44
Σχήμα 2. Χαρακτηριστικά κυκλικής χρήσης.	44
Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά Φόρτισης για κυκλική χρήση.	44
Σχήμα 4. Χαρακτηριστικά καμπύλης εκφόρτισης.	45
Σχήμα 5. Χαρακτηριστικά Κυκλικής χρήσης.	46
Σχήμα 6. Χαρακτηριστικά αποθήκευσης συσσωρευτή.	47
Σχήμα 7. Χαρακτηριστικές καμπύλες φόρτισης.	47
Σχήμα 8. Χαρακτηριστικές καμπύλες εκφόρτισης.	47
Σχήμα 9. Χαρακτηριστικά αποφόρτισης συσσωρευτή.	50
Σχήμα 10. Χαρακτηριστικά συνεχούς φόρτισης τάσης.	50
Σχήμα 11. Χαρακτηριστικά κυκλικής χρήσης συσσωρευτή.	50
Σχήμα 12. Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση.	51
Σχήμα 13. Συγκριτικό γράφημα συσσωρευτητή.	52
Σχήμα 14. Αριθμός κύκλων ανά χρήση DOD.	54
Σχήμα 15. Εγκατεστημένη ισχύς διάφορων μορφών ΑΠΕ στην Ελλάδα έως το 2005.	58
Σχήμα 16. Τυπική διάταξη αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης.	60

Σχήμα 17. Σχηματική απεικόνιση μίας Φ/Β εγκατάστασης μεγάλης κλίμακας, η οποία είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο με μία σχετική αυτοδυναμία μέσω των συσσωρευτών.	62
Σχήμα 18. Καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας χειμώνα.	68
Σχήμα 19. Καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας χειμώνα.	68
Σχήμα 20. Καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.	69
Σχήμα 21. Καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.	69
Σχήμα 22. Για μέσο φορτίο καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας χειμώνα.	70
Σχήμα 23. Για σενάριο μέσου φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας χειμώνα.	71
Σχήμα 24. Για σενάριο μέσου φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.	71
Σχήμα 25. Καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού για σενάριο μέσου φορτίου.	72
Σχήμα 26. Για σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας χειμώνα.	72
Σχήμα 27. Για σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας του χειμώνα.	73
Σχήμα 28. Για το σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου σπιτιού εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.	73
Σχήμα 29. Για σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου σπιτιού για μη εργάσιμη ημέρα καλοκαιριού.	74
Σχήμα 30. Καμπύλες Ισχύος για τις Α/Γ (Bornay, 2012).	1
Σχήμα 31. Διάρκεια Ζωής βάση του βάθους εκφόρτσης της μπαταρίας (HOPPECKE, 2015). ...	3
Σχήμα 32. Σχηματική απεικόνιση κόστους για χαμηλό φορτίο.	5
Σχήμα 33. Σχηματική απεικόνιση κόστους για χαμηλό φορτίο.	6
Σχήμα 34. Σχηματική απεικόνιση κόστους για χαμηλό φορτίο.	7

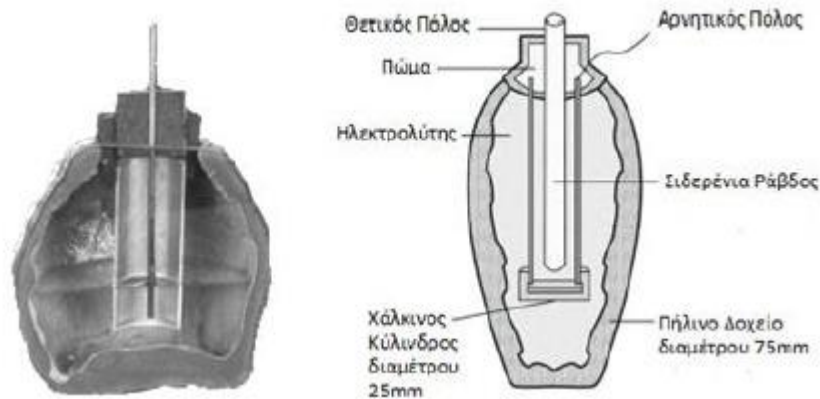
1. Εισαγωγή

Μεγάλο μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναφέρεται στους συσσωρευτές ενέργειας. Για να μπορέσουμε να εισχωρήσουμε σε βάθος στην ανάλυση των συσσωρευτών πρώτα θα πρέπει να έχει γίνει μία έρευνα για αυτούς. Στα παρακάτω κεφάλαια γίνεται μία ιστορική αναδρομή και εισαγωγή στην έννοια των συσσωρευτών.

1.1. Ιστορική Αναδρομή Συσσωρευτών

Αποδεδειγμένα μία από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις του ανθρώπου εδώ και 400 χρόνια φαίνεται να είναι ο ηλεκτρισμός. Φαίνεται όμως ότι η ανακάλυψη της μπαταρίας ήταν αυτή η οποία πυροδότησε τη χρήση του ηλεκτρισμού στα τέλη του 1800. Πριν από την ανακάλυψη των γεννητριών και των ηλεκτρικών δικτύων, η κύρια πηγή ενέργειας είναι ήταν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές και οι διαδοχικές βελτιώσεις της τεχνολογίας τους οδήγησαν σε πολύ σημαντικές ανακαλύψεις.

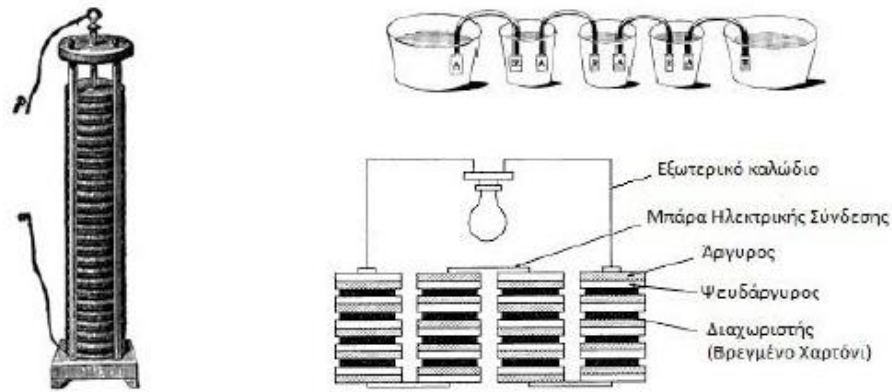
Ερευνώντας την ιστορία της μπαταρίας, το 1936 εργάτες στη Βαγδάτη ανακάλυψαν κατά την κατασκευή ενός σιδηρόδρομου την πρώτη μπαταρία, η οποία είναι γνωστή και ως μπαταρία της Βαγδάτης ή μπαταρία της Παρθιάς και χρονολογείται να είναι 2000 ετών. Ουσιαστικά, αποτελείται από ένα πήλινο δοχείο και μέσα του υπήρχε ένας χάλκινος κύλινδρος με μία σιδερένια ράβδο στο εσωτερικό του. Πρακτικά λοιπόν όταν αυτό γέμιζε με ένα διάλυμα ξυδιού ή άλλου ηλεκτρολύτη, τότε αυτό παρήγαγε 1 -2 Volt τάση. Ο αρχαιολόγος Wilhelm Konig ισχυρίζεται ότι αυτό το πήλινο δοχείο είχε τα χαρακτηριστικά ενός γαλβανικού στοιχείου, αλλά φαίνεται ότι η χρήση αυτού του ευρήματος δεν χρησιμοποιούνταν ως πηγή ηλεκτρισμού, καθώς φαίνεται να χρησιμοποιούνταν στην επιμετάλλωση.



Εικόνα 1. Δομικά στοιχεία της μπαταρίας της Βαγδάτης.

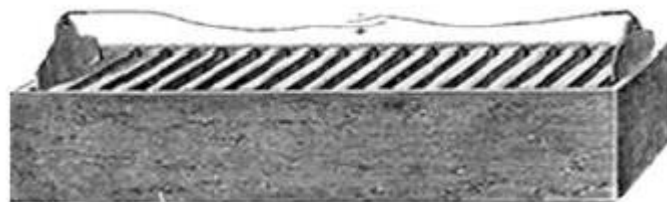
Έπειτα το 1791, ο Luigi Galvani, Ιταλός καθηγητής ανατομίας του Πανεπιστημίου της Μπολόνια, ανακάλυψε τυχαίο ότι μπορεί να προκαλέσει ροή του ρεύματος κατά μήκος ενός ηλεκτρικού αγωγού απλά βυθίζοντας δύο διαφορετικά μέταλλα μέσα σε μία υγρή ουσία. Έτσι, ο καθηγητής φυσικής φιλοσοφίας του Πανεπιστημίου της Παβίας, Alessandro Volta, ορμώμενος από αυτήν την ανακάλυψη, πραγματοποίησε μία σειρά από πειράματα χρησιμοποιώντας ψευδάργυρο, μόλυβδο, κασσίτερο και σίδηρο για τη θετική πλάκα και για την αρνητική, χαλκό, άργυρο, χρυσό ή γραφίτη.

Το 1800 ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί μία συνεχής ροή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα υγρά ως αγωγούς για την πρόκληση χημικής αντίδρασης μεταξύ των πλακών – ηλεκτροδίων και αυτή ήταν η αιτία δημιουργίας της «πρώτης μπαταρίας» ή αλλιώς Βολταϊκής στήλης. Επιπλέον, ο Volta συναρμολόγησε μία σειρά από δίσκους αργύρου και ψευδαργύρου εναλλάξ μειώνοντας έτσι τα ζεύγη μεταξύ του με φύλλο από χαρτόνι βρεγμένο με αγώγιμο υλικό, που στην προκειμένη περίπτωση ήταν το αλατόνερο. Με τη σύνδεση του ακραίου δίσκου αργύρου μέσω του εξωτερικού καλωδίου με τον ακραίο δίσκο ψευδαργύρου γινόταν παραγωγή ρεύματος και πίστευε ότι το ρεύμα προερχόταν από την επαφή των δύο μετάλλων, ενώ ουσιαστικά αναπτυσσόταν διαμέσου του βρεγμένου χαρτονιού, ο οποίος ήταν και ο ηλεκτρολύτης. Με την έρευνα του κατασκεύασε στήλες μέχρι και 60 ζεύγη δίσκων, αλλά με τη χρήση του η στήλη στέγνωνε και έβγαινε εκτός λειτουργίας, οπότε αναγκάστηκε και επινόησε μία τροποποίηση που την ονόμασε «στέμμα κυπέλλων», όπου το κάθε κύπελλο περιείχε ένα κομμάτι από άργυρο και ψευδάργυρο και ένα διάλυμα άλατος. Στη διάταξη ο ψευδάργυρος συνδέονταν ηλεκτρικώς με τον άργυρο του γειτονικού κυπέλλου, που ήταν διατεταγμένα κυκλικά και με αυτόν τον τρόπο ο Volta μετρούσε την ισχύ της μπαταρίας τοποθετώντας τα δάκτυλα του στα δύο άκρα.



Εικόνα 2. Η βολταϊκή στήλη και το "στέμμα κυπέλων".

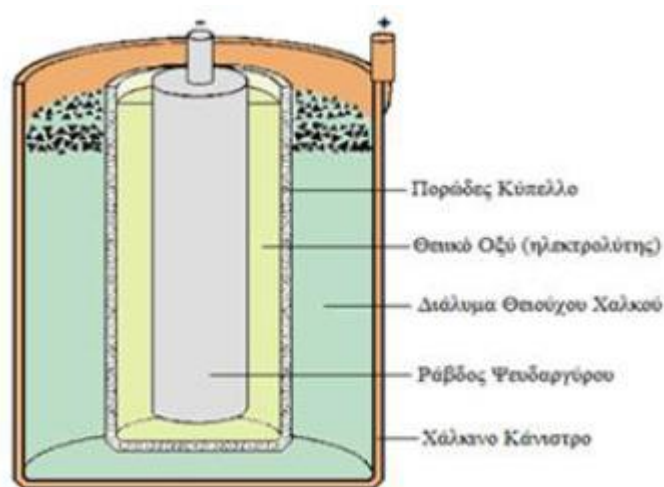
Έπειτα, έγιναν πολλές ανακαλύψεις πάνω στον τομέα αυτόν, με τον σερ Humphry Davy να κατασκευάζει μία τεράστια μπαταρία στο υπόγειο της Βασιλικής Εταιρείας του Λονδίνου, συνδέοντας την σε ηλεκτρόδια ξυλάνθρακα και παράγοντας το πρώτο ηλεκτρικό φως. Το 1802 ο William Cruickshank έβγαλε στην αγορά την πρώτη μπαταρία μαζικής παραγωγής, τοποθετώντας στα δύο άκρα της φύλλα ψευδάργυρου ίσου μεγέθους μέσα σε ένα μακρύ ορθογώνιο ξύλινο κουτί, που ήταν σφραγισμένο με τσιμέντο. Οι εσοχές μέσα στο κουτί κρατούσαν τις πλάκες χρυσού στη θέση τους και έπειτα το κουτί γέμιζε με έναν ηλεκτρολύτη άλμης ή αραιωμένου οξέος. Η καινοτομία που είχε αυτή η διάταξη ήταν ότι δεν παρατηρούνταν διαρροή ηλεκτρολύτη λόγω του βάρους, πράγμα που συνέβαινε με τις άλλες μπαταρίες. Και όσο το ξύλινο κουτί έμενε ανέπαφο, τόσο δεν υπήρχε διαρροή. Επιπλέον, παρήγαγε παραπάνω ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3. Ο συσσωρευτής του William Cruickshank.

Το 1836, ο John F. Daniell, ο οποίος ήταν καθηγητής στο Βασιλικό κολλέγιο του Λονδίνου δημιούργησε τον πρώτο συσσωρευτή που δεν ήταν δυνατόν να επαναφορτιστεί μετά την πρώτη αποφόρτιση. Αυτό το στοιχείο είναι γνωστό και ως στοιχείο Daniell και το αρνητικό ηλεκτρόδιο ή άνοδος, ήταν μία ράβδος καθαρού ψευδάργυρου μέσα σε θειικό οξύ.

Για να μην προσβληθεί ο ψευδάργυρος από το οξύ, είχε καλυφθεί με ένα στρώμα υδραργύρου, ενώ η κάθοδος ή θετικό ηλεκτρόδιο, ήταν από ένα χάλκινο κάνιστρο που περιείχε θειικό οξύ κορεσμένο με θειούχο χαλκό. Καινοτομία αυτού του συσσωρευτή ήταν ότι παρήγαγε πιο σταθερό ρεύμα από τους προηγούμενους.



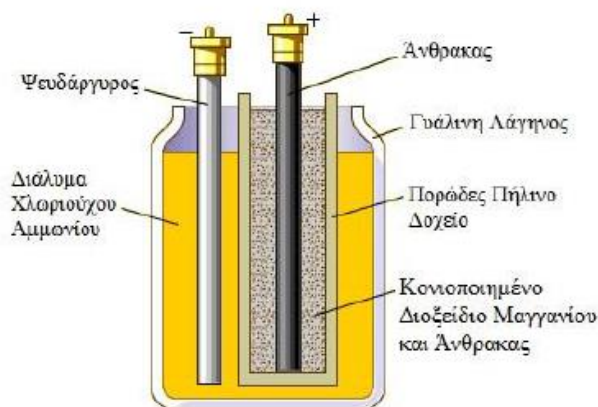
Εικόνα 4. Συσσωρευτής Daniell.

Το 1839, ο William Grove, που ήταν Βρετανός δικαστικός δημοσίευσε την περιγραφή μιας συστοιχίας με χρήση ηλεκτροδίων από λευκόχρυσο, που ήταν τοποθετημένες σε σωλήνες ανεστραμμένους μέσα σε διάλυμα θειικού οξέος και ύδατος. Όταν λοιπόν, το ηλεκτρικό ρεύμα περνούσε μέσα από τη συσκευή, το νερό διασπώντα στα συστατικά του, τα οποία συγκεντρώνονταν χωριστά στους δύο σωλήνες. Σε αυτήν την φορτισμένη πλέον μπαταρία μπορούσε να παραληφθεί υπολογίσιμο ρεύμα και περίπου διπλάσια τάση από αυτήν που είχε το στοιχείο Daniell, καθώς ήταν και το πρώτο στοιχείο καυσίμου, στο οποίο τα αντιδρώντα συστατικά, δηλαδή το οξυγόνο και το υδρογόνο δεν περικλείονταν στα ηλεκτρόδια. Έτσι, με βάση τα παραπάνω το στοιχείο Grove έγινε για πολύ καιρό το αγαπημένο στοιχείο από πλευράς αμερικάνικου τηλεγραφικού δικτύου. Παρόλ' αυτά όταν λειτουργούσε, έβγαζε στο περιβάλλον δηλητηριώδεις αναθυμιάσεις μονοξειδίου του αζώτου, η τάση έπεφτε γρήγορα μειώνοντας και το χρόνο φόρτισης του συσσωρευτή και είχε και ακριβό κόστος κατασκευής λόγω του λευκόχρυσου, γι' αυτό και αντικαταστάθηκε γρήγορα.

Το 1859, ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante ανακάλυψε το στοιχείο μόλυβδου – οξέος το οποίο είναι η πρώτη επιτυχημένη πρακτική φορτιζόμενη μπαταρία που χρησιμοποιείται έως σήμερα και αποτελούνταν από δύο φύλλα μόλυβδου χωρισμένα σε λωρίδες από

ελαστικό και τυλιγμένα σε σπείρα. Έτσι, το στοιχείο όταν βυθιζόταν σε υδαρές διάλυμα 10% θεικού οξέος και φορτιζόταν μπορούσε να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια. Παρολ' αυτά αυτό το στοιχείο έμεινε τουλάχιστον 20 χρόνια χωρίς χρήση, γιατί αν και μπορούσε να αποδώσει την αποθηκευμένη ενέργεια πολύ γρήγορα, δεν μπορούσε να παράγει ισχυρό ρεύμα.

Το 1865 επινοήθηκε το πρώτο ξηρό στοιχείο από το Γάλλο χημικό Georges Leclanche και είναι ακόμα και σήμερα ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα επαναφορτιζόμενα στοιχεία. Αρχικά αποτελούνταν από μία γυάλινη στάμνα που περιείχε διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου ως ηλεκτρολύτη και η άνοδος ήταν ράβδος ψευδαργύρου που προστατευόταν από τη διάβρωση με στρώμα υδραργύρου. Όταν έδινες ηλεκτρικό ρεύμα παράγονταν ιόντα υδραργύρου που κινούνταν στο διάλυμα και στο κέντρο της στάμνας υπήρχε ένα πορώδες πήλινο δοχείο με μίγμα κονιοποιημένου διοξειδίου του μαγγανίου και άνθρακα, το οποίο και λειτουργούσε ως αγώγιμο υλικό συνδέοντας τη σκόνη του διοξειδίου του μαγγανίου με την κάθοδο. Η κάθοδος με τη μεριά της ήταν από άνθρακα και τοποθετούνταν στο κέντρο του πήλινου δοχείου, έτσι με την ροή του ρεύματος, το διοξείδιο του μαγγανίου γινόταν οξείδιο.



Εικόνα 5. Το στοιχείο Leclanche.

Το 1866, ο Carl Gassner με το γερμανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας έκανε μία παραλλαγή του στοιχείου Leclanche γνωστοποιώντας το ξηρό στοιχείο αφού δεν περιείχε κάποιο ελεύθερο υγρό ηλεκτρολύτη, αντιθέτως το χλωριούχο αμμώνιο αναμίχθηκε με γύψο και δημιουργήθηκε μία μάζα που τοποθετώντας μία μικρή ποσότητα χλωριούχου ψευδαργύρου παράτεινε τη χρονική διάρκεια αποθήκευσης. Η κάθοδος που ήταν διοξείδιο του μαγγανίου βυθίζονταν σε αυτή τη μάζα και έπειτα και οι δύο μαζί σφραγίζονταν σε ένα κέλυφος ψευδαργύρου που λειτουργούσε ως άνοδος.

Σε αντίθεση με τα άλλα υγρά στοιχεία, αυτό του Gassner ήταν πιο ανθεκτικό και δεν απαιτούσε μεγάλη συντήρηση, δε χυνόταν και χρησιμοποιούνταν με οποιοδήποτε προσανατολισμό. Μπορούσε να παράγει και δυναμικό 1,5 V. Έτσι, η μαζική παραγωγή του έγινε το 1896 από την εταιρεία National Carbon Company, η οποία το βελτίωσε με την αντικατάσταση του γύψου με χαρτόνι τυλιγμένο σε σπείρα, που είχε τη δυνατότητα να αφήνει πιο πολύ χώρο για την κάθοδο και να διευκολύνει την κατασκευή του. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η πρώτη εύχρηστη μπαταρία για το κοινό και μετέτρεψε τις φορητές συσκευές σε πιο πρακτικές. Σήμερα ονομάζεται ως συσσωρευτής ψευδαργύρου – άνθρακα και συνεχίζεται να βγαίνει στην παραγωγή.

Ο Σουηδός Waldemar Jungner το 1899 κατασκεύασε την επαναφορτιζόμενη μπαταρία νικελίου – καδμίου η οποία χρησιμοποιούσε για ηλεκτρόδια νικέλιο για την άνοδο και κάδμιο για την κάθοδο σε διάλυμα υδροξειδίου του καλίου και ήταν η πρώτη μπαταρία με αλκαλικό ηλεκτρολύτη. Έγινε εμπορική στη Σουηδία το 1910 και στην Αμερική έφτασε το 1946, ενώ τα πρώτα μοντέλα της μπαταρίας ήταν αρκετά ανθεκτικά και είχαν καλύτερη πυκνότητα ενέργειας από τις άλλες μπαταρίες λόγω του υψηλού κόστους των υλικών σε σχέση με το ξηρό στοιχείο και το στοιχείο μολύβδου – οξέος.

Έπειτα, ο Edison, το 1901 κατασκεύασε μία διαφορετική εκδοχή της μπαταρίας νικελίου – καδμίου με την αντικατάσταση του καδμίου με σίδηρο, αλλά φαίνεται να είχε χαμηλή ειδική ενέργεια, μικρή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και γρήγορη αυτοεκφόρτιση.

Ο George Neumann κατάφερε το 1947 το αεροστεγές κλείσιμο του κελιού της μπαταρίας και για πολλά χρόνια μετά η μπαταρία νικελίου – καδμίου ήταν και η μοναδική επαναφορτιζόμενη μπαταρία για φορητές εφαρμογές.

Μέχρι τα τέλη του 1950 η μπαταρία ψευδαργύρου – άνθρακα ήταν η κύρια μη επαναφορτιζόμενη μπαταρία αν και είχε μικρή διάρκεια ζωής, μέχρι που το 1955 ο Lewis Urry μελέτησε έναν τρόπο για να αυξήσει την διάρκεια ζωής των συσσωρευτών ψευδαργύρου – άνθρακα. Παρόλ' αυτά ο Urry είχε αποφασίσει ότι οι αλκαλικοί συσσωρευτές ήταν υποσχόμενοι και δημιούργησε έναν που αποτελούνταν από διοξείδιο του μαγγανίου στην κάθοδο, σκόνη ψευδαργύρου στην άνοδο και αλκαλικό ηλεκτρολύτη. Με αυτόν τον τρόπο η σκόνη ψευδαργύρου έδωσε στην κάθοδο μεγαλύτερη έκταση επιφάνειας και τελικά οι μπαταρίες βγήκαν στην αγορά το 1959.

Όσον αφορά την μπαταρία νικελίου – υδρογόνου έκανε την εμφάνιση της στην αγορά ως ένα υποσύστημα αποθήκευσης ενέργειας για εμπορικούς σκοπούς το 1970. Παραλλαγή αυτών αποτελεί η μπαταρία νικελίου – υδριδίου – μετάλλου που χρησιμοποιούνταν μέχρι το 1989 για μικρές εφαρμογές. Ουσιαστικά είχαν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες νικελίου – υδρογόνου, η οποία συνεχώς και μεγάλωνε αφού οι κατασκευαστές δημιουργούσαν όλο και περισσότερα κράματα. Πλέον στη δεκαετία του '90 άρχισε να αναπτύσσεται η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση στην Ευρώπη, όπου και αρκετοί επιστήμονες άρχισαν να ανησυχούν για τις επιπτώσεις της απόρριψης των συσσωρευτών νικελίου – καδμίου στο περιβάλλον, αφού το κάδμιο είναι τοξικό. Οπότε από τότε ξεκίνησε μία συγχρονισμένη προσπάθεια μείωσης αυτών των μπαταριών προτιμώντας περισσότερο τις μπαταρίες υδριδίου- μετάλλου που ήταν πιο φιλικές στο περιβάλλον.

Έτσι, με περαιτέρω έρευνα φάνηκε ότι οι μπαταρίες υδριδίου – μετάλλου ήταν το σκαλοπάτι για μεγαλύτερης διάρκειας μπαταρίες λιθίου, καθώς σαν υλικό το λίθιο είναι ένα μέταλλο με μικρότερη πυκνότητα και μεγαλύτερο ηλεκτροχημικό δυναμικό και αναλογία ενέργειας προς βάρος, άρα αποτελεί ιδανικό υλικό για την κατασκευή συσσωρευτών. Τα πειράματα για αυτές τις μπαταρίες άρχισαν το 1912 από τον Lewis και το 1970 πουλήθηκαν οι πρώτες μπαταρίες τέτοιου τύπου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τρεις είναι οι σημαντικές εξελίξεις της δεκαετίας του 1980. Η πρώτη είναι το 1980 όπου ο Αμερικάνος χημικός John B. Goodenough χρησιμοποίησε για το ηλεκτρόδιο της καθόδου το οξείδιο του λιθίου – κοβαλτίου για τις μπαταρίες λιθίου και ο ερευνητής Rachid Yazami το γραφίτη για την άνοδο. Αυτό πυροδότησε τον ερευνητή Akira Yoshino και την ομάδα του να κατασκευάσουν το πρώτο πρότυπο μπαταρίας ιόντων λιθίου το 1985, το οποίο ήταν μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία που ήταν πιο σταθερή εκδοχή της μπαταρίας λιθίου. Τελικά εμπορευματοποιήθηκε από τη Sony το 1991 και εκτός από τη χρήση του στα κινητά, στους φορητές υπολογιστές και τα ηλεκτρικά οχήματα.

