



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία»**

**Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία  
Η χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας σε ιστιοπλοϊκό σκάφος αναψυχής  
The use of renewable energy sources in a cruising sailboat**

Συγγραφέας:  
Χανίδης Βασίλειος  
Α.Μ.: 1911

Επιβλέπων:  
Δρ. Λιβανός Γεώργιος

Αιγάλεω, 2023





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**

**«Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία»**

**Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία**

**Τίτλος**

**Η χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας σε ιστιοπλοϊκό σκάφος αναψυχής**

**Συγγραφέας**

Χανίδης Βασίλειος (Α.Μ.: 1911)

**Επιβλέπων**

Δρ. Λιβανός Γεώργιος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

**Ημερομηνία εξέτασης**

10 Απριλίου 2023

**Εξεταστική Επιτροπή**

Δρ. Λιβανός Γεώργιος  
Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Δρ. Δημητρέλλου Σωτηρία  
Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Δρ. Παγώνης Δημήτριος-Νικόλαος  
Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χανίδης Βασίλειος του Σωκράτη, με αριθμό μητρώου 1911 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Χανίδης Βασίλειος



## Περίληψη

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η θεωρητική μετατροπή ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους σε ένα αυτόνομο ηλεκτροκινούμενο ιστιοπλοϊκό σκάφος. Η ενέργεια που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων του σκάφους, καθώς και η ενέργεια που καταναλώνει ο ηλεκτροκινητήρας, παράγεται εξ ολοκλήρου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής και στην ταξινόμηση τους με βάση διάφορα χαρακτηριστικά τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σκάφος, οι εφαρμογές των οποίων παρουσιάζονται στο τρίτο κεφάλαιο.

Στα κεφάλαια τέσσερα, πέντε και έξι γίνεται αναφορά στους συσσωρευτές και αντιστροφείς τάσης, στον ηλεκτροκινητήρα και στην ηλεκτρική εγκατάσταση με αντίστοιχη παρουσίαση των συστημάτων που επιλέχθηκαν στη συγκεκριμένη μετατροπή.

Η λειτουργία της εγκατάστασης, με αναφορά στη διάταξη των μπαταριών χρήσης του σκάφους και των μπαταριών του ηλεκτροκινητήρα, ο τρόπος φόρτισης αυτών των συσσωρευτών με τους επιλεγμένους ρυθμιστές φόρτισης και μετατροπείς τάσης, γίνεται στο έβδομο κεφάλαιο. Τέλος στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο καταγράφεται το τελικό συμπέρασμα της εργασίας.

## Λέξεις κλειδιά

Ιστιοπλοϊκό σκάφος, αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, φωτοβολταϊκό σύστημα, ανεμογεννήτρια, υδρογεννήτρια, ηλεκτρικοί συσσωρευτές, μπαταρία, αντιστροφέας τάσης, ηλεκτροκινητήρας, ρυθμιστής φόρτισης, μετατροπέας τάσης

## Abstract

In this work, the theoretical conversion of a sailing vessel into an autonomous electrically powered sailing vessel is presented. The energy required for the smooth operation of the boat's electrical systems, as well as the energy consumed by the electric motor, is produced entirely from renewable energy sources.

In the first chapter, reference is made to sailing cruising boats and their classification, based on their various characteristics. In the second chapter, renewable energy sources to produce electricity on board are analyzed, the applications of which are presented in the third chapter.

In chapters four, five and six reference is made to the accumulators and inverters, the electric motor, and the electrical installation with a presentation of the systems chosen in the specific conversion.

The operation of the installation, with reference to the arrangement of the boat's utility (house) batteries and the electric motor batteries, the charging of those batteries with the selected charge regulators and voltage converters, is done in the seventh chapter. Finally, the conclusion of the work is recorded in the eighth and last chapter.

## Key words

Sailing boat, wind power, solar power, hydroelectric power, photovoltaic system, wind turbine, hydro generator, electric accumulators, battery, inverter, electric motor, charge controller, voltage converter

# Περιεχόμενα

Πρόλογος	9
Κεφάλαιο 1: Ιστιοπλοϊκά σκάφη	11
1.1 Ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής	11
1.2 Κατάταξη ιστιοπλοϊκών σκαφών	11
1.3 Ταξινόμηση ιστιοπλοϊκών με βάση το κύτος	12
1.4 Ταξινόμηση βάση καρίνας	12
1.5 Ταξινόμηση βάση ιστίων	13
Κεφάλαιο 2: Εναλλακτικές πηγές ενέργειας	15
2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	15
2.2 Αιολική ενέργεια	15
2.3 Ηλιακή ενέργεια	16
2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια	17
Κεφάλαιο 3: Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές	19
3.1 Εφαρμογές στα ιστιοπλοϊκά σκάφη	19
3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα	20
3.3 Ανεμογεννήτριες	21
3.4 Υδρογεννήτριες	22
Κεφάλαιο 4: Συσσωρευτές – Αντιστροφείς τάσης	23
4.1 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές -Μπαταρίες	23
4.2 Βασικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών	24
4.3 Εξαρτήματα συσσωρευτών	28
4.4 Τύποι επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών	29
4.5 Αντιστροφείς τάσης	40
4.6 Αρχή λειτουργίας και τύποι αντιστροφένων	41
Κεφάλαιο 5: Σκάφος – Ηλεκτροκινητήρας	45
5.1 Σκάφος μοντέλο	45
5.2 Ηλεκτροκινητήρας ELCO Electric Inboard Motor	46



Κεφάλαιο 6: Ηλεκτρική εγκατάσταση	49
6.1 Βασικά στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης σκάφους	49
6.2 Ηλεκτρικό κύκλωμα σκάφους	49
6.3 Καταγραφή φορτίων	53
6.4 Υπολογισμός καταναλώσεων εγκατεστημένου εξοπλισμού	56
6.5 Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτροκινητήρα	57
Κεφάλαιο 7: Λειτουργία εγκατάστασης	61
7.1 Διάταξη μπαταριών σκάφους	61
7.2 Τρόπος φόρτισης AGM μπαταριών	62
7.3 Φόρτιση μπαταριών ηλεκτροκινητήρα	64
7.4 Ρυθμιστές φόρτισης	66
7.5 Μετατροπέας DC/DC 12V σε 36V	67
7.6 Φόρτιση μπαταριών χρήσης / Φωτοβολταϊκό σύστημα σκάφους	69
7.7 Φόρτιση μπαταριών χρήσης / Υδρογεννήτρια Cruising 600W	73
7.8 Φόρτιση μπαταριών χρήσης / Ανεμογεννήτρια LE 300	76
7.9 Αντιστροφέας τάσης και φορτιστής 12V	78
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα	82
8.1 Συμπεράσματα	82
Βιβλιογραφία	83
Παράρτημα	86

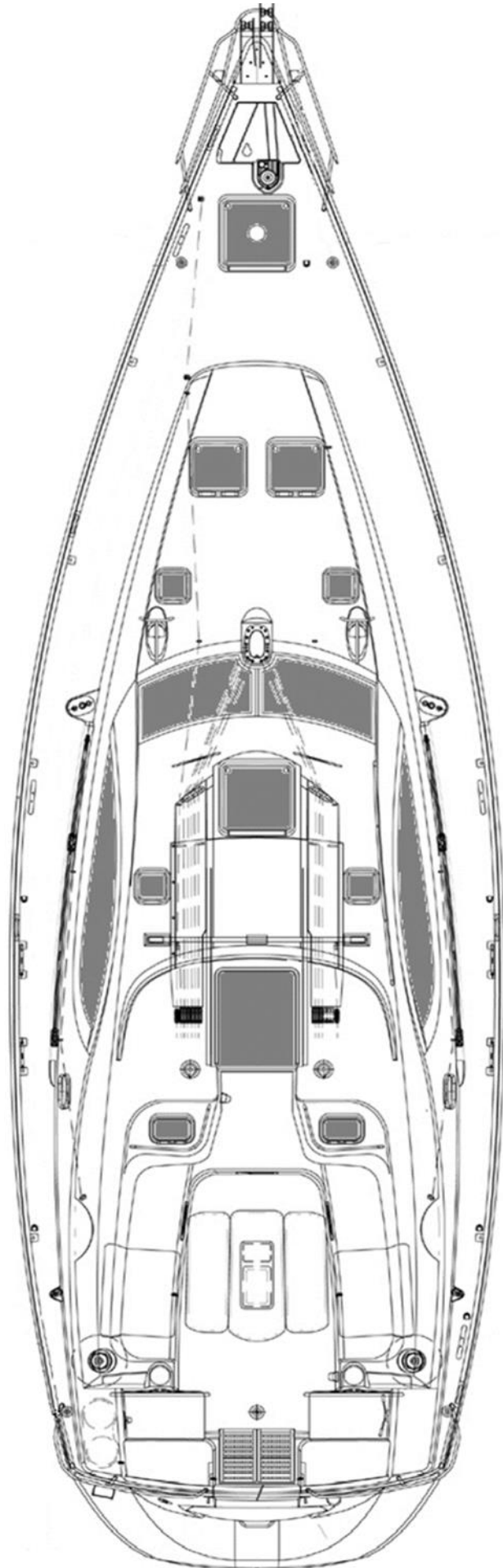
## Πρόλογος

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η θεωρητική μετατροπή ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους σε ένα αυτόνομο ηλεκτροκινούμενο σκάφος, που παράγει το σύνολο της απαιτούμενης ενέργειας, από ανανεώσιμες πηγές. Αντικαθίσταται ο κινητήρας εσωτερικής καύσης με ηλεκτροκινητήρα, και όλα τα υπόλοιπα συστήματα και συσκευές καταναλώνουν την ενέργεια που παράγεται και αποθηκεύεται στους συσσωρευτές.

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι να αποδείξει κατά πόσο είναι δυνατή η συγκεκριμένη μετατροπή, το πόσο εφικτή είναι η εύρυθμη λειτουργία του σκάφους, αλλά και να επισημάνει τυχόν περιορισμούς που προκύπτουν.

Η επιλογή ενός ιστιοπλοϊκού σκάφους έναντι ενός άλλου τύπου σκάφους π.χ. ενός ταχύπλου σκάφους με μεγαλύτερη ιπποδύναμη κινητήρων έγινε κυρίως επειδή στα ιστιοπλοϊκά η χρήση του κινητήρα είναι περιορισμένη, καθώς η κίνηση του σκάφους επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση των πανιών τους και ο κινητήρας έχει κυρίως επικουρικό ρόλο. Η μετατροπή ενός ταχυπλόου θα απαιτούσε τη χρήση μεγαλύτερου ηλεκτροκινητήρα και περισσότερων συσσωρευτών, κάτι που θα προσέθετε μεγαλύτερο βάρος στο σκάφος και θα καθιστούσε τη μετατροπή ασύμφορη και κυρίως ακατάλληλη.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μετατροπής είναι, η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών ρύπων ενός ιστιοφόρου έως και το βαθμό μηδενικών εκπομπών ρύπων, η εύκολη, αθόρυβη και χωρίς κραδασμούς λειτουργία, με άμεση απόκριση, διατηρώντας την εύρυθμη λειτουργία του σκάφους, με όλες τις ανέσεις στους χώρους ενδιαίτησης του.



# Κεφάλαιο 1: Ιστιοπλοϊκά σκάφη

## 1.1 Ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής

Ως ιστιοφόρο χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε σκάφος ή πλωτό ναυπήγημα που αποκλειστικό μέσο πρόωσης του έχει την αιολική ενέργεια, τον άνεμο επί των ιστίων του (πανιά) τα οποία και φέρει, εξ ου και η ονομασία του.<sup>[1]</sup> Τα ιστιοπλοϊκά σκάφη αποτελούν ειδικό τύπο πλοίων, η πρόωση των οποίων βασίζεται στην ώθηση που αναπτύσσουν με τα πανιά τους υπό την επίδραση του ανέμου, χωρίς παράλληλα να αποκλείουν την ύπαρξη μηχανής. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO ιστιοπλοϊκό μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε σκάφος που έχει σαν κύριο μέσο πρόωσης την ώθηση του ανέμου και ικανοποιεί την σχέση :

$$A_s > 0.07 \times (m_{LDC})^{2/3}$$

Όπου  $A_s$  η συνολική επιφάνεια της ιστιοφορίας αποτελούμενη από το πρωαίο και το κυρίως τρίγωνο, ενώ  $m_{LDC}$  το εκτόπισμα του σκάφους σε kg στην Full Load Departure κατάσταση.<sup>[2]</sup>

Σκάφος αναψυχής είναι ένα σκάφος που σχεδιάστηκε για τη ρητή ευχαρίστηση του ιδιοκτήτη του. Τα σκάφη αυτά είναι μια εφεύρεση των Ολλανδών του 14ου αιώνα. Οι Ολλανδοί χρησιμοποίησαν μικρά, γρήγορα σκάφη για να κυνηγήσουν λαθρέμπορους, πειρατές και εγκληματίες. Πλούσιοι ιδιοκτήτες πλοίων και έμποροι άρχισαν να χρησιμοποιούν αυτά τα μικρά «jaghts» για να ταξιδεύουν, για να γιορτάσουν την επιστροφή των εμπορικών τους πλοίων και για αναψυχή. <sup>[3]</sup>

Σήμερα υπάρχει πληθώρα διάφορων τύπων ιστιοπλοϊκών σκαφών, που απευθύνονται σε λάτρεις της θάλασσας, οι οποίοι ταξιδεύουν με τα σκάφη τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτή η διάρκεια των ταξιδιών καθιστά την κατανάλωση και την πηγή της ενέργειας αυτής, σημαντικό παράγοντα, στην ομαλή και άνετη διεξαγωγή των θαλάσσιων ταξιδιών. Ακολουθεί η κατηγοριοποίηση των ιστιοπλοϊκών σκαφών με βάση κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

## 1.2 Κατάταξη ιστιοπλοϊκών σκαφών

Όπως υποδηλώνει το όνομα, τα ιστιοφόρα στηρίζονται στη δύναμη του ανέμου για πρόωση και χρησιμοποιούν ένα μεγάλο πανί ή συνθετικά πανιά για το σκοπό αυτό. Τα ιστιοφόρα θεωρούνται ξεχωριστή κατηγορία σκαφών ανεξάρτητα από μηχανοκίνητα σκάφη, καθώς τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά τους διαφέρουν. Μπορούν να ποικίλουν ως προς τη χωρητικότητα από τα μονοθέσια σκάφη για αγώνες σε σκάφη αναψυχής που εκτείνονται σε δεκάδες μέτρα. Ο πιο συνηθισμένος τύπος ιστιοφόρου στην αγορά είναι η μικρή παραλλαγή αγωνιστικού σκάφους που χρησιμοποιείται σε αγώνες ιστιοπλοΐας σε όλο τον κόσμο. <sup>[4]</sup>

### 1.3 Ταξινόμηση ιστιοπλοϊκών με βάση το κύτος

Τα ιστιοπλοϊκά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις διαφορετικούς τύπους με βάση τον κύριο σχεδιασμό του κύτους τους.