Μετά το 1997 κυκλοφόρησαν συσσωρευτές ιόντων λιθίου με ηλεκτρολύτες από πολυμερή, οι οποίοι έχουν τους ηλεκτρολύτες σε ένα στέρεο σύνθετο πολυμερές αντί σε υγρό διαλύτη και τα ηλεκτρόδια με τους διαχωριστές σε ελάσματα μεταξύ τους. Με αυτές τις διαφορές μπορούσαν οι συσσωρευτές να επιτρέπουν τον εγκλωβισμό μέσα σε ένα σταθερό περιτύλιγμα αντί μέσα σε ένα άκαμπτο μεταλλικό περίβλημα, άρα ήταν ειδικά διαμορφωμένοι για την τοποθέτηση σε μία συγκεκριμένη συσκευή. Επιπλέον, έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις απλές μπαταρίες ιόντων λιθίου. Άρα όλα

αυτά τα πλεονεκτήματα τις καθιστούν ιδανικές για φορητές συσκευές επιτρέποντας παράλληλα μεγαλύτερη ευελιξία και συμπαγή σχεδιασμό (Ιγγλέζου, 2013).

1.2. Ανάλυση Δομής και Λειτουργίας Συσσωρευτών

1.2.1. Δομή και στοιχεία συσσωρευτών

Η βασική ηλεκτροχημική μονάδα σε ένα συσσωρευτή είναι το στοιχείο και αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα τη χωρητικότητα ή την επιθυμητή τάση εξόδου.

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που αποτελείται ένα στοιχείο είναι τα εξής:

1. Άνοδο ή το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και αυτό τελικά οξειδώνεται όταν πραγματοποιείται ηλεκτροχημική αντίδραση.
2. Κάθοδο ή θετικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ανάγεται δεχόμενο ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα κατά την ηλεκτροχημική αντίδραση.
3. Τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος είναι το μέσον για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του στοιχείου μεταξύ της ανόδου και καθόδου. Το υλικό του ηλεκτρολύτη είναι συνήθως υγρό, όπως το νερό ή οποιοσδήποτε άλλος διαλύτης με διαλυμένα άλατα οξέα ή αλκάλια, ο οποίος μεταδίδει την ιοντική αγωγιμότητα. Βέβαια, υπάρχουν και συσσωρευτές οι οποίοι χρησιμοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες.

Είναι εμφανές ότι τα δύο ηλεκτρόδια δεν έρχονται σε επαφή ποτέ αλλά παρόλ' αυτά είναι ηλεκτρικώς συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω του ηλεκτρολύτη. Η υψηλή τάση στο στοιχείο θα δοθεί από μέσω των επωφελών συνδυασμών των υλικών της ανόδου και της καθόδου και τελικά θα το κάνουν και ελαφρότερο. Ωστόσο, μπορεί τελικά αυτοί οι συνδυασμοί να μην είναι πάντα πρακτικοί εξαιτίας πολλών παραγόντων, όπως η αντίδραση του υλικού με άλλα υλικά του στοιχείου, κ.α.

Η άνοδος όταν επιλέγεται θα πρέπει να έχει οπωσδήποτε τις εξής ιδιότητες:

- Αποτελεσματικότητα ως αναγωγικό μέσο.
- Υψηλή απόδοση αμπερώνων
- Καλή αγωγιμότητα

- Σταθερότητα
- Ευκολία κατασκευής και
- Χαμηλό κόστος.

Βάση έρευνας κατάλληλα θεωρούνται τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως αρνητικά ηλεκτρόδια, όπως το υδρογόνο, ο ψευδάργυρος και το λίθιο.

Η κάθοδος πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες ως υλικό:

- Αποτελεσματικός οξειδωτικός παράγοντας
- Σταθερό όταν έρχεται σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη
- Να έχει ικανοποιητική τάση λειτουργίας.

Στους συσσωρευτές ψευδαργύρου – αέρα, το οξυγόνο μπορεί και να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τον ατμοσφαιρικό αέρα που μπαίνει μέσα στο στοιχείο, αλλά τα πιο συνηθισμένα υλικά συσσωρευτών είναι το αλογόνο, το θείο και τα οξείδια του, καθώς και άλλα συστατικά που έχουν οξυγόνο και υδρογόνο ενωμένα με κάποιο άλλο χημικό στοιχείο.

Ολοκληρώνοντας, όσον αφορά τον ηλεκτρολύτη θα πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες:

- Να έχει καλή ιοντική αγωγιμότητα, αλλά και να μην είναι ηλεκτρικά αγώγιμος, για να αποφευχθούν τα εσωτερικά βραχυκυκλώματα.
- Να μην αντιδρά με τα ηλεκτρόδια
- Να μην επηρεάζεται από τη θερμοκρασία
- Να είναι ασφαλής και
- Να έχει χαμηλό κόστος.

Τα υδατικά διαλύματα χρησιμοποιούνται κυρίως για ηλεκτρολύτες, αλλά αυτό δεν είναι απόλυτο, καθώς στις θερμικές μπαταρίες ή στις μπαταρίες με λίθιο στην άνοδο για παράδειγμα χρησιμοποιείται για ηλεκτρολύτη τήγμα άλατος ή άλλοι μη υδατικοί ηλεκτρολύτες για να αποφεύγεται η αντίδραση με την άνοδο.

Για να αποφεύγονται τα εσωτερικά βραχυκυκλώματα, τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου είναι χωρικά απομονωμένα στοιχεία της μπαταρίας, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Βέβαια σε πρακτικούς σχεδιασμούς των στοιχείων μπορεί να υπάρχει μηχανισμός ο οποίος διαχωρίζει τα δύο ηλεκτρόδια με το διαχωριστή να είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η ιοντική αγωγιμότητα. Επιπλέον, για να είναι δυνατή η μείωση της εσωτερικής αντίστασης στους αγωγούς με δομή πλέγματος προστίθενται ηλεκτρόδια.

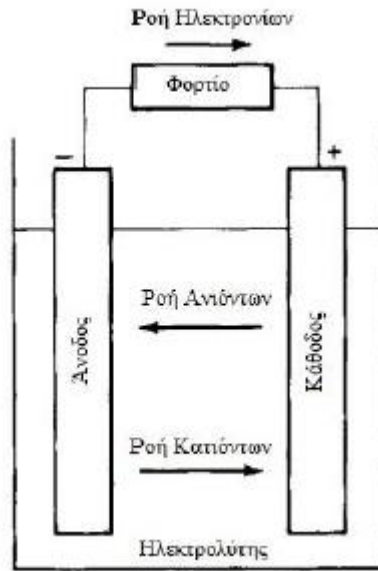
Για να μπορούν τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης να χωρούν σε κάθε επιθυμητό σχήμα του στοιχείου του συσσωρευτή κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα και διατάξεις, όπως κυλινδρικό, επίπεδο και πεισματικό. Έπειτα, για να αποφευχθεί η διαρροή ή ξήρανση των υλικών τα στοιχεία σφραγίζονται με διάφορους τρόπους και μερικά από αυτά είναι και εξοπλισμένα με συσκευές εξαερισμού ή άλλα μέσα για να μπορούν να διαφεύγουν τα συγκεντρωμένα αέρια. Για να μπορεί ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο να είναι κατασκευαστικά ολοκληρωμένο χρησιμοποιούνται διάφορα κιβώτια ή δοχεία, μέσα σύνδεσης του ακροδέκτη και κατάλληλη σήμανση.

1.2.2. Αρχή λειτουργίας συσσωρευτών

Ουσιαστικά ένας συσσωρευτής μετατρέπει την χημική ενέργεια που υπάρχει στο ενεργό υλικό του αμέσως σε ηλεκτρική με τη διαδικασία της ηλεκτροχημικής αντίδρασης οξειδοαναγωγής. Με αυτόν τον τύπο αντίδρασης γίνεται η μεταφορά των ηλεκτροδίων από το ένα υλικό στο άλλο μέσω ενός ηλεκτρικού κυκλώματος και μπορεί να συνεχίζεται μέχρι να διακοπεί το κύκλωμα ή κάποιο από τα αντιδρώντα στοιχεία τελειώσει. Καθώς γίνεται η αντίδραση οξειδοαναγωγής στους συσσωρευτές ηλεκτροχημικά, δεν υπόκειται σε κάποιον από τους περιορισμούς του κύκλου Carnot, οπότε οι μπαταρίες έχουν μεγαλύτερη απόδοση μετατροπής. Όταν έχουμε κάποιο επαναφορτισμένο σύστημα, οι μπαταρίες φορτίζονται ξανά κάνοντας την αντίστροφη διαδικασία.

1.2.3. Διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης

Όταν το εξωτερικό φορτίο είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτροχημικό στοιχείο, τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσα από το εξωτερικό φορτίο από την άνοδο που οξειδώνεται με κατεύθυνση προς την κάθοδο, η οποία δέχεται και τα ηλεκτρόνια. Για να ολοκληρωθεί το ηλεκτρικό κύκλωμα χρησιμοποιείται ο ηλεκτρολύτης και η ροή των ανιόντων και των κατιόντων προς την άνοδο και την κάθοδο αντίστοιχα. Στην Εικόνα 6 φαίνεται σχηματικά η διαδικασία εκφόρτισης ενός στοιχείου.



Εικόνα 6. Διαδικασία εκφόρτισης ενός στοιχείου.

Όσον αφορά τη διαδικασία φόρτισης ενός στοιχείου, όταν επαναφορτίζεται ένα επαναφορτιζόμενο στοιχείο, η ροή του ρεύματος αντιστρέφεται και η οξείδωση γίνεται στο θετικό ηλεκτρόδιο, δηλαδή στην άνοδο και τελικά αυτό που ανάγεται είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, δηλαδή η κάθοδος. Αφού, η άνοδος είναι το ηλεκτρόδιο που γίνεται η αναγωγή, το θετικό ηλεκτρόδιο τώρα είναι η άνοδος και το αρνητικό είναι η κάθοδος. Στην Εικόνα 7 φαίνεται η διαδικασία φόρτισης ενός επαναφορτιζόμενου στοιχείου (Κώτσης, 2012).



Εικόνα 7. Διαδικασία φόρτισης ενός επαναφορτιζόμενου στοιχείου.

1.3. Κατηγορίες και Τύποι Μπαταριών

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, οι οποίες είναι βάση της ικανότητας τους να επαναφορτίζονται και αυτές είναι οι εξής:

- Πρωτογενείς μπαταρίες, οι μη επαναφορτιζόμενες και
- Οι δευτερογενείς μπαταρίες, ή αλλιώς επαναφορτιζόμενες

Αυτές οι δύο κατηγορίες περιέχουν και υποκατηγορίες, οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένες δομές και σχεδιασμούς.

1.3.1. Πρωτογενείς Μπαταρίες

Αυτού του τύπου οι μπαταρίες δεν είναι εύκολη ή αποτελεσματική η επαναφόρτιση τους και γι' αυτό μπορούν να εκφορτιστούν μία φορά και έπειτα δε μπορούν να λειτουργήσουν ξανά. Αποτελούν μία εύκολη, βολική και οικονομική λύση για φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές.

Πλεονέκτημα τους είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, η ελάχιστη ή μηδαμινή συντήρηση και η ευκολία στη χρήση τους. Δεν υπάρχει περιορισμός στις εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διαθέτουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλούς και μέτριους ρυθμούς εκφόρτισης, υψηλή χωρητικότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε στρατιωτικές εφαρμογές, για σηματοδότηση, έχει μεγάλη ενέργεια αναμονής. Η μεγαλύτερη πλειοψηφία των πρωτογενών μπαταριών έχουν κυλινδρικό σχήμα και χρησιμοποιούν ως συστατικά αυτά του Πίνακα 1. Σε αυτόν παρουσιάζονται και τα κύρια χαρακτηριστικά τους και οι κύριες εφαρμογές τους (Παπακωνσταντίνου , 2015).

Τύπος συσσωρευτή	Χαρακτηριστικά	Εφαρμογές
ψευδαργύρου-άνθρακα (Leclanche)	κοινοί, χαμηλού κόστους, διαθέσιμοι σε πολλά μεγέθη	φακοί, ραδιοφωνάκια, παιχνίδια, μικροαντικείμενα
Μαγνησίου	υψηλή χωρητικότητα, μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης	στρατιωτικοί ασύρματοι, πομποί εκτάκτου ανάγκης αεροσκαφών
αλκαλικοί μαγγανίου	οι πιο δημοφιλείς για γενική χρήση, μέτριο κόστος, καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες	ο πιο κοινός πρωτογενής τύπος: χρησιμοποιούνται σε ποικιλία φορητών συσκευών που λειτουργούν με μπαταρίες
υδραργύρου	υψηλότερη χωρητικότητα κατ' όγκο μεταξύ των πρωτογενών, επίπεδη εκφόρτιση, καλή διάρκεια αποθήκευσης	ακουστικά βοηθήματα, ιατρικές συσκευές (βηματοδότες), ανιχνευτές, στρατιωτικός εξοπλισμός, περιορισμένη χρήση λόγω περιβαλλοντικής ρύπανσης
καδμίου-υδραργύρου	μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, καλή απόδοση σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες, χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα	περιορισμένη χρήση, ειδικές εφαρμογές που απαιτούν μεγάλης διάρκειας λειτουργία σε ακραίες θερμοκρασίες
οξειδίου αργύρου	υψηλότερη χωρητικότητα κατά βάρος μεταξύ των πρωτογενών, επίπεδη εκφόρτιση, καλή διάρκεια αποθήκευσης, δαπανηροί	ακουστικά βοηθήματα, φωτογραφικές μηχανές, ηλεκτρονικά ρολόγια, πύραυλοι, υποθαλάσσιες εφαρμογές και εφαρμογές σε διαστημόπλοια

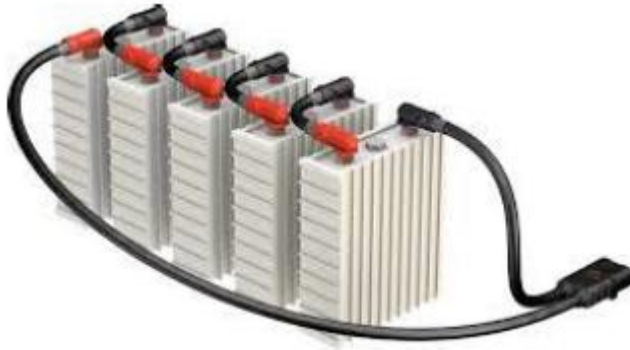
ψευδαργύρου-αέρα	υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, εξαρτώνται από περιβαλλοντικές συνθήκες, χαμηλό κόστος	ειδικές εφαρμογές, βομβητές, ακουστικά βοηθήματα, ιατρικές συσκευές
Λιθίου	υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, καλή απόδοση σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών	διάφορες εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα: μετρητές (ενέργειας, νερού, αερίου) έως στρατιωτικές εφαρμογές
λιθίου με στερεό υλικό καθόδου	υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, ανταγωνιστικού κόστους, καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες	αντικαθιστούν συμβατικούς συσσωρευτές σχήματος κουμπιού και κυλινδρικού σχήματος
λιθίου με στερεό ηλεκτρολύτη	πολύ μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, χαμηλής ισχύος	ηλεκτρονικές ιατρικές συσκευές, κυκλώματα μνήμης, δίοδοι

Πίνακας 1. Κύρια χαρακτηριστικά και εφαρμογές των πρωτογενών μπαταριών.

1.3.2. Δευτερογενείς Μπαταρίες

Οι δευτερογενείς μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά όταν αυτές εκφορτιστούν και να φτάσουν στην αρχική τους κατάσταση με τη διαδικασία ροής του ρεύματος σε αυτές αλλά με αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν του ρεύματος εκφόρτισης. Αποτελούν συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας γνωστές και ως «μπαταρίες αποθήκευσης». Με βάση τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Εφαρμογές, στις οποίες οι δευτερογενείς μπαταρίες χρησιμοποιούνται ως μέσον αποθήκευσης ενέργειας συνδεδεμένο και φορτιζόμενο από μία κύρια πηγή ενέργειας και μεταφέρει την ενέργεια της στο φορτίο όταν της ζητηθεί. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και τα συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης για την ηλεκτρική χρήση ανύψωσης φορτίου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8. Δευτερογενής μπαταρία για συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης.

- Σε εφαρμογές στις οποίες η δευτερογενής μπαταρία χρησιμοποιείται ή εκφορτίζεται όπως μία πρωτογενής, αλλά αντί να απορρίπτεται με το πέρας της χρήσης της, επαναφορτίζεται για περαιτέρω χρήση της. Έτσι σε αυτές τις περιπτώσεις αυτού του τύπου οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται σε φορητές ηλεκτρικές συσκευές, σε ηλεκτρικά εργαλεία, κα. Για τη μείωση του κόστους, αλλά και σε εφαρμογές οι οποίες απαιτούν άντληση ενέργειας για μεγαλύτερα όρια από αυτά της πρωτογενούς.

Πέραν από τα παραπάνω πλεονεκτήματα των δευτερογενών μπαταριών έχουν επίσης υψηλή πυκνότητα ισχύος, υψηλό ρυθμό εκφόρτισης, επίπεδες καμπύλες εκφόρτισης και καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αν και οι ενεργειακές τους πυκνότητες και η κατακράτηση φορτίου είναι μικρότερες από αυτές των πρωτογενών μπαταριών, πλεονεκτούν στο γεγονός ότι η χωρητικότητα που χάνεται σε μία δευτερογενή μπαταρία μπορεί να ανακτηθεί με την επαναφόρτιση (Παπακωνσταντίνου , 2015).

2. Χαρακτηριστικά Μεγέθη συσσωρευτών

Τα διάφορα χαρακτηριστικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν τους συσσωρευτές συμβάλλουν και στη δυνατότητα σύγκρισης των διαφόρων τύπων συσσωρευτών, αλλά και στη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συσσωρευτή ανάλογα την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί. Στην παρούσα εργασία τα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί είναι πολύ σημαντικά, έτσι στα παρακάτω υποκεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά.

2.1. Τάση

Τάση του ηλεκτροχημικού στοιχείου ή του συσσωρευτή ονομάζεται η διαφορά δυναμικού που εμφανίζεται μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ηλεκτροδίου. Η μονάδα μέτρησης της τάσης στο SI είναι τα Volts (V) και η τιμή της εξαρτάται από τη χημική σύνθεση των ηλεκτροδίων, τη συγκέντρωση των υλικών και των ηλεκτροδίων, αλλά και τη θερμοκρασία (Ιγγλέζου, 2013).

2.2. Χωρητικότητα

Άλλο ένα χαρακτηριστικό μέγεθος των συσσωρευτών είναι η χωρητικότητα τους, η οποία είναι η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μπορούν να αποθηκεύσουν και στη θεωρεία αναφέρεται ως η ποσότητα των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων που παράγονται από το ενεργό υλικό του αρνητικού ηλεκτροδίου και καταναλώνονται από το ενεργό υλικό του θετικού ηλεκτροδίου. Στο SI μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το Coulomb (C), όμως λόγω του ότι το 1 Coulomb είναι μια μικρή μονάδα, στην πράξη χρησιμοποιούνται τα Αμπερώρια, όπου το $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$. Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια αυτή, αν για παράδειγμα η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή είναι 10 Ah τότε ο συσσωρευτής έχει τη δυνατότητα να παρέχει ρεύμα έντασης 1 A για 10 ώρες ή 2 A για 5 ώρες κ.ο.κ.

Η ποσότητα των ενεργών υλικών του συσσωρευτή είναι εξαρτώμενη από τη χωρητικότητα και ένα πολύ μικρό ηλεκτροχημικό στοιχείο έχει μικρότερη χωρητικότητα από ένα μεγαλύτερο στοιχείο της ίδιας χημικής σύστασης. Επιπλέον, σαν χαρακτηριστικό η χωρητικότητα μπορεί να επηρεαστεί από τις συνθήκες εκφόρτισης, όπως είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το ρεύμα εκφόρτισης, τάση και η θερμοκρασία (Linden & Thomas , 2002).

2.3. Ειδική Ενέργεια/ Ενεργειακή Πυκνότητα

Η ενεργειακή χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους του συσσωρευτή (Wh/kg) ονομάζεται ως ειδική ενέργεια. Η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα βάρους του ενεργού υλικού του συσσωρευτή είναι η θεωρητική ειδική ενέργεια και οι πρακτικές τιμές της ειδικής ενέργειας είναι πολύ χαμηλότερες από τις θεωρητικές. Παραδείγματος χάρη, σε ένα συσσωρευτή μολύβδου – οξέος που χρησιμοποιείται σε όχημα, αποδεικνύεται ότι μόνο το 26% του συνολικού βάρους του συμμετέχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά την ενεργειακή πυκνότητα είναι η ενέργεια που παρέχεται ανά μονάδα όγκου του συσσωρευτή με μονάδες μέτρησης να είναι Wh/L ή Wh/cm³ (MIT Electric Vehicle Team, 2008).

2.4. Ειδική Ισχύς

Η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους που είναι δυνατόν να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα είναι η ειδική ισχύς ενός συσσωρευτή. Εξαρτάται κυρίως από την εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή και είναι χαρακτηριστικό της χημικής σύστασης του. Μονάδα μέτρησης της ειδικής ισχύς στο SI είναι το W/kg και καθορίζει το βάρος του συσσωρευτή που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η απαραίτητη απόδοση (MIT Electric Vehicle Team, 2008).

2.5. Εσωτερική αντίσταση

Για να οριστεί η εσωτερική αντίσταση πρέπει να σημειωθεί ότι είναι διαφορετική για την φόρτιση, όπου και είναι συνήθως υψηλότερη και διαφορετική για την εκφόρτιση που είναι χαμηλότερη. Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το μέγεθος της μπαταρίας, την ηλικία της και το ρεύμα εκφόρτισης και εξαρτάται από τη χημική σύσταση του συσσωρευτή. Πρέπει οπωσδήποτε η εσωτερική αντίσταση κάθε συσσωρευτή να είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση του φορτίου, αλλιώς καθώς θα αυξάνεται η εσωτερική αντίσταση του

συσσωρευτή, τόσο η απόδοση του θα μειώνεται και η θερμική ευστάθεια θα ελαττώνεται, καθώς η ενέργεια που παρέχεται στην μπαταρία μετατρέπεται σε θερμότητα (MIT Electric Vehicle Team, 2008).

2.6. Βαθμός Απόδοσης

Με τη μορφή απώλειας τάσης εμφανίζονται οι απώλειες ενέργειας και ισχύος στην εκφόρτιση ή τη φόρτιση της μπαταρίας, οπότε η απόδοση του συσσωρευτή στην εκφόρτιση ή τη φόρτιση ορίζεται και ως ο λόγος της τάσης λειτουργίας του συσσωρευτή προς τη θερμοδυναμική του τάση.

Αντίστοιχα, η θερμοδυναμική τάση ορίζεται ως η τάση του ανοικτού κυκλώματος της μπαταρίας σε μία θερμοκρασία 25° C και πίεση στη 1 atm (Linden & Thomas , 2002).

3. Ταξινόμηση Στοιχείων και Μπαταριών

Όταν έχουμε μία εγκατάσταση με φωτοβολταϊκά, η οποία δεν είναι διασυνδεδεμένη με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά ουσιαστικά λειτουργεί αυτόνομα, είναι απαραίτητο να αποθηκεύει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγεται και να μπορεί να τη χρησιμοποιήσει όταν την χρειάζεται, όπως για παράδειγμα τις νυχτερινές ώρες ή τις ημέρες που υπάρχει συννεφιά.

Για να υπολογιστεί το μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκευτεί είναι αναγκαίο να γίνει η μελέτη των αναγκών ηλεκτροδότησης σε ημερήσια βάση, αλλά και να προβλεφθούν παράλληλα και οι μέρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια.

Οι συσσωρευτές θα πρέπει να είναι τοποθετημένοι σε ένα ιδιαίτερο χώρο που θα πρέπει να αερίζεται επαρκώς. Επιπλέον, η τοποθέτηση τους πρέπει να είναι σε σειρές με άνετο χώρο για παρακολούθηση και συντήρηση. Σημαντικός παράγοντας κατά την τοποθέτηση είναι και οι συνδέσεις των ακροδεκτών στους πόλους των συσσωρευτών ή των δίβολτων στοιχείων μεγάλης χωρητικότητας. Ουσιαστικά, οι συνδέσεις θα πρέπει να γίνονται με ειδικά περιλαίμια και κοχλίες και να προσθέτετε εν συνεχεία το αντισκοριακό υλικό (Καραϊσάς, 2013).

3.1. Μπαταρίες που Χρησιμοποιούνται από Συστήματα ΑΠΕ

Οι διάφοροι τύποι συσσωρευτών προέρχονται από τον τύπο των ηλεκτροδίων κατασκευής. Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα συστήματα ΑΠΕ είναι αυτοί του μολύβδου ($Pb - H_2SO_4$), καθώς διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος. Υπάρχουν και άλλοι τύποι συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται για συστήματα ΑΠΕ και αυτοί είναι ο νικελίου – καδμίου (NiCd), ο νατρίου – Θείου, ο Ψευδαργύρου- χλωρίου κ.τ.λ.

Οι τιμές των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων ή τάσης εν κενό των στοιχείων για τους παραπάνω συσσωρευτές κυμαίνονται από 1V μέχρι και 4V και για να έχουμε μεγαλύτερη τάση σε ένα συσσωρευτή πρέπει να συνδέσουμε δύο ή περισσότερα στοιχεία σε σειρά. Παρακάτω αναλύουμε τους τύπους συσσωρευτών.

3.1.1. Μπαταρίες Μολύβδου – Οξέος

Αποτελούν το πιο παλιό είδος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και παραμένουν ακόμα και σήμερα, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό της είναι ότι και στα δύο ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται ο μολύβδος σαν ενεργό υλικό και καλύπτουν γενικά ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Με το πέρας του χρόνου έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί σχεδιασμοί και εφαρμογές για να καλύπτονται κάθε είδους απαιτήσεις.

Παράλληλα, είναι ο φθηνότερος τύπος μπαταρίας σε σχέση με όλα τα άλλα διαθέσιμα μέσα αποθήκευσης με κατάλληλα χαρακτηριστικά για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που θέτει ένα αυτόνομο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και αποτελεί μία σχετικά φθηνή λύση, σχεδόν για κάθε εφαρμογή τα χαρακτηριστικά και η απόδοση της είναι αρκετά ικανοποιητική. Βασικό μειονέκτημα τους είναι το χαμηλό ειδικό σταθμικό ενεργειακό περιεχόμενο λόγω του υψηλού μοριακού βάρους του μολύβδου. Στην περίπτωση μελέτης μας βέβαια, για τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, δεν αποτελεί μία παράμετρο μεγάλης σημασίας, καθώς η μπαταρία είναι σταθερή.

Στην κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μολύβδου – οξέος αποτελούνται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο με διοξείδιο του μολύβδου (PbO₂) σαν ενεργό υλικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο στο οποίο το ενεργό υλικό είναι μεγάλης επιφάνειας σπογγώδης μόλυβδος (Pb). Και τα δύο ηλεκτρόδια περιέχουν πλέγμα στήριξης, το οποίο είναι κατασκευασμένο από σκληρά κράματα μολύβδου και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες τους φαίνονται στον Πίνακα 2.

Ιδιότητα	Μόλυβδος	α-PbO ₂	β-PbO ₂
Μοριακό Βάρος, σε g/mol	207.2	239.19	239.19
Σύνθεση		PbO ₂ ^{1.94-2.03}	PbO ₂ ^{1.87-2.03}
Κρυσταλλική Δομή	Εδροκεντρωμένη κυβική	Ρομβική (columbite)	Τετραγωνική (rutile)
Παράμετροι Πλέγματος nm	<i>a</i> = 0.4949	<i>a</i> = 0.4977 <i>b</i> = 0.5948 <i>c</i> = 0.5444	<i>a</i> = 0.491–0.497 <i>c</i> = 0.337–0.340
Πυκνότητα Ακτίνων Χ, 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		

Πίνακας 2. Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες μολύβδου και οξειδίων του μολύβδου.

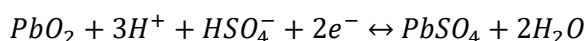
Ένα φορτισμένο θετικό ηλεκτρόδιο τυπικά περιέχει και α-PbO₂ και β-PbO₂ όπου το δυναμικό ισορροπίας του α-PbO₂ είναι πιο θετικό κατά 0,01 V από αυτό του β-PbO₂ και έχει και μεγαλύτερη, πιο συμπαγή μορφολογία κρυστάλλου, η οποία είναι λιγότερο ηλεκτροχημικά ενεργή και ελαφρώς χαμηλότερης χωρητικότητας ανά μονάδα βάρους, αλλά προάγει ένα μεγαλύτερο κύκλο ζωής (Linden & Reddy, 2001). Επίσης, ανάμεσα στα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένος ένας διαχωριστής που έχει ως σκοπό να αποτρέψει το βραχυκύκλωμα μεταξύ των ηλεκτροδίων και ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται ένα διάλυμα θεικού οξέος σε νερό (Markvart & Castaner, 2003). Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του ηλεκτρολύτη θεικού οξέος, τα οποία εφαρμόζονται στη λειτουργία της μπαταρίας μολύβδου οξέος (Linden & Thomas, 2002).

Ειδικό Βάρος		Συντελεστής θερμοκρασίας α	H ₂ SO ₄			Σημείο Ψύξης °C	Ηλεκτροχημικό ισοδύναμο (ανά λιτρο οξέος) Ah
Στους 15°C	Στους 25°C		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	

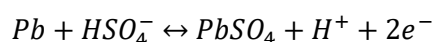
Πίνακας 3. Ιδιότητες Διαλύματος Θεικού Οξέος.

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σε ένα στοιχείο μπαταρίας μολύβδου – οξέος περιγράφονται από τις παρακάτω χημικές αντιδράσεις:

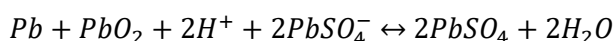
- Θετικό Ηλεκτρόδιο



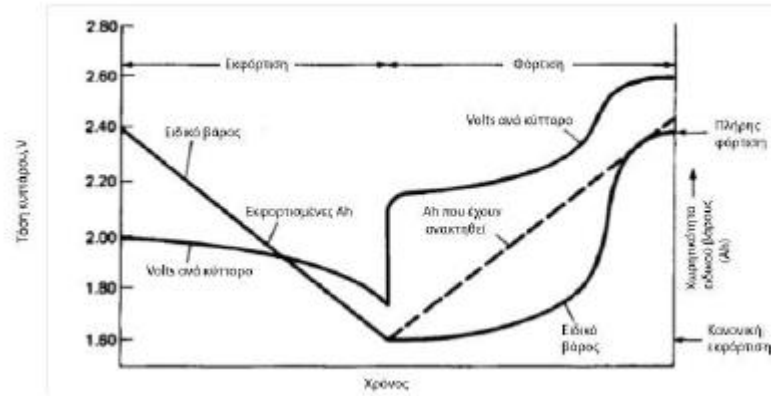
- Αρνητικό Ηλεκτρόδιο



- Αντίδραση Στοιχείου

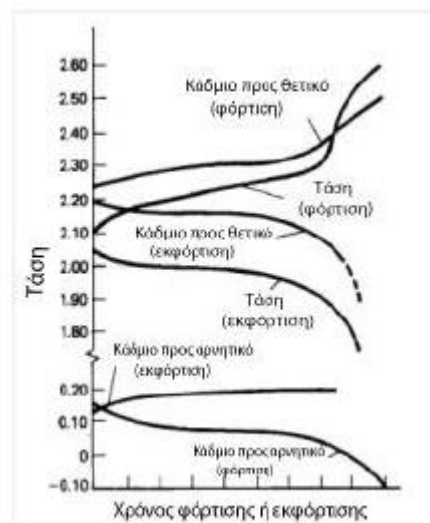


Τα γενικά χαρακτηριστικά επίδοσης ενός στοιχείου μολύβδου οξέος κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση παρουσιάζονται στην Εικόνα 9, όπου καθώς το στοιχείο εκφορτίζεται, η τάση θα μειώνεται λόγω της εξάντλησης του υλικού, απωλειών στην εσωτερική αντίσταση και λόγω της πόλωσης. Στην περίπτωση που το ρεύμα εκφόρτισης είναι σταθερό, τότε η τάση υπό φορτίο θα μειώνεται ομαλά μέχρι η τάση αποκοπής και το ειδικό βάρος να μειώνεται ανάλογα με τις αμπερώρες που εκφορτίζονται.



Εικόνα 9. Τυπικά Χαρακτηριστικά τάσης και ειδικού βάρους ενός κυττάρου μολύβδου οξέος σε φόρτιση και εκφόρτιση σταθερού ρυθμού.

Μία ανάλυση της συμπεριφοράς του θετικού και του αρνητικού ηλεκτροδίου γίνεται όταν μετράται η τάση μεταξύ κάθε ηλεκτροδίου και ενός ηλεκτροδίου αναφοράς, όπου και ονομάζεται τάση ημίσεως στοιχείου. Στην Εικόνα 10 απεικονίζεται η ανάλυση αυτή χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς από κάδμιο.



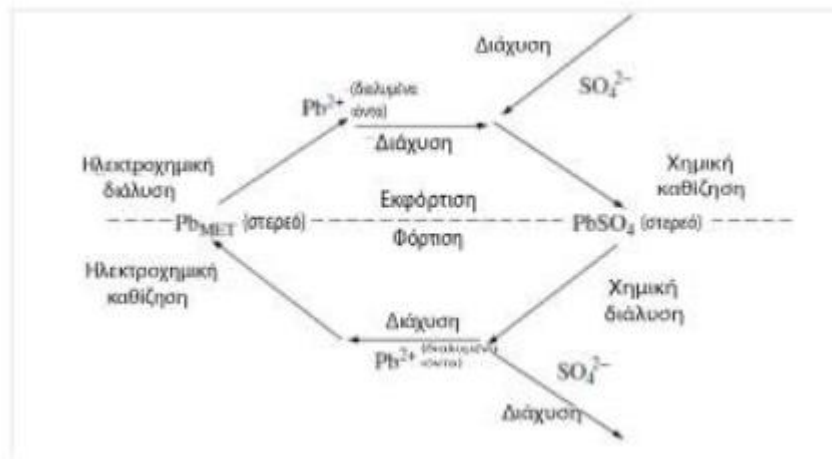
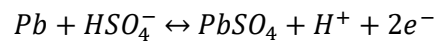
Εικόνα 10. Τυπικές Καμπύλες Φόρτισης- Εκφόρτισης ενός κυττάρου μολύβδου οξέος.

Όλες οι διεργασίες εξαρτώνται σε ένα μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και η εξάρτηση του ρυθμού αντίδρασης k μιας χημικής αντίδρασης από την εξίσωση Arrhenius εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$k = C * \exp\left(-\frac{E_A}{R * T}\right)$$

Η ενέργεια ενεργοποίησης για πολλές διεργασίες είναι της τάξης των 50 kJ/mole και από αυτήν την εμπειρία προέρχεται ο γενικός κανόνας που αναφέρει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 K αυξάνει το ρυθμό αντίδρασης κατά ένα παράγοντα 2.

Στην Εικόνα 11 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση του τι συμβαίνει εσωτερικά μίας μπαταρίας μολύβδου – οξέος και ουσιαστικά αποτελούν περιγραφή του τι συμβαίνει στο ηλεκτρόδιο του μολύβδου, το οποίο και περιγράφεται από την εξίσωση:



Εικόνα 11. Σχηματική Περιγραφή της διαδικασίας φόρτισης/ εκφόρτισης στο ηλεκτρόδιο μολύβδου μίας μπαταρίας μολύβδου οξέος.

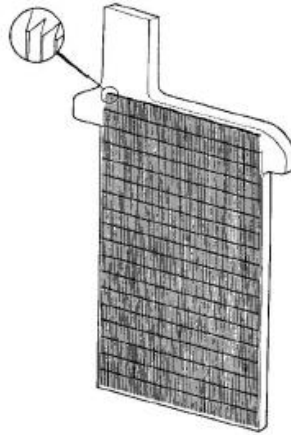
Όσον αφορά τις ΑΠΕ χρησιμοποιούμε τους τύπους μπαταριών μολύβδου οξέος που είναι οι εξής:

- Ανοικτή ή κλειστή κατασκευή
- Μαζικής Παραγωγής ή βιομηχανικοί τύποι

Για να γίνει η σωστή μπαταρίας για το κάθε αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να αρχικά να επιλέξουμε το κόστος και το προσδόκιμο ζωής της μπαταρίας που επιθυμούμε και έπειτα να εξετάσουμε κατασκευαστικά τι επιλέγουμε. Για την κατασκευή τους ισχύουν οι παρακάτω τύποι ηλεκτροδίων:

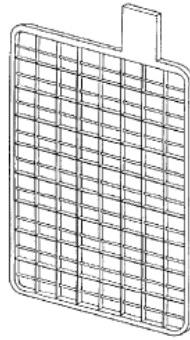
- Η απλούστερη κατασκευή ηλεκτροδίων των μπαταριών μολύβδου οξέος που είναι τα ηλεκτρόδια plante, όπου ένα τέτοιου είδους ηλεκτρόδιο είναι απλώς μία επίπεδη πλάκα που αποτελείται από καθαρό μόλυβδο. Καθώς η χωρητικότητα μίας μπαταρίας είναι ανάλογη της επιφάνειας των

ηλεκτροδίων που είναι εκτεθειμένη στον ηλεκτρολύτη, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα για να αυξήσουν την επιφάνεια των ηλεκτροδίων ανά μονάδα όγκου ή βάρους. Σχηματικά οι πλάκες αυτές είναι διάτρητες ή έχουν αυλάκια για να αυξάνουν την συνολική επιφάνεια τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 12.



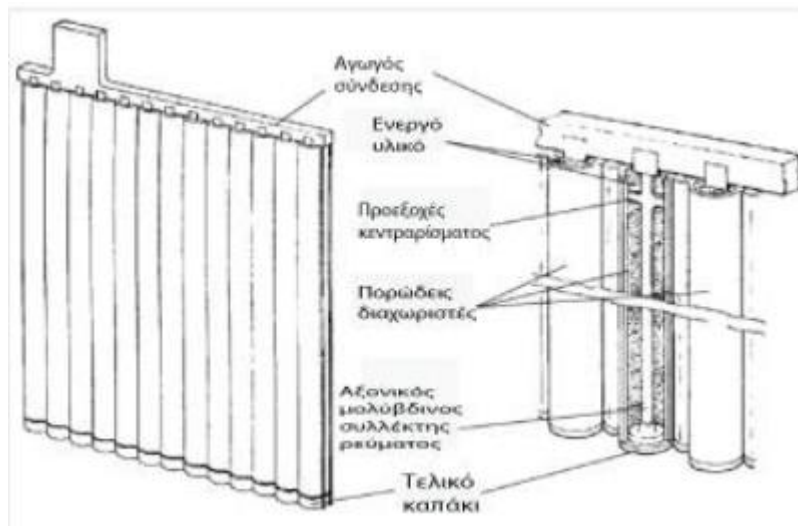
Εικόνα 12. Τυπική πλάκα *plante*.

- Όταν επιζητούμε να αυξηθεί η επιφάνεια χρησιμοποιούμε τη μέθοδο που μετατρέπει το ενεργό υλικό σε μία κόλλα που ενεργεί ως σφουγγάρι εκεί που ο ηλεκτρολύτης γεμίζει τους πόρους. Στο πλαίσιο ή στο πλέγμα που το υποστηρίζει μηχανικά η κόλλα ή το ενεργό υλικό που τοποθετείται σε αυτό, χρησιμεύει ως ηλεκτρικός αγωγός που μεταφέρει το ρεύμα τόσο κατά την φόρτιση όσο και κατά την εκφόρτιση. Σχεδιαστικά, το ηλεκτρόδιο μπαταρίας μολύβδου οξέος που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι αυτό της επικολλημένης πλάκας, γνωστή και ως επίπεδη πλάκα και η δομή του προσομοιάζει με κηρήθρα με την κόλλα να γεμίζει όλα τα ορθογώνια παράθυρα στο πλέγμα. Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται η τυπική κατασκευή ενός επικολλημένου επίπεδου πλέγματος, η οποία και χρησιμοποιείται καμιά φορά σαν αρνητικό ηλεκτρόδιο σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις και λειτουργεί σαν θετικό ηλεκτρόδιο στις περισσότερες εφαρμογές αναμονής.



Εικόνα 13. Εικόνα επίπεδης πλάκας.

- Τα θετικά ηλεκτρόδια έχουν συνήθως κατασκευή επικολλημένων ή σωληνωτών πλακών, οι οποίες χρησιμοποιούνται πολύ ως το θετικό ηλεκτρόδιο μερικών μεγάλων βιομηχανικών μπαταριών μολύβδου οξέος. Αυτά προορίζονται κατά βάση για εφαρμογές μεγάλων κύκλων και σαν κατασκευή χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο που αποτελείται από μία σειρά από κάθετα αγκάθια συνδεδεμένα σε μία κοινή ράχη. Σε κάθε ένα αγκάθι τοποθετούνται πάνω με κόλλα σε μικρό – πορώδεις οι αγώγιμοι κύλινδροι και έτσι ο κύκλος ζωής της είναι μεγαλύτερος επειδή το ενεργό υλικό συγκρατείται πιο σταθερά στους συνδεδεμένους σωλήνες. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο τα αγκάθια που μεταφέρουν το ρεύμα είναι περισσότερο προστατευμένα από τη διάβρωση. Στην Εικόνα 14 φαίνεται η μορφή κατασκευής του σωληνωτού ηλεκτροδίου, όπου και στην πραγματικότητα οι μπαταρίες αυτές έχουν ένα σωληνωτό ηλεκτρόδιο και ένα επίπεδο αρνητικό ηλεκτρόδιο.



Εικόνα 14. Απλή μορφή του σωληνωτού ηλεκτροδίου.

Βέβαια, ανεξάρτητα από τον τύπο ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται στην μπαταρία, η χωρητικότητα οποιουδήποτε τύπου αυξάνεται με την προσθήκη των πολλαπλών παράλληλων πλακών.

Αυτού του τύπου οι συσσωρευτές αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, όπου το θετικό είναι η κάθοδος και είναι κατασκευασμένο από διοξείδιο του μολύβδου και το αρνητικό που είναι η άνοδος και είναι από μεταλλικό μολύβδο. Και τα δύο ηλεκτρόδια τοποθετούνται μέσα σε ένα ειδικό ανθεκτικό κιβώτιο που γεμίζεται με ηλεκτρολύτη και μπορεί να είναι και σε μορφή τζελ ή και σε υδαρή μορφή. Κατά τη διαδικασία φόρτισης του συσσωρευτή, η σύνδεση των πόλων του συσσωρευτή με πηγή συνεχούς ρεύματος ελεγχόμενης τάσης, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Επίσης κατά τη διαδικασία εκφόρτισης, δηλαδή κατά τη σύνδεση των πόλων του συσσωρευτή με ηλεκτρική κατανάλωση, η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική (Τσιουμπρή, 2012).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου συσσωρευτών είναι τα εξής:

- Η *ονομαστική τάση* του συσσωρευτή (U_n), η οποία είναι περίπου 2,25 V και ανάλογα με τα στοιχεία που έχουν συνδέσει σε σειρά, μπορούμε να έχουμε συσσωρευτές με ονομαστικές τάσεις των 2,6 , 12 και 24 V.
- Η *τάση φόρτισης*. Ο συσσωρευτής πρέπει να φορτίζεται με ειδικό φορτιστή και με τάση που ορίζεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή και αυτή μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβαλλόμενη με φορτιστή πολλαπλών σταδίων. Φορτισμένος θεωρείται ο συσσωρευτής του οποίου η τάση του κάθε

στοιχείου φτάσει τα 2,4 V, δηλαδή όταν σε μία μπαταρία των 6 στοιχείων η τάση στους πόλους φτάσει τα 14,4 V.

- Η *τάση συντήρησης*, η οποία είναι η τάση που πρέπει να εφαρμόζεται σε μία πηγή συνεχούς ρεύματος στους πόλους του συσσωρευτή για να μπορεί να είναι συνεχώς φορτισμένος.
- Το *ρεύμα φόρτισης*, το οποίο ορίζεται από τον κατασκευαστή και με αυτό πρέπει να φορτίζεται ο συσσωρευτής για να πετύχουμε τη μέγιστη διάρκεια ζωής του και κυμαίνεται από 0,1 C – 0,2 C. Στην πράξη το ρεύμα φόρτισης 0,1 C σημαίνει για έναν συσσωρευτή με χωρητικότητα 50 Ah τιμή $I=0,1*50= 5^A$ ενώ για έναν συσσωρευτή 0,2C θα έχουμε το διπλάσιο. Στην περίπτωση που η τάση του συσσωρευτή είναι πολύ χαμηλά, τότε θα πρέπει η φόρτιση να ξεκινήσει με πολύ μικρό ρεύμα, που είναι συνήθως στα 0,01 C και όταν η τάση φτάσει στα 1,75 V να συνεχιστεί με κανονικό ρυθμό. Στην περίπτωση που ο φορτιστής είναι αυτόματος, μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης αυτή θα διακοπεί. Η διάρκεια φόρτισης είναι κατά βάση 16 ώρες, αλλά στους φορτιστές πολλαπλών σταδίων μπορεί να γίνει στο μισό.
- Η *τάση εκφόρτισης*, που είναι η μικρότερη τιμή που μπορεί να υπάρχει στους ακροδέκτες του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει να καταστραφεί. Αν για οποιοδήποτε λόγο η τιμή αυτή στους ακροδέκτες πέσει πιο χαμηλά πρέπει μέσα από μία ειδική διάταξη να αποσυνδεθούν τα φορτία από τον συσσωρευτή.
- Το *ρεύμα εκφόρτισης*, που είναι το ρεύμα εκείνο που εξαντλεί τη χωρητικότητα του συσσωρευτή χωρίς όμως αυτός να κινδυνεύει και το ρεύμα αυτό ισούται με το 1/20 της ονομαστικής χωρητικότητας του συσσωρευτή.
- Ο *χρόνος ζωής του συσσωρευτή*. Η διαδικασία που καθορίζει το χρόνο ζωής των συσσωρευτών είναι συγκεκριμένη και γενικά δε θα πρέπει να φορτίζονται για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα με πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς, αλλά και ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα κρίσιμο σημείο για αυτούς όριο. Η υπερφόρτιση θα έχει ως αποτέλεσμα για αυτούς την ηλεκτρόλυση και την παραγωγή υδρογόνου με την ταυτόχρονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Παράλληλα, όπως αναφέρουμε και παραπάνω ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, δηλαδή σε φόρτιση – εκφόρτιση.

- Η *ονομαστική και πρακτική χωρητικότητα*. Αρχικά, η ονομαστική χωρητικότητα είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στο συσσωρευτή και τη μετράμε σε αμπερώρια (Ah). Στους συσσωρευτές οι χωρητικότητες καθορίζεται με 0,05 C, άρα για χωρητικότητα 50 Ah μπορεί να εκφορτίζεται με 2,5 A για 20 ώρες χρόνο. Η πρακτική χωρητικότητα είναι η ενέργεια που παίρνουμε κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες από το συσσωρευτή. Πρακτικά ένας συσσωρευτής εκφορτίζεται με πολύ μεγάλα ρεύματα και με αντίστοιχη μείωση της χωρητικότητας του, οπότε ένας συσσωρευτής με ονομαστική χωρητικότητα 50 Ah, όταν εκφορτίζεται με 1 C μπορεί να αποδώσει μόνο το 30% της ονομαστικής χωρητικότητας, δηλαδή τις 15 Ah.
- Η *αυτοεκφόρτιση του συσσωρευτή*, η οποία ουσιαστικά είναι η διαδικασία που ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμα και όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε φορτίο και οφείλεται στη συνεχή δράση του θειικού οξέος στα ηλεκτρόδια του συσσωρευτή, κατά την οποία ο μόλυβδος και το διοξείδιο του μολύβδου μετατρέπονται σε θειικό μόλυβδο με εκλυόμενα αέρια υδρογόνου και οξυγόνου. Είναι εξαρτώμενο από τη θερμοκρασία, οπότε σε 5° C το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 2% περίπου το μήνα, σε θερμοκρασία 15° C το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 4% και για 25° C ελαττώνεται κατά 10%.
- Η *ενέργεια που αποδίδει ένας συσσωρευτής με ορισμένο βάθος εκφόρτισης κατά τη λειτουργία του*. Πρακτικά η ενέργεια που δίνει ένας συσσωρευτής είναι υπολογισμένη από τον τύπο:

$$E_k = \beta * Q * U_\beta * h_\sigma$$

Όπου:

E_k : η ενέργεια που μας δίνει στην πράξη ο συσσωρευτής σε Wh

β : το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή

Q : η χωρητικότητα του συσσωρευτή σε Ah

U_β : η τάση εκφόρτισης του συσσωρευτή σε V

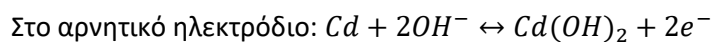
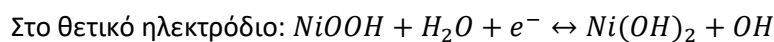
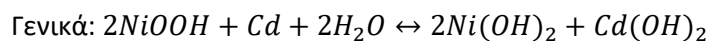
h_σ : ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή, ο οποίος συμφωνείται να λαμβάνεται στα 0,85.

- Η *αναγκαία χωρητικότητα του συσσωρευτή*, η οποία είναι η χωρητικότητα αυτή που πρέπει να έχει ο συσσωρευτής, ή η συστοιχία συσσωρευτών για να έχουμε μία ενέργεια ικανή να καλύψει τις ανάγκες μας, ακόμα και στην πιο δυσμενή περίπτωση συνεχούς νέφωσης. Στην περίπτωση μας, η

δυσμενέστερη περίπτωση παρουσιάζεται τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, όπου και η χωρητικότητα του συσσωρευτή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των φορτίων για τη διάρκεια μίας εβδομάδας. Παραδείγματος χάριν, για ημερήσια αναγκαία φορτία που η μέση τους τιμή είναι 50 kWh για τους μήνες Δεκέμβριο ή Ιανουάριο, θα πρέπει η συστοιχία των συσσωρευτών να είναι σε θέση να καλύψει $E_k = 50 \cdot 7 = 350 \text{ kWh}$ ή 350.000 Wh.

Όπως αναφέρουμε παραπάνω οι συσσωρευτές μολύβδου είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κατά βάση σε συστήματα ΑΠΕ, αλλά υπάρχουν και άλλοι τύποι που επίσης χρησιμοποιούνται και αυτοί είναι οι εξής:

- Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου, που στην κατάσταση φόρτισης έχουν θετικά ηλεκτρόδια με οξύ – υδροξείδιο του νικελίου ως ενεργό υλικό, αρνητικά ηλεκτρόδια με πολύ λεπτό μέταλλο καδμίου ως ενεργό υλικό και ηλεκτρολύτη που αποτελείται από υδροξείδιο του καλίου σε νερό. Στην εκφόρτιση το $NiOOH$ του θετικού ηλεκτροδίου μετατρέπεται σε $Ni(OH)_2$ και το κάδμιο του αρνητικού ηλεκτροδίου μετατρέπεται σε $Cd(OH)_2$. Οι βασικές αντιδράσεις του είναι:

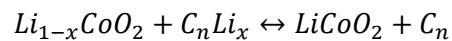


Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι στις μπαταρίες νικελίου καδμίου δεν υπάρχει ανάμειξη του ηλεκτρολύτη ΚΟΗ στις αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης, οπότε η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη δεν αλλάζει κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση και η αντίδραση της εκφόρτισης δεν είναι απαραίτητο να έχει επαρκή ποσότητα ιόντων από τον ηλεκτρολύτη για να επιτευχθεί η πλήρης χωρητικότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά έρχονται σε αντίθεση με αυτά των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος που αναλύσαμε παραπάνω (Makvart & Castaner, 2003).

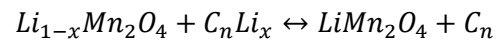
- Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, η οποία αποτελεί μία αναπτυσσόμενη τεχνολογία στο χώρο των μπαταριών τα τελευταία χρόνια. Η λειτουργία της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου βασίζεται στη μετακίνηση των ιόντων λιθίου μεταξύ της καθόδου και της ανόδου, όπου και είναι η ουσιαστική διαφορά με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου, στις οποίες η βασική μορφή των υλικών καθόδου και ανόδου είναι

αμετάβλητη. Κύρια στοιχεία αυτού του τύπου συσσωρευτή είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το θετικό ηλεκτρόδιο και ο ηλεκτρολύτης. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ενός συμβατικού στοιχείου ιόντων λιθίου είναι κατασκευασμένο από άνθρακα, ενώ το θετικό είναι εάν οξειδίο μετάλλου. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα άλας λιθίου σε οργανικό διάλυμα. Μεταξύ της ανόδου και της καθόδου αλλάζουν οι ηλεκτροχημικοί ρόλοι των ηλεκτροδίων ανάλογα με τη διεύθυνση του ρεύματος που ρέει μέσα στο στοιχείο. Επιπλέον, δραστικά μπορεί να αλλάξουν και η επιλογή των υλικών, η τάση, η χωρητικότητα, η ζωή και η ασφάλεια μίας μπαταρίας ιόντων λιθίου. Οι χημικές αντιδράσεις για την αναστρέψιμη διαδικασία φόρτισης/ εκφόρτισης για δύο τύπους θετικού ηλεκτροδίου είναι οι εξής (Luque & Hegedus, 2003):

Για τον τύπο κοβαλτίου:



Για τον τύπο μαγγανίου:



3.1.1.1. Στατιστικά πωλήσεων Συσσωρευτών Μολύβδου- Οξέος

Στην Ευρώπη κάθε χρόνο καταναλώνονται πάνω από 13.000 tn συσσωρευτών μολύβδου – οξέος, ενώ στις ΗΠΑ η κατανάλωση τους αυξάνεται δραματικά, και προσμετράτε περίπου στους 3 δισεκατομμύρια συσσωρευτές το χρόνο.