- Τα σκάφη μονού κύτους - monohulls
- Τα σκάφη διπλού κύτους - catamaran
- Τα σκάφη πολλαπλού κύτους - multi-hull crafts

Παραδοσιακά, τα σκάφη μονού κύτους είναι ο πιο συνηθισμένος σχεδιασμός για ιστιοφόρα, καθώς παρέχουν καλύτερο επίπεδο σταθερότητας του σκάφους. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των πολυμερών υλικών στην κατασκευή των σκαφών οι επιδόσεις των καταμαράν και τριμαράν βελτιώθηκαν. Τα monohulls είναι συμβατικά σκάφη, κατασκευές μονού κύτους, που έχουν μεγάλο πλάτος κύτους που παρέχει σταθερότητα κατά την ιστιοπλοΐα. Το πλεονέκτημα με την ύπαρξη ενός μεγάλου κύτους είναι ότι το μεγαλύτερο πλάτος επιτρέπει βελτιωμένα συστήματα επί του σκάφους. Τα καταμαράν είναι κατασκευές με διπλό κύτος που συνδέονται με ισχυρά μέλη σύνδεσης για να παρέχουν την απαραίτητη ακαμψία.

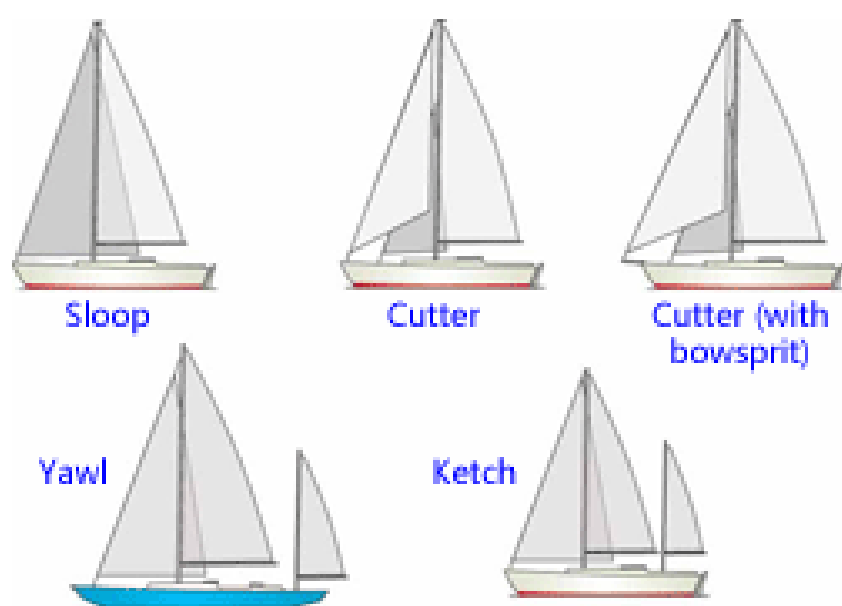
Το πλεονέκτημα της ύπαρξης διπλού κύτους είναι ότι υπάρχει αυξημένο επίπεδο σταθερότητας. Επιπλέον, εάν έχει σχεδιαστεί σωστά το σκάφος θα έχει πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από τα συμβατικά σκάφη λόγω των χαμηλότερων δυνάμεων αντίστασης σε βρεγμένη επιφάνεια. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό του σκάφους, αλλιώς οι δυνάμεις αντίστασης μπορούν να ξεπεράσουν τις τιμές που βρίσκονται στα σκάφη μονού κύτους monohulls. Στα multi-hull σκάφη αν και η παραλλαγή των τριών κυτών είναι η πιο κοινή, περιλαμβάνουν κατασκευές με τρία έως πέντε κύτη. Τέτοιες κατασκευές είναι γνωστές ως trimarans και θεωρούνται εξαιρετικά σταθερές λόγω της μεγάλης κεντρικής γάστρας τους καθώς και του χαμηλότερου κέντρου βάρους

### 1.4 Ταξινόμηση βάση καρίνας

Στην περίπτωση των ιστιοπλοϊκών σκαφών, η καρίνα είναι συχνά το τμήμα στο οποίο στηρίζεται ολόκληρο το σκάφος κατά τη μεταφορά του οδικώς ή σιδηροδρομικώς. Έτσι, οι καρίνες πρέπει να έχουν ολοκληρωμένη αντοχή και να είναι σε θέση να αντέχουν σε μια ποικιλία δυνάμεων. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές ιστιοπλοϊκών σκαφών στην αγορά με βάση τον τύπο της καρίνας τους. Αυτά έχουν γενικά τροποποιημένες καρίνες με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και της ταχύτητας, ενσωματώνοντας διάφορα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά. Οι τύποι των καρινών που συνήθως συνδέονται με ιστιοφόρα είναι οι εξής: καρίνα Daggerboard, καρίνα Centerboard, η βολβοειδής καρίνα Bulb Keels, καρίνα Canting Keels, καρίνα Winged Keel,

## 1.5 Ταξινόμηση βάσει ιστών

Ο ιστός του σκάφους αναφέρεται σε έναν κατακόρυφο άξονα που εκτείνεται έξω από το κατάστρωμα που στηρίζει τα πανιά και τα ξάρτια. Παλαιότερα μοντέλα ιστιοπλοϊκών και αρχαίων πλοίων είχαν ιστούς κατασκευασμένους από ξύλο, ενώ οι σύγχρονες εκδόσεις προσανατολισμένες στην ταχύτητα χρησιμοποιούν γαλβανισμένο χάλυβα ή αλουμίνιο. Το αλουμίνιο έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εξαιρετικά ελαφρύ ενώ διατηρεί την αντοχή του, το οποίο είναι σημαντικό σε δύσκολες καιρικές συνθήκες. Οι διάφορες ταξινομήσεις βάσει ιστών περιλαμβάνουν sloop, cutter, yawl, ketch, schooner και catboat.<sup>[4]</sup>



*Εικόνα 01. Οι διάφορες ταξινομήσεις βάσει ιστών περιλαμβάνουν sloop, cutter, yawl, ketch, schooner και catboat.<sup>[4]</sup>*



## Κεφάλαιο 2: Εναλλακτικές πηγές ενέργειας

### 2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί στη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Οι Α.Π.Ε. πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία.

Για πολλές χώρες, οι Α.Π.Ε. αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών που θα εξεταστούν για την αξιοποίηση τους σε ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος αναψυχής είναι η αιολική, η υδροηλεκτρική και η ηλιακή μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επίσης και η παραγωγή υδρογόνου με τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας από την εκμετάλλευση των Α.Π.Ε. στο σκάφος, είναι ένας πρόσθετος τρόπος αποθήκευσης ενέργειας. Οι τρεις τεχνολογίες που αναφέρονται στη συνέχεια της εργασίας εφαρμόζονται σήμερα σε μικρή κλίμακα, κυρίως σε σκάφη αναψυχής, με σημαντική προοπτική εξέλιξης.

### 2.2 Αιολική ενέργεια

Οι αιολικές μηχανές είναι μηχανές μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια. Αν η παραγόμενη μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται απευθείας από κάποιον μηχανισμό, όπως από μία αντλία, τότε η μηχανή συνήθως αναφέρεται σαν ανεμόμυλος (wind mill). Αν η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική, η μηχανή ονομάζεται ανεμογεννήτρια. Στην παρούσα εργασία περιγράφονται αποκλειστικά ανεμογεννήτριες, από τις οποίες παράγεται ηλεκτρική ισχύς. <sup>[5]</sup>

Εκμεταλλεύομαστε την ενέργεια του ανέμου για εκατοντάδες χρόνια. Από την παλιά Ολλανδία έως τις εκμεταλλεύσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι ανεμόμυλοι έχουν χρησιμοποιηθεί για άντληση νερού ή άλεση σιτηρών. Σήμερα, το σύγχρονο



ισοδύναμο του ανεμόμυλου - μια ανεμογεννήτρια - μπορεί να χρησιμοποιήσει την ενέργεια του ανέμου για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες, όπως οι ανεμόμυλοι, τοποθετούνται σε έναν πύργο για να αποδώσουν την περισσότερη ενέργεια. Στα 100 πόδια (30 μέτρα) ή περισσότερο πάνω από το έδαφος, μπορούν να επωφεληθούν από τις μεγαλύτερες ταχύτητες του άνεμου.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομες εφαρμογές ή μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος ή ακόμη και να συνδυαστούν με ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Για πηγές αιολικής ενέργειας σε κλίμακα χρησιμότητας, ένας μεγάλος αριθμός ανεμογεννητριών κατασκευάζεται συνήθως κοντά για να σχηματίσει μια αιολική εγκατάσταση. Πολλοί πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν σήμερα αιολικά εργοστάσια για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους πελάτες τους.

Τα μικρά αιολικά συστήματα έχουν επίσης δυνατότητες ως κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι. Οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι αναφέρονται σε μια ποικιλία μικρών, αρθρωτών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας που μπορούν να συνδυαστούν για τη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.<sup>[6]</sup>

## 2.3 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι φως, επίσης γνωστή ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο. Ενώ κάθε τοποθεσία στη Γη δέχεται λίγο φως του ήλιου για ένα χρόνο, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε οποιοδήποτε σημείο στην επιφάνεια της Γης ποικίλλει. Οι ηλιακές τεχνολογίες συλλαμβάνουν αυτήν την ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε χρήσιμες μορφές ενέργειας. Όταν ο ήλιος λάμπει σε ένα ηλιακό πάνελ, η ενέργεια από το φως του ήλιου απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πίνακα. Αυτή η ενέργεια δημιουργεί ηλεκτρικά φορτία που κινούνται σε απόκριση σε ένα εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, στο κελί, προκαλώντας τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συστήματα συμπύκνωσης ηλιακής-θερμικής ισχύος (CSP) χρησιμοποιούν καθρέφτες για να αντανακλούν και να συγκεντρώνουν το ηλιακό φως, σε δέκτες που συλλέγουν ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε θερμότητα, οι οποίοι μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή για την αποθήκευση της ενέργειας και χρησιμοποιείται κυρίως σε πολύ μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Η τεχνολογία ηλιακής ενέργειας δεν τελειώνει με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα PV ή CSP. Αυτά τα συστήματα ηλιακής ενέργειας πρέπει να ενσωματωθούν σε σπίτια, επιχειρήσεις και υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα με διάφορους συνδυασμούς παραδοσιακών και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [\[7\]](#)

## 2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ενέργεια που παράγεται από πηγές νερού όπως ο ωκεανός, οι καταρράκτες και τα ποτάμια. Επειδή το νερό κινείται συνεχώς σε έναν παγκόσμιο κύκλο, η κίνησή του μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για την οδήγηση μηχανημάτων. Επειδή το νερό είναι ένας άπειρος πόρος, ο κύκλος του παρέχει ένα ατελείωτο σύστημα επαναφόρτισης, καθιστώντας το μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Ένας υδραυλικός στρόβιλος μετατρέπει την ενέργεια του ρέοντος νερού σε μηχανική ενέργεια. Μια υδροηλεκτρική γεννήτρια μετατρέπει αυτή τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η λειτουργία μιας γεννήτριας βασίζεται στις αρχές που ανακάλυψε ο Faraday. Βρήκε ότι όταν ένας μαγνήτης μετακινείται πέρα από έναν αγωγό, προκαλεί τη ροή του ηλεκτρισμού. Σε μια μεγάλη γεννήτρια, οι ηλεκτρομαγνήτες παράγονται με την κυκλοφορία συνεχούς ρεύματος μέσω βρόχων σύρματος που τυλίγονται γύρω από στοιβες μαγνητικών ελασμάτων χάλυβα. Αυτοί ονομάζονται πόλοι πεδίου και είναι τοποθετημένοι στην περίμετρο του ρότορα. Ο ρότορας είναι προσαρτημένος στον άξονα του στρόβιλου και περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα. Όταν ο ρότορας περιστρέφεται, αναγκάζει τους πόλους πεδίου (οι ηλεκτρομαγνήτες) να μετακινηθούν πέρα από τους αγωγούς που είναι τοποθετημένοι στον στάτορα. Αυτό, με τη σειρά του, προκαλεί τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και την ανάπτυξη τάσης στους ακροδέκτες εξόδου της γεννήτριας.

Οι υδρογεννήτριες στα σκάφη αναψυχής συμπληρώνουν το μείγμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η πρώτη χρήση τους που έγινε ευρέως γνωστή ήταν κατά τη διάρκεια του γύρου του κόσμου του 2008 Vendée Globe, όταν τοποθετήθηκαν ευρέως στον στόλο IMOCA 60. Οι ανεμογεννήτριες και οι ηλιακοί συλλέκτες εξακολουθούν να παράγουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας στο σκάφος όμως η παραγωγή τους εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Οι ηλιακοί συλλέκτες φτάνουν την δηλωμένη ισχύ τους μόνο για λίγες ώρες την ημέρα, όταν βρίσκονται υπό γωνία στον ήλιο, και η σκίαση μόνο μερικών κυψελών σε ένα πάνελ θα μειώσει δραματικά την απόδοσή του. Εν τω μεταξύ, οι ανεμογεννήτριες διαθέτουν εντυπωσιακή απόδοση ισχύος, αλλά μόνο με ταχύτητες ανέμου που οι περισσότεροι ναυτικοί θα θεωρούσαν επικίνδυνες. Η ανεμογεννήτρια LE 300 Marine, για παράδειγμα, μπορεί να αποδώσει ισχύ 300 W σε 35 κόμβους εμφανούς ανέμου, αλλά σε πιο λογικούς, 18 κόμβους ανέμου, μπορεί να διαχειριστεί μόλις 85 W. <sup>[8]</sup>

Μια υδρογεννήτρια σε ένα σκάφος σύρεται μέσα από το νερό, πίσω από το σκάφος. Η πτερωτή του είναι τοποθετημένη ειδικά για ταχύτητες σκάφους μεταξύ 5 και 30 κόμβων. Αυτή η τεχνολογία μπορεί ακόμη και να συνδυαστεί με τη βοηθητική προπέλα του σκάφους για να παράγει ισχύ μέσω ηλεκτρικής ή υβριδικής διάταξης κινητήρα, εδώ όμως χρησιμοποιούμε αυτονομη μονάδα που μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί εκ των υστέρων. Οι υδρογεννήτριες είναι δημοφιλείς, «για την αθόρυβη, την υψηλή παραγωγή (πράσινης) ενέργειας στα γρήγορα σκάφη και τη δυνατότητα λήψης ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας, των συνεφιασμένων ημερών και ακόμη και όταν πέφτει η ένταση του ανέμου. <sup>[8]</sup>



## Κεφάλαιο 3: Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

### 3.1 Εφαρμογές στα ιστιοπλοϊκά σκάφη

Η αύξηση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων έχει ευνοήσει την ανάπτυξη συστημάτων εναλλακτικής ενεργειακής μετατροπής. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE) αντικαθίσταται από υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερες πηγές ισχύος. Τα συστήματα μπαταριών είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας λόγω της υψηλής απόδοσης και σχετικά χαμηλό κόστος. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα κυψελών καυσίμου είναι μια νέα αναδυόμενη τεχνολογία που θα μπορούσε να λύσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα, συμβάλλοντας στην επίτευξη του πρωτοκόλλου του Κιότο και εκτός αυτού μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.<sup>[9]</sup>

Λόγω των ομοιοτήτων μεταξύ μπαταριών και συστημάτων κυψελών καυσίμου, το συνδυασμένο αποτέλεσμα υπόσχεται εξαιρετικά αποτελέσματα. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή των ΑΠΕ ως φωτοβολταϊκής και αιολικής ενέργειας στα Υβριδικά Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Hybrid Renewable Energy Systems - HRES) γίνονται δημοφιλή για παραγωγή ενέργειας. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του τύπου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η εποχιακή τους φύση, η οποία σημαίνει μεγάλη μεταβλητότητα με την πάροδο του χρόνου. Η δημιουργία του υδρογόνου με βάση ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χρησιμοποιώντας ηλεκτρολύτες θα μπορούσε να γίνει ο κόμβος για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας σε υβριδικά συστήματα.<sup>[9]</sup>