Πιο συγκεκριμένα στην Ευρώπη πωλήθηκαν για το έτος 2000, 5 δισεκατομμύρια συσσωρευτές, από τους οποίους το 50% τουλάχιστον αφορούσαν συσσωρευτές μολύβδου – οξέος. Για το έτος 2002, στην Πολωνική αγορά υπήρχαν 236 εκατομμύρια συσσωρευτές μολύβδου οξέος, ενώ στην Ιταλία παράγονται 177.000 tn συσσωρευτών. Βάση στατιστικών στην Σαγκάη πωλούνται περίπου 10 εκατομμύρια συσσωρευτές, ποσοστό πολύ μεγάλο αν αναλογιστεί κάποιος ότι από αυτό το έτος 2002 ανακυκλώνονταν μόνο το 2%.

Στην Αμερική η ποσότητα μολύβδου που απαιτείται για τη δημιουργία μπαταριών μολύβδου – οξέος είναι στα 1.147.650 tn, ενώ η ποσότητα μολύβδου που περιέχεται στις εισαγόμενες ηλεκτρικές στήλες αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια κατά 118%. Παρ' αυτά, η ανακύκλωση τους φτάνει από το 95 – 99%, καθώς υπάρχει νόμος όπου ο κάθε Αμερικάνος

πολίτης θα πληρώσει από 5-10 δολάρια για κάθε μπαταρία την οποία δε θα επέστρεφε για ανακύκλωση.

Αντίστοιχα στην Τουρκία καταναλώνονται ετησίως 250 εκατομμύρια συσσωρευτές μολύβδου οξέος με τα έσοδα από αυτή την αγορά να προσεγγίζουν τα 30 εκατομμύρια δολάρια. Παράλληλα στο Ιράν, βάση των στοιχείων που υπάρχουν για το έτος 2004 εισήχθησαν 3.969 μετρικοί τόνοι συσσωρευτών μολύβδου οξέος, ενώ σχεδόν όλες απορρίφθηκαν μαζί με τα υπόλοιπα στερεά απόβλητα.

Όσον αφορά τα στατιστικά της Ελλάδας, το έτος 2009 χρησιμοποιήθηκαν 81.161.290 συσσωρευτές, από τους οποίους το 31% ήταν συσσωρευτές μολύβδου οξέος. Βέβαια από αυτούς συλλέχθηκαν για ανακύκλωση περίπου στους 629 tn συσσωρευτών, έχοντας μία αύξηση της τάξεως του 26% από το έτος 2007 (Μακρής & Κουπίδης, 2012).

3.2. Εμπορικά Προϊόντα Συσσωρευτών και Τιμή Πώλησης

Για τις εφαρμογές των αυτόνομων συστημάτων ΑΠΕ έχουμε για το εμπόριο τη χρήση των βιομηχανικών συσσωρευτών κατά βάση οξέος μολύβδου ανοικτού τύπου – χαμηλού αντιμονίου – 1,6%, οι οποίοι κατασκευάζονται με ονομαστική τάση 12 V ή 2 V και μπορούν να κυκλοφορήσουν σε διάφορα μεγέθη. Παρακάτω θα αναλύσουμε τους εμπορικούς τύπους προϊόντων με τα χαρακτηριστικά τους.

Συνοψίζοντας στον φαίνονται αναλυτικά όλοι οι τύποι συσσωρευτών και τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

α/α	Τύπος Συσσωρευτή	Χωρητικότητα Στοιχείου (Ah)		Τάση (v)	Τιμή Αγοράς (ευρώ)		Χρόνος Ζωής (έτος)	Συνήθειες Χρήσεις
		Από	Έως		Από	Έως		
1	Μολύβδου – Οξέος	50	1.000	2	300	2000	10 – 25	Για ΑΠΕ
2	NiCd	5	1.200	1.2	50	500	8 – 25	Για γεννήτριες, ΑΠΕ, φωτισμό κ.α.

3	Li	5	10.000	1.5	5	100	5-10	Συσκευές
4	Ψευδαργύρου- Βρωμίου	6	1.500	1	2	500	5-10	Ηλεκτρικά Οχήματα, Συσκευές
5	Νατρίου	5	1.500	2.07	5	450	3-7	Ηλεκτρικά οχήματα EVs, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα HEVs, λεωφορεία και φορτηγά
6	Σιδήρου	5	1.250	1.2	2	1.250	10-20	Σε συστήματα κινητικής ενέργειας
7	Μαγνησίου	5	1.500	1.6	500	5000	1-4	Σε εφαρμογές του στρατού, όπως σε ασυρμάτους και σε εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης

Πίνακας 4. Τύποι Συσσωρευτών και τα Χαρακτηριστικά τους.

3.2.1. Συσσωρευτές οξέος μολύβδου κλειστού τύπου χαμηλού αντιμονίου αι ονομαστικής τάσης 12V, 6V και 2 V

Αυτοί οι συσσωρευτές κατασκευάζονται με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Με μία γερή σωληνωτή πλάκα ως θετικό ηλεκτρόδιο.
- Με μία πλάκα πλέγματος από κράμα χαμηλού αντιμονίου – 1,6%.
- Με ένα αυτοματοποιημένο δοχείο πλακών.
- Με θειικό οξύ πυκνότητας 1,24 kg/lt.
- Με σύσφιξη πλακών 100%.
- Με ένα δοχείο συσσωρευτή που φέρει καπάκι που είναι φτιαγμένο με πολύ-προπυλένιο.
- Για να επιτευχθούν οι πλήρως εύκαμπτοι και απομονωμένοι τερματικοί συνδετήρες, χρησιμοποιείται ένας αρνητικός πόλος από ενισχυμένη επικάλυψη ορείχαλκου.
- Υπάρχει ενισχυμένη προστασία έναντι επαφής σύμφωνα με τους κανονισμούς VBG4, IP25 στα DIN EN 60529.
- Χρησιμοποιείται για λειτουργία σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -20° C μέχρι και +55° C.
- Με αυτοεκφόρτιση περίπου 3% ανά μήνα στους 20° C και θα πρέπει να γίνεται συντήρηση και έλεγχος τάσης των συσσωρευτών, της τάσης και κάθε στοιχείου ξεχωριστά, όπως και της θερμοκρασίας κάθε 6 μήνες, αλλά και έλεγχος των μηχανικών και ηλεκτρικών συνδέσεων, καταγραφή της τάσης των συσσωρευτών και της τάσης κάθε στοιχείου ξεχωριστά, όπως και της θερμοκρασίας κάθε 12 μήνες. Επιπλέον, απαιτείται η προσθήκη απιονισμένου νερού κάθε 6 μήνες.

Κατά τη λειτουργία των συσσωρευτών θα πρέπει να:

- Απαγορεύεται η αποφόρτιση του να υπερβαίνει το 80% της ονομαστικής χωρητικότητας.
- Φορτίζεται κατά 100% ανά μία έως και τέσσερις εβδομάδες
- Μπορεί να κυμαίνεται το ρεύμα φόρτισης από $0,01 * I_{10}$ μέχρι $5 * I_{10}$.
- Περιορίζεται η τάση φόρτισης από 2,30 V – 2,40 V.
- Για ημερήσια αποφόρτιση μέχρι και 20%, η τάση της φόρτισης θα πρέπει να είναι 2,30 V – 2,35 V ανά στοιχείο.
- Για την ημερήσια αποφόρτιση άνω του 20% - 50%, η τάση φόρτισης θα πρέπει να είναι από 2,35 V – 2,40 V ανά στοιχείο.

- Και για ημερήσια αποφόρτιση η οποία είναι μεγαλύτερη από 50%, επιβάλλεται να γίνεται φόρτιση βρασμού ημερησίως ή αλλιώς να χρησιμοποιηθεί σύστημα τεχνητής ανατάραξης του ηλεκτρολύτη.

Με τα αναλυτικά χαρακτηριστικά του φαίνονται παρακάτω τα εμπορικά προϊόντα αυτού του τύπου.

3.2.1.1. Eco Sun Σ/T GEL 06 ECOPVV 900, 950Ah/C-100, 2V

Η σειρά ECOPVV είναι VRLA συσσωρευτές (OPzV κατά DIN), τεχνολογίας GEL που προσφέρουν υψηλή απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής. Κατασκευάζονται ακολουθώντας όλα τα Γερμανικά πρότυπα DIN, και υπερβαίνουν σε προδιαγραφές τις τιμές των προτύπων DIN, έχουν όλες τις προϋποθέσεις ώστε η διάρκεια ζωής τους να υπερβεί ακόμη και τα 20 χρόνια (ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας), είναι δε κατάλληλες για βαθιές αποφορτίσεις και ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Κύκλοι χρήσης περίπου 3500. Στην Εικόνα 15 φαίνεται η μπαταρία Eco Sun Σ/T GEL 06 ECOPVV 900, 950Ah/C-100, 2V.



Εικόνα 15. Eco Sun Σ/T GEL 06 ECOPVV 900, 950Ah/C-100, 2V

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι:

- Τάση φόρτισης: 2,37 V – 2.40 Ω
- Μέγιστο ρεύμα φόρτισης $\leq 0,20 C_{10}$.
- Αντιστάθμιση θερμοκρασίας: $-3 \text{ mV}/^{\circ} \text{C}/\text{Cell}$
- Συντήρηση πλήρους φόρτισης 2,25 V – 2,30 V/ κυψέλη

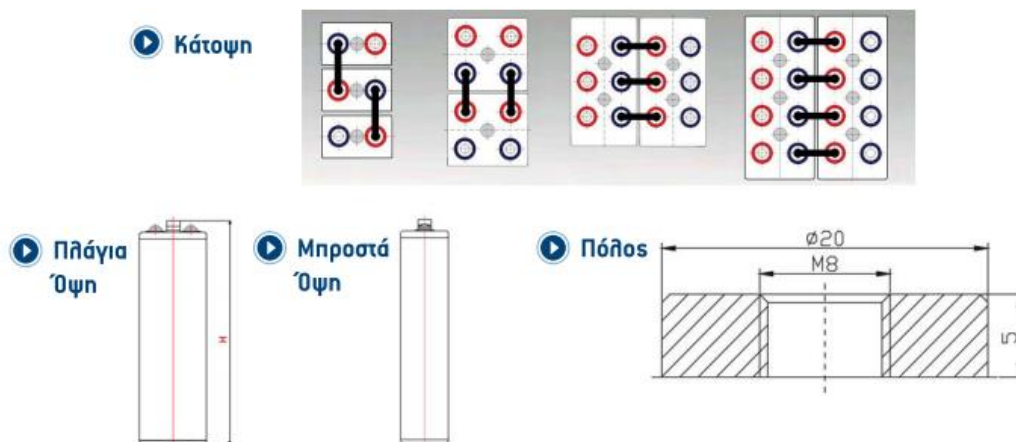
- Θερμοκρασία συσσωρευτή: -20° C -+55° C.
- Προτεινόμενο εύρος θερμοκρασίας από 10° C – 30° C.

Σε αυτόν τον συσσωρευτή δεν απαιτείται να εκτελεστεί φόρτιση βρασμού, όταν πραγματοποιείται κανονική λειτουργία φόρτισης συντήρησης, αλλά απαιτείται για:

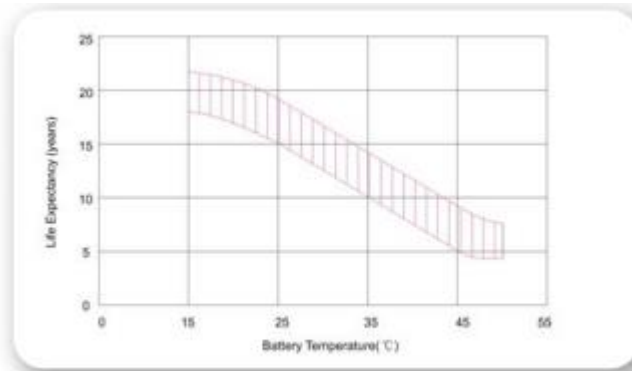
- Βαθιά φορτισμένο συσσωρευτή.
- Για χρόνο αποθήκευσης μεγαλύτερο από 3 μήνες.
- Για διακύμανση τάσης των επιμέρους στοιχείων μίας συστοιχίας που είναι πλήρως φορτισμένη και είναι σε κατάσταση ηρεμίας.

Τύπος	Ένταση C5 (Ah)	Ένταση C10 (Ah)	Ένταση C20 (Ah)	Ένταση C100 (Ah)	Μήκος (L) mm	Πλάτος (W) mm	Ύψος (H) mm	Βάρος kg
04 ECOPVV 280	200	239	259	305	103	206	397	16.8
05 ECOPVV 350	250	299	327	379	124	206	397	20.5
06 ECOPVV 420	300	358	390	460	145	206	397	24.5
05 ECOPVV 550	350	439	494	560	124	206	513	28.5
06 ECOPVV 660	420	519	587	660	145	206	513	33.0
07 ECOPVV 770	490	600	672	776	166	206	513	38.5
06 ECOPVV 900	600	715	822	950	145	206	687	46.5
08 ECOPVV 1200	800	960	1094	1262	191	210	687	63.0
10 ECOPVV 1500	1000	1190	1364	1580	233	210	687	77.0
12 ECOPVV 1800	1200	1430	1627	1880	275	210	687	92.0
12 ECOPVV 2200	1500	1700	1903	2280	340	210	836	110.0
16 ECOPVV 3040	2000	2290	2567	2960	399	212	813	150.0
20 ECOPVV 3800	2500	2860	3209	3730	487	212	813	190.0
24 ECOPVV 4560	3000	3460	3884	4510	576	212	813	225.0

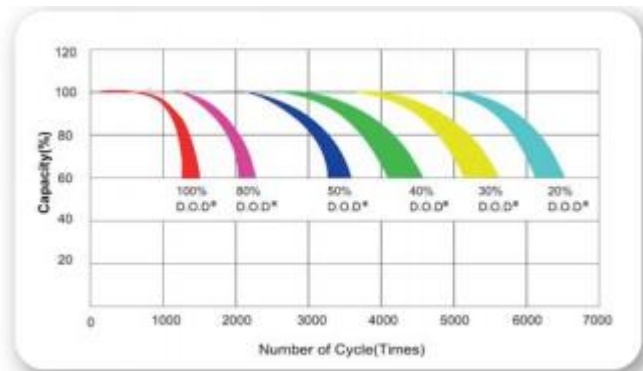
Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά στους 25° C.



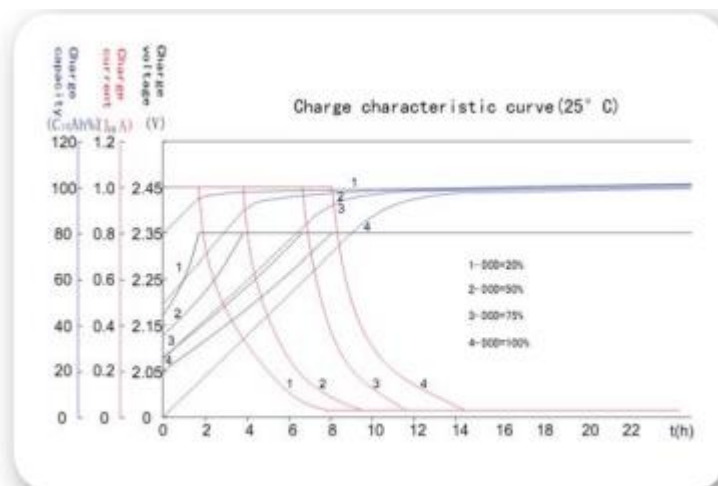
Εικόνα 16. Όψεις και Κάτοψη της Eco Sun Σ/T GEL 06 ECOPVV 900, 950Ah/C-100, 2V.



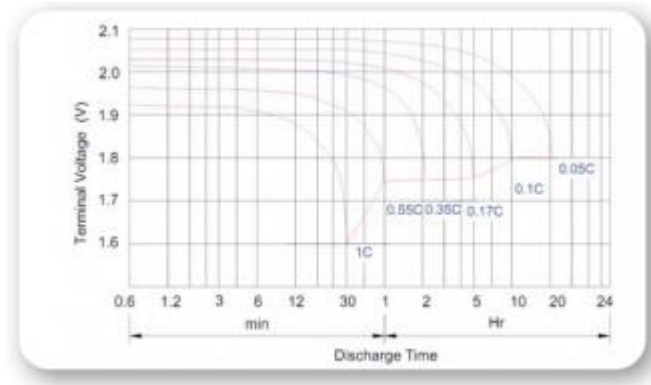
Σχήμα 1. Επιρροή της θερμοκρασίας.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστικά κυκλικής χρήσης.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά Φόρτισης για κυκλική χρήση.



Σχήμα 4. Χαρακτηριστικά καμπύλης εκφόρτισης.

Η τιμή του συσσωρευτή κυμαίνεται από 250 – 300 ευρώ + ΦΠΑ (Eco Sun, 2016).

3.2.1.2.Σ/Τ ECOGEL G- 55-12, 55Ah, C-100/12V

Οι συσσωρευτές VRLA (Valve Regulated Lead Acid) είναι κατάλληλη λύση για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε συσσωρευτές, παρέχουν μέγιστη απόδοση, αντοχή στην υπερφόρτωση και βαθιά αποφόρτιση. Παρέχουν επίσης υψηλή αντοχή σε κραδασμούς και δονήσεις. Τεχνολογία GEL κλειστού τύπου συσσωρευτές απόλυτα στεγανοί, δεν απαιτείται απολύτως καμία συντήρηση νερού ή ηλεκτρολύτη, πληροί τις προϋποθέσεις των κανονισμών IATA/ICAO για αερομεταφορά, μεγάλη διάρκεια ζωής, συντήρησης ή κύκλων εκφόρτισης (περίπου 1100 κύκλοι). Η πιο αξιόπιστη λύση για Φ/Β συστήματα. Στην Εικόνα 17 αναπαριστάνεται ένας τέτοιου είδους συσσωρευτής.



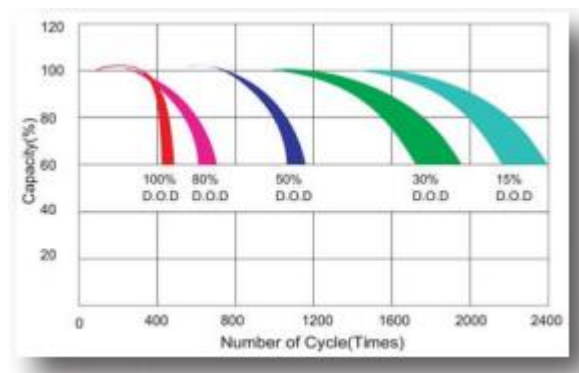
Εικόνα 17. Σ/Τ ECOGEL G- 55-12, 55Ah, C-100/12V



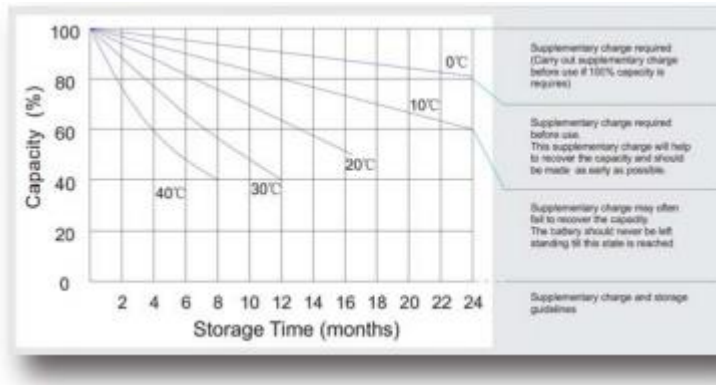
Εικόνα 18. Πόλος συσσωρευτή

Τα χαρακτηριστικά του είναι:

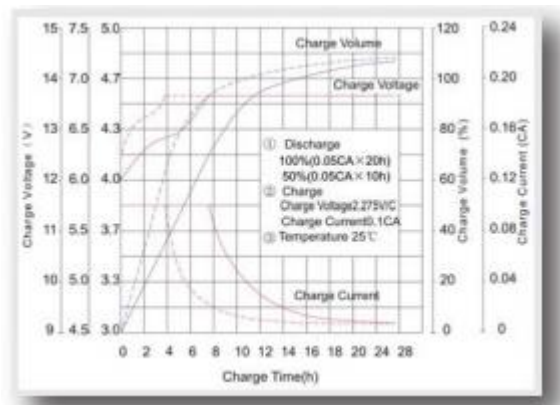
- Ότι είναι τύπου VRLA.
- Κατέχει ειδική τεχνολογία micro σε SiO₂ και H₂SO₄, που τον κάνουν απόλυτα στεγανό και δεν απαιτεί την προσθήκη νερού για συντήρηση.
- Πληροί τις προϋποθέσεις κανονισμών IATA/ ICAO με ειδική διάταξη A67 που επιτρέπει την αερομεταφορά.
- Από αναγνωρισμένα υλικά -UL.
- Σχεδιασμένο με υπολογιστή σχάρα κράματος μολύβδου, κασσιτέρου και ασβεστίου για υψηλότερη απόδοση.
- Διατηρεί μεγάλη διάρκεια ζωής και σε εφαρμογές συνεχών αποφορτίσεων και σε εφαρμογές backup.
- Ότι διατηρεί μηδενική συντήρηση.
- Χαμηλή αυτοκατανάλωση.
- Εξαιρετικές επιδόσεις σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Στεγανότητα, κλειστού τύπου.
- Διαθέτει μονόδρομη βαλβίδα ανακούφισης της πίεσης.



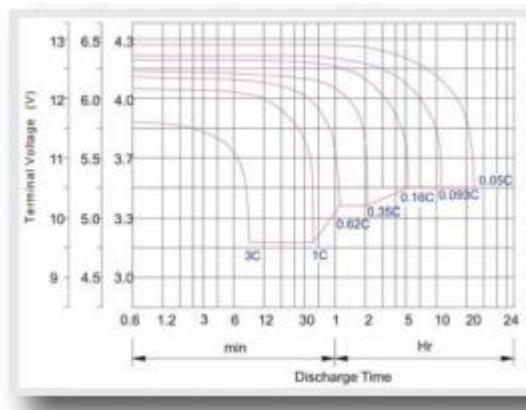
Σχήμα 5. Χαρακτηριστικά Κυκλικής χρήσης.



Σχήμα 6. Χαρακτηριστικά αποθήκευσης συσσωρευτή.



Σχήμα 7. Χαρακτηριστικές καμπύλες φόρτισης.



Σχήμα 8. Χαρακτηριστικές καμπύλες εκφόρτισης.

Θερμοκρασία	-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
Συντελεστής	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%

Πίνακας 6. Συντελεστές χωρητικότητας σε διάφορες θερμοκρασίες για το συσσωρευτή.

Τύπος	Τάση (V)	Ένταση C10 Hr (Ah)	Ένταση C20 Hr (Ah)	Ένταση C100 Hr (Ah)	Βάρος (Kg)	Διαστάσεις (mm)		
						Μήκος	Πλάτος	Ύψος
G - 55 - 12	12	45	49	55	13.5	196	165	170
G - 70 - 12	12	55	59	70	16.1	229	139	209
G - 100 - 12	12	79	86	100	23.2	260	168	208
G - 130 - 12	12	110	118	130	31.4	406	173	209
G - 165 - 12	12	145	156	165	41.8	482	171	240
G - 190 - 12	12	160	173	190	50.0	532	207	215
G - 220 - 12	12	180	195	220	57.5	523	240	219
G - 250 - 12	12	210	221	250	60.0	522	240	223
G - 280 - 12	12	230	246	280	70.0	520	269	220

Πίνακας 7. Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή στους 25° C.

Η τιμή πώλησης του συσσωρευτή στο εμπόριο κυμαίνεται από 200- 250 ευρώ + ΦΠΑ (Eco Sun, 2016).

3.2.1.3. AccuForce 12V - 120Ah | VRLA Battery

Η μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης 12V SUNLIGHT, η οποία έχει 750 κύκλοι ζωής και 50% αποφόρτιση (DOD) για εφαρμογές σε φωτοβολταϊκά συστήματα έχει χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα και συστήματα ΑΠΕ. ACCUFORCE Solar AGM 12V είναι κλειστού τύπου 200AH-12V Solar τιμή 308.14€ +ΦΠΑ, αλλά δε διαθέτει εγγύηση βλάβης. Στην Εικόνα 21 φαίνεται εικονικά ο συσσωρευτής (OLYMPIC, 2017).



Εικόνα 19. AccuForce 12V - 120Ah | VRLA Battery

Specifications

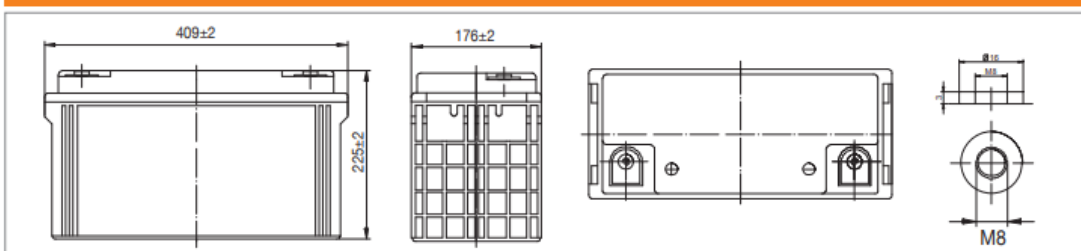
Nominal Voltage	12 V	
Number of cells	6	
Design Life	10 years	
Dimensions	Length	409 mm
	Width	176 mm
	Height	225 mm
	Total Height	225 mm
Approx. Weight	33.5 kg	
Nominal Capacity (25°C)	20 hours rate (6.3 A, 10.8 V)	126.0 Ah
	10 hours rate (12.0 A, 10.8 V)	120.0 Ah
	5 hours rate (21.0 A, 10.5 V)	105.0 Ah
	1 hour rate (74.4 A, 9.6 V)	74.4 Ah
Max. Discharge Current (25°C)	960 A (5s)	
Internal Resistance	4.0 mOhms	
Fully Charged battery (25°C)		
Self-Discharge	3% of capacity declined per month at 20°C (average)	
Operating Temperature Range	Discharge	-15°C~50°C
	Charge	-10°C~50°C
	Storage	-20°C~50°C
Short Circuit Current	3215 A	
Charge Methods:	Cycle use	2.40-2.45 Vpc
	Maximum charging current	36 A
	Temperature compensation	-30 mV/°C
	Standby use	2.23-2.27 Vpc
	Temperature compensation	-18 mV/°C

Πίνακας 8. Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.