Επιπλέον των χερσαίων οχημάτων, είναι δυνατή η ενσωμάτωση των υβριδικών συστημάτων κυψελών καυσίμου και μπαταριών σε σκάφη. Η παραγωγή υδρογόνου πραγματοποιείται από την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που παρέχεται από μερικά φωτοβολταϊκά πάνελ και μικρές ανεμογεννήτριες που βρίσκονται πάνω στο ίδιο το σκάφος. Επιπλέον, όταν επιλεγεί ιστιοφόρο, η παραγωγή ενέργειας μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια της ιστιοπλοΐας με μία ή περισσότερες υδρογεννήτριες. Για αυτόν τον τύπο συστημάτων, όπου υπάρχουν πολλές πηγές ισχύος, η μικτή μαθηματική προσομοίωση έχει γίνει αντικείμενο μελέτης για ηλεκτρικά οχήματα, τροφοδοτούμενα από μπαταρίες και κάθε είδους υβριδικές συνθέσεις, με ειδικό λογισμικό που έχει αναπτυχθεί. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με την απόδοση των μπαταριών στις προσομοιώσεις σκαφών και ακόμη μεγαλύτερη έλλειψη πληροφοριών για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εφαρμόζονται σε αυτά τα είδη οχημάτων, επίσης δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τη στρατηγική λειτουργίας της Μονάδας Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management Unit - EMU) για τις περιπτώσεις εφαρμογής των Υβριδικών Συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (HRES) σε ιστιοφόρα σκάφη. Όμως, είναι εφικτό να βρεθεί μια τεράστια ποσότητα πληροφοριών σε πολλούς τομείς εφαρμογής όπως στη μεταφορά, διανομή και γενικές ή φορητές εφαρμογές.<sup>[9]</sup>

Η ιδέα των σκαφών μηδενικών εκπομπών δεν είναι νέα, υπάρχουν πολλά είδη σκαφών με μερικά από τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας μηδενικών εκπομπών,

κάποια από τα οποία είχαν ακόμα και εμπορική χρήση. Εγκαταστάσεις με μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου, ή και τα δύο (υβριδικά συστήματα) έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται σε καταμαράν, ιστιοφόρα σκάφη αναψυχής και μηχανοκίνητα σκάφη [9]. Η παραγωγή της ανανεώσιμης ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω τριών πηγών, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ και υδρογεννήτριες.

1. Ανεμογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν στο πάνω μέρος του ιστίου (μόνο ένα στοιχείο) ή να τοποθετηθούν στην πρύμνη (ένα ή δύο στοιχεία), των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην αιολική ενέργεια και είναι λειτουργική κατά τη διάρκεια της πλεύσης με ιστιοφόρο ή ακόμα και όταν το ιστιοφόρο παραμένει μέσα στο λιμάνι.
2. Φωτοβολταϊκά πάνελ, τοποθετημένα στο κύτος του σκάφους, των οποίων η λειτουργία είναι δυνατή κατά τη διάρκεια της πλεύσης του σκάφους ή όταν το σκάφος παραμένει μέσα στο λιμάνι, και η απόδοση τους εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
3. Η τρίτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική. Μία ή δύο υδρογεννήτριες είναι υπεύθυνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ιστιοπλοΐας, χωρίς τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα.

### 3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια και αποτελούνται από διάφορα μέρη που βοηθούν στο να γίνει αυτή η μετατροπή. Ένα από τα πιο βασικά μέρη του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα πάνελ. Το πάνελ είναι ένας συλλέκτης ηλιακής ενέργειας που έχει τη μορφή ενός πλαισίου, συνήθως σε τετράγωνο σχήμα και είναι απαραίτητο για τη διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, ενώ τοποθετείται σε οροφές κτηρίων, σε δώματα, αλλά και σε σκάφη.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου, και άμορφου πυριτίου. Οι κύριες διαφορές τους είναι στον τρόπο κατασκευής τους, στο κόστος και στην απόδοσή τους. Το βασικό κοινό χαρακτηριστικό που έχουν όμως είναι το πυρίτιο το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους. Το πυρίτιο είναι από τα λίγα υλικά που παράγονται με τόσο μαζικό τρόπο και αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των πάνελ. Το βρίσκουμε σε αφθονία στη φύση και είναι πολύ φιλικό προς το περιβάλλον. Λιώνει εύκολα και είναι πολύ εύκολη η επεξεργασία και μορφοποίησή του. Οι ιδιότητές του αντέχουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και για αυτό επιτρέπεται η χρήση του σε υπερβολικά δύσκολες καιρικές συνθήκες. Αρκετά μεγάλο ρόλο, στην σύντομη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών έπαιξε η ήδη ανεπτυγμένη τεχνολογία στην βιομηχανία του πυριτίου.

Ωστόσο, τα πάνελ που υπάρχουν στην αγορά χωρίζονται σε επιπλέον τρεις κατηγορίες, τα πάνελ σε διασυνδεδεμένα συστήματα, σε αυτόνομα συστήματα και σε συστήματα ενσωματωμένα στη δομή των κτιρίων. Τα σημαντικότερα στοιχεία που

διαφοροποιούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ μεταξύ τους είναι, η ονομαστική ισχύς σε Watt, η τάση που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ, η ένταση ρεύματος που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ, η τάση ανοιχτού κυκλώματος, η ένταση ρεύματος βραχυκυκλώματος, η μέγιστη τάση συστήματος και οι συντελεστές επίδρασης θερμοκρασίας.<sup>[10]</sup>

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων Watt.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυγμένες χώρες.<sup>[11]</sup>

### 3.3 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες εκμεταλλεύονται το ίδιο στοιχείο της φύσης που κινεί ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος. Βασίζονται σε μία καλά αποδεδειγμένη και αξιόπιστη τεχνολογία. Παρά την αυξανόμενη δημοτικότητα των υδρογεννητριών και των ολοένα πιο αποδοτικών ηλιακών συλλεκτών, οι ανεμογεννήτριες εξακολουθούν να αποτελούν κοινό θέμα στα ιστιοπλοϊκά σκάφη αναψυχής. Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών καθώς και κάποιους περιορισμούς που παρουσιάζουν κατά τη χρήση τους σε ένα σκάφος.

Το κύριο πλεονέκτημα είναι πως μία ανεμογεννήτρια θα συνεχίσει να παράγει έργο ακόμα και όταν το σκάφος είναι αγκυροβολημένο καθώς και σε συννεφιασμένες ημέρες. Επίσης δεν απαιτούν συχνή συντήρηση και συνεχή αντικατάσταση των

μηχανικών μερών. Μία ισχυρή μονάδα, που παράγει 400 Watt ή περισσότερο είναι αρκετή για να φορτίσει μία μπαταρίας χωρητικότητας 800 Amp ώρες (Ah) την ημέρα σε ένα σύστημα 12 Volt.

Το βασικό μειονέκτημα της στα σκάφη είναι ότι οι καιρικές συνθήκες που θα επιφέρουν την μέγιστη απόδοση της, δεν επιτρέπουν σε ένα σκάφος αναψυχής να ταξιδέψει. Στην πραγματικότητα, η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της ενέργειας που περιέχει είναι εκθετική, οπότε η ισχύς μειώνεται εκθετικά, π.χ. ένα σκάφος που αναπτύσσει 8 κόμβους ταχύτητας σε 20 κόμβους αληθινού ανέμου θα βιώσει έναν φαινομενικό άνεμο μόλις 12 κόμβων. Μια τουρμπίνα μπορεί να παράγει 40 Watt σε 12 κόμβους ανέμου, αλλά οι περισσότερες παράγουν 200 Watt σε 20 κόμβους. Επιπλέον, σε δυνατούς ανέμους τα σκάφη αναψυχής καταφεύγουν σε προστατευμένα από τις έντονες καιρικές συνθήκες λιμάνια και αγκυροβόλια, όπου οι ταχύτητες του ανέμου θα είναι χαμηλότερες από τις προβλεπόμενες υπεράκτιες.<sup>[12]</sup>

### 3.4 Υδρογεννήτριες

Χάρη στα εναλλακτικά μοντέρνα σχέδια που προσφέρουν αυξημένη ισχύ σε χαμηλότερες στροφές ανά λεπτό (rpm), οι υδρογεννήτριες γίνονται μια αξιόλογη επένδυση για τα σκάφη που ταξιδεύουν τακτικά σε μεγάλα περάσματα. Αν και δημιουργούν μια μικρή οπισθέλκουσα στο σκάφος που βρίσκεται σε κίνηση, αυτή κυμαίνεται περίπου στους 0,25 κόμβους. Μια υδρογεννήτρια έχει μια φτερωτή (αντίστροφη στήριξη) η οποία είναι τοποθετημένη στο πίσω σημείο του σκάφους περιστρέφεται κατά την κίνηση του. Αυτή η περιστροφή εφαρμόζεται σε ένα μετατροπέα, ο οποίος παράγει ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος AC που μετατρέπεται για να παράγει μια φόρτιση DC για στις μπαταρίες, με παρόμοιο τρόπο ενός φορτιστή μπαταρίας στην ακτή. Τα πρώτα μοντέλα έφεραν ένα στροφέιο σε μια μακρά γραμμή πίσω από το σκάφος, το οποίο ήταν προσαρτημένο σε έναν μετατροπέα επί του σκάφους. Επειδή όμως, οι πίσω στροφείς τους παρουσίαζαν συχνά μηχανικά προβλήματα, οι πιο σύγχρονες συσκευές έχουν μια φτερωτή συνδεδεμένη σε ένα υποβρύχιο βραχίονα. Οι σύγχρονοι μετατροπείς χωρίς ψήκτρες και με μαγνήτες έχουν μειωμένη αντίσταση στροφής και αυξημένη απόδοση, επιτρέποντάς τους να παράγουν περισσότερη ισχύ σε χαμηλότερες στροφές.

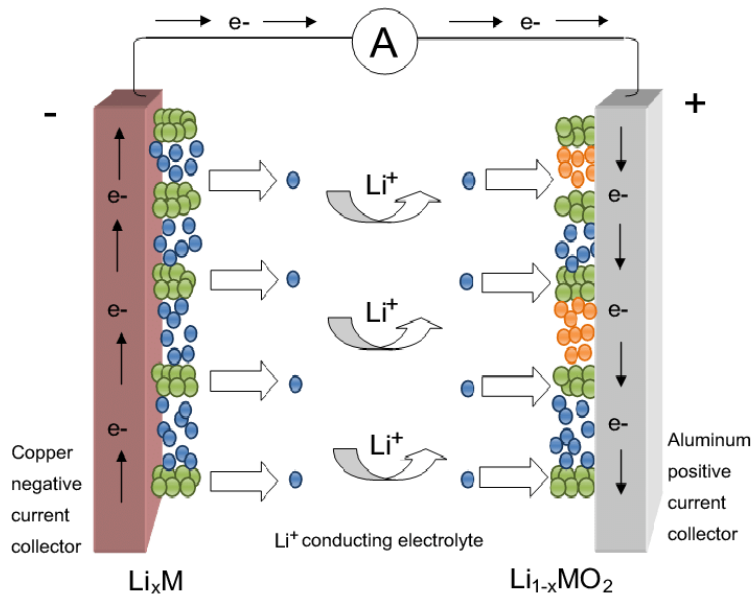
Η υδρογεννήτρια είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος παροχής σταθερού ηλεκτρικού φορτίου σε μεγάλη απόσταση. Σε ένα σκάφος 40 ft, ένα από αυτά μπορεί να παράγει περίπου 200Ah φόρτισης κάθε 24 ώρες στα 6 kn (11,11 km/h), το οποίο είναι αρκετό για τη λειτουργία των περισσότερων ηλεκτρικών ειδών επί του σκάφους. Απαιτούν επίσης λίγη συντήρηση, εκτός από την εκκαθάριση από στρειδώνα και άλγη, και τον περιοδικό έλεγχο των ηλεκτρικών συνδέσεων.<sup>[13]</sup>

## Κεφάλαιο 4: Συσσωρευτές – Αντιστροφείς τάσης

### 4.1 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές -Μπαταρίες

Η μπαταρία ή ο συσσωρευτής είναι η συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδεσμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική στήλη.<sup>[14]</sup>

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μία μπαταρία είναι αποτέλεσμα ( $\Delta G < 0$ ) ηλεκτροχημικών διεργασιών αυθόρμητων και λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό τμήμα της διάταξης. Η χημική αντίδραση των ειδών που απαρτίζουν το αντίστοιχο είδος μπαταρίας (οξειδοαναγωγικό ζεύγος, Ox/Red) δεν γίνεται απευθείας μεταξύ τους αλλά καταναλώνονται σε διαφορετικά μέρη της μπαταρίας (ακροδέκτες μπαταρίας, άνοδος (-) / κάθοδος (+) ). Αποτέλεσμα αυτής της χημικής αντίδρασης είναι, η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος από το εξωτερικό κύκλωμα, μεταξύ των ακροδεκτών της μπαταρίας.



**Εικόνα 02.** Η ροή ηλεκτρικού ρεύματος διαμέσου του εξωτερικού κυκλώματος και μεταξύ των ακροδεκτών της μπαταρίας <sup>[24]</sup>

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός συσσωρευτή προβλέπει μια συγκεκριμένη χρήση. Ο πιο διαδεδομένος τύπος μπαταρίας για ευρεία χρήση είναι κυρίως οι συσσωρευτές μόλυβδου - οξέος, στους οποίους ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα θειικού οξέος και ως ηλεκτρόδια το διοξείδιο του μόλυβδου  $PbO_2$  και ο σπογγώδης μόλυβδος. Για κάθε εφαρμογή είναι απαραίτητα τα Οι απαιτήσεις της εγκατάστασης που απαιτούν τη χρήση του συσσωρευτή είναι αυτές που θα καθορίσουν τις απαιτήσεις στις ηλεκτροδιακές αντιδράσεις και θα ορίσουν το σχέδιο του κελιού που θα χρησιμοποιηθεί. Η γεωμετρία του κελιού ορίζει τη λειτουργία του συσσωρευτή, τον σχεδιασμό και τη σύσταση όλων των στοιχείων που αναγράφονται παράλληλα με την επιλογή των ηλεκτροδιακών αντιδράσεων και την κινητική τους.



Η αποτελεσματική λειτουργία ενός συσσωρευτή εξαρτάται από τη σωστή απόδοση σε οποιαδήποτε χρήση και για το λόγο αυτό απαιτείται ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Αυτό θα προσδιορίσει αν ένας συσσωρευτής είναι σωστός για μία δεδομένη εφαρμογή. <sup>[19]</sup>

Οι μπαταρίες αποτελούνται από ηλεκτροχημικά κελιά (γαλβανικά στοιχεία) τα οποία είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα γαλβανικά κελιά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες,

Κελιά (μπαταρίες) πρώτου τύπου (primary cells – batteries): Αυτά είναι αναλώσιμα κελιά τα οποία μετά τη χρήση τους (εκφόρτιση) δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, δηλαδή οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις δεν αντιστρέφονται.

Κελιά (μπαταρίες) δεύτερου τύπου (secondary cells – batteries): Αυτά αποτελούνται κελιά πολλαπλών χρήσεων, τα οποία μετά την πλήρη εκφόρτιση τους μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μετά την εκ νέου παραγωγή των αρχικών χημικών ειδών με την επαναφορά στην αρχική χημική κατάσταση δηλαδή μέσω φόρτισης. Η αντιστροφή των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται με την εφαρμογή δυναμικού στην αντίθετη φορά της εκφόρτισης όπως γίνεται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion).