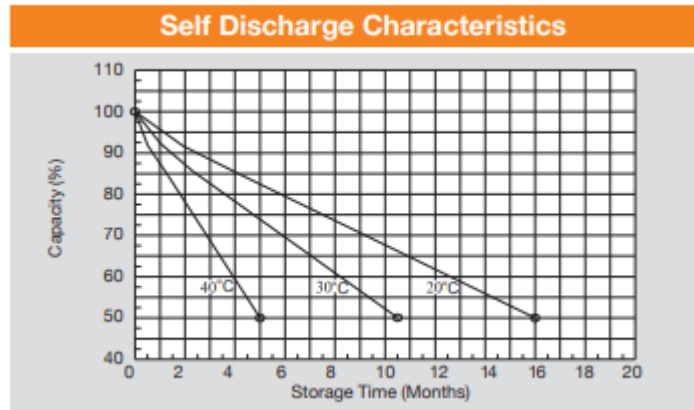
Battery Construction

Component	Positive Plate	Negative Plate	Container	Cover	Safety Valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

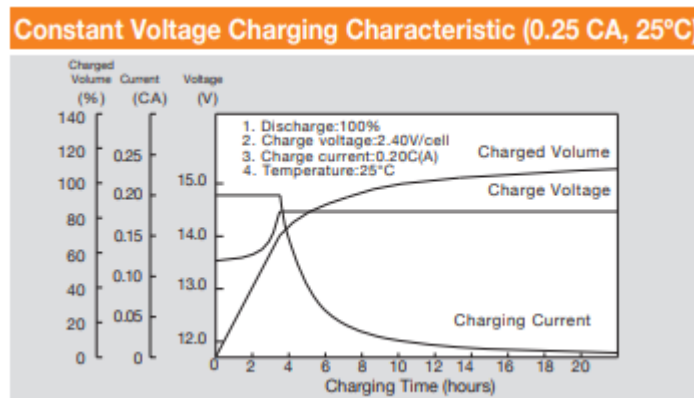
Dimensions



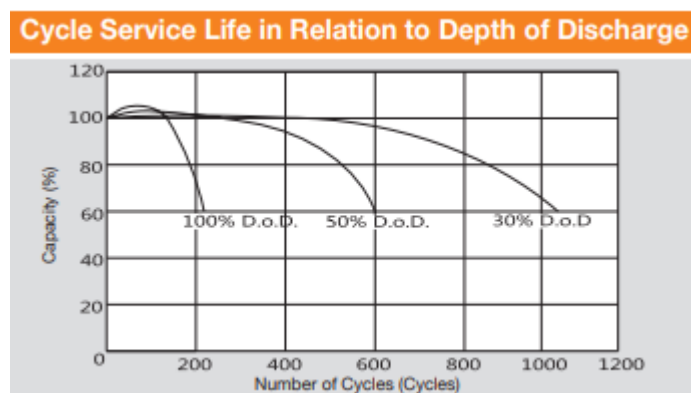
Εικόνα 20. Κατασκευή συσσωρευτή.



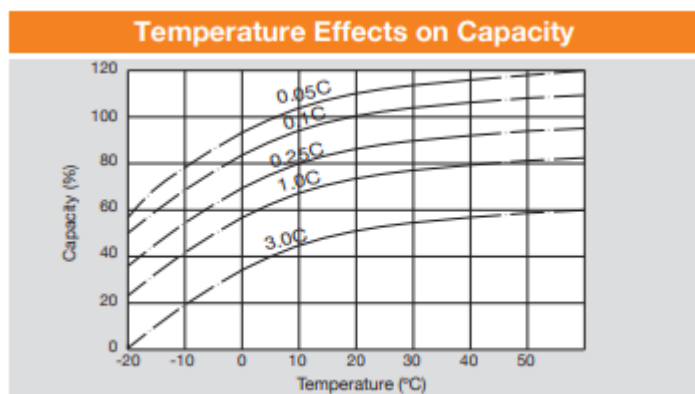
Σχήμα 9. Χαρακτηριστικά αποφόρτισης συσσωρευτή.



Σχήμα 10. Χαρακτηριστικά συνεχούς φόρτισης τάσης.



Σχήμα 11. Χαρακτηριστικά κυκλικής χρήσης συσσωρευτή.



Σχήμα 12. Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση.

3.2.1.4. ULTRACELL UCG GEL BATTERY 12V - 200AH GEL

Οι συσσωρευτές Ultracell UCG GEL 200AH είναι οι συσσωρευτές με τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στην κατηγορία τους, η οποία ξεπερνά κατά πολύ αυτή των συσσωρευτών AGM. Πρόκειται για μια εξελιγμένη μορφή των AGM συσσωρευτών, αφού οι διαχωριστές των πλακών είναι και εδώ AGM, αλλά επιπλέον ο ηλεκτρολύτης είναι σε GEL. Οι συσσωρευτές Ultracell UCG Gel είναι ειδικά κατασκευασμένοι για εφαρμογή σε φωτοβολταϊκά συστήματα, που απαιτούν βαθιά εκφόρτιση των μπαταριών και πολλά χρόνια λειτουργίας, με ειδικό για αυτή τη χρήση πάχος πλακών μολύβδου και ηλεκτρολύτη σε GEL. Οι διαστάσεις της μπαταρίας Ultracell UCG είναι (Πλάτος X Βάθος X Ύψος): 52,5 X 24,3 X 22,2 (24,5 με τους πόλους) εκατοστά.

Στην Εικόνα 21 φαίνεται η μπαταρία ULTRACELL UCG GEL BATTERY 12V - 200AH GEL



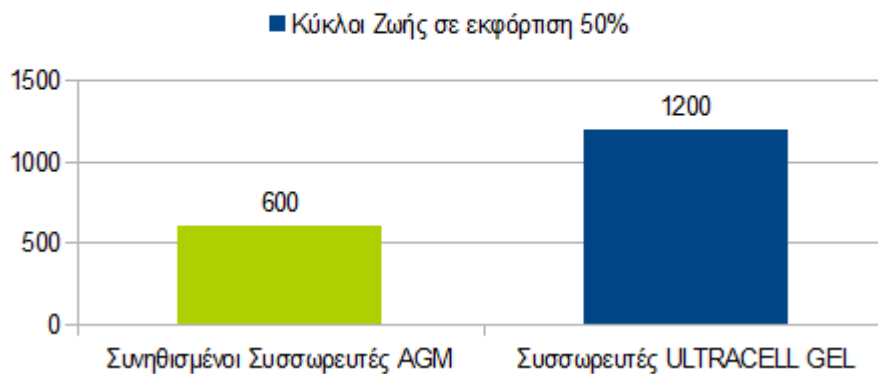
Εικόνα 21. ULTRACELL UCG GEL BATTERY 12V - 200AH GEL

Συγκριτικός Πίνακας	Συνήθεις AGM	Ultracell UC AGM 12V	Ultracell UCG GEL 12V	Energys OPzS 2V	Ultracell OPzV 2V
Εσωτερική αντίσταση	3,7	2,7	3,2	2,46	1,68
Κύκλοι ζωής (σε εκφόρτιση 50%)	600	750	1.200	2.500	3.500
Βάρος μολύβδου & υλικών	58	61	63	89	94
Χρόνια ζωής*	10	12	14	18	20
Καθ. Τιμή ανά Αμπερώριο	1,1 €/ΑΗ	1,2 €/ΑΗ	1,4 €/ΑΗ	1,7 €/ΑΗ	2,3 €/ΑΗ

Πίνακας 9. Συγκριτικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.

Συγκριτικό γράφημα συσσωρευτών

Οι περισσότεροι συνηθισμένοι AGM της αγοράς & Ultracell GEL



Σχήμα 13. Συγκριτικό γράφημα συσσωρευτή.

Η εμπορική τιμή του είναι 380 ευρώ + ΦΠΑ, αλλά η διάρκεια ζωής του είναι έως 12 έτη, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από των προαναφερόμενων.

3.2.1.5. BAE SECURA PVV N. 2089007

Οι συσσωρευτές BAE SECURA PVV είναι μπαταρίες ειδικά σχεδιασμένες για να αποθηκεύουν παραγόμενη ενέργεια από μεσαία και μεγάλα συστήματα εγκατάστασης ΑΠΕ. Εξαιτίας του ισχυρού σωληνωτού σχεδιασμού της πλάκας της μπαταρίας αυτής, αποδίδουν εξαιρετικά σε υψηλότερες απαιτήσεις με μεγαλύτερες διάρκειες ζωής από τους συμβατικούς τύπους μπαταρίας. Η εμπορική τιμή πώλησης του συσσωρευτή είναι 450 ευρώ + ΦΠΑ. Στην Εικόνα 22 φαίνεται εικονικά ο συσσωρευτής (Batteriesdirect, 2004).



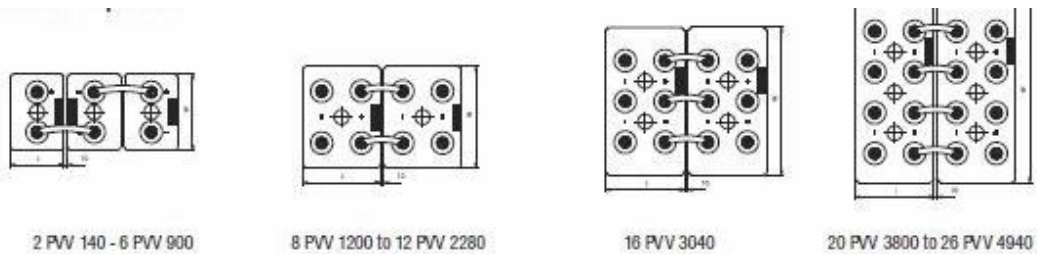
Εικόνα 22. BAE SECURA PVV N. 2089007

Model No	2089007
Description	BAE 2089007 Secura Zelle 6 PVV 420 PPOL Cell Solar
	GEL
	2
	481 at C120
Length(mm)	147
Width(mm)	208
Height(mm)	420
Weight(kg)	28.8
Brand	BAE

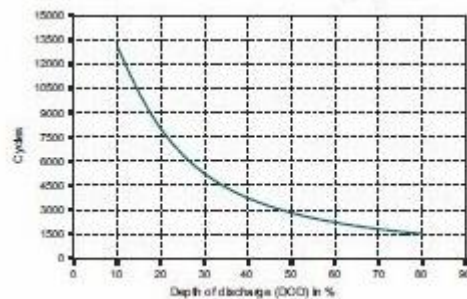
Πίνακας 10. Γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή.

Type	C_{1h} Ah	C_{10h} Ah	C_{20h} Ah	C_{72h} Ah	C_{100h} Ah	C_{120h} Ah	C_{240h} Ah	$R_{i(1)}$ mΩ	$I_{c(2)}$ kA	Length mm	Width mm	Height mm	Weight kg
U_c [V per cell]	1.65	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
2 PVV 140	74	132	143	170	180	182	189	2.400	0.84	105	208	420	15.5
3 PVV 210	100	193	210	252	264	268	277	1.600	1.27	105	208	420	17.7
4 PVV 280	136	239	262	315	329	334	348	1.200	1.70	105	208	420	20.0
5 PVV 350	165	286	314	378	394	400	415	0.960	2.15	126	208	420	23.0
6 PVV 420	198	344	378	453	473	481	499	0.800	2.57	147	208	420	28.8
5 PVV 550	252	444	496	573	587	594	609	0.710	2.88	126	208	535	32.0
6 PVV 660	303	532	596	688	705	712	732	0.600	3.46	147	208	535	36.7
7 PVV 770	341	597	666	763	785	793	813	0.510	4.04	168	208	535	41.0
6 PVV 900	391	700	794	907	932	942	979	0.450	4.58	147	208	710	52.0
8 PVV 1200	506	903	1,022	1,166	1,190	1,200	1,255	0.340	6.10	215	193	710	68.9
10 PVV 1500	647	1,150	1,312	1,504	1,530	1,548	1,620	0.270	7.63	215	235	710	84.6
12 PVV 1800	762	1,360	1,540	1,764	1,800	1,812	1,896	0.230	9.15	215	277	710	99.6
12 PVV 2280	954	1,640	1,854	2,160	2,200	2,220	2,294	0.240	8.58	215	277	855	115.0
16 PVV 3040	1,291	2,240	2,520	2,944	3,010	3,036	3,120	0.180	11.40	215	400	815	156.2
20 PVV 3800	1,618	2,820	3,160	3,700	3,780	3,816	3,936	0.144	14.30	215	490	815	195.0
22 PVV 4180	1,749	3,020	3,400	3,960	4,040	4,080	4,200	0.131	15.67	215	580	815	216.0
24 PVV 4560	1,960	3,430	3,860	4,521	4,610	4,656	4,800	0.120	17.10	215	580	815	236.0
26 PVV 4940	2,067	3,570	4,000	4,680	4,770	4,824	4,968	0.111	18.52	215	580	815	250.0

Πίνακας 11. Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή στους 20° C.



Εικόνα 23. Συνδεσμολογία συσσωρευτή.



Σχήμα 14. Αριθμός κύκλων ανά χρήση DOD.

4. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η Ελλάδα είναι μία χώρα, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερη αφθονία ως προς τις μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας, καθώς διαθέτει:

- Ισχυρούς ανέμους σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.
- Ηλιοφάνεια, η οποία είναι από τις υψηλότερες στην Ευρώπη.
- Πολύ σημαντικό δυναμικό για μικρά υδροηλεκτρικά και πιο έντονα στις περιοχές της Πίνδου.
- Γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι χαμηλής, μεσαίας και υψηλής ενθαλπίας και ιδιαίτερα στις περιοχές των νησιών του Αιγαίου, της Θράκης και της Μακεδονίας.

Βάση πλέον πολλών επιστημονικών ερευνών, ένας μεγάλος αριθμός περιβαλλοντικών προβλημάτων οφείλονται στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας και σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά και ένα σημαντικό μέρος της θερμικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο).

Από τα αρχαία χρόνια ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμία και άλλες με κύριο χαρακτηριστικό αυτών των ενεργειακών πηγών να είναι ότι δεν εξαντλούνται, γι' αυτό ορίζονται και ως ανανεώσιμες. Παράλληλα, είναι και εναλλακτικές συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας και κατά κανόνα η χρήση τους είναι συνδεδεμένη με ήπια και περιβαλλοντικά αποδεκτή επέμβαση.

Σημαντική συνεισφορά μπορούν να έχουν οι ΑΠΕ στη βελτίωση του περιβάλλοντος, καθώς είναι οι μόνες ενεργειακές πηγές που δεν συνδέονται με την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μάλιστα και σε πολλές περιπτώσεις ανταγωνίζονται οικονομικά και τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Τα οφέλη που λαμβάνουμε από τις ΑΠΕ είναι τόσο ενεργειακά, οικονομικά, όσο και κοινωνικά, ενώ παράλληλα υπάρχει και θετική επίδραση στην απασχόληση, στο εμπόριο και την ανταγωνιστικότητα και δικτύωση της εθνικής οικονομίας. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τους είναι ότι πρακτικά είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, παράγονται εγχώρια, οι εγκαταστάσεις τους σε κάθε περίπτωση γίνονται βάση των αναγκών των χρηστών και το πιο σημαντικό, όπως αναφέρουμε και παραπάνω είναι ότι είναι φιλικές προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Ταυτοχρόνως όμως έχουν και μειονεκτήματα, καθώς το δυναμικό τους είναι διεσπαρμένο, άρα δεν μπορεί να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα τους και απαιτούν συνήθως και εφεδρεία άλλων συμβατικών πηγών ή δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, έχουν σχετικά μικρό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων τους και το κόστος ανά μονάδα ισχύος είναι κατά βάση υψηλότερο ανά των συμβατικών πηγών ενέργειας.

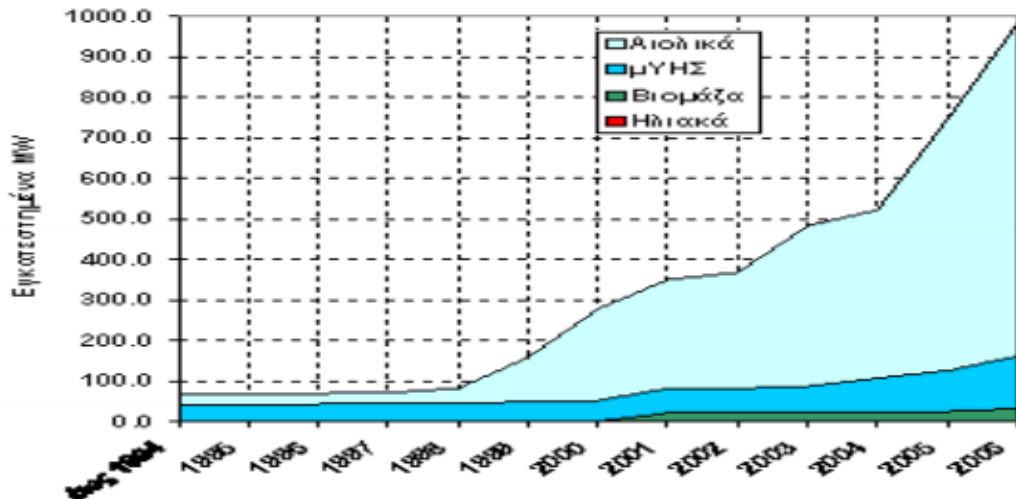
Παρακάτω θα αναλυθούν κάποια βασικά συστήματα ΑΠΕ τα οποία χρήζουν σημαντικής εφαρμογής ανά τον κόσμο και στην Ελλάδα. Αυτά είναι:

- Τα ηλιακά θερμικά συστήματα, που είναι είτε ενεργητικά είτε παθητικά και οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι στην παραγωγή ζεστού νερού, θέρμανσης χώρων και κολυμβητικών δεξαμενών, ο κλιματισμός χώρων, η παραγωγή ηλεκτρισμού και οι γεωργικές χρήσεις. Όταν διαθέτουμε παθητικά συστήματα έχουμε εγκλωβισμό της ηλιακής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας σε κατάλληλη μάζα, και συνήθως γυαλί, άρα και λειτουργούν βάση της αρχής του θερμοκηπίου. Αυτά τα συστήματα διακρίνονται σε άμεσου και έμμεσου κέρδους και οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι τα κτίρια και η θέρμανση των χώρων και ο φυσικός κλιματισμός.
- Η αιολική ενέργεια που χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις άντλησης και αφαλάτωσης νερού, στη ναυσιπλοΐα, σε παραδοσιακούς ανεμόμυλους και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες, δηλαδή μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική και τελικά σε ηλεκτρική. Εμπορικά υπάρχουν δύο ειδών ανεμογεννητριών αυτές του οριζόντιου και αυτές του κάθετου τύπου, αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται κατά κόρον ο πρώτος.
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο εξαφανίζεται στα ημιαγώγιμα υλικά όταν αυτά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, άρα μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Κυριότερες εφαρμογές έχουν στην τροφοδότηση συσκευών μικρής ισχύος, στην παραγωγή ηλεκτρισμού σε απομονωμένους οικισμούς ή σε διασύνδεση με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο.
- Η βιομάζα, η οποία προέρχεται από φυτικές ύλες, τα παραπροϊόντα και τα κατάλοιπα φυσικής, δασικής, ζωικής και αλιευτικής παραγωγής, αλλά και από την μεταποίηση υλικών, όπως μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών βιολογικής προέλευσης. Ουσιαστικά αποτελεί μία δεσμευμένη αποθηκευμένη

μορφή ηλιακής ενέργειας ως αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών και οι κυριότερες ενεργειακές εφαρμογές της είναι η παραγωγή υγρών καυσίμων με διάφορες τεχνικές, οι ενεργειακές καλλιέργειες, η θέρμανση θερμοκηπίων, το βιοαέριο και η τηλεθέρμανση.

- Η γεωθερμία που είναι η ενέργεια που εκλύεται στο διάπυρο πυρήνα της γης και μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά. Οι χρήσεις της γεωθερμίας καθορίζονται από τη θερμοκρασία του ρευστού, που διακρίνεται σε ρευστά χαμηλής ενθαλπίας (25-100° C), με χρήση στις ιχθυοκαλλιέργειες και στα θερμοκήπια, μέσης ενθαλπίας (100-150° C) που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροπαραγωγή και σε άλλες χρήσεις υψηλής ενθαλπίας (>150° C) για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα που αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις μικρών ποταμιών και μετατρέπουν την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική ή μηχανική. Κατά βάση κατασκευάζονται σε φυσικές υδατοπτώσεις ή και σε τεχνητές ανάλογα με τη μορφολογία της περιοχής της εγκατάστασης.
- Η κυματική ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια που μεταφέρουν τα κύματα και αν και προσφέρεται από τον άνεμο είναι μεγαλύτερη από την αιολική. Κυριότερη χρήση της είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι αρκετά πολύπλοκη προς την υλοποίηση της με την παρουσία σημαντικών προβλημάτων.
- Η ενέργεια από την παλίρροια που οφείλεται στο φαινόμενο της πλημμυρίδας – αμπώτιδας και συνήθως αξιοποιείται ως υδροηλεκτρική, σε ποταμούς με την κατασκευή τεχνητών φραγμάτων (Τσούτσος, 2006).

Στο Σχήμα 15 φαίνεται το δυναμικό εγκαταστάσεων ΑΠΕ στην Ελλάδα από τα έτη 1984 – 2005.



Σχήμα 15. Εγκατεστημένη ισχύς διάφορων μορφών ΑΠΕ στην Ελλάδα έως το 2005.

4.1. Υβριδικές Διατάξεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Υβριδικά συστήματα θεωρούνται τα αυτόνομα ενεργειακά συστήματα βέλτιστης συνεργασίας περισσότερων πηγών ενέργειας με στόχο τη μέγιστη οικονομική διεξόδου των ΑΠΕ στα δίκτυα που συνδέονται. Λειτουργούν με απαραίτητο υποστηρικτικό εξοπλισμό, μαζί με αυτόν της αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο την παροχή ενέργειας στο δίκτυο (δηλαδή διασυνδεδεμένο σύστημα) ή στο σημείο εγκατάστασης του (δηλαδή αυτόνομο σύστημα).

Τα βασικά μέρη που συνιστούν ένα υβριδικό σύστημα ΑΠΕ είναι:

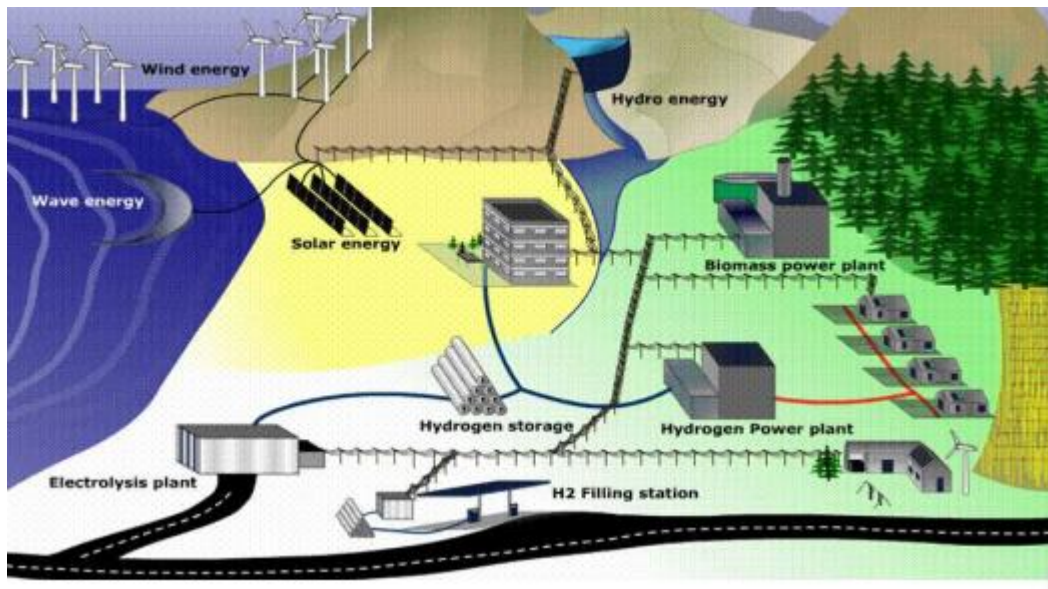
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας
- Μονάδα αποθήκευσης της ενέργειας
- Μονάδα ελέγχου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και
- Συντονισμός των διάφορων διαθέσιμων επιλογών για βέλτιστη κάλυψη των αναγκών.

Πιο αναλυτικά, ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μονάδα ΑΠΕ, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου καθώς και ένα σύστημα διαχείρισης φορτίου. Βάση του Ν. 3468/2006, ένα υβριδικό σύστημα ή υβριδικός σταθμός είναι κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

1. Χρησιμοποιεί τουλάχιστον μία ΑΠΕ.

- II. Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο σε ετήσια βάση δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού.
- III. Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού να είναι μεγαλύτερη της μέγιστης ισχύς παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού, προσαυξημένη κατά 20%.

Στην Εικόνα 24 παρουσιάζεται ένα υβριδικό σύστημα ενέργειας με την αξιοποίηση διάφορων μορφών ΑΠΕ, με βασικά καύσιμα να είναι το υδρογόνο και το βιοντίζελ.



Εικόνα 24. Υβριδικό Σύστημα Ενέργειας.

Τα κυριότερα οφέλη από τη χρήση ενός υβριδικού συστήματος είναι ότι:

- Διασφαλίζεται η αξιοπιστία του συστήματος καθώς οι ΑΠΕ εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και όπως αναφέρουμε και παραπάνω παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις, όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία.
- Συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών και αποφεύγεται η εξάρτηση από συγκεκριμένες ενεργειακές πηγές.
- Επιτυγχάνουν την οικονομικότερη λειτουργία συμβατικών μονάδων, όταν αυτές είναι κοντά στη χαμηλότερη ειδική κατανάλωση φορτίου και όταν φορτίζονται με σταθερότερο φορτίο.

Όπως και στις άλλες μορφές ΑΠΕ υπάρχει η δυνατότητα να είναι είτε διασυνδεδεμένα με το δίκτυο είτε αυτόνομες μονάδες (Αντωνακόπουλος, 2010).

4.2. Αυτόνομα Ενεργειακά Συστήματα

Τα αυτόνομα ενεργειακά συστήματα είναι εκείνα που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από όπου θα μπορούσαν να αντλήσουν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πιο συνηθισμένη και πληρέστερη εφαρμογή του είναι στα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου είναι και η περίπτωση που θα μελετήσουμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι η γεννήτρια με την οποία γίνεται και η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Στο Σχήμα 16 φαίνεται ότι το σύστημα περιλαμβάνει επίσης, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και το βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές για να αποθηκεύεται η περίσσεια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά περίπτωση, όπως αναλύουμε και παραπάνω και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι είτε ανεπαρκής είτε ακόμα και ανύπαρκτη.