## 4.2 Βασικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Τα κύρια χαρακτηριστικά των συσσωρευτών είναι, το Δυναμικό (E), το Ρεύμα (I), η Χωρητικότητα (C), Πυκνότητα Αποθήκευσης Ηλεκτρισμού, Ενεργειακή πυκνότητα, Πυκνότητα ισχύος, Ρυθμός εκφόρτισης, Κύκλος ζωής και η Ενεργειακή απόδοση.

### ο Δυναμικό (E)

Τάση (διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού) είναι η δύναμη που κινεί τα ηλεκτρόνια ενάντια στη δύναμη ηλεκτροστατικού πεδίου στην οποία υπόκεινται. Περιγράφεται επίσης ως η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων σε ένα ηλεκτρικό πεδίο:

$$V_{\Gamma} = \frac{W_{\Gamma \rightarrow \infty}}{q} = \frac{U_{\Gamma}}{q}$$

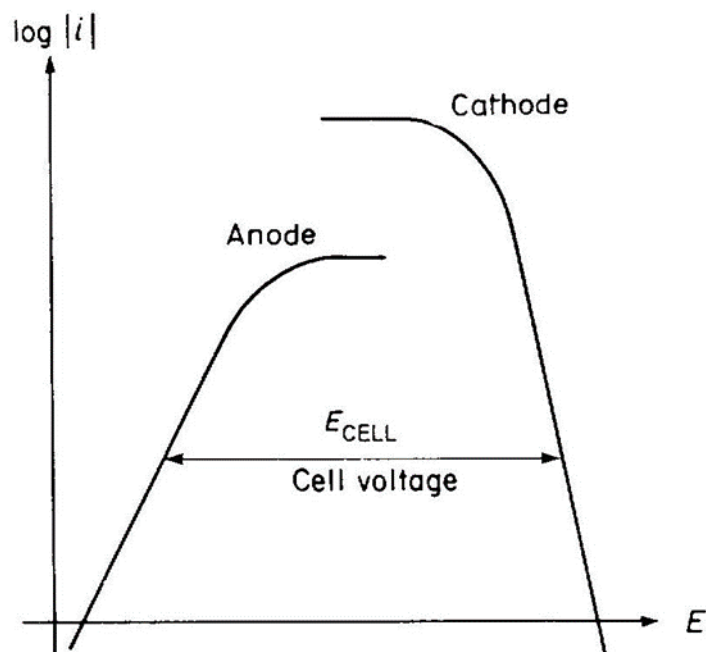
Η Διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων, είναι η διαφορά των δυναμικών τους. Μετριέται όπως και το ηλεκτρικό δυναμικό σε Βολτ. Η διαφορά δυναμικού συμβολίζεται με  $\Delta V$  ή με σκέτο V καθώς η έννοια του ηλεκτρικού δυναμικού δεν είναι πρακτικά χρήσιμη και συνήθως δε μπορεί να μετρηθεί. <sup>[19]</sup>

$$U = \Delta V = V(x_1) - V(x_2)$$

Το δυναμικό μίας μπαταρίας εξαρτάται από (α) τη μεταβολή της ενέργειας Gibbs της συνολικής αντίδρασης (η οποία όπως γνωρίζουμε αποτελεί συνάρτηση της διαφοράς των κανονικών δυναμικών μεταξύ ανόδου και καθόδου,  $\Delta G = -nFE_{\text{cell}}$ ), (β)

την κινητική των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων και ( $\gamma$ ) την αντίσταση της γαλβανικής κυψέλης <sup>[14]</sup>

$$E_{cell} = E_C^0 - E_A^0 - |\eta_A| - |\eta_C| - iR_{cell}$$



**Εικόνα 03.** Μεταβολή της ενέργειας Gibbs της συνολικής αντίδρασης (αποτελεί συνάρτηση της διαφοράς των κανονικών δυναμικών μεταξύ ανόδου και καθόδου,  $\Delta G = -nFE_{cell}$ ) <sup>[24]</sup>

### ο Ρεύμα (I)

Ηλεκτρικό ρεύμα ή ρεύμα, αποτελεί το μέτρο του ρυθμού εκφόρτισης της μπαταρίας, στον συντομότερο ορισμό του, είναι η κίνηση των σωματιδίων που φέρουν ηλεκτρικό φορτίο. Αυτό το φορτίο μεταφέρεται συνήθως από ηλεκτρόνια που κινούνται μέσα σε καλώδια σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Μπορεί επίσης να μεταφερθεί από ιόντα στον ηλεκτρολύτη ή και από ιόντα και ηλεκτρόνια στο πλάσμα. <sup>[16]</sup>

### ο Χωρητικότητα (C)

Η χωρητικότητα μίας μπαταρίας είναι το διαθέσιμο φορτίο που είναι αποθηκευμένο σε αυτήν, συνήθως αναφέρεται με μονάδες ampere hours (Ah) και έχει σχέση με το μέγεθος του συσσωρευτή. Ένας συσσωρευτής με χωρητικότητα 100Ah, σημαίνει πως έχει την ικανότητα να παρέχει ρεύμα 100A (Ampere) για 1 ώρα (h) ή 50A για 2 ώρες αντίστοιχα. <sup>[14]</sup>

Ονομαστική C:  $C = \frac{w}{M} nF$  w: βάρος ενεργής μάζας υλικού

M: M.W. ενεργειακού υλικού

Η C εξαρτάται από το μέγεθος της μπαταρίας και καθορίζεται από το ηλεκτρόδιο με τη μικρότερη χωρητικότητα

$$\text{Πρακτική C:} \quad C = it' \quad (25\text{-}35\% \text{ της ονοματικής})$$

### ο Πυκνότητα Αποθήκευσης Ηλεκτρισμού

Η διαδικασία αποθήκευσης ενέργειας είναι η συσσώρευση ενέργειας σε μια συσκευή ή αποθηκευτικό μέσο σε διάφορες μορφές όπως χημική, ηλεκτρική ή θερμική. Η πυκνότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται στο αποθηκευμένο φορτίο (χωρητικότητα) ανά μονάδα βάρους ( $\text{Ah g}^{-1}$ ) ή όγκου ( $\text{Ah m}^{-3}$ ). Στο βάρος συμπεριλαμβάνονται όλα τα στοιχεία της μπαταρίας που την απαρτίζουν όπως, συλλέκτες ρεύματος, ηλεκτρολύτης, ηλεκτρόδια, διαχωριστικό, κ.τ.λ.

### ο Ενεργειακή πυκνότητα

Η ενεργειακή πυκνότητα είναι η ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύεται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ανά μονάδα όγκου. Γενικά, λαμβάνεται υπόψη μόνο η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να ληφθεί.<sup>[17]</sup>

Η ενέργεια ανά μονάδα βάρους

$$(\text{J g}^{-1} \text{ ή kWh kg}^{-1}) \longrightarrow \text{Energy density} = \frac{CE_{\text{cell}}^{\text{AVE}}}{w} = \frac{it'E_{\text{cell}}^{\text{AVE}}}{w}$$

### ο Πυκνότητα ισχύος

Η πυκνότητα ισχύος εμφανίζεται ως Wh/kg και υποδεικνύει πόση ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα όγκου ή μάζας του συσσωρευτή. Για παράδειγμα, η μέση ενεργειακή πυκνότητα των συστατικών μπαταριών φωσφορικού σιδήρου λιθίου, που μπορούμε να δούμε πολύ στην αγορά ως  $\text{LiFePO}_4$  ή LFP, είναι  $110 \text{ Wh/Kg}$

$$\text{Η ισχύς (I} \times \text{E) ανά μονάδα βάρους (W g}^{-1}\text{)} \longrightarrow \text{Power density} = \frac{IE_{\text{cell}}^{\text{AVE}}}{w}$$

Σε συνθήκες συνεχούς ή παλμικής λειτουργίας, η πυκνότητα ισχύος μειώνεται κατά την εκφόρτιση <sup>[14]</sup>

### ο Ρυθμός εκφόρτισης

Είναι ο μέγιστος ρυθμός εκφόρτισης μίας μπαταρίας και μας δείχνει πόσο αργά ή γρήγορα μπορεί η μπαταρία να εξαντλήσει το διαθέσιμο φορτίο που είναι αποθηκευμένο σε αυτήν. Δηλαδή το ρεύμα που απαιτείται να καταναλωθεί για να εκφορτιστεί πλήρως μία μπαταρία σε ώρες. Εκφράζεται σε C/H (H: οι ώρες που απαιτούνται για την πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας) ή x-hours rate ( $\text{Ah h}^{-1}$ ) π.χ. Αν  $C = 10 \text{ Ah}$ , ο 2-hours rate θα είναι ίσος με 5 A

### ο Κύκλος ζωής (μόνο για κελιά δεύτερου τύπου – επαναφορτιζόμενες μπαταρίες)

Οι μη επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές σχεδιάζονται για μια μόνη εκφόρτιση (primary cells – batteries) ενώ οι επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές είναι για επαναλαμβανόμενους κύκλους φορτίσεων/εκφορτίσεων (secondary cells –

batteries). Ο κύκλος φόρτισης είναι η διαδικασία φόρτισης μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και εκφόρτισης της όπως απαιτείται σε ένα φορτίο. Ο όρος χρησιμοποιείται συνήθως για να καθορίσει την αναμενόμενη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, καθώς ο αριθμός των κύκλων φόρτισης επηρεάζει τη διάρκεια ζωής περισσότερο από το απλό πέρασμα του χρόνου. Ένας κύκλος φόρτισης, δεν είναι μονάδα χρόνου. η χρονική διάρκεια φόρτισης ή αποφόρτισης δεν επηρεάζει τον αριθμό των κύκλων φόρτισης. Κάθε μπαταρία επηρεάζεται διαφορετικά από τους κύκλους φόρτισης. <sup>[18]</sup> Γενικά, ο αριθμός των κύκλων για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία υποδεικνύει πόσες φορές μπορεί να υποβληθεί στη διαδικασία πλήρους φόρτισης και αποφόρτισης μέχρι να αποτύχει ή να αρχίσει να χάνει χωρητικότητα και εξαρτάται από (α) τη χημική σύσταση, τη μορφολογία και τη διασπορά της ενεργούς ουσίας (σε σχέση με τους συλλέκτες ρεύματος) και (β) το βαθμό εκφόρτισης (*depth of discharge*).

ο **Ενεργειακή απόδοση** (μόνο για κελιά δεύτερου τύπου – επαναφορτιζόμενες μπαταρίες)

$$\% \text{ απόδοση} = \frac{\text{ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την εκφόρτιση}}{\text{ενέργεια που απαιτείται για τη φόρτιση}} \times 100$$

Εξαρτάται από,

- (α) την απόδοση (φαρμακτική) των ηλεκτροδιακών δράσεων,
- (β) τις υπερτάσεις των αντιδράσεων εκφόρτισης/φόρτισης και
- (γ) το ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης. <sup>[24]</sup>



**Εικόνα 04.** Συσσωρευτής 100Ah 12V LiFePO4 (battlebornbatteries.com)



**Εικόνα 05.** EP-12 Victron AGM Deep Cycle 12V/220Ah

Οι συχνότερες αιτίες καταστροφής μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας είναι,

- Η διάβρωση των συλλεκτών ρεύματος ή των ηλεκτρικών επαφών,
- Το βραχυκύκλωμα εξαιτίας του σχηματισμού δενδριτικών δομών, ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου,
- Η αποκόλληση του ενεργού υλικού από τον συλλέκτη ρεύματος,

- Οι αλλαγές στη μορφολογία των ηλεκτροδίων ή/και του ηλεκτρολύτη, καταστροφή του ηλεκτρολυτικού μέσου ως αποτέλεσμα ηλεκτρόλυσης των συστατικών του (*overcharging*). [\[14\]](#)

### 4.3 Εξαρτήματα συσσωρευτών

#### ο **Περίβλημα, Δοχείο – κουτί (container)**

Το περίβλημα πρέπει να είναι ανθεκτικό στις διαβρωτικές συνθήκες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του συσσωρευτή, να έχει μηχανική αντοχή έτσι ώστε να αποφεύγονται ρωγμές που μπορεί να προκληθούν από το στοίβαγμα ή ακόμα και από χτυπήματα στο εξωτερικό περίβλημα. Να είναι από φθηνό υλικό για να μη επιβαρύνει το κόστος της μπαταρίας αλλά της και ελαφρύ για να μη αυξάνει επιπλέον το βάρος της, π.χ. ατσάλι (αλκαλικές μπαταρίες), πολυπροπυλένιο (όξινες μπαταρίες), Zn (μπαταρίες Zn-C)

#### ο **Διαχωριστικά (separators)**

Το διαχωριστικό πρέπει να είναι χημικά σταθερό υλικό σε σχέση με τον ηλεκτρολύτη και τα άλλα ενεργά υλικά στην θερμοκρασία λειτουργίας. Να έχει υψηλό βαθμό ενυδάτωσης / εφυδάτωσης από τον ηλεκτρολύτη, υψηλή εκλεκτικότητα, μικρή αντίσταση και χαμηλό κόστος.

#### ο **Συλλέκτες ρεύματος (current collectors)**

Για να έχει ένας συσσωρευτής μια αποδεκτή χωρητικότητα το ενεργό υλικό είναι σχεδόν πάντα ένα παχύ στρώμα από μια πορώδη πάστα από σωματίδια και η ηλεκτρονική αγωγιμότητα αυτής της μάζας είναι σπάνια και πολύ υψηλή. Έτσι είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας ρευματοσυλλέκτης που είναι συνήθως ένα πλατύ φύλλο ή πλέγμα για να παρέχει έναν αγωγίμο δρόμο μέσα από την πάστα και έτσι να μειώνει την αντίσταση του συσσωρευτή. Επειδή η ενεργός μάζα έχει χαμηλή αγωγιμότητα ο ρευματοσυλλέκτης αναλαμβάνει να οδηγήσει τα ηλεκτρικά φορτία έξω από τον συσσωρευτή. Επίσης ο ρευματοσυλλέκτης λειτουργεί και ως μηχανική υποστήριξη της ενεργού μάζας που αλλιώς έχει εύθραυστη δομή. π.χ. πλάκες, σύρματα, φύλλα, τρισδιάστατα πλέγματα. [\[14\]](#)

#### ο **Ηλεκτρολύτης (electrolyte)**

Είναι η χημική ουσία που χρησιμοποιείτε για την αλληλεπίδραση με τα ηλεκτρόδια και μας δίνει μια σειρά από ηλεκτροχημικές αντιδράσεις Το αποτέλεσμα των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων είναι η δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού στα άκρα των πλακών. Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει υψηλή ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα και χημική σταθερότητα σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος ανάλογα με την εφαρμογή, η μείωση της θερμοκρασίας του συσσωρευτή πρέπει να αποφεύγεται, καθώς αυξάνει την αντίσταση του ηλεκτρολύτη. Όπως όλα τα εξαρτήματα ενός συσσωρευτή το βάρος του ηλεκτρολύτη επηρεάζει σημαντικά και το βάρος του συσσωρευτή. Προκειμένου να ελαττώνεται η αντίσταση του συσσωρευτή, και το

βάρος του ηλεκτρολύτη, οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές.