Σχήμα 16. Τυπική διάταξη αυτόνομης Φ/Β εγκατάστασης

Σε μία τέτοια διάταξη χρησιμοποιούνται επίσης και διατάξεις για τη ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης, αλλά και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να είναι δυνατή η αύξηση της απόδοσης του συστήματος. Κλείνοντας απαραίτητα συνήθως για μία τέτοια διάταξη είναι και διατάξεις προστασίας και ελέγχου, αλλά και μία βοηθητική γεννήτρια βενζίνης είτε πετρελαίου για να μπορούν να αντιμετωπιστούν έκτακτα περιστατικά, όπως η περίπτωση συντήρησης του συστήματος ή μία πιθανή βλάβη που μπορεί να προκύψει (Κορωναίος, 2012).

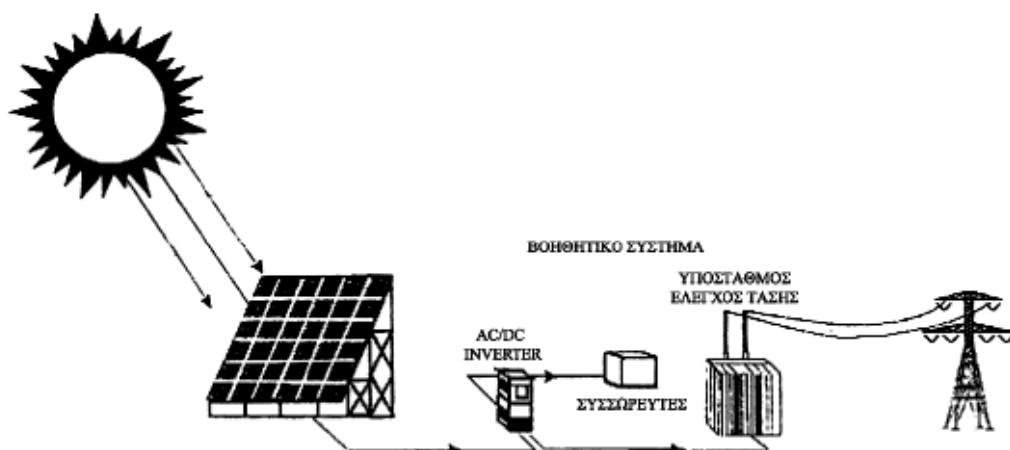
4.3. Ανάλυση Αυτόνομου Ενεργειακά Συστήματος

BOS (Balance Of the System) ή υπόλοιπα του συστήματος ονομάζονται συνήθως ο συμπληρωματικός εξοπλισμός αυτών των συστημάτων πέραν από τη γεννήτρια. Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η συνολική συμβολή του κάθε υπομέρους του συστήματος και πως συμβάλλουν αυτά για να συγκροτήσουν ένα ολοκληρωμένο αυτόνομο Φ/Β σύστημα για τη διαμόρφωση του συνολικού κόστους. Στη μελέτη μας δεν έχει υπολογιστεί η συμβολή του κόστους για την αγορά ή ενοικίαση και διαμόρφωση της απαιτούμενης εδαφικής έκτασης και για την οικοδόμηση του κτιρίου, τοποθέτηση των συσσωρευτών, καθώς και τα λοιπά εργατικά και χρηματοοικονομικά έξοδα, όπως αυτά των μελετών.

Παράγοντας Κόστους	Συμβολή στο συνολικό Κόστος (%)
Φ/Β Πλαίσια ή πάνελ για τη Φ/Β γεννήτρια	65
Στηρίγματα των Φ/Β πλαισίων και ηλεκτρικές καλωδιώσεις των Φ/Β στοιχείων	5
Συσσωρευτές αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας	15
Διατάξεις ρύθμισης τάσης και ισχύος, μετατροπής τάσης, προστασίας, ελέγχου, κτλ.	12
Βοηθητική Γεννήτρια	3

Πίνακας 12. Ενδεικτική Κατανομή του Κόστους ενός αυτόνομου Φ/Β Συστήματος.

Επιπλέον στο Σχήμα 17 φαίνεται η διάταξη μίας Φ/Β εγκατάστασης, η οποία είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ, αλλά διατηρεί και τη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 17. Σχηματική απεικόνιση μίας Φ/Β εγκατάστασης μεγάλης κλίμακας, η οποία είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο με μία σχετική αυτοδυναμία μέσω των συσσωρευτών.

Έπειτα, πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός του αυτόνομου συστήματος για το βέλτιστο σχεδιασμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας, την οποία θα δέχονται τα Φ/Β πλαίσια. Ένας από τους κύριους λόγους που γίνεται αυτό, είναι η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα πρόκυπτε από τον υπερσχεδιασμό του συστήματος από διατάξεις μεγαλύτερου μεγέθους.

Για να είναι δυνατός ο προκαταρκτικός σχεδιασμός του συστήματος απαιτείται να γίνει μία καλή εκτίμηση της ζήτησης που πρέπει να ικανοποιείται και μία αξιόπιστη πληροφόρηση για την ένταση και τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας, τα διαστήματα συνεχούς συννεφιάς, κτλ. Από τον Πίνακα 13 μπορούμε να συμβουλευτούμε για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος, η επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου.
Την εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που πρέπει να ικανοποιεί το σύστημα.
Υπολογισμός τόσο της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας της τοποθεσίας, της επιλεγμένης χρονικής περιόδου, όσο και τη βέλτιστη κλίση των Φ/Β πλαισίων.
Υπολογισμός της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/Β πλαισίων ή πάνελ είτε της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας τους.
Απαραίτητος είναι ο καθορισμός των ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και η εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να είναι δυνατή η αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα συνεχών ημερών συννεφιάς.

Υπόδειξη των διάφορων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου της ισχύος της
βοηθητικής ενεργειακής πηγής.

Πίνακας 13. Τα βασικά στάδια υπολογισμού για τον προσδιορισμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με την πλήρη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος μελέτης, αλλά αυτά είναι τα στοιχεία τα οποία βοηθούν στον προκαταρκτικό σχεδιασμό του και μας εισάγει στη μελέτη των αυτόνομων Φ/Β εγκαταστάσεων.

Κάποια βασικά στοιχεία που πρέπει επίσης να ελεγχθούν κατά το σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι το κατά πόσον θα μπορεί η Φ/Β γεννήτρια και οι συσσωρευτές να καλύπτουν τις αιχμές ζήτησης ισχύος και αν θα υπάρχει ιεράρχηση στην ικανοποίηση των καταναλώσεων. Επιπλέον, σημαντικό είναι και το αν το ρεύμα που θα παρέχει το σύστημα θα είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο ή σε ποια τάση θα είναι κτλ., αλλά πολύ σημαντικό είναι και ο καθορισμός της εποχής του έτους στη ζήτηση της οποίας ανταποκρίνεται καλύτερα το σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, το εμβαδόν της επιφάνειας των πλαισίων και στα μεγέθη των άλλων διατάξεων του συστήματος δίνονται τέτοιες τιμές ώστε συνδυαστικά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν την εποχή να μπορούν να καλυφθούν ικανοποιητικά οι αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν το σύστημα έχει μία αναξιόπιστη συμπεριφορά μπορεί να ευθύνονται και λόγοι φυσικής προέλευσης, όπως το υπερβολικό πλήθος των διαδοχικών συννεφιασμένων ημερών, η προσβολή της γεννήτριας από κεραυνό, ακόμα και στον κακό σχεδιασμό του συστήματος.

Πρακτικά όταν ένα σύστημα είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί ολόκληρη τη διάρκεια του χρόνου, τότε τα μεγέθη των πλαισίων και των άλλων διατάξεων θα πρέπει να προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, όπως αυτός του Δεκεμβρίου ή του Ιανουαρίου και να ακολουθήσει έπειτα ο έλεγχος διερεύνησης για την επάρκεια του και τους υπόλοιπους μήνες.

Στην πράξη παρατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό τα αυτόνομα αυτά συστήματα να τοποθετούνται σε απομονωμένες περιοχές, στο οποίο δεν υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό για να λειτουργήσει και να συντηρήσει, αλλά και ούτε εύκολη πρόσβαση για την γρήγορη αντιμετώπιση βλαβών. Είναι εμφανές λοιπόν ότι στο σχεδιασμό θα πρέπει να αξιολογηθούν και να εφαρμοστούν οι παρακάτω προϋποθέσεις για την ελαχιστοποίηση του χρόνου μέχρι της επισκευή μίας βλάβης και την αποκατάσταση της καλής λειτουργίας του συστήματος, οι οποίες είναι:

- Στο σημείο που εκδηλώνεται η βλάβη να είναι εύκολος ο εντοπισμός της αιτίας της ελαττωματικής λειτουργίας και του σημείου.
- Εύκολη και ασφαλής πρόσβαση στις θέσεις που γίνεται η επέμβαση για την επισκευή.
- Το βάρος και οι διαστάσεις των ανταλλακτικών πρέπει να είναι μικρά ώστε να μπορούν εύκολα να μεταφέρονται από έναν άνθρωπο αλλά και από μέρος σε μέρος.
- Τα εξαρτήματα και τα ανταλλακτικά πρέπει να είναι τυποποιημένων διαστάσεων, ώστε σε περίπτωση ζημιάς να είναι εύκολος ο εντοπισμός τους στην αγορά (Κορωναίος, 2012).

4.4. Νομοθεσία

Η Οδηγία 201/77/ΕΚ του ΕΚ και του Συμβουλίου της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2001 για την «Παραγωγή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» μεταφέρεται στο δίκαιο της Ελλάδας με τις διατάξεις του Ν. 3468/2006 και προωθείται κατά προτεραιότητα στην εσωτερική αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, με κανόνες και αρχές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και από ΣΥΘΥΑ (Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης).

Ο υπολογισμός της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, όπου απαιτείται αυτός γίνεται με βάση τα οριζόμενα της περίπτωσης β' του Παραρτήματος ΙΙΙ της Οδηγίας 2004/8/ΕΚ, όπου αυτόνομος παραγωγός Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ είναι αυτός που παράγει ενέργεια από ΑΠΕ και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το σύστημα ή το δίκτυο. Αυτοπαραγωγός από την άλλη είναι αυτός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ κυρίως από δική του χρήση και έπειτα διοχετεύει το τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο Σύστημα ή το Δίκτυο.

Η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί ενεργειακή προτεραιότητα υψίστης σημασίας για τη χώρα και γι' αυτό και προωθήθηκε η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με εθνικούς στόχους έως το έτος 2020, βάση της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, όπου αναφέρονται τα εξής:

- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση της ενέργειας σε ποσοστό 20%.

- Σε ποσοστό τουλάχιστον 40% στην ακαθάριστη κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας συμμετοχή από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ. Ο Υπουργός Περιβάλλοντος, Ενέργεια και Κλιματικής Αλλαγής καθορίζει την επιδιωκόμενη αναλογία της εγκατεστημένης ισχύος και της κατανομής της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ, τις κατηγορίες των παραγωγών, την κατανομή μεταξύ αυτών, τους λόγους αναθεώρησης της και τους λόγους και τη διαδικασία για τυχόν αναγκασίας αναστολής της διαδικασίας αδειοδότησης ή ακόμα και άρση αυτής. Αυτή η απόφαση μπορεί να αναθεωρείται ανά διετία ή ακόμα και νωρίτερα, εάν συντρέχουν σημαντικοί λόγοι που σχετίζονται με την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ.
- Σε ποσοστό τουλάχιστον 20% στην τελική κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη της συμμετοχής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ.
- Σε ποσοστό τουλάχιστον 10% στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές της συμμετοχής της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ.

Βάση του Πίνακα 14 καθορίζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία ΑΠΕ, με βάση της Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Α.Υ/Φ1/οικ.19598 και κατηγορία παραγωγού και η κατανομή της στο χρόνο με ένα χρονικό ορίζοντα 2014-2020.

Τύπος ΑΠΕ	2014	2020
Υδροηλεκτρικά	3700	4650
Μικρά (0-15MW)	300	350
Μεγάλα (>15MW)	3400	4300
Φωτοβολταϊκά	1500	2200
Λοιπές εγκαταστάσεις	1000	1450
Ηλιοθερμικά	120	250
Αιολικά (περιλαμβανομένων θαλάσσιων)	4000	7500
Βιομάζα	200	350

Πίνακας 14. Όρια εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία ΑΠΕ και κατηγορία παραγωγού.

Τα όρια αυτού του πίνακα αναθεωρούνται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 1 του Ν. 3468/2006, όπου προστέθηκε με το άρθρο 1 του Ν. 3851/2010 (Τζιμενάκη, 2014).

5. Περιγραφή του Συστήματος Μελέτης

Για τη μελέτη ενός ηλεκτροδότησης μίας κατοικίας με ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αρχικά πρέπει να υπολογιστεί η κατανάλωση της εξεταζόμενης κατοικίας και η συνολική ετήσια και μέση ημερήσια ζήτηση ενέργειας που πρέπει να καλυφθεί.

Αρχικά λοιπόν μελετάται η καμπύλη φορτίου. Μπορεί κανείς εύκολα να αντιληφθεί ότι σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση οι τροφοδοτούμενες καταναλώσεις δεν λειτουργούν ποτέ όλες μαζί και είναι σπάνιο οι καταναλώσεις αυτές να απορροφούν ταυτόχρονα την ονομαστική τους ισχύ. Άρα, λαμβάνεται υπόψιν και ο ετεροχρονισμός της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών με κατάλληλους συντελεστές ετεροχρονισμού, με τους οποίους γίνεται και η συνολική κατανάλωση τους σε κάθε ώρα της ημέρας. Έχουμε λοιπόν την εξής διαδικασία:

- Συγκέντρωση και καταγραφή των ηλεκτρικών φορτίων της οικίας.
- Καταγραφή της ονομαστικής ισχύος του κάθε φορτίου ή υπολογισμός της βάσει του είδους του φορτίου.
- Καταγραφή των ωρών της ημέρας που αναμένεται να λειτουργεί το φορτίο και το ποσοστό της ονομαστικής ισχύος στο οποίο θα λειτουργεί το φορτίο και το ποσοστό της ονομαστικής ισχύος που θα λειτουργεί τη συγκεκριμένη ώρα. Αυτή η διαδικασία θα επαναληφθεί για κάθε τυπική εργάσιμη και μη εργάσιμη ώρα τόσο του χειμώνα όσο και του καλοκαιριού, για να ληφθεί υπόψιν η επίδραση των κλιματικών συνθηκών αλλά και των καθημερινών συνηθειών στη διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης της οικίας.
- Υπολογισμός της ωριαίας ισχύος όλων των συσκευών για τις εξεταζόμενες μέρες και εποχές του έτους, βάσει του ποσοστού της ονομαστικής ισχύος στην οποία λειτουργούν.
- Τέλος αθροίζονται όλες οι ωριαίες καταναλώσεις των συσκευών και προκύπτει η συνολική καμπύλη φορτίου της οικίας.

Μια οικία 100 m² θα ληφθεί ως αντικείμενο μελέτης και στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται οι συσκευές που θα λειτουργήσουν σε αυτήν την κατοικία μαζί με την ονομαστική ισχύ τους. Ως τιμές έχουμε επιλέξει αυτές που δίνει η ΔΕΗ στην επίσημη διαδικτυακή της σελίδα. Όταν υπάρχει το σενάριο του χαμηλού φορτίου, η επιλογή των φορτίων της κατοικίας έγινε με βάση τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και έτσι

επιλέγεται να μη χρησιμοποιηθούν οι δύο ενεργοβόρες οικιακές συσκευές που είναι η ηλεκτρική κουζίνα και ο ηλιακός θερμοσίφωνα. Επιπλέον, δε θα χρησιμοποιηθούν ηλεκτρική θερμάστρα, ηλεκτρικό καλοριφέρ και λαμπτήρες πυρακτώσεως, αλλά αντί αυτών θα γίνει χρήση κουζίνας υγραερίου, ηλιακός θερμοσίφωνα, σόμπα υγραερίου και λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης, δηλαδή LED.

Η διάκριση των δύο εποχών είναι επίσης σημαντική καθώς θα υπάρχει μεταβολή στην κατανάλωση λόγω της χρήσης κλιματιστικού κυρίως τις μεσημεριανές ώρες, άρα για τους 6 μήνες του έτους τα φορτία θα ακολουθούν τη μεταβολή των εργάσιμων και μη εργάσιμων ημερών του χειμώνα, ενώ οι υπόλοιποι μήνες θα ακολουθείται η μεταβολή των εργάσιμων και μη εργάσιμων ημερών του καλοκαιριού. Ο λόγος αυτής της διάκρισης γίνεται λόγω των διαφορετικών καταναλώσεων στις συσκευές του καταναλωτή σε διαφορετικές ώρες της ημέρας.

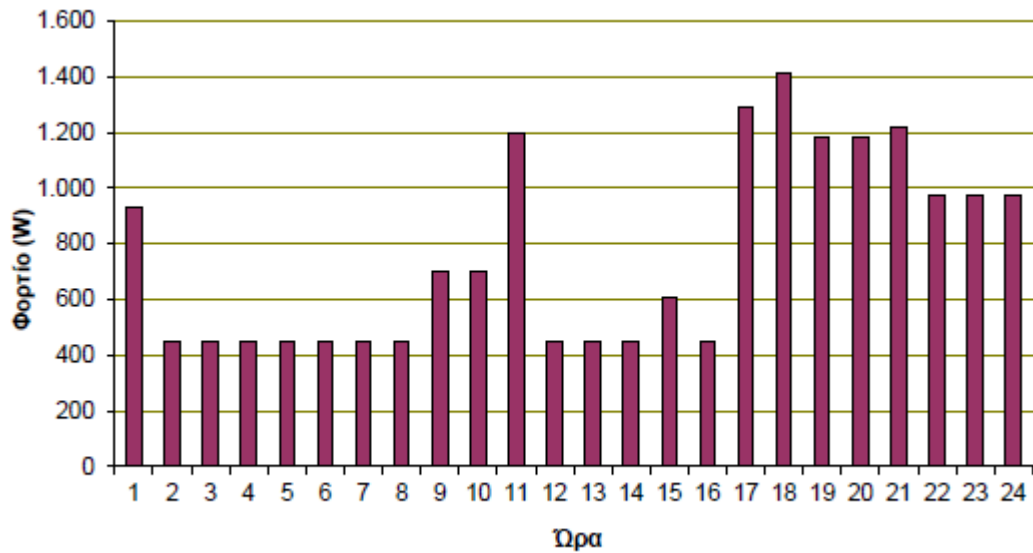
<i>Συσκευή</i>	<i>Ονομαστική Ισχύς (W)</i>
Ηλεκτρική κουζίνα	4.000
Πλυντήριο ρούχων	2.800
Πλυντήριο πιάτων	3.200
Επιτραπέζιος υπολογιστής & οθόνη	250
Ψυγείο	90
Φούρνος μικροκυμάτων	800
Φωτισμός	1.200
Τηλεόραση	41
Ηλεκτρική σκούπα	1.000
Κλιματιστικό	1.000
Σύνολο	10.381

Πίνακας 15. Φορτία προς της μελέτη οικίας.

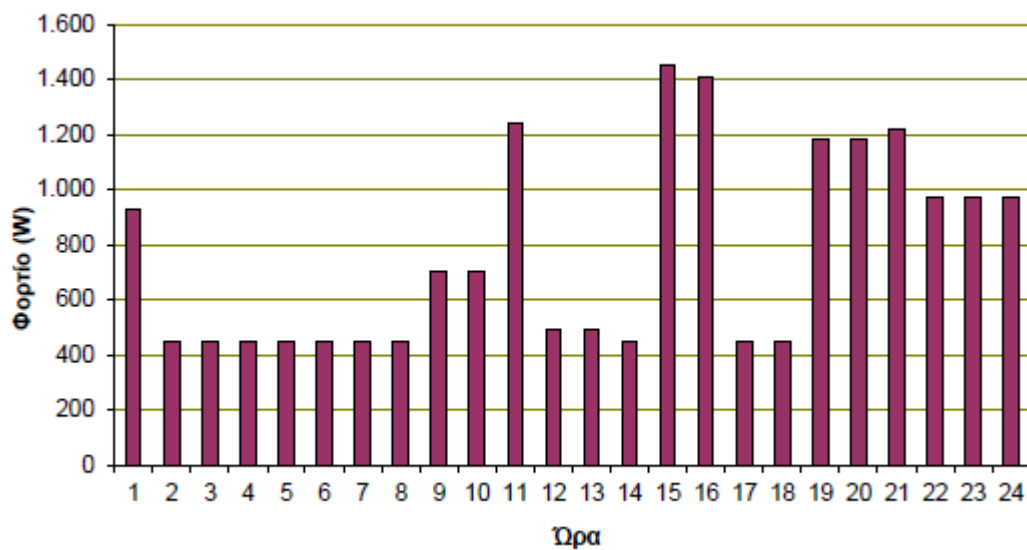
Στον Πίνακα 16 αναφέρεται το ποσοστό της ονομαστικής ισχύος και τις ώρες που περιμένουμε να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές του σπιτιού για μία τυπική εργάσιμη μέρα του χειμώνα και παρατηρούμε ότι συσκευές όπως το ψυγείο και οι λάμπες φωτισμού θα λειτουργούν όλη την ημέρα. Επιπλέον, το ψυγείο θα λειτουργεί μόνιμα στο 100% ενώ η χρήση στις λάμπες θα μεταβάλλεται, με μία χρήση περίπου στο 70% για τις ώρες από 6 μ.μ. -12 μ.μ. και 30% τις υπόλοιπες ώρες τις ημέρας. Όσον αφορά τις συσκευές που λειτουργούν πολύ λίγη ώρα, όπως ένας φούρνος μικροκυμάτων, λαμβάνεται ένας πολύ χαμηλός συντελεστής για να γίνει αναγωγή σε διάστημα μιας ώρας. Ίδια λογική χρησιμοποιείται και για συσκευές που δε χρησιμοποιούνται καθημερινά αλλά δύο με τρεις φορές την εβδομάδα,

όπου χρησιμοποιούνται συντελεστές μικρότεροι του 100% για να είναι ρεαλιστική η απεικόνιση της χρήσης στην τυπική ημερήσια καμπύλη.

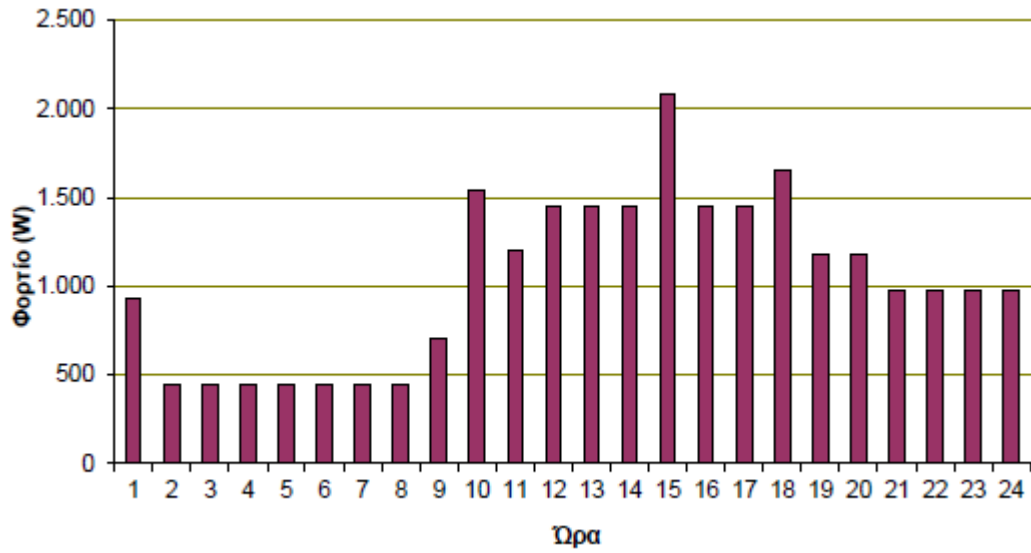
Ο Πίνακας 16 προκύπτει τελικά με τη χρήση αντίστοιχων δεδομένων για εργάσιμη και μη εργάσιμη ημέρα του χειμώνα και του καλοκαιριού, όπως και οι καμπύλες στα Σχήμα 18, Σχήμα 19, Σχήμα 20 και Σχήμα 21.



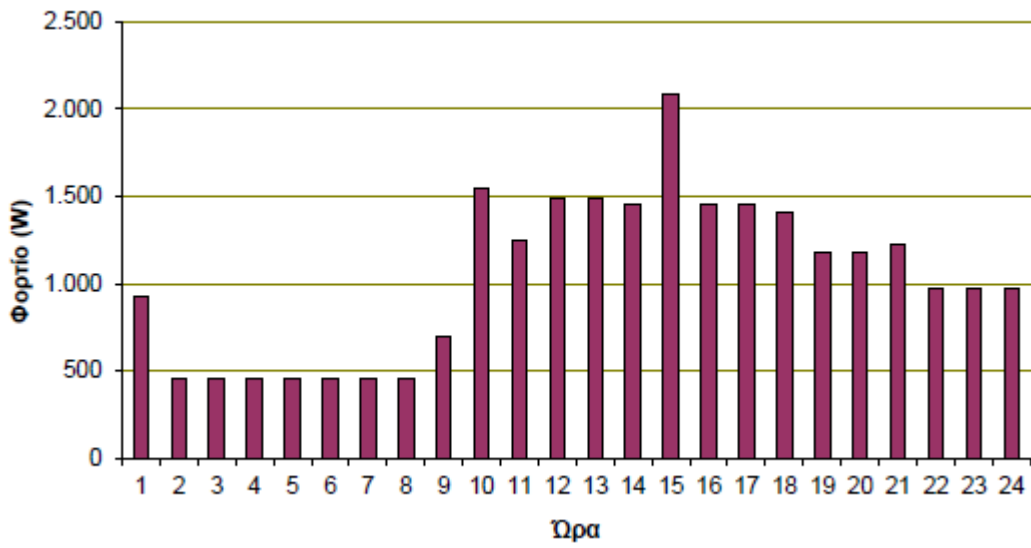
Σχήμα 18. Καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας χειμώνα.



Σχήμα 19. Καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας χειμώνα.



Σχήμα 20. Καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.