#### ο **Ενεργά συστατικά (active materials)**

Είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα δυο ηλεκτρόδια και αλληλοεπιδρούν με τον ηλεκτρολύτη για να πετύχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων σε ικανές ποσότητες. Στους περισσότερους συσσωρευτές αυτά τα όρια ικανοποιούνται με την χρήση στερεών αντιδρώντων και στους επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές το προϊόν των ηλεκτροδιακών δράσεων είναι επίσης στερεό. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφερθούμε στην περίπτωση συσσωρευτών μολύβδου – οξέος, όπου στα ενεργά υλικά προσθέτουμε ιόντα ασβεστίου Ca ή αντιμονίου Sb για να μπορούμε να έχουμε βαθιές εκφορτώσεις. Στο εσωτερικό αυτών των ενεργών υλικών βρίσκονται οι ρευματοσυλλέκτες [\[20α\]](#)

Τα ενεργά συστατικά πρέπει να έχουν εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στην περιοχή που λαμβάνει χώρα η δράση μεταφοράς φορτίου, ενώ παράλληλα θα πρέπει η παρουσία τους να είναι σε μεγάλες ποσότητες. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται στερεά πορώδη αντιδρώντα/προϊόντα. Η μεγάλη επιφάνεια προσφέρει μεγάλη ενεργή μάζα, μεγάλη ενεργή επιφάνεια και καλή επαφή με τον ηλεκτρολύτη (πορώδες περίπου 50%)

#### 4.4 Τύποι επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών

Οι κυριότεροι τύποι επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εργασίας είναι οι εξής:

##### ο **Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (lead-acid batteries)**

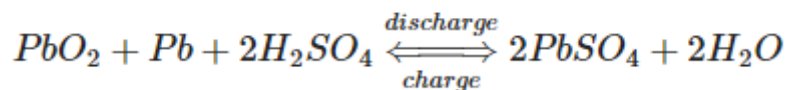
Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως (lead – acid), που εφευρέθηκαν το 1859, αποτελούν την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών συσκευών και αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αποθήκευσης ενέργειας στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Αν και οι μπαταρίες μολύβδου οξέος έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, μέτρια μόνο απόδοση και υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών. Ένα από τα μοναδικά πλεονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου οξέος είναι ότι είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή μπαταρίας για τις περισσότερες εφαρμογές επαναφορτιζόμενων μπαταριών (για παράδειγμα, στην εκκίνηση κινητήρων αυτοκινήτων) και επομένως έχουν μια καθιερωμένη, ώριμη τεχνολογική βάση. [\[21\]](#)

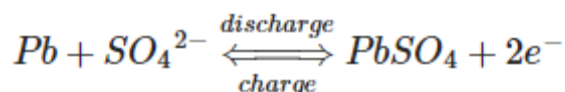
Μια μπαταρία μολύβδου οξέος αποτελείται από ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο από σπογγώδες ή πορώδες μόλυβδο. Ο μόλυβδος είναι πορώδης για να διευκολύνει το σχηματισμό και τη διάλυση του μολύβδου. Το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από οξείδιο του μολύβδου. Και τα δύο ηλεκτρόδια βυθίζονται σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα θειικού οξέος και νερού. Σε περίπτωση που τα ηλεκτρόδια έρθουν σε επαφή μεταξύ τους μέσω φυσικής κίνησης της μπαταρίας ή μέσω αλλαγών στο πάχος των ηλεκτροδίων, μια ηλεκτρικά μονωτική, αλλά χημικά διαπερατή μεμβράνη χωρίζει τα

δύο ηλεκτρόδια. Αυτή η μεμβράνη αποτρέπει επίσης το ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα μέσω του ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος αποθηκεύουν ενέργεια με την αναστρέψιμη χημική αντίδραση που φαίνεται παρακάτω.

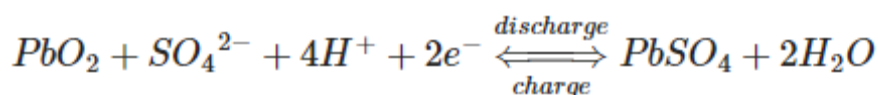
Η συνολική χημική αντίδραση είναι:



Στον αρνητικό πόλο οι αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης είναι:

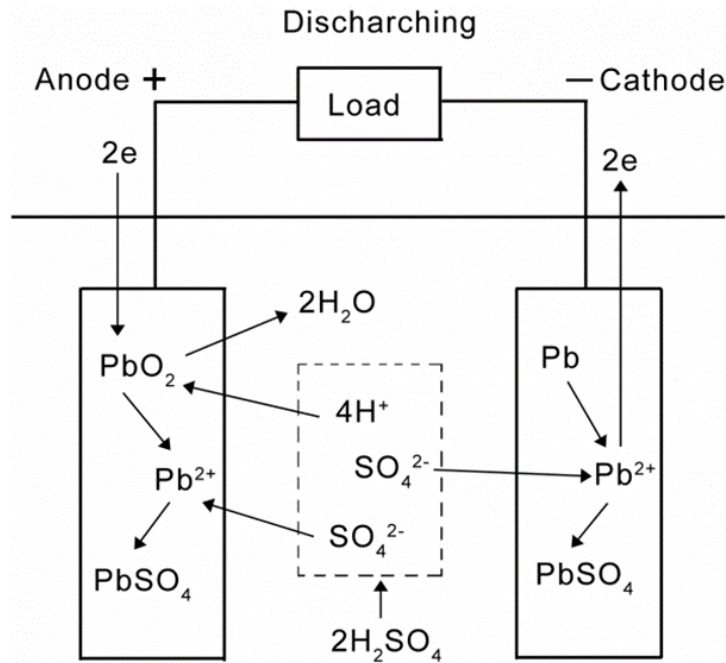


Στο θετικό πόλο οι αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης είναι:



Όπως δείχνουν οι παραπάνω εξισώσεις, η εκφόρτιση μιας μπαταρίας προκαλεί το σχηματισμό κρυστάλλων θεικού μολύβδου τόσο στο αρνητικό όσο και στο θετικό τερματικό, καθώς και την απελευθέρωση ηλεκτρονίων λόγω της αλλαγής του φορτίου σθένους του ηλεκτροδίου. Ο σχηματισμός αυτού του θεικού μολύβδου χρησιμοποιεί θεικό άλας από τον ηλεκτρολύτη θεικού οξέος που περιβάλλει την μπαταρία. Ως αποτέλεσμα, ο ηλεκτρολύτης γίνεται λιγότερο συγκεντρωμένος. Η πλήρης εκφόρτιση θα είχε ως αποτέλεσμα και τα δύο ηλεκτρόδια να καλύπτονται με θεικό μόλυβδο και νερό και όχι με θεικό οξύ που περιβάλλει τα ηλεκτρόδια. Σε πλήρη εκφόρτιση τα δύο ηλεκτρόδια καταλήγουν να περιβάλλονται από το ίδιο υλικό και να μην υπάρχει χημικό δυναμικό ή τάση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Στην πράξη, όμως, η εκφόρτιση σταματά στην τάση διακοπής, πολύ πριν από αυτό το σημείο. Επομένως, η μπαταρία δεν πρέπει να αποφορτίζεται κάτω από αυτήν την τάση. [\[21\]](#)





Εικόνα 06. Μπαταρίες μολύβδου – οξέος <sup>[21]</sup>

- Άνοδος: Pb
- Κάθοδος:  $PbO_2$
- Ηλεκτρολύτης:  $H_2SO_4$  (υδατικό διάλυμα)

Δυναμικό γαλβανικής κυψέλης (nominal voltage):  $E_{cell} = 2.0 V$

Σε μπαταρίες μολύβδου οξέος (flooded batteries), η παραγωγή και η διαφυγή υδρογόνου και αερίου οξυγόνου από μια μπαταρία προκαλεί απώλεια νερού και η απώλεια αυτή πρέπει να αντικαθίσταται με αποταγμένο νερό τακτικά. Τα υπόλοιπα εξαρτήματα ενός συστήματος μπαταρίας δεν απαιτούν συντήρηση τόσο τακτικά, επομένως η απώλεια νερού μπορεί να είναι το σημαντικότερο πρόβλημα.

Στο δεύτερο τύπο μπαταριών μολύβδου οξέος VRLA, διαφέρουν στο ότι σφραγίζονται με μία βαλβίδα ελέγχου της πίεσης και στο ότι ο ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος σε μορφή gel ή σε απορροφητικό γυαλί (absorbent glass mat). Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των τελευταίων είναι η δραματική μείωση της απαιτούμενης συντήρησης, η μη εκπομπή όξινων αερίων, το μικρότερο βάρος και η πιο εύκολη τοποθέτηση, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος. <sup>[20]</sup>

### ο Μπαταρίες Ni-Cd (Nickel-cadmium batteries)

Ενώ οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι αναμφίβολα οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μπαταρίες σε φωτοβολταϊκά συστήματα, σε ορισμένες φωτοβολταϊκές εφαρμογές, το νικέλιο-κάδμιο μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικό σε βάση κύκλου ζωής/κόστους. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου αποτελούνται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο νικελίου (ή υδροξειδίου) και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο



υδροξειδίου του καδμίου. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε σφραγισμένη διαμόρφωση σε μικρές οικιακές συσκευές, όμως και μεγαλύτερες αεριζόμενες ή σφραγισμένες μπαταρίες είναι επίσης διαθέσιμες για εφαρμογές φωτοβολταϊκών. <sup>[21]</sup>

Μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, είναι τα βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου. Στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, τα θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια υφίστανται αντιδράσεις οξειδωσης και αναγωγής. Το υλικό δεν εισέρχεται στον ηλεκτρολύτη και στη συνέχεια επανατοποθετείται στα ηλεκτρόδια όπως θα συνέβαινε στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Αυτό σημαίνει ότι το ενεργό υλικό δεν απορρίπτεται από τις πλάκες και ότι δεν λαμβάνει χώρα διαδικασία ανάλογη με τη θείωση μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος. Καθώς αυτές οι διαδικασίες μειώνουν τη διάρκεια ζωής των μπαταριών μολύβδου-οξέος, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, ο ηλεκτρολύτης στο νικέλιο-κάδμιο είναι λιγότερο διαβρωτικός στα μέρη της μπαταρίας από ό,τι σε μια μπαταρία μολύβδου-οξέος, γεγονός που αυξάνει επίσης τη διάρκεια ζωής.

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως χωρίς να προκληθεί ζημιά στην μπαταρία, επίσης είναι λιγότερο ευαίσθητες στην υπερφόρτιση, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Λόγω της ικανότητας πλήρους αποφόρτισης, της ανοχής στην υπερφόρτιση και των απαιτήσεων φόρτισης για αυτές τις μπαταρίες, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εξαλειφθεί ο ρυθμιστής φόρτισης.

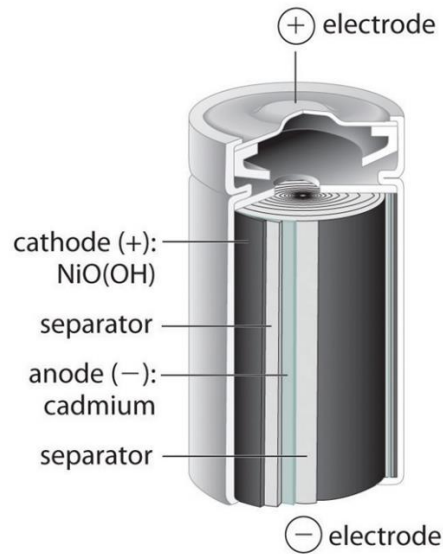
Δεδομένου ότι η σύνθεση του ηλεκτρολύτη δεν αλλάζει κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου δεν παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην κατάψυξη σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης, όπως και με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Κατά συνέπεια, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου είναι λιγότερο ευαίσθητες σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ανέχονται θερμοκρασίες -50 C. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής των μπαταριών νικελίου-καδμίου δεν επηρεάζεται τόσο έντονα από τις λειτουργίες υψηλής θερμοκρασίας όσο αυτών του μολύβδου-οξέος.

Ωστόσο, έχουν επίσης μια σειρά από μειονεκτήματα. Μερικά από τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν

Το κόστος, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου είναι συνήθως τουλάχιστον δύο φορές πιο ακριβές από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Ωστόσο, μέρος αυτού του κόστους μπορεί να αντισταθμιστεί από την ικανότητα πλήρους αποφόρτισης, εξαλείφοντας την ανάγκη για μεγαλύτερο μέγεθος της μπαταρίας, και από την πιθανή εξάλειψη του ρυθμιστή.

Χαμηλότερη απόδοση. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν χαμηλότερη κολουμπική απόδοση, μεταξύ 75% και 85%, και χαμηλότερη συνολική απόδοση, μεταξύ 60% και 75%.

Φαινόμενο μνήμης. Ορισμένες μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορεί να απαιτούν πλήρη αποφόρτιση για να αποφευχθεί η ανάπτυξη «μνήμης» και η επακόλουθη αδυναμία (σε έναν κανονικό κύκλο εκφόρτισης) να αποφορτιστεί κάτω από το επίπεδο στο οποίο είχε υποβληθεί στο παρελθόν. Η εξάλειψη αυτού του φαινομένου απαιτεί έναν αργό, πλήρη κύκλο εκφόρτισης/φόρτισης. <sup>[21]</sup>



**Εικόνα 07.** Διάταξη μπαταρίας Ni-Cd <sup>[22]</sup>

- Άνοδος: Cd
  - Κάθοδος: NiOOH
  - Ηλεκτρολύτης: KOH (υδατικό διάλυμα)
- Δυναμικό γαλβανικής κυψέλης (nominal voltage):  $E_{cell} = 1.2 V$

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό των μπαταριών νικελίου-καδμίου είναι η σχετικά σταθερή καμπύλη τάσης κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση. Ενώ αυτό είναι ένα πλεονέκτημα στην εκφόρτιση καθώς η τάση παραμένει σχετικά σταθερή μεταξύ 10% και 80% εκφόρτισης, είναι ένα μειονέκτημα στη φόρτιση.

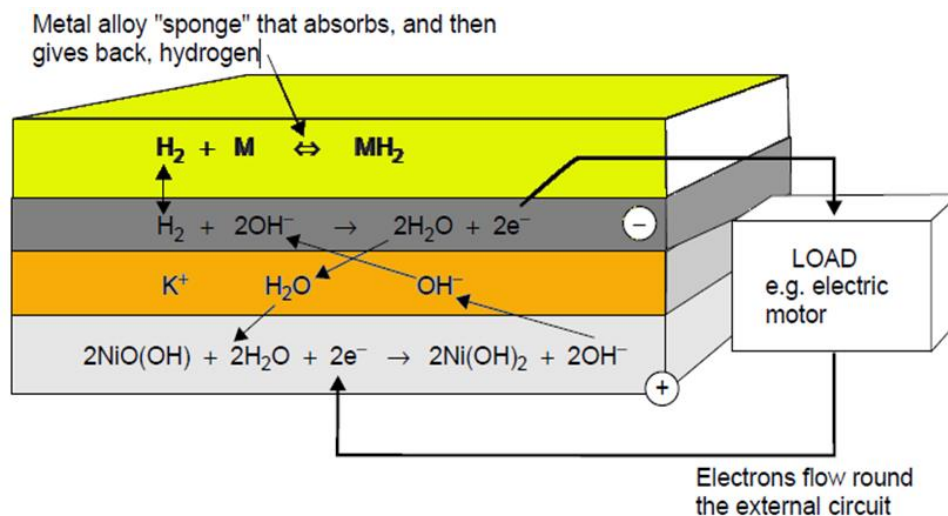
### ο Μπαταρίες Ni-υδριδίων μετάλλων (NiMH batteries)

Μια μπαταρία νικελίου υδριδίου μετάλλου (NiMH ή Ni-MH) είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Η χημική αντίδραση στο θετικό ηλεκτρόδιο είναι παρόμοια με αυτή του κελιού νικελίου-καδμίου (NiCd), όπου και στους δύο τύπους χρησιμοποιείται υδροξείδιο του νικελίου (NiOOH). Ωστόσο, τα αρνητικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούν ένα κράμα που απορροφά υδρογόνο αντί για κάδμιο. Η χρήση υδριδίου του μετάλλου αντί για κάδμιο εκμηδενίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών NiCd, ενώ παράλληλα περιορίζεται η επίδραση του φαινομένου μνήμης, το οποίο για το συγκεκριμένο τύπο μπαταριών αποκαλείται lazy effect. Οι μπαταρίες NiMH μπορούν να έχουν δύο έως τρεις φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από μπαταρίες NiCd ίδιου μεγέθους, με σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, αν και πολύ μικρότερη από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. <sup>[22]</sup>

Συνήθως χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική για παρόμοιου σχήματος μη επαναφορτιζόμενες αλκαλικές μπαταρίες, καθώς διαθέτουν ελαφρώς χαμηλότερη αλλά γενικά συμβατή τάση κυψέλης, και είναι λιγότερο επιρρεπείς σε διαρροές και εκρήξεις.