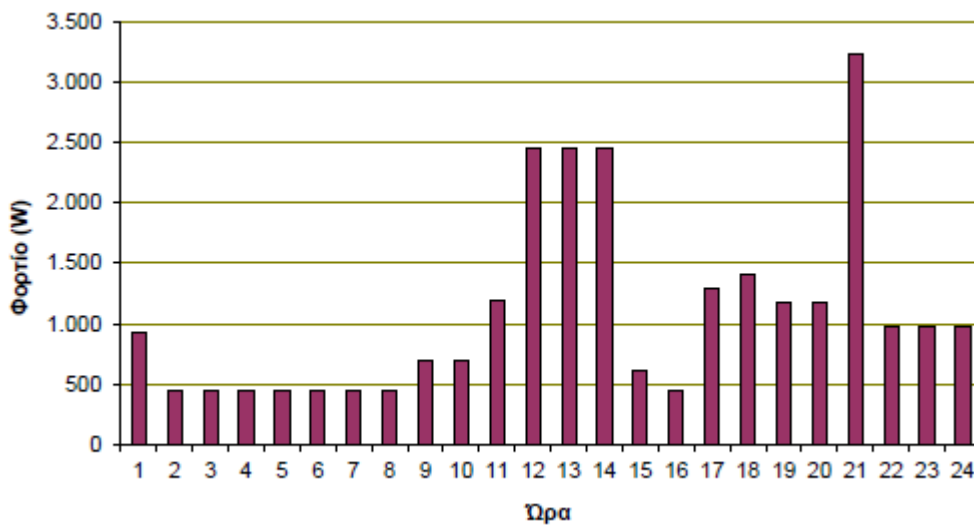


Σχήμα 21. Καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.

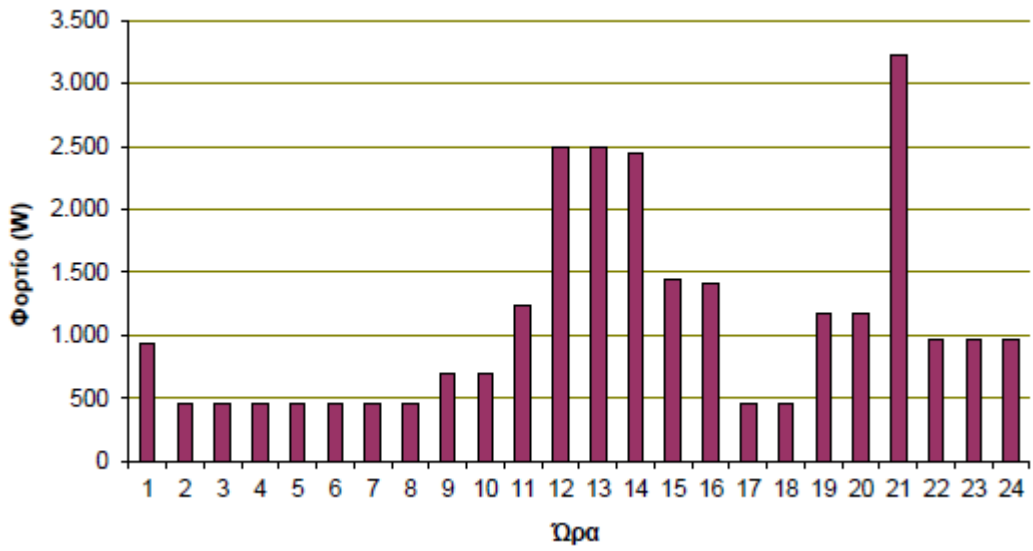
	Ποσοστό της ονομαστικής ισχύος στην οποία αναμένεται να λειτουργεί η συσκευή την εξεταζόμενη ώρα της ημέρας (%)																							
Συσκευή	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Πλυντήριο ρούχων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Πλυντήριο πιάτων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Επιτραπέζιος Υπολογιστής & οθόνη	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0
Ψυγείο	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Φούρνος μικροκυμάτων	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Φωτισμός	70	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	70	70	70	70	70	70
Τηλεόραση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ηλεκτρική σκούπα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Κλιματιστικό	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 16. Ώρες και ποσοστό ονομαστικής ισχύος που θα λειτουργούν οι διάφορες συσκευές του σπιτιού μία τυπική μέρα του χειμώνα εργάσιμη.

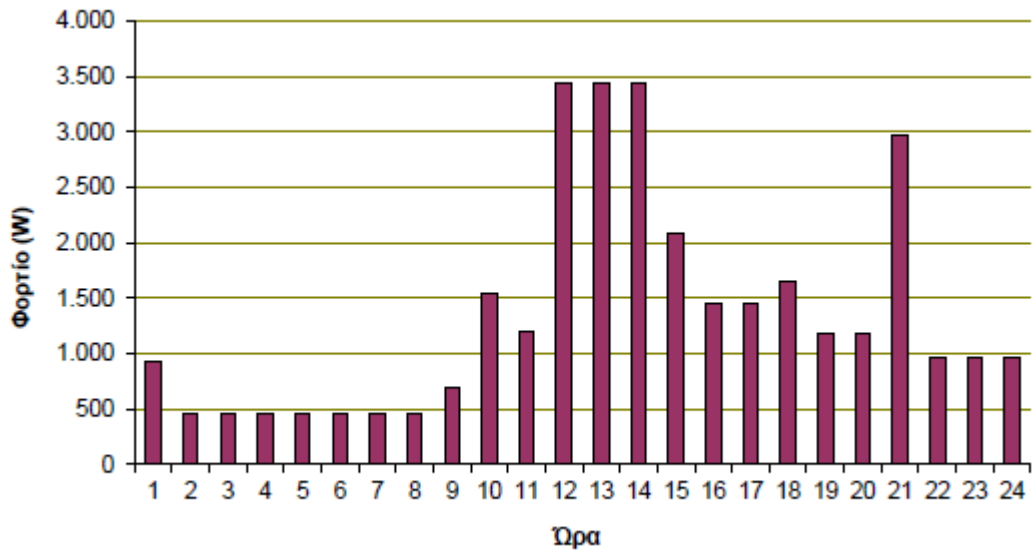
Φυσικά, υπάρχει και το σενάριο μέσου φορτίου, όπου η διαφορά του με αυτό του χαμηλού φορτίου είναι η χρήση μία από τις πλέον ενεργοβόρες συσκευές, όπως αυτή της ηλεκτρικής κουζίνας με τις καμπύλες φορτίου για εργάσιμη και μη εργάσιμη μέρα του χειμώνα και του καλοκαιριού να φαίνονται στα Σχήμα 22, Σχήμα 23, Σχήμα 24 και Σχήμα 25.



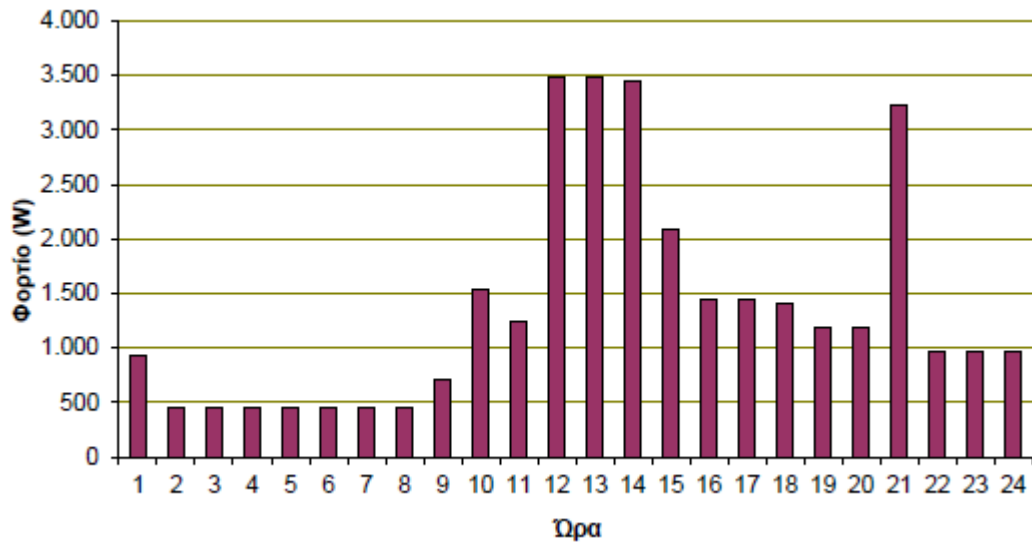
Σχήμα 22. Για μέσο φορτίο καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας χειμώνα.



Σχήμα 23. Για σενάριο μέσου φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας χειμώνα.

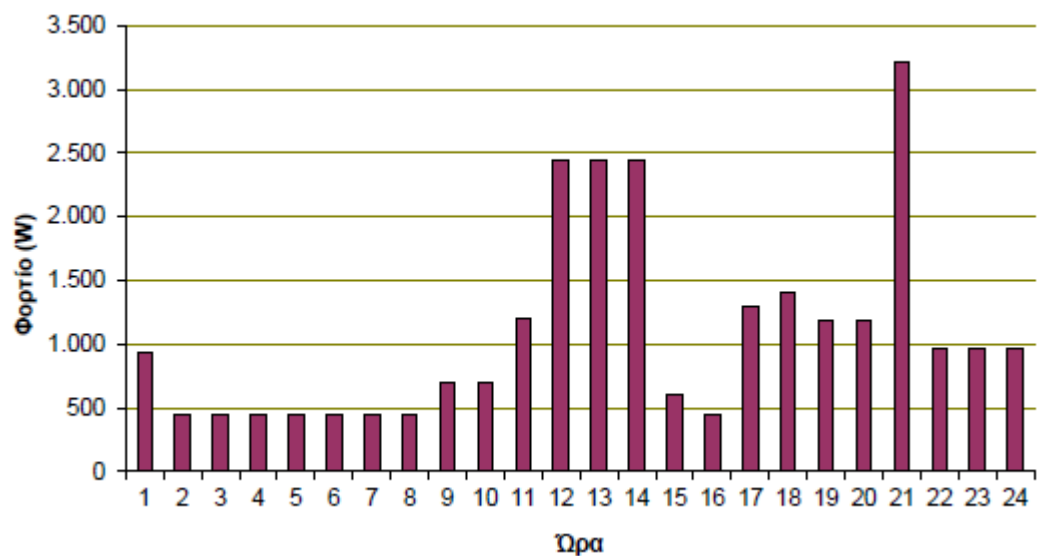


Σχήμα 24. Για σενάριο μέσου φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.

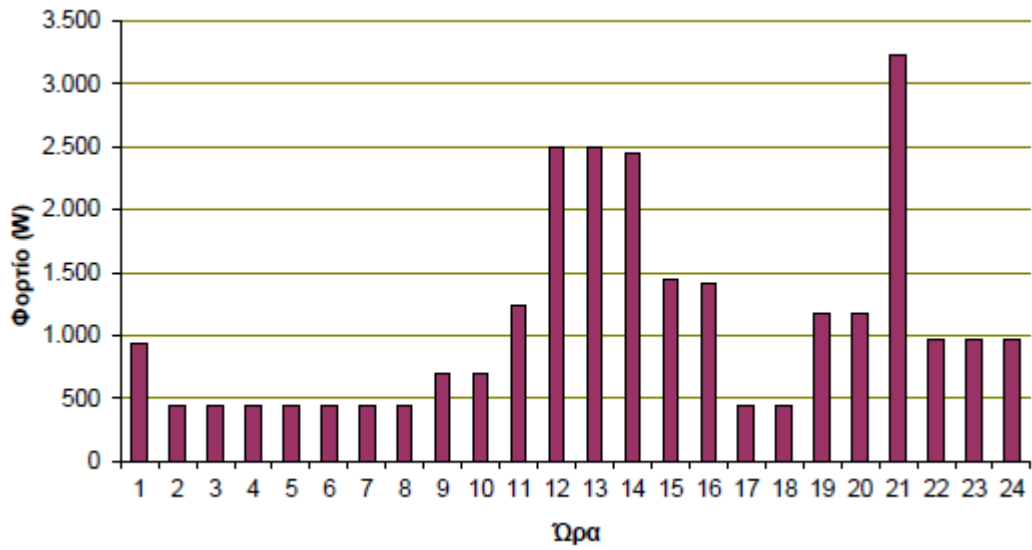


Σχήμα 25. Καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού για σενάριο μέσου φορτίου.

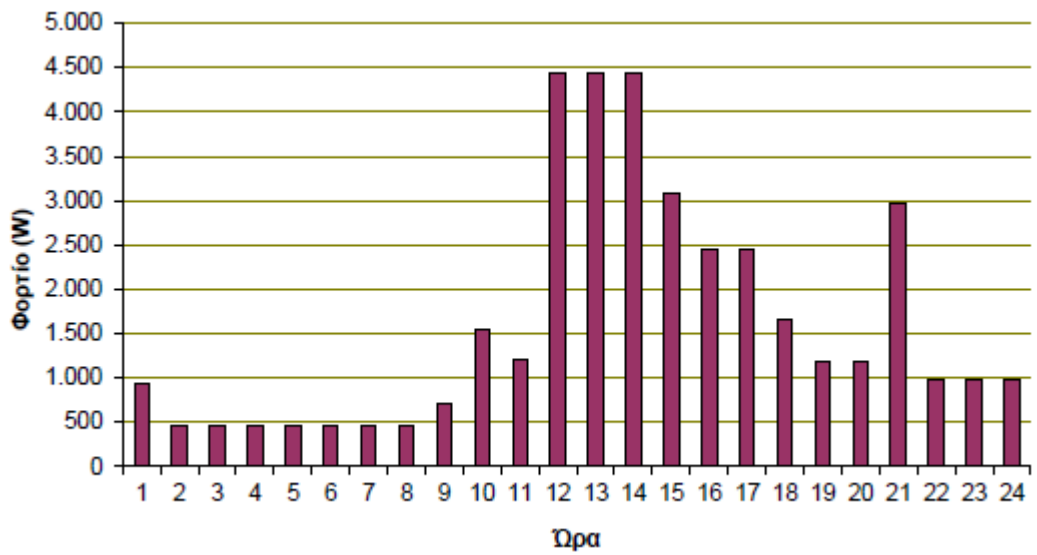
Τέλος, υπάρχει και το σενάριο υψηλού φορτίου, με βασική διαφορά από αυτό του μέσου φορτίου είναι η χρήση δύο αντί ενός κλιματιστικού (στο πρώτο σενάριο δεν γίνεται καθόλου χρήση του κλιματιστικού). Έχοντας πλέον αυτήν την περίπτωση, οι καμπύλες φορτίου για εργάσιμη και μη εργάσιμη ημέρα του χειμώνα και του καλοκαιριού φαίνονται στα Σχήμα 26, Σχήμα 27, Σχήμα 28 και Σχήμα 29.



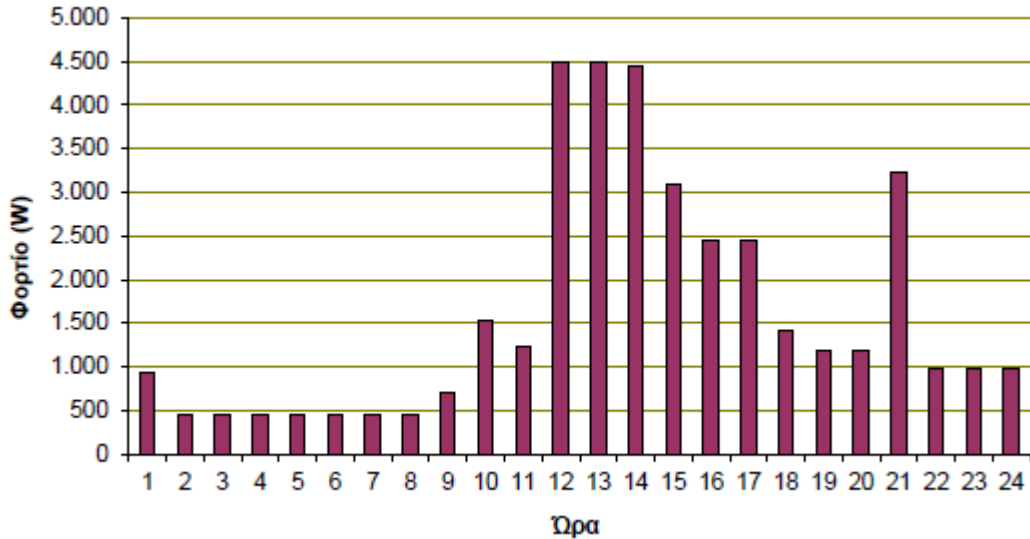
Σχήμα 26. Για σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας εργάσιμης ημέρας χειμώνα.



Σχήμα 27. Για σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου οικίας μη εργάσιμης ημέρας του χειμώνα.



Σχήμα 28. Για το σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίου σπιτιού εργάσιμης ημέρας καλοκαιριού.



Σχήμα 29. Για σενάριο υψηλού φορτίου, καμπύλη φορτίο σπιτιού για μη εργάσιμη ημέρα καλοκαιριού.

5.1. Προσδιορισμός Ηλεκτρικών Καταναλώσεων

Με βάση και τα παραπάνω στοιχεία η συνολική κατανάλωση των συσκευών για μία εργάσιμη ημέρα του χειμώνα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{week}^{Winter} = \sum_{i=0}^{23} \sum_{j=1}^N P_i^j$$

Με:

P_i^j : η ωριαία ισχύς της συσκευής j για την ώρα i της καθημερινής μέρας του χειμώνα

N : ο συνολικός αριθμός των συσκευών του σπιτιού

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η συνολική ημερήσια κατανάλωση των συσκευών για την εργάσιμη ημέρα του καλοκαιριού E_{week}^{summer} σε Wh, όπως αντίστοιχα και για τις μη εργάσιμες ημέρες του χειμώνα και του καλοκαιριού, οι οποίες θα συμβολίζονται αντίστοιχα ως $E_{weekend}^{Winter}$ και $E_{weekend}^{summer}$.

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη συνολική μηνιαία κατανάλωση του καλοκαιριού πολλαπλασιάζουμε τη συνολική ημερήσια κατανάλωση για τις εργάσιμες μέρες, με το 22 που είναι οι εργάσιμες μέρες του καλοκαιριού και τη συνολική ημερήσια κατανάλωση για τις μη εργάσιμες ημέρες με το 8, οι οποίες αντιστοιχούν για τις μη εργάσιμες

μέρες των 6 μηνών του καλοκαιριού. Με ακριβώς αντίστοιχο τρόπο γίνεται και ο υπολογισμός του χειμώνα και τελικά έχουμε:

$$E_{year} = 6 * (22 * E_{week}^{winter} + 8 * E_{weekend}^{winter}) + 6 * (22 * E_{week}^{summer} + 8 * E_{weekend}^{summer})$$

Έτσι, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας E_{day} σε Wh υπολογίζεται από τη διαίρεση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας προς τις μέρες του έτος. Ο συνολικός αριθμός των 360 ημερών το χρόνο προκύπτει από το ότι ο κάθε μήνας έχει 22 εργάσιμες ημέρες και 8 μη εργάσιμες.

Καταλήγουμε λοιπόν στον Πίνακα 17 που φαίνεται η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για το σπίτι και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας, όπως και η αιχμή του φορτίου για το υβριδικό σύστημα βάση των σεναρίων του χαμηλού, μέσου και υψηλού φορτίου κατανάλωσης.

Μέγεθος	Σενάριο χαμηλού φορτίου	Σενάριο μέσου φορτίου	Σενάριο υψηλού φορτίου
Μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (Wh)	21.556,8	29.556,8	32.556,8
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (Wh)	7.760.448	10.640.448	11.720.448
Αιχμή φορτίου (W)	2.090	3.491	4.491

Πίνακας 17. Ετήσια και ημερήσια κατανάλωση ενέργεια και αιχμή φορτίου για διάφορα σεσάρια φορτίου στην υπό εξέταση κατοικία.

5.2. Μηχανικά Χαρακτηριστικά και Κόστος Εγκατάστασης του Συστήματος

Για να μπορέσουμε να εξετάσουμε το ενδεχόμενο της αυτόνομης τροφοδότησης της εξεταζόμενης κατοικίας επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκή συστοιχία. Είναι προφανές ότι θα πρέπει να γίνει και επιλογή του κατάλληλου μεγέθους μπαταρίας για να

εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση η απρόσκοπτη τροφοδότηση της οικίας για το ενδεχόμενο της αστοχίας του συστήματος παραγωγής.

Με στοιχεία που έχουν ληφθεί από τον την αγορά για το έτος 2017 περιγράφονται παρακάτω οι τύποι της ανεμογεννήτριας, της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των μπαταριών που χρησιμοποιηθήκαν για αυτήν την μελέτη.

Κύριος γνώμονας της επιλογής ήταν η βέλτιστη δυνατή απόδοση του συστήματος συναρτήσει του κόστους εξοπλισμού. Ένα ακόμα κριτήριο της επιλογής μας ήταν η ύπαρξη του εξοπλισμού στην Ελλάδα, καθώς το σύστημα μελέτης αφορά μία κατοικία η οποία βρίσκεται στην Κρήτη, άρα και τόσο ο εξοπλισμός όσο και τυχόν εξαρτήματα που θα χρειαστούν για τη συντήρηση του σε βάθους χρόνου θα πρέπει να μπορούν να είναι εύκολα προσβάσιμα.

Για την οικία χρησιμοποιούνται 6 kW Α/Γ και 1 kW Φ/Β και οι μπαταρίες 1kVA ενώ ο μετατροπέας θα είναι 6,74 kW.

5.2.1. Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Για την επιλογή του φωτοβολταϊκού συστήματος επιλέξαμε τα πάνελ Centrosolar S235P60 Professional, τα οποία είναι της Γερμανικής εταιρείας Centrosolar AG, που εδρεύει στο Αμβούργο και αποτελούν μία αξιόπιστη λύση. Στον Πίνακα 18 φαίνονται τα χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 25. S 235P60 Professional, της Centrosolar AG

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά	
Ονομαστική Ισχύς (Wr)	235
Τάση σε ονομαστική Ισχύ (V)	28,70
Ρεύμα σε ονομαστική ισχύ (A)	8,19
Τάση σε ονομαστική ισχύ (V)	36,46
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης (A)	8,59
Επίπεδο απόδοσης στοιχείου (%)	14,3
Δεδομένα σε κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου	
Ονομαστική Ισχύς (Wr)	169
Τάση σε ονομαστική Ισχύ (V)	25,37
Τάση ανοιχτοκύκλωσης (V)	33,05
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης (A)	6,89
Συντελεστές Θερμοκρασίας	
Συντελεστής μεταβολής ισχύος (%/K)	-0,43
Συντελεστής μεταβολής τάσης ανοιχτοκύκλωσης (%/K)	-0,35
Συντελεστής μεταβολής ρεύματος βραχυκύκλωσης (%/K)	0,03
Γενικά Χαρακτηριστικά	
Κυψέλες ανά στοιχείο	60
Τύπος Κυψέλης	Πολυκρυσταλλικοί (156 mmX156mm)
Βαθμός Προστασίας	IP65
Υλικό Πρόσοψης	Επισκληρυμένο ηλιακό τζάμι
Υλικό Πλαίσιο	Πλαίσιο με κοίλο θάλαμο από ανοδιωμένο αλουμίνιο
Διαστάσεις και Βάρος	
Διαστάσεις (mm)	1,660 X 990 X 40
Βάρος (kg)	20
Όρια	
Τάση συστήματος (V)	1.000
Μέγιστο ρεύμα αναστροφής πόλωσης (A)	12

Για την αγορά του παραπάνω συστήματος απαιτούνται 2.800 ευρώ/ kW βάση των τιμών αγοράς για το έτος 2017 και πρακτικά το κόστος συντήρησης είναι πολύ χαμηλό, οπότε πρακτικά το θεωρούμε αμελητέο. Επιπλέον, σημαντικός είναι και ο παράγοντας του χρόνου ζωής του συστήματος, που υπολογίζεται στα 25 χρόνια. Μετά το πέρας των 25 ετών θα πρέπει να γίνει αντικατάσταση είτε ολόκληρου του εξοπλισμού είτε μέρος των εξαρτημάτων του έτσι ώστε να διατηρηθεί η απόδοση σε υψηλά ποσοστά.

5.2.2. Ανεμογεννήτρια

Για την αυτόνομη οικία μας έχουμε επιλέξει έπειτα από μελέτη τις ανεμογεννήτριες Inclin της εταιρείας Borngay, καθώς μπορούν να λειτουργούν παράλληλα με Φ/Β. Αυτό το επιτυγχάνουν επειδή διαθέτουν κατάλληλες διατάξεις ελέγχου της παραγόμενης ισχύος και ρύθμισης της τάσης εξόδου για να λειτουργούν ευέλικτα και να μπορούν να συνδυάζονται με Φ/Β.

Ένας επιπλέον λόγος για την επιλογή τους είναι το εύρος ισχύος τους που είναι από 600- 6000 V, καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας μας. Η εγκατάσταση τους μπορεί να γίνει σε πύργο και η συντήρηση τους είναι απλή σχετικά, με την εταιρεία να συνιστά δύο ετήσιους οπτικούς ελέγχους των κινούμενων μερών και την αναπροσαρμογή πίεσης στα μπουλόνια τους.

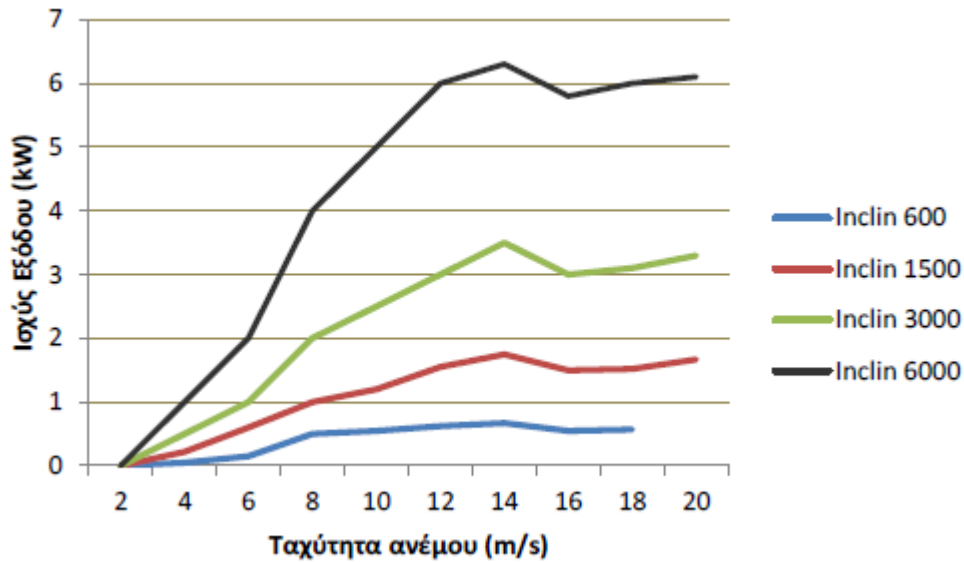
Κατασκευαστικά, τα πτερύγια τους είναι από ανθράκνημα και φάιμπεργκλας, δίνοντας εγγύηση στην καλή λειτουργικότητα και αντοχή του συστήματος. Στους Πίνακας 19 και Πίνακας 20 παρουσιάζονται η ισχύς εξόδου με την ταχύτητα του ανέμου και τα κόστη για το κάθε μοντέλο αντίστοιχα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Α/Γ. Στο Σχήμα 30 φαίνονται οι καμπύλες ισχύος των τριών Α/Γ.