Η εξελιξη των μπαταριών NiMH ξεκίνησε στην Γενεύη (Ερευνητικό Κέντρο Battelle-Geneva) μετά την εφεύρεση της τεχνολογίας το 1967. Βασίστηκε σε συντηγμένα κράματα  $Ti_2Ni+TiNi+x$  και ηλεκτρόδια  $NiOOH$ .

Οι εμπορικά διαθέσιμες μπαταρίες σήμερα παρουσιάζουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 1000 κύκλους εκφόρτισης σε βάθος 80%. Η ειδική ενέργεια των μπαταριών NiMH είναι μεταξύ 30 – 50% μεγαλύτερη από των μπαταριών NiCd, με μία αντιπροσωπευτική τιμή 70 Wh/kg. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα έναντι της τεχνολογίας NiCd είναι τα υψηλότερα ποσοστά αυτοεκφόρτισης. Επιπλέον μειονεκτήματα είναι η χαμηλή αποδοτικότητα των κελίων τους, ο σχετικά χαμηλός βαθμός αξιοπιστίας, η υψηλή θερμοκρασία που δημιουργείται κατά την φόρτιση και το υψηλό τους κόστος. [\[20\]](#)

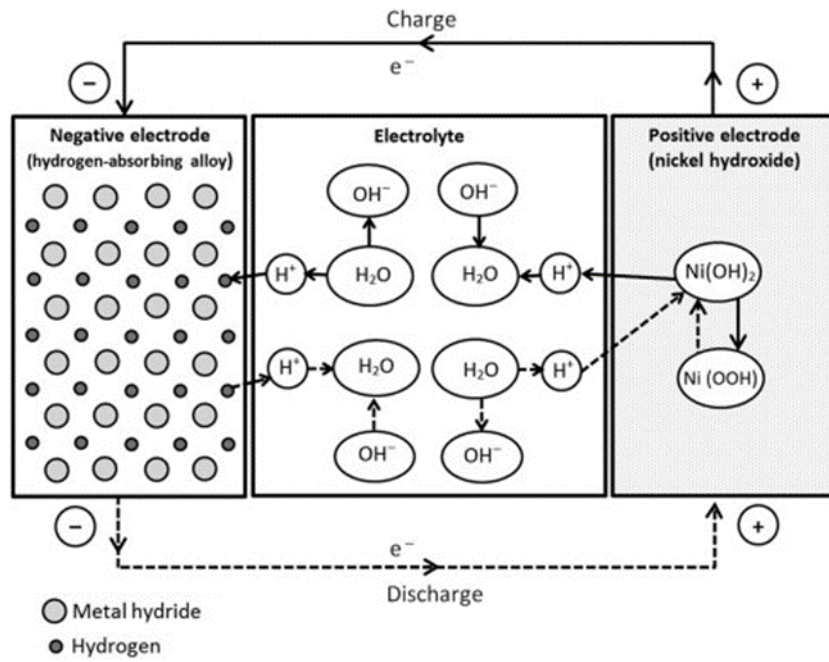


**Εικόνα 08.** Μπαταρίες Ni-υδριδίων μετάλλων [\[24\]](#)

- Άνοδος: Υδρίδιο μετάλλου της μορφής  $AB_2$
  - (A = Ti ή/και V, B = Zr ή Ni τροποποιημένο με Cr, Co, Fe ή/και Mn) ή  $AB_5$  (A = μίγμα σπάνιων γαιών από La, Ce, Nd, Pr, B = Ni, Co, Mn ή/και Al)
  - Κάθοδος:  $NiOOH$
  - Ηλεκτρολύτης: KOH (υδατικό διάλυμα)
- Δυναμικό γαλβανικής κυψέλης (nominal voltage):  $E_{cell} = 1.2 V$

<b>Ti</b>	Τιτάνιο	<b>La</b>	Λανθάνιο
<b>V</b>	Βανάδιο	<b>Ce</b>	Δημήτριο
<b>Zr</b>	Ζιρκόνιο	<b>Nd</b>	Νεοδύμιο
<b>Ni</b>	Νικέλιο	<b>Pr</b>	Πρασεοδύμιο
<b>Cr</b>	Χρώμιο	<b>Al</b>	Αργίλιο
<b>Co</b>	Κοβάλτιο	<b>Cd</b>	Κάδμιο
<b>Fe</b>	Σίδηρος	<b>Pb</b>	Μόλυβδος
<b>Mn</b>	Μαγγάνιο		

**Πίνακας 01.** Μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες Ni-MH



Εικόνα 09. Διάταξη μπαταρίας Ni-υδριδίων μετάλλων [24]

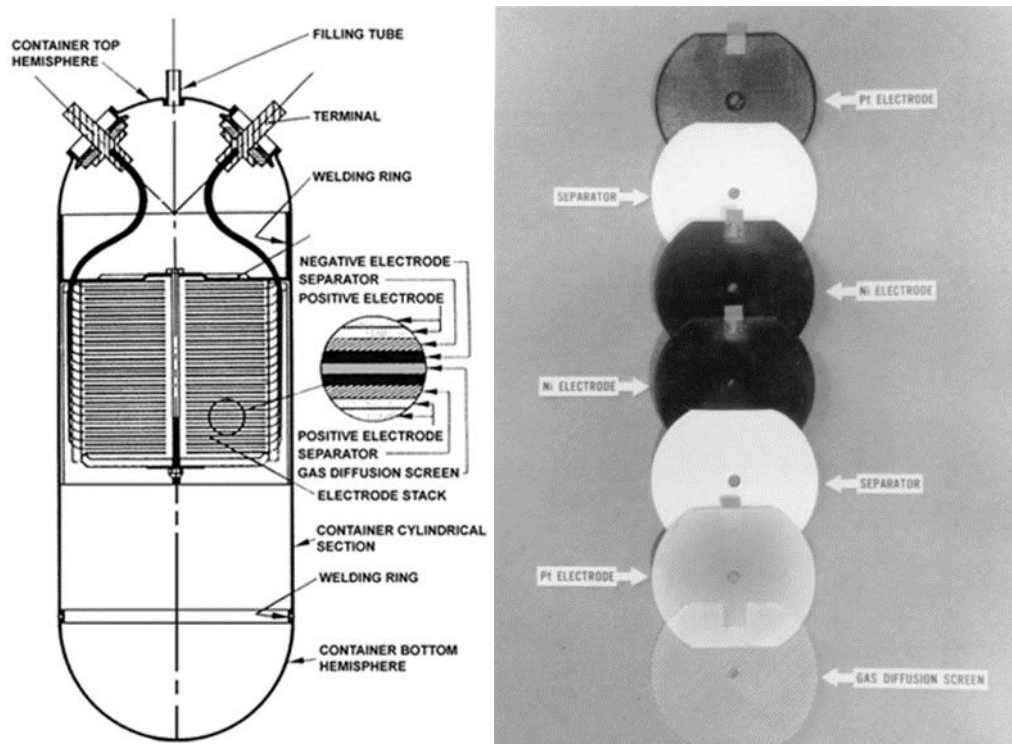


Εικόνα 10. Συστοιχία μπαταριών Ni-MH. Σε κάθε συστοιχία (πορτοκαλί σωλήνα) βρίσκονται 6 στοιχεία και συνολικά το σύστημα αποτελείται από 20 συστοιχίες. [27]

## ο Μπαταρίες Ni-υδρογόνου (*Nickel-Hydrogen batteries*)

Μια μπαταρία νικελίου-υδρογόνου (NiH<sub>2</sub> ή Ni-H<sub>2</sub>) είναι μια επαναφορτιζόμενη ηλεκτροχημική πηγή ενέργειας που βασίζεται σε νικέλιο και υδρογόνο. Διαφέρει από μια μπαταρία νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH) από τη χρήση υδρογόνου σε αέρια μορφή, αποθηκευμένο σε κυψέλη υπό πίεση σε πίεση έως και 1200 psi (82,7 bar).

Στα κελιά των μπαταριών NiH<sub>2</sub> ως ηλεκτρολύτης, χρησιμοποιείται 26% υδροξείδιο του καλίου (KOH). Ο συγκεκριμένος τύπος έχει δείξει διάρκεια ζωής 15 ετών και άνω, με βάθος εκφόρτισης (DOD) στο 80%. Η ενεργειακή πυκνότητα είναι 75 Wh/kg, ειδική ισχύς 220 W/kg. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος είναι 1,55 V, η μέση τάση κατά την εκφόρτιση είναι 1,25 V. [23]



Εικόνα 11. Μπαταρίες Ni-υδρογόνου

- Υβριδικό σύστημα τεχνολογίας μπαταριών (αντίδραση καθόδου) και κυψελών καυσίμου (αντίδραση ανόδου)
- Άνοδος: δοχείο που περιέχει H<sub>2</sub> σε αέρια μορφή και πίεση ίση με ≈83 bar (εκφόρτιση)/ καταλύτης νάνο σωματιδίων Pt σε GDL (φόρτιση)
- Κάθοδος: NiOOH
- Ηλεκτρολύτης: 26% KOH (υδατικό διάλυμα)
- Δυναμικό γαλβανικής κυψέλης (nominal voltage):  $E_{cell} = 1.25 V$
- Θερμοκρασία λειτουργίας: 0 με 50°C



## ο Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου

Η πρωτοποριακή έρευνα για την μπαταρία λιθίου ξεκίνησε το 1912 υπό τον G.N. Lewis, όμως μόλις στις αρχές της δεκαετίας του 1970 έγιναν εμπορικά διαθέσιμες, οι πρώτες μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου. Το λίθιο είναι το ελαφρύτερο από όλα τα μέταλλα, έχει το μεγαλύτερο ηλεκτροχημικό δυναμικό και παρέχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα. Οι προσπάθειες ανάπτυξης επαναφορτιζόμενων μπαταριών λιθίου απέτυχαν λόγω προβλημάτων ασφαλείας. Λόγω της εγγενούς αστάθειας του μετάλλου λιθίου, ειδικά κατά τη φόρτιση, η έρευνα μετατοπίστηκε σε μια μη μεταλλική μπαταρία λιθίου που χρησιμοποιεί ιόντα λιθίου. Αν και ελαφρώς χαμηλότερη σε ενεργειακή πυκνότητα από το μέταλλο λιθίου, το ιόν λιθίου είναι ασφαλές, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται ορισμένες προφυλάξεις κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση.

Η ενεργειακή πυκνότητα του ιόντος λιθίου είναι τυπικά διπλάσια από αυτή του νικελίου-καδμίου. Τα χαρακτηριστικά φορτίου είναι αρκετά καλά και συμπεριφέρονται παρόμοια με το νικέλιο-κάδμιο όσον αφορά την απόρριψη. Η υψηλή τάση κυψέλης των 3,6 βολτ επιτρέπει σχέδια μπαταριών με μία μόνο κυψέλη, π.χ. στα κινητά τηλέφωνα.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι μπαταρίες χαμηλής συντήρησης. Δεν παρουσιάζουν το φαινόμενο μνήμης και δεν απαιτούν προγραμματισμένες φορτίσεις για την παράταση στη διάρκεια ζωής των μπαταριών. Επιπλέον, η αυτοεκφόρτιση είναι λιγότερο από το μισό σε σύγκριση με το νικέλιο-κάδμιο, καθιστώντας το συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας κατάλληλο για σύγχρονες εφαρμογές μετρητή καυσίμου.

Ένα από τα κύρια μειονεκτήματά αυτού του τύπου μπαταρίας είναι ότι απαιτεί κύκλωμα προστασίας για τη διατήρηση της ασφαλούς λειτουργίας. Ενσωματωμένο σε κάθε πακέτο, το κύκλωμα προστασίας περιορίζει την τάση αιχμής κάθε στοιχείου κατά τη φόρτιση και αποτρέπει την χαμηλή πτώση της τάσης του στοιχείου κατά την εκφόρτιση. Επιπλέον, η θερμοκρασία του στοιχείου παρακολουθείται για την αποφυγή ακραίων θερμοκρασιών.

### Πλεονεκτήματα

Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα - δυνατότητα για ακόμα υψηλότερες χωρητικότητες.

Σχετικά χαμηλή αυτοεκφόρτιση - η αυτοεκφόρτιση είναι μικρότερη από τη μισή από αυτήν των μπαταριών με βάση το νικέλιο.

Χαμηλή συντήρηση - δεν απαιτείται περιοδική εκφόρτιση, δεν παρουσιάζει φαινόμενο μνήμης.

Οι ειδικές κυψέλες μπορούν να παρέχουν πολύ υψηλό ρεύμα σε εφαρμογές όπως τα ηλεκτρικά εργαλεία.<sup>[20]</sup>

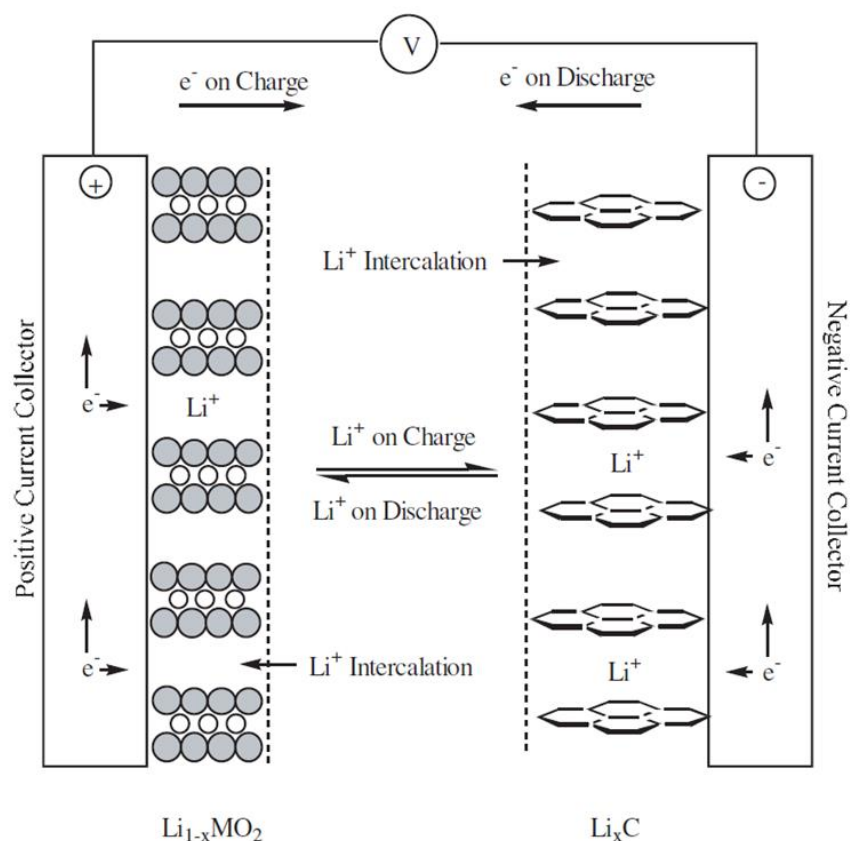
## Μειονεκτήματα

Το σχετικά υψηλότερο κόστος από τις ανταγωνίστριες τεχνολογίες, καθώς είναι κατά 40% υψηλότερο το κόστος κατασκευής τους από τις μπαταρίες νικελίου - καδμίου.