Α/Γ	Inclin600		Inclin1500		Inclin3000		Inclin6000	
	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Ισχύς Εξόδου(kW)	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Ισχύς Εξόδου(kW)	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Ισχύς Εξόδου(kW)	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Ισχύς Εξόδου(kW)
Δεδομένα	2	0	2	0	2	0	2	0
	4	0,05	4	0,22	4	0,5	4	1
	6	0,15	6	0,6	6	1	6	2
	8	0,5	8	1	8	2	8	4
	10	0,55	10	1,2	10	2,5	10	5
	12	0,62	12	1,55	12	3	12	6
	14	0,67	14	1,75	14	3,5	14	6,3
	16	0,55	16	1,5	16	3	16	5,8
	18	0,57	18	1,52	18	3,1	18	6
			20	1,67	20	3,3	20	6,1
Κόστος	3.861 ευρώ		4.996 ευρώ		7.567 ευρώ		12.994 ευρώ	

Πίνακας 19. Ισχύς εξόδου συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την Α/Γ και κόστος εγκατάστασης (Borray, 2012).

	Inclin600	Inclin1500	Inclin3000	Inclin6000
Γενικά Χαρακτηριστικά				
Αριθμός Πτερυγίων	2	2	2	3
Διάμετρος (m)	2	2,7	3,7	3,7
Υλικό	Φάιμπεργκλας και ανθρακόνημα			
Ηλεκτρικό Σύστημα				
Τύπος	Τριφασική σύγχρονη γεννήτρια μόνιμων μαγνητών			
Μαγνήτες	Φερρίτη	Νεοδημίου	Νεοδημίου	Νεοδημίου
Ονομαστική Ισχύς (W)	600	1500	3000	6000
Τάση (V)	12,24,48	24,48,120,300	24,48,120,300	48,120,300
Ρυθμιστής	Ψηφιακός			
Λειτουργία				
Ταχύτητα Έναρξης (m/s)	3,5	3,5	3,5	3,5
Ταχύτητα ονομαστικής ισχύος εξόδου (m/s)	11	12	12	12
Ταχύτητα Αποκοπής (m/s)	13	14	14	15
Βάρος και Διαστάσεις				
Καθαρό Βάρος (kg)	38	42	125	150
Μεικτό Βάρος (kg)	46	50	150	200
Διαστάσεις πακέτου (cm)	28X42X102	153X27X70	218X54X74	260X69X69

Πίνακας 20. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Α/Γ (Bornay, 2012).



Σχήμα 30. Καμπύλες Ισχύος για τις Α/Γ (Bornay, 2012).

Οι Α/Γ πλέον οι περισσότερες λειτουργούν με 120.000 ώρες σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους, που είναι ίσο με 25 χρόνια ζωής. Το κόστος συντήρησης της Α/Γ αυξάνεται με το χρόνο λειτουργίας της και αυτό εκτιμάται σε ένα εύρος 1,5-2% του αρχικού κόστους επένδυσης ανάλογα την Α/Γ που χρησιμοποιείται ανά έτος. Έτσι, με το πιο ακριβό σενάριο στην περίπτωση μας έχουμε τις εξής επιλογές:

- Inclined 600: $2\% \cdot 3861 = 77,22$ ευρώ/ έτος
- Inclined 1500: $2\% \cdot 4996 = 99,92$ ευρώ/ έτος
- Inclined 3000: $2\% \cdot 7567 = 151,34$ ευρώ/ έτος
- Inclined 6000: $2\% \cdot 12994 = 259,88$ ευρώ/ έτος

5.2.3. Μπαταρίες

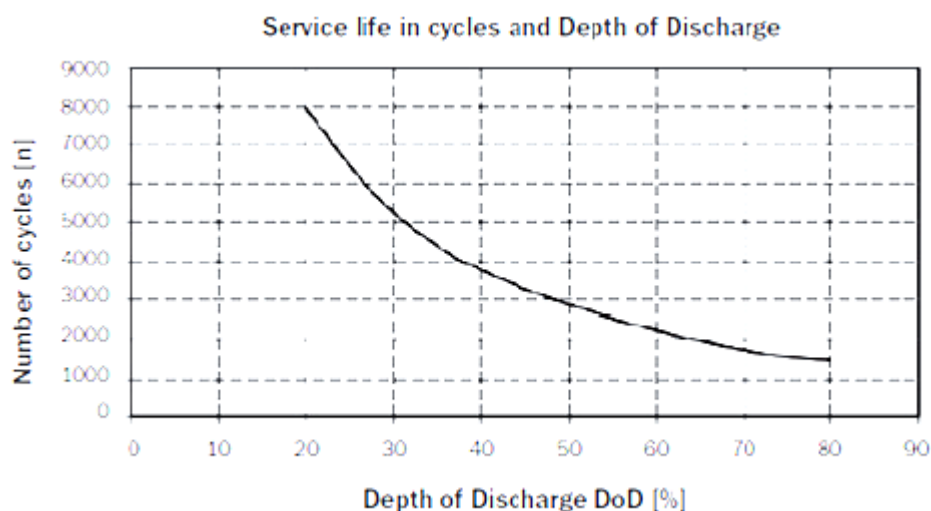
Μετά τη μελέτη μας επιλέξαμε τις μπαταρίες τύπου OPzS της εταιρείας Horphecke, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν 620 Ah χωρητικότητα με ένα κόστος αγοράς 600 ευρώ και η διάρκεια ζωής της είναι όσοι και οι κύκλοι εκφόρτισης της. Τέλος το κόστος συντήρησης της είναι μηδενικό. Στον Πίνακα 21 φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά της.

Ονομαστική Χωρητικότητα (Ah)	620
Ονομαστική Τάση (V)	2 ανά στοιχείο
Ελάχιστη Φόρτιση (%)	30
Μέγιστο Ρεύμα Φόρτισης (A)	122
Απόδοση (%)	86
Βάρος Ηλεκτρολύτη (kg)	10,1
Μέγιστο Μήκος (mm)	147
Μέγιστο Ύψος (mm)	535
Μέγιστο Πλάτος (mm)	208

Πίνακας 21. Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Μπαταρίας OPzS 620.

Ικανότητα (Ah)	
C ₁₀₀ /1.85V	620.0
C ₅₀ /1.85V	585.0
C ₂₄ /1.83V	542.4
C ₁₀ /1.80V	468.0
C ₅ /1.77V	414.0

Πίνακας 22. Ικανότητα Μπαταριών για διάφορους χρόνους εκφόρτισης και τάση στοιχείων.



Σχήμα 31. Διάρκεια Ζωής βάση του βάθους εκφόρτισης της μπαταρίας (HOPPECKE, 2015).

5.2.4. Μετατροπέας

Για να υποστηριχθεί το αυτόνομο σύστημα θα πρέπει να γίνει χρήση ενός μετατροπέα, ώστε να μετατραπεί η συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη, αλλά και το αντίστροφο. Υπάρχουν και συσκευές που ονομάζονται αντιστροφείς, οι οποίοι είναι μετατροπείς και στατές ηλεκτρονικές διατάξεις, οι οποίες μετατρέπουν μία πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος σε εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Πρακτικά λοιπόν ο αντιστροφέας είναι ένας μετατροπέας όπου είναι εφικτή η αμφίπλευρη ροή ισχύος.

Στην περίπτωση μας επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τον αντιστροφέα τύπου TOP CLASS 35/48 της εταιρείας ASP και ο ψηφιακός ρυθμιστής είναι ο PHOCOS PL60 Ampere με συνολικό κόστος αγοράς να είναι στα 4.175 ευρώ. Η διάρκεια ζωής του είναι στα 8 χρόνια απαιτώντας μηδενικό κόστος συντήρησης. Στον Πίνακα 23 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Είσοδος	
Τάση Λειτουργίας (V)	48
Εύρος Τάσης Λειτουργίας (V)	42-64
Ένταση (A)	80
Ισχύς σε Συνεχή Λειτουργία (kW)	3.5
Έξοδος	
Συχνότητα (Hz)	50

Ένταση (A)	15,6
Απόδοση (%)	93
Γενικά Δεδομένα	
Εύρος Θερμοκρασίας περιβάλλοντος (°C)	-25 έως +50
Διαστάσεις (mm)	456X320X211
Προστασία IP	IP20
Βάρος (kg)	3

Πίνακας 23. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα (ASP, 2014).

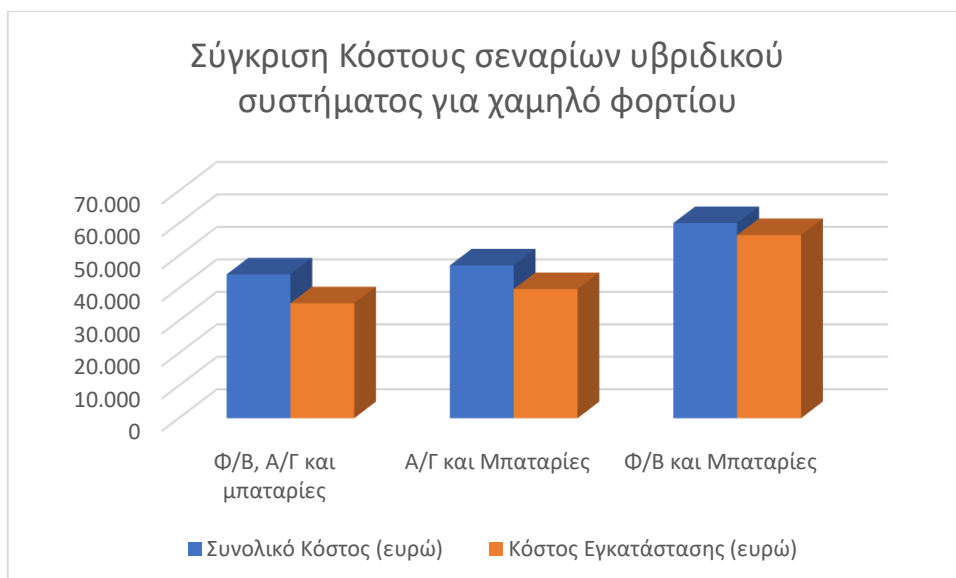
5.3. Συγκριτική Ανάλυση Κόστους Αποθήκευσης Ενέργειας με το Κόστος Αγοράς του Δικτύου.

Βάση της έρευνας κόστους που αναφέρουμε παραπάνω αναλύουμε σε αυτό το κεφάλαιο συγκριτικά το συνολικό κόστος της λειτουργίας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος με αυτό του κόστους αγοράς από το δίκτυο.

Έχουμε επιλέξει τρία σενάρια για να αναλυθούν με το κόστος αγοράς του δικτύου για να καταλήξουμε πιο είναι το πιο συμφέρον οικονομικά. Στους Πίνακας 24, Πίνακας 25 και Πίνακας 26 παρουσιάζονται τα κόστη για τα τρία σενάρια, τα οποία είναι Φ/Β με Α/Γ και μπαταρίες, Φ/Β με μπαταρίες και Α/Γ με μπαταρίες, για την περίπτωση χαμηλού, μέσου και υψηλού φορτίου.

	Συνολικό Κόστος (ευρώ)	Κόστος Εγκατάστασης (ευρώ)	Μέσο Ανηγμένο κόστος λειτουργίας (ευρώ/έτος)
Φ/Β, Α/Γ και μπαταρίες	44.300	35.400	700
Α/Γ και Μπαταρίες	47.050	39.740	575
Φ/Β και Μπαταρίες	60.080	56.380	1.330

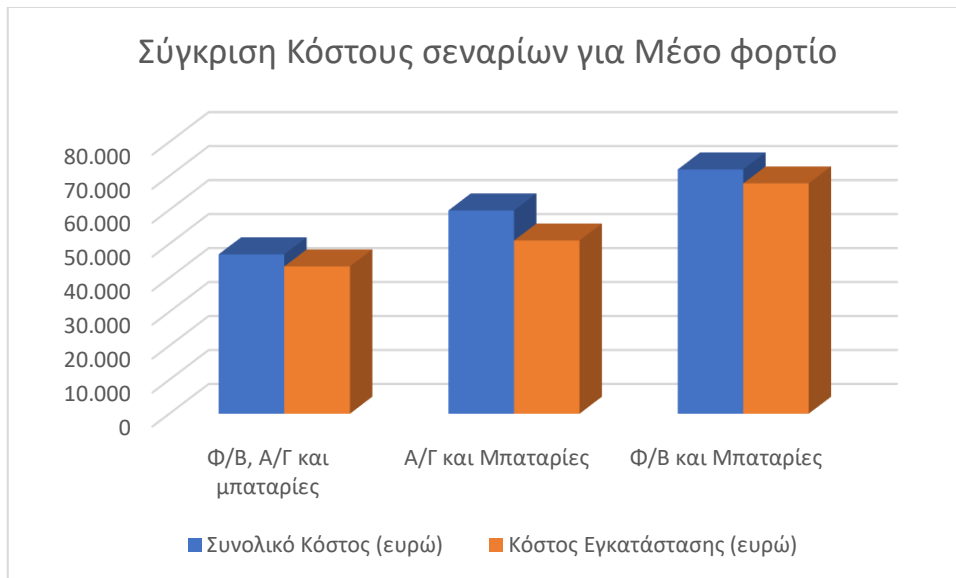
Πίνακας 24. Σύγκριση Κόστους των σεναρίων υβριδικού συστήματος κατοικίας για χαμηλό φορτίο.



Σχήμα 32. Σχηματική απεικόνιση κόστους για χαμηλό φορτίο.

	Συνολικό Κόστος (ευρώ)	Κόστος Εγκατάστασης (ευρώ)	Μέσο Ανηγμένο κόστος λειτουργίας (ευρώ/έτος)
Φ/Β, Α/Γ και μπαταρίες	46.900	43.350	280
Α/Γ και Μπαταρίες	59.820	50.960	695
Φ/Β και Μπαταρίες	71.890	67.770	325

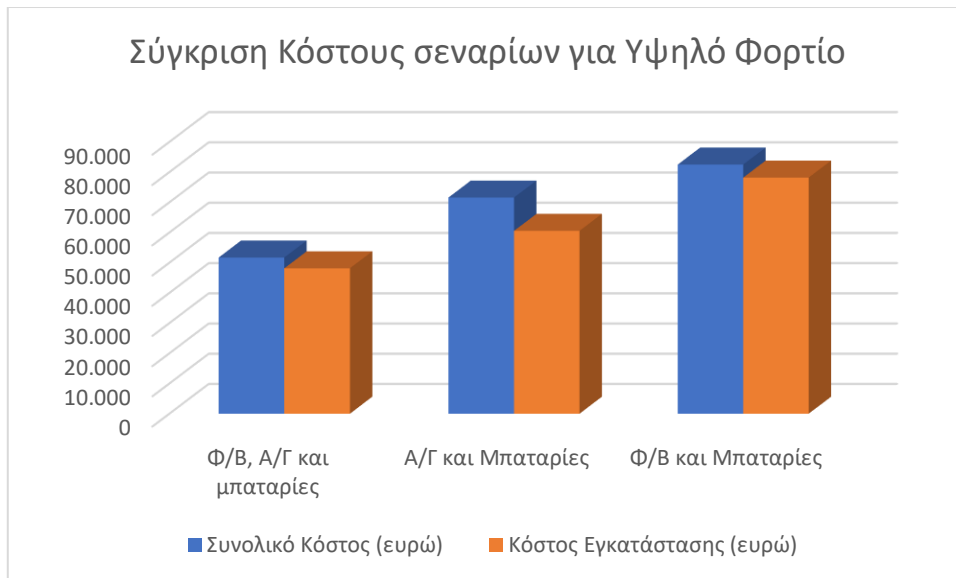
Πίνακας 25. Σύγκριση Κόστους των σεναρίων υβριδικού συστήματος κατοικίας για μέσο φορτίο



Σχήμα 33. Σχηματική απεικόνιση κόστους για χαμηλό φορτίο.

	Συνολικό Κόστος (ευρώ)	Κόστος Εγκατάστασης (ευρώ)	Μέσο Ανηγμένο κόστος λειτουργίας (ευρώ/έτος)
Φ/Β, Α/Γ και μπαταρίες	51.700	48.140	280
Α/Γ και Μπαταρίες	71.560	60.540	863
Φ/Β και Μπαταρίες	82.480	78.170	340

Πίνακας 26. Σύγκριση Κόστους των σεναρίων υβριδικού συστήματος κατοικίας για υψηλό φορτίο



Σχήμα 34. Σχηματική απεικόνιση κόστους για χαμηλό φορτίο.

Από την παραπάνω ανάλυση στον πίνακα καταλήγουμε ότι οικονομικότερη λύση για το χαμηλό, μέσο και υψηλό φορτίο φαίνεται να είναι ο συνδυασμός των Φ/Β, Α/Γ και μπαταρίας.

Είναι γνωστό ότι τα συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν Α/Γ εμφανίζουν μεγάλη περίσσια ενέργειας, καθώς ο άνεμος αποτελεί μία πηγή ενέργειας η οποία έχει μηδενικό κόστος. Παρόλ' αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι η στην περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης της οικίας και με το δίκτυο για να πωλείται η περίσσια ενέργεια, η οικονομικότητα του συστήματος θα αυξανόταν κατακόρυφα, αφού για παράδειγμα στην περίπτωση υψηλού φορτίου υπάρχει ένα ποσοστό περισσιας ενέργειας της τάξης του 81,6%, το οποίο είναι ίσο με 55.325 kWh/ έτος. Με δεδομένο ότι η τιμή πώλησης της ενέργειας στο δίκτυο για την τεχνολογία της Α/Γ και των Φ/Β είναι στα 0,25 ευρώ/ kWh, καταλήγουμε ότι θα έχουμε ένα κέρδος ετήσιο ίσο με 13.831,25 ευρώ. Διατηρώντας την απόδοση του συστήματος στα ίδια επίπεδα για τα 25 χρόνια λειτουργίας του συστήματος, καταλήγουμε ότι το συνολικό κέρδος από την πώληση ενέργειας στο δίκτυο για αυτά τα χρόνια θα είναι ίσο περίπου με 66.000 ευρώ.

Βέβαια για την περιοχή μελέτης μας, η οποία είναι η Κρήτη, θα πρέπει να πούμε ότι αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, καθώς η ΡΑΕ δεν δίνει τη δυνατότητα αδειοδότησης για την πώληση της ενέργειας από οικίες στο δίκτυο παροχής ενέργειας.

Συγκριτικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ, τα δεδομένα είναι τα εξής:

- Η αγορά του ρεύματος από το δίκτυο της ΔΕΗ είναι στα 0,18 ευρώ/ kWh
- Τα πάγια τα οποία συνυπολογίζονται στην τελική τιμή που πληρώνει ο καταναλωτής στη ΔΕΗ είναι στα 0,05 ευρώ/ kWh
- Άρα, το σύνολο της τιμής για τον τελικό καταναλωτή που αγοράζει το ηλεκτρικό ρεύμα εξ' ολοκλήρου από τη ΔΕΗ είναι στα 0,23 ευρώ/ kWh

Στο βέλτιστο σύστημα Α/Γ, Φ/Β και μπαταρίας που μελετήθηκε από εμάς το μέσο ανηγμένο κόστος θα είναι περίπου στα 0,141 ευρώ/ kWh για τις περιπτώσεις του χαμηλού, μέσου και υψηλού φορτίου.

Όσον αφορά τη δική μας περίπτωση με την κατοικία και τις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται, η συνολική ισχύς των συσκευών υπολογίζεται στα 10,381 Watt. Άρα, βάση των παραπάνω την ημέρα η οικία θα καταναλώνει 51.905 kWh και θα πληρώνει 11,938 ευρώ. Αν γίνει αναγωγή στο έτος τότε θα ισχύει ότι οι θα καταναλώνει 18.945,325 kWh και θα πληρώσει 4.357,425 ευρώ (ΔΕΗ, 2015). Τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού συστήματος της ΔΕΗ.

Οι τεχνολογίες οι οποίες μελετάμε θα λειτουργούν για 25 χρόνια. Βάση των παραπάνω θα πρέπει ο τελικός καταναλωτής να πληρώσει στα 25 χρόνια στη ΔΕΗ:

$$K = 4.357,425 * 25 \text{ χρόνια} = 108.936 \text{ ευρώ}$$

Είναι εμφανές ότι ακόμα και στο πιο δυσχερές σενάριο, ο καταναλωτής θα κάνει απόσβεση των χρημάτων του για τις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί και θα είναι κερδισμένος. Παρολ' αυτά στην περίπτωση που το σύστημα θα μπορούσε να είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, έτσι ώστε να πουλάει την περίσσεια ενέργειας που δε θα χρησιμοποιεί, θα ήταν το βέλτιστο σενάριο, αλλά αυτό δεν αποτελεί μελέτη περίπτωσης στην παρούσα εργασία.

6. Συμπεράσματα

Καταλήγοντας στα συμπεράσματα, σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε μετά την αναγωγή του μικρού αυτόνομου συστήματος παρακολούθησης μίας οικίας, το οποίο περιλαμβάνει είτε Φ/Β, Α/Γ και μπαταρίες είτε Φ/Β και μπαταρίες είτε Α/Γ και μπαταρίες. Έπειτα συγκρίναμε αν αυτό το σύστημα είναι οικονομικά αποδοτικό για τον τελικό καταναλωτή, από το να αγοράζει εξ' ολοκλήρου το ρεύμα από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας, τη ΔΕΗ.

Όπως έχει προαναφερθεί, αρχικά εξετάστηκε η δυνατότητα του σχεδιασμού και υλοποίησης ενός αυτόνομου, μικρού και οικονομικού συστήματος παρακολούθησης, για εγκατάσταση στην περιοχή της Κρήτης σε μία οικία. Θεωρούμε με μεγάλη βεβαιότητα ότι μια τέτοια εγκατάσταση είναι δυνατή με βάση τις απαιτήσεις και τις προτεραιότητες που τέθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη και προχωρήσαμε στη μελέτη των ενεργειακών αναγκών της.

Έπειτα έγινε η μελέτη και η κοστολόγηση του συστήματος που αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε και καταλήξαμε αν χρησιμοποιήσουμε το σύστημα και με Φ/Β, Α/Γ και μπαταρίες είναι το οικονομικότερο για την οικία και στην περίπτωση χαμηλού, μέσου και υψηλού φορτίου.

Αναφέρουμε βέβαια, ότι ιδανικά αν θα υπήρχε η δυνατότητα διασύνδεσης του συστήματος με το δίκτυο της ΔΕΗ έτσι ώστε να μπορεί ο καταναλωτής να πουλήσει την περίσσεια ενέργεια στο δίκτυο, έστω και κατά 50% και να μπορεί να χρησιμοποιήσει την υπόλοιπη για τις ανάγκες του, θα ήταν το ιδανικό σενάριο. Η περίοδος αποπληρωμής του αρχικού κόστους εγκατάστασης θα μειωνόταν αρκετά και πρακτικά θα ήταν πιο ευέλικτη επιλογή για αυτούς που διαμένουν στην κατοικία. Παρόλ' αυτά αυτό το σενάριο δεν αποτελεί μέρος της μελέτης της εργασίας. Θα μπορούσε να μελετηθεί σε μετέπειτα χρόνο από νέους φοιτητές.

Βιβλιογραφία

ASP, 2014. https://www.shop.solar-wind.co.uk/acatalog/solon_ac_to_dc_inverters.html.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: https://www.shop.solar-wind.co.uk/acatalog/solon_ac_to_dc_inverters.html

[Πρόσβαση Monday February 2018].

Baterriesdirect, 2004. <https://www.batteriesdirect.com.au>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.batteriesdirect.com.au/shop/product/23489/2089007.html>

[Πρόσβαση Monday February 2018].

Bornay, 2012. www.bornay.com. [Ηλεκτρονικό]

Available at: www.bornay.com

[Πρόσβαση Monday January 2018].

Eco Sun, 2016. <http://www.ecosun.gr/>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.ecosun.gr/>

[Πρόσβαση Friday February 2018].

HOPPECKE, 2015. <https://www.hoppecke.com/>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.hoppecke.com/>

[Πρόσβαση Monday January 2017].

Linden, D. & Reddy, T., 2001. *Handbook for Batteries*. 3rd επιμ. s.l.:Mc graw - Hill.

Linden, D. & Thomas , R. B., 2002. *Handbook of Batteries*. 3rd επιμ. New York: McGraw - Hill.

Luque, A. & Hegedus, S., 2003. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 1η επιμ. s.l.:John Wiley & Sons Ltd.

Makvart, T. & Castaner, L., 2003. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Elsevier Ltd.

Markvart, T. & Castaner, L., 2003. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Elsevier.

MIT Electric Vehicle Team, 2008. <http://web.mit.edu>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf

[Πρόσβαση Monday November 2017].

OLYMPIC, 2017. <https://www.oleng.eu>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.oleng.eu/aytonomous-photovoltaics-batteries/#toggle-id-2>
[Πρόσβαση Monday] February 2018].

Αντωνακόπουλος, Μ., 2010. *Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας που συνδυάζει ΑΠΕ και Τεχνολογίες Υδρογόνου*. 1η επιμ. Αθήνα: ΕΜΠ.

ΔΕΗ, 2015. <https://www.helppost.gr>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.helppost.gr/dei/ypologismos-reuma-katanalosi/>
[Πρόσβαση Τετάρτη Μάρτιος 2018].

Ιγγλέζου, Ν., 2013. *Ανάλυση Λειτουργίας και Μοντελοποίηση Συσσωρευτών*. 1η επιμ. Αθήνα: ΕΜΠ.

Καραϊσάς, Π., 2013. *Φωτοβολταϊκά - Συστήματα & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. 1η επιμ. Αθήνα: Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων.

Κορωναίος, Χ. Ι., 2012. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. 1η επιμ. Αθήνα: ΕΜΠ.

Κώτσης, Γ., 2012. *Μοντελοποίηση των συσσωρευτών τύπου VRB και η εφαρμογή τους σε υβριδικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας*. 1η επιμ. Αθήνα: ΕΜΠ.

Μακρής, Δ. & Κουπίδης, Θ., 2012. *ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ*, ΚΑΒΑΛΑ: ΤΕΙ ΚΑΒΑΛΑΣ.

Παπακωνσταντίνου, Κ., 2015. *Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών - αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης*. 1η επιμ. Αθήνα: ΕΜΠ.

Τζιμενάκη, Ε., 2014. *ΜΕΛΕΤΗ Φ/Β ΕΚΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ*. 1η επιμ. Θεσσαλονίκη: ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

Τσιουμπρή, Ε., 2012. *Συσσωρευτές στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. 1η επιμ. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Τσούτσος, Θ., 2006. *ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. 1η επιμ. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.