Η σχετική αστάθεια τους υπό συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας από υπερφόρτιση, προκαλεί επίσης και ελάττωση της χωρητικότητας.

Ανάγκη συστήματος εξαιρισμού και κυκλώματος προστασίας για τη διατήρηση της τάσης και του ρεύματος εντός ασφαλών ορίων.

Η τεχνολογία περιλαμβάνει δύο κύριους τύπους μπαταριών, τις ιόντων λιθίου (Li-ion) και τις λιθίου πολυμερούς (Li-poly). Στις πρώτες, η κάθοδος κατασκευάζεται από μεταλλικό οξείδιο λιθίου που συνήθως είναι  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMO}_2$  ή  $\text{LiNiO}_2$ , η άνοδος από γραφιτικό άνθρακα με δομή στοιβάδας, ενώ ο ηλεκτρολύτης από τη διάλυση αλάτων λιθίου (όπως το  $\text{LiPF}_6$ ) σε οργανικούς ανθρακικούς διαλύτες. Κατά τη φάση της φόρτισης, τα άτομα λιθίου στην κάθοδο μετατρέπονται σε ιόντα και μετακινούνται διαμέσου του ηλεκτρολύτη προς την άνοδο, όπου συνδυάζονται με ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και τοποθετούνται ως άτομα λιθίου μεταξύ των ανθρακικών στοιβάδων. Αυτή η διαδικασία αντιστρέφεται κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης.



**Εικόνα 12.** Λειτουργία μπαταρίας τεχνολογίας λιθίου [24]

Η σημαντικότερη διαφορά των μπαταριών Li-poly είναι ότι ο διαλύτης είναι από στερεό πολυμερές και χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως διαχωριστής. Το βασικότερο πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι οι πολύ υψηλές τιμές ειδικής

ενέργειας που κυμαίνονται μεταξύ 80 – 150 Wh/kg για τις μπαταρίες Li-ion και 100 – 150Wh/kg για τις Li-poly, καθώς και οι πολύ μεγάλοι βαθμοί απόδοσης που μπορεί να αγγίξουν και το 100% . Πιο συγκεκριμένα, οι μπαταρίες Li-ion εμφανίζουν αξιοσημείωτη διάρκεια ζωής συνδυασμένη με αρκετά βαθιές εκφορτίσεις, (3000 κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης με βάθη εκφόρτισης 80% ).

Το πλεονέκτημα των μπαταριών Li-poly έναντι των Li-ion είναι το ελαφρύτερο βάρος και η ασφάλεια, καθώς σε αντίθεση με τις Li-ion δεν εμφανίζουν κίνδυνο αυτανάφλεξης. Από την άλλη μεριά, το σημαντικότερο πρόβλημα που παρουσιάζουν είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής (περίπου 600 κύκλοι) και το πιο στενό θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας σε σχέση με τις μπαταρίες Li-ion. [\[20\]](#)

### **ο Μπαταρία ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (Vanadium Redox Flow Battery)**

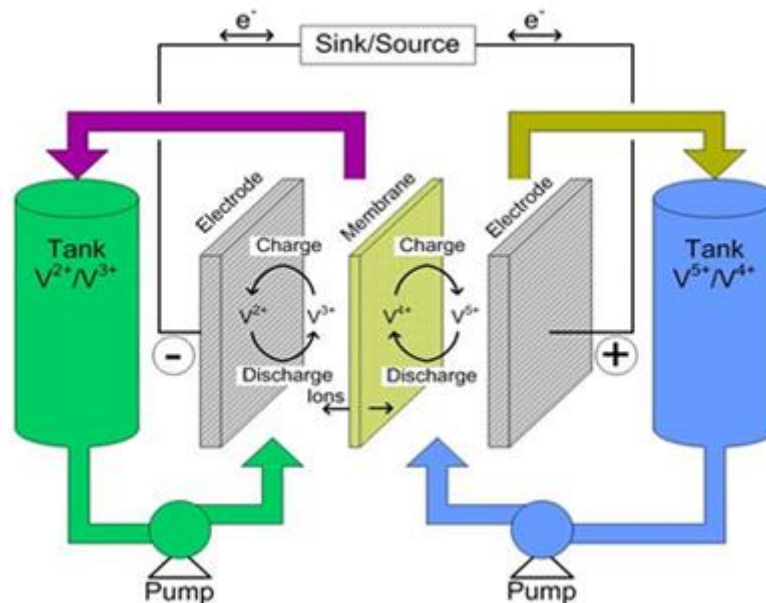
Οι μπαταρίες ροής χρησιμοποιούν μια αναγωγική-οξειδωση μεταξύ δύο καταστάσεων σθένους στο διάλυμα αντί να αλλάζουν τη σύνθεση. Ο υγρός ηλεκτρολύτης, μεταλλικών αλάτων αντλείται μέσω ενός πυρήνα που αποτελείται από ένα θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο, διαχωρισμένο από μια μεμβράνη η οποία επιτρέπει σε ορισμένα ιόντα να περάσουν και σε άλλα όχι.

Μια μπαταρία ροής είναι μια ηλεκτρική συσκευή αποθήκευσης, συνδυασμός μιας συμβατικής μπαταρίας και μιας κυψέλης καυσίμου. Η ανταλλαγή ιόντων που συμβαίνει μεταξύ της καθόδου και της ανόδου παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μπαταρίες ροής έχουν πολλά πιθανά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμπαγείς μπαταρίες. Ένα βασικό πλεονέκτημα, το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις εφαρμογές μεταφοράς, είναι ότι η μπαταρία μπορεί να επαναφορτιστεί απλά αντλώντας το αφόρτιστο διάλυμα και αντικαθιστώντας το διάλυμα με φορτισμένο διάλυμα. Αυτό εξαλείφει δυνητικά μεγάλους χρόνους επαναφόρτισης, όπως συναντώνται στα ηλεκτρικά οχήματα. Η αντικατάσταση του διαλύματος επιτρέπει στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο να επαναφορτιστεί με τον ίδιο τρόπο που ένα αυτοκίνητο γεμίζει με καύσιμο. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας καθορίζεται από τον όγκο του διαλύματος, ενώ η ισχύς της μπαταρίας καθορίζεται από την περιοχή επαφής μεμβράνης μεταξύ των δύο διαλυμάτων.

Οι περισσότερες μπαταρίες εμπορικής ροής χρησιμοποιούν όξινο θείο με άλας βαναδίου ως ηλεκτρολύτη, τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από διπολικές πλάκες γραφίτη. Το βανάδιο είναι ένα από τα λίγα διαθέσιμα ενεργά υλικά που κρατά τη διάβρωση υπό έλεγχο. [\[21\]](#)





**Εικόνα 13.** Λειτουργική διάταξη μπαταρίας ροής

Ο ηλεκτρολύτης αποθηκεύεται σε δεξαμενές και αντλείται στον πυρήνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. η φόρτιση είναι η αντίστροφη διαδικασία. Ο όγκος του ηλεκτρολύτη ρυθμίζει τη χωρητικότητα της μπαταρίας.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου μπαταριών είναι, πως υπάρχει η δυνατότητα παροχής μεγάλων ποσών ισχύος, αλλά και η δυνατότητα συνεχούς απόδοσης ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Κατά δεύτερο λόγο, επιτρέπεται η ευέλικτη διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης, δεδομένου ότι η χωρητικότητα και η ικανότητα απόδοσης ισχύος είναι ανεξάρτητα μεγέθη. Ακόμα, οι ηλεκτρολύτες μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα, ενώ η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος επιτυγχάνεται απλά με την προσθήκη μεγαλύτερων δεξαμενών και περισσότερου ηλεκτρολύτη. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα αποθήκευσης δεν υποφέρουν από αυτοεκφόρτιση αφού οι ηλεκτρολύτες είναι αποθηκευμένοι ξεχωριστά και δε μπορούν να αντιδράσουν.

Στις αρνητικές ιδιότητες της τεχνολογίας συγκαταλέγονται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης λόγω των απωλειών από τη χρήση των αντλιών και των απωλειών των χημικών αντιδράσεων,<sup>[20]</sup> οι χαμηλές τιμές ειδικής ενέργειας και το λειτουργικό κόστος.

#### 4.5 Αντιστροφείς τάσης (Inverters)

Το ρεύμα και η τάση που δίνει στην έξοδο του ένα Φ/Β στοιχείο, είναι συνεχούς μορφής (DC). Αυτό το γεγονός θα μπορούσε να περιορίσει δραματικά τη χρήση τους για τροφοδότηση ηλεκτρικών φορτίων αφού οι ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν στην πλειοψηφία τους με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έχει προκύψει λοιπόν, μία αναγκαιότητα για μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο τόσο για να μπορεί η Φ/Β γεννήτρια να τροφοδοτήσει πληθώρα ηλεκτρικών συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος αλλά επίσης για να μπορεί να

τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ισχύ τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία, στις περισσότερες χώρες του κόσμου, λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα και τάση. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο γίνεται από ειδικές διατάξεις, τους αντιστροφείς.

Οι αντιστροφείς τάσης ( inverters) είναι ένα είδος ηλεκτρονικών μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη με δυνατότητα μεταβολής της συχνότητας, του πλάτους και της φάσης της παραγόμενης τάσης ΕΡ. Η μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγικών διακοπών και οι νέες τεχνικές ελέγχου σε συνδυασμό με τη χρήση των ψηφιακών επεξεργαστών σήματος (Digital Signal Processors, DSP) έχει βελτιώσει κατά πολύ την ποιότητά τους (μικρότερες απώλειες, ταχύτερη απόκριση) και έχει μειώσει το μέγεθος και το κόστος τους με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. [25]

Μερικές βασικές εφαρμογές των αντιστροφέων είναι οι εξής:

1. Συστήματα ελέγχου εναλλασσόμενων ηλεκτρικών μηχανών (Adjustable Speed Drives ASD)
2. Ευέλικτα AC συστήματα μεταφοράς ισχύος (Flexible AC Transmission Systems, FACTS)
3. Συστήματα μεταφοράς Συνεχούς Ρεύματος Υψηλής Τάσης (High Voltage Direct Current, HVDC)
4. Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)
5. Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (Uninterruptible Power Supplies, UPS)
6. Στατοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος (Static Var compensators/ Generators, SVC/SVG)
7. Ενεργά φίλτρα για μείωση αρμονικών για την καλύτερευση της ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας (Active Filters, AF)
8. Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου.

#### 4.6 Αρχή λειτουργίας και τύποι αντιστροφέων

Η βασική αρχή λειτουργίας των αντιστροφέων είναι η δημιουργία ενός σήματος όσο το δυνατόν πιο κοντινού σε ένα ημιτονοειδές με την χρήση διακοπτικών στοιχείων τα οποία εφαρμόζουν κατάλληλα με ορθή και ανάστροφη πόλωση την DC τάση και ελέγχονται από κάποιο κύκλωμα. Στη συνέχεια το σήμα φιλτράρεται (από κάποιο φίλτρο με πηνία και πυκνωτές) προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα της εξόδου. Το λογικό κύκλωμα στέλνοντας παλμούς στα διακοπτικά καθορίζει τα στοιχεία της κυματομορφής της εξόδου οπότε με τον κατάλληλο προγραμματισμό του λογικού κυκλώματος παράγεται το επιθυμητό σήμα. Οι αντιστροφείς μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το είδος της πηγής συνεχούς τροφοδοσίας:

1. αντιστροφείς με πηγή τάσης (Voltage Source Inverter, VSI)
2. αντιστροφείς με πηγή ρεύματος (Current Source Inverter, CSI)

Επίσης, οι αντιστροφείς μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με το πόσα επίπεδα έχει η παραγόμενη τάση εξόδου σε:

- A) συμβατικοί αντιστροφείς δύο επιπέδων
- B) αντιστροφείς πολλαπλών επιπέδων

### ο Αντιστροφείς μισής γέφυρας

Στα άκρα της εισόδου συνδέονται σε σειρά δύο ίδιοι πυκνωτές. Το σημείο σύνδεσης των πυκνωτών βρίσκεται στο μισό δυναμικό, οπότε στα άκρα του κάθε πυκνωτή αναπτύσσεται τάση ίση με  $V_{in}/2$ . Οι χωρητικότητες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι επαρκώς μεγάλες, ώστε η τάση στο σημείο N να παραμένει ουσιαστικά σταθερή σε σχέση με το δυναμικό στο σημείο A. Το φορτίο συνδέεται στα σημεία a και N όπως φαίνεται από το σχήμα που ακολουθεί. Ανάλογα με το διακοπτικό στοιχείο που είναι κάθε φορά κλειστό, η τάση που εφαρμόζεται στο φορτίο είναι είτε  $V_{in}/2$  (για S+ κλειστό), είτε  $-V_{in}/2$  (για S- κλειστό). Προφανώς τα δύο διακοπτικά δεν πρέπει ποτέ να είναι ταυτόχρονα κλειστά, καθώς κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε βραχυκύκλωση της πηγής τάσης.

### ο Αντιστροφείς πλήρους γέφυρας

Ο αντιστροφέας πλήρους γέφυρας αποτελείται από δύο αντιστροφείς μισής γέφυρας. Με κατάλληλο συνδυασμό κλεισίματος των διακοπών η τάση που τροφοδοτείται στο φορτίο είναι είτε  $V_{in}$  (για S1+, S2- κλειστά), είτε  $-V_{in}$  (S2+, S1- κλειστά), είτε 0 (S1+, S2+ ή S1-, S2- κλειστά). Η τάση επομένως είναι διπλάσια σε σχέση με αυτή της μισής γέφυρας καθώς επίσης υπάρχει και η δυνατότητα για παροχή μηδενικής τάσης.

### ο Τριφασικοί αντιστροφείς

Τέλος ο τριφασικός αντιστροφέας αποτελείται από τρεις αντιστροφείς μισής γέφυρας, ένας για τον έλεγχο κάθε φάσης, επομένως παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες με τον αντιστροφέα μισής γέφυρας. <sup>[25]</sup> Στην πράξη συνήθως δεν χρησιμοποιούνται τριφασικοί αντιστροφείς για την σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο και αν το απαιτεί η εγκατάσταση τοποθετούνται τρεις μονοφασικοί, ο κάθε ένας σε κάθε φάση.



Victron Energy Phoenix 24/3000 24V  
1000W/12V/20AC



Solarfam Revo

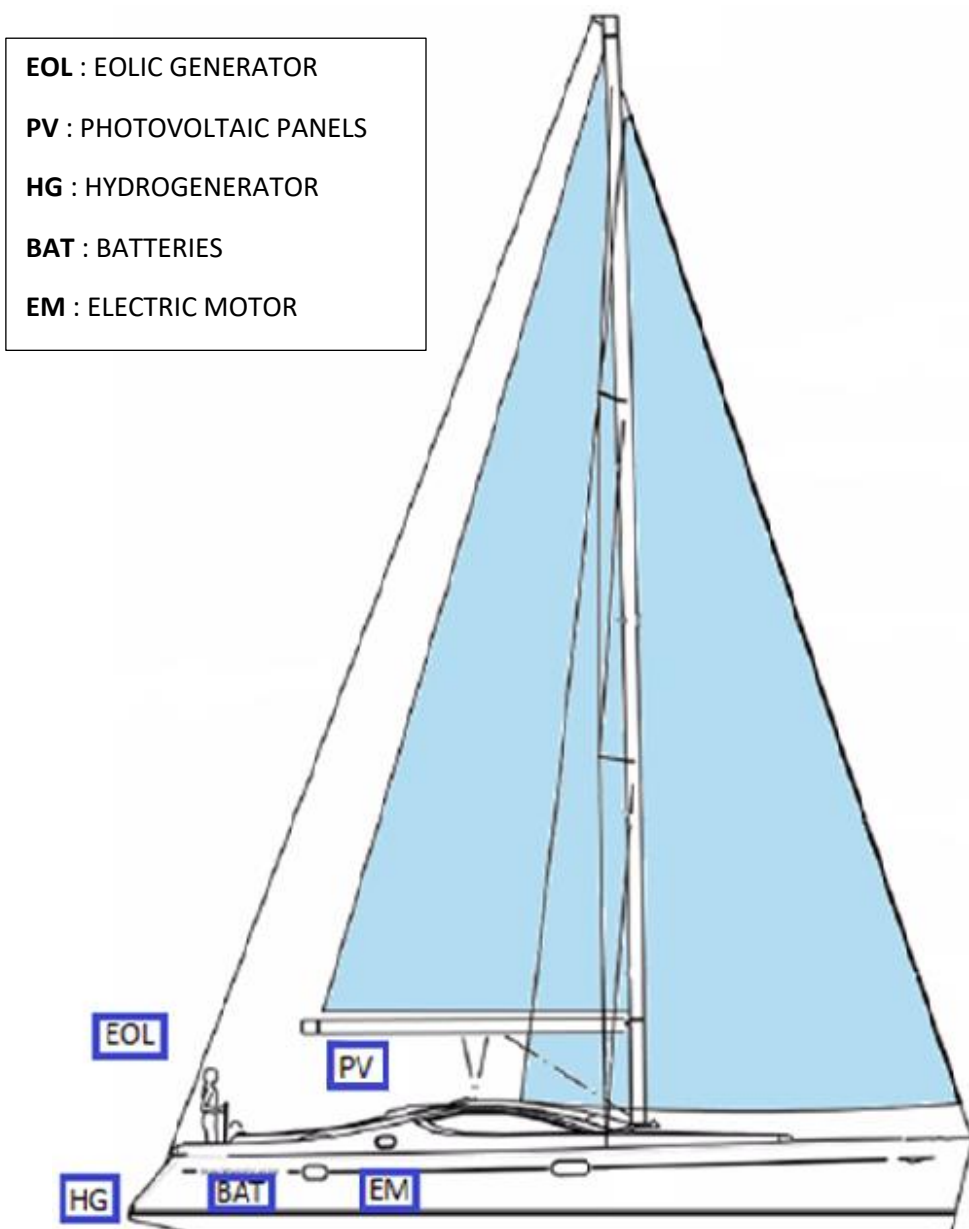
**Εικόνα 14.** Αντιστροφείς τάσης (Inverters)



## Κεφάλαιο 5: Σκάφος – Ηλεκτροκινητήρας

### 5.1 Σκάφος μοντέλο – Jeanneau Sun Odyssey 49 DS

Όλες οι εγκαταστημένες συσκευές αποτελούν μέρος μιας ιδέας για ένα ιστιοφόρο των μηδενικών εκπομπών. Μία πιθανή διάταξη των συσκευών απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 15. Πιθανή διάταξη της εγκατάστασης <sup>[29]</sup>

## Κύριες διαστάσεις άφορτου σκάφους

L.O.A.	14,98 m / 49' 2''
Length of hull	14,73 m / 48' 4''
L.W.L.	12,90 m / 42' 4''
Max. beam	4,49 m / 14' 9''
Waterline beam	3,80 m / 12' 6''
Ballast weight Deep keel	3 750 kg / 8 267 lbs
Draft Deep keel	2,15 m / 7' 1''
Ballast weight Shallow keel	4 100 kg / 9 039 lbs
Draft Shallow keel	1,65 m / 5' 5''
Light displacement - Deep keel	12 600 kg / 27 778 lbs
Light displacement - Shallow keel	13 000 kg / 28 660 lbs
Maximum load displacement - deep keel	17 600 kg / 38 801 lbs
Maximum load displacement - shallow keel	18 000 kg / 39 683 lbs
Water tank capacity	700 l / 185 US gal
Fuel oil tank capacity	240 l / 63 US gal
Refrigeration unit capacity	230 l / 61 US gal
Recommended engine power (diesel engine)	75 HP (56 kW)
[Battery capacity	2 x 55 Amph + 4 x 80 Amph (12 V)]

*Πίνακας 02. Κύριες διαστάσεις άφορτου σκάφους*

## 5.2 Ηλεκτροκινητήρας ELCO Electric Inboard Motor



*Εικόνα 16. Ηλεκτροκινητήρας ELCO EP-70 [34]*

<b>EP-70 MOTOR PERFORMANCE</b>	
Boat size ranges	11,6 -17,1 m (38' - 56' )
Comparable gas/petrol rating	70 h.p.
Suggested horsepower replacement range	45 - 85 h.p.
Peak kW	51.5 kW
Continuous kW	29.75 kW
Miles per gallon equivalency	8.5 lt/100 km (53 km/gal) (33 mpg)
Length x Width x Height	88.9 cm (35'') x 47.8 cm (18.82'') x 48.9 cm
Weight	295 kg (650 lbs)
<b>E-POWER ELECTRIC PERFORMANCE</b>	
Cruising speed	7 - 8.5 knots (13 – 16 km/h)
Cruising time	6 - 2 hours
Cruising range	36 - 20 nm
Recharging time standard charger	3 - 4 hours
Number of 12 volt 8-D batteries (245 Ah)	9 batteries
Battery bank voltage in total	108 vdc
Amps (maximum)	275 amps
Kilowatts (peak output kW rating)	51.5 kW
Kilowatts (continuous output kW rating)	29.75 kW
Charger	Elcon PFC4000
Quick charger (optional)	Elcon PFC5000
<b>E-POWER HYBRID ELECTRIC PERFORMANCE: OPTIONAL GENERATOR</b>	
Genset kilowatt size	8 - 18 kW
(AC or DC Continuous output kW rating)	
Typical fuel tank capacity for genset (gallons)	341 lt (75 gal)
Cruising speed	7 - 8.5 knots (13 – 16 km/h)
Cruising time	70 - 42 hours
Cruising range	490 - 365 nm
Number of 12 volt 8-D batteries (245 Ah)	9 batteries
Battery bank voltage	108 vdc
Charger(s) required	1 - 2 chargers

**Πίνακας 03.** Τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροκινητήρα ELCO EP-70





## Κεφάλαιο 6: Ηλεκτρική εγκατάσταση

### 6.1 Βασικά στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης σκάφους

#### Κανονισμοί ασφαλείας

Σε όλες τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις υπάρχουν πολύ αυστηρές προδιαγραφές ασφαλείας με στόχο την προστασία του ανθρώπου από την επαφή του με το ηλεκτρικό ρεύμα και ταυτόχρονα την προστασία του εξοπλισμού. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των σκαφών, η ύπαρξη ηλεκτρικής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας, αφού χωρίς αυτή θα ήταν αδύνατη η επικοινωνία, ο προσανατολισμός με ηλεκτρονικά μέσα, η εκκίνηση της μηχανής, η χρήση φωτισμού κ.α. Όλα αυτά σε συνδυασμό με το δυσμενές περιβάλλον που βρίσκεται το σκάφος (υγρασία, άλατα, διάβρωση, δονήσεις) έχουν οδηγήσει στην ύπαρξη κανονισμών για τον τρόπο της ηλεκτρικής εγκατάστασης και τις προδιαγραφές των συσκευών που μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα σκάφος.

Τα standards που θα βασιστούμε είναι του American Boat & Yacht Council (ABYC) μιας και τα περισσότερα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιήσουμε ακολουθούν αυτά τα standards. Ενδεικτικά μερικά από αυτά είναι:

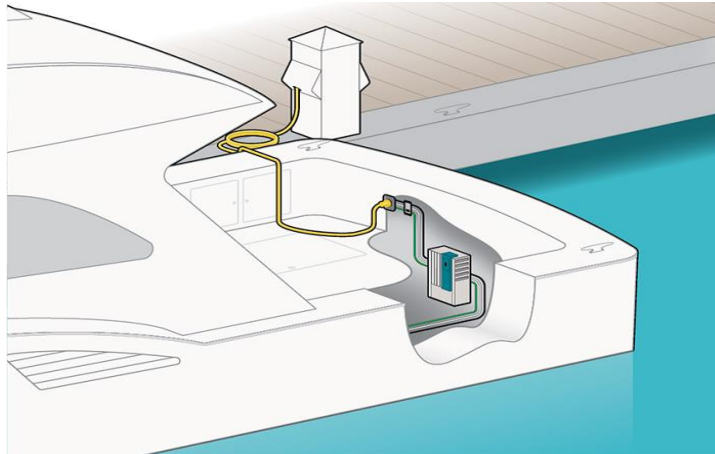
- ABYC E-11 -*AC and DC ELECTRICAL SYSTEMS ON BOATS*
- ABYC E-30-2021- *ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS*

Στις προδιαγραφές αυτές τονίζεται η σωστή στεγανοποίηση όλων των κυκλωμάτων και καλωδίων, η χρήση marine grade υλικών (καλώδια, φισ, ασφάλειες, διακόπτες, inverter κ.α.), η αποφυγή εγκατάστασης συσκευών σε εύφλεκτα σημεία του σκάφους, η σωστή διατομή των αγωγών κ.α.

Επίσης απαγορεύουν τη χρήση των μπαταριών του ηλεκτροκινητήρα πρόωσης για χρήση των ηλεκτρικών συσκευών του σκάφους. Για αυτές τις συσκευές πρέπει να υπάρχουν άλλες μπαταρίες (house batteries).

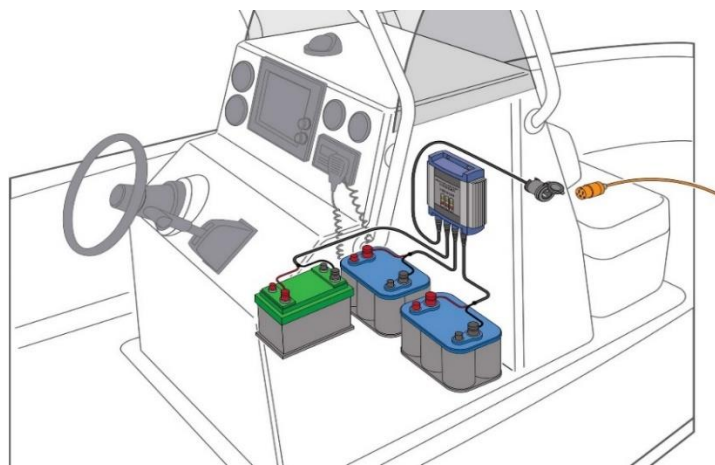
### 6.2 Ηλεκτρικό κύκλωμα σκάφους

Τα σκάφη διαθέτουν συνεχή τάση (12/24/48 VDC) και εναλλασσόμενη τάση (120/230 VAC) για να εξυπηρετήσουν διαφορετικές συσκευές. Η εναλλασσόμενη τάση (AC) προέρχεται είτε από την παροχή της μαρίνας (shore power) είτε από inverter που μετατρέπουν τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη με συγκεκριμένη συχνότητα (50/60Hz). Η συνεχής τάση (DC) προέρχεται από τους συσσωρευτές (μπαταρίες) του σκάφους, οι οποίες φορτίζονται είτε από το δυναμό του πετρελαιοκινητήρα είτε και από Α.Π.Ε..



**Εικόνα 17.** Σύνδεση σκάφους στην παροχή της μαρίνας με απευθείας φόρτιση των μπαταριών.

Τα περισσότερα υποσυστήματα λειτουργούν με DC τάση συνήθως 12/24 VDC που προέρχεται από τις μπαταρίες. Η εκκίνηση του πετρελαιοκινητήρα γίνεται από μπαταρία. Για πρακτικούς λόγους διαχωρίζεται από τις μπαταρίες για χρήση των συσκευών και φορτίζεται αποκλειστικά από το δυναμό του κινητήρα. Αφού ο κινητήρας τεθεί σε λειτουργία, γίνεται χρήση ενός διακόπτη επιλογής μπαταρίας που συνδέει το δυναμό με τις υπόλοιπες μπαταρίες. Με αυτόν τον τρόπο όλες οι μπαταρίες του σκάφους φορτίζονται από το δυναμό του πετρελαιοκινητήρα.

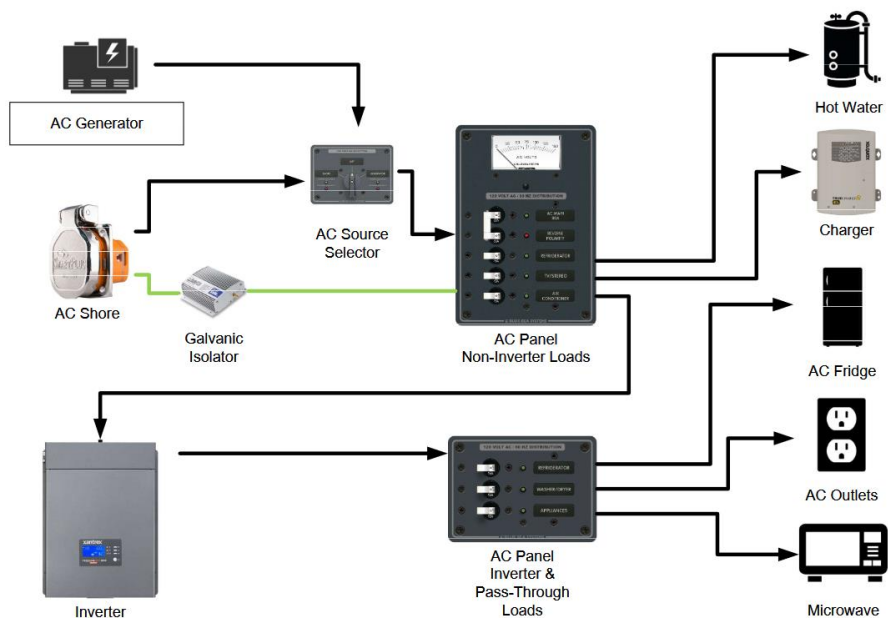


**Εικόνα 18.** Τυπικό κύκλωμα ενός φορτιστή για μια μπαταρία εκκίνησης κινητήρα (starter batteries) και 2 μπαταρίες service (house batteries)

Οι συσκευές με εναλλασσόμενη τάση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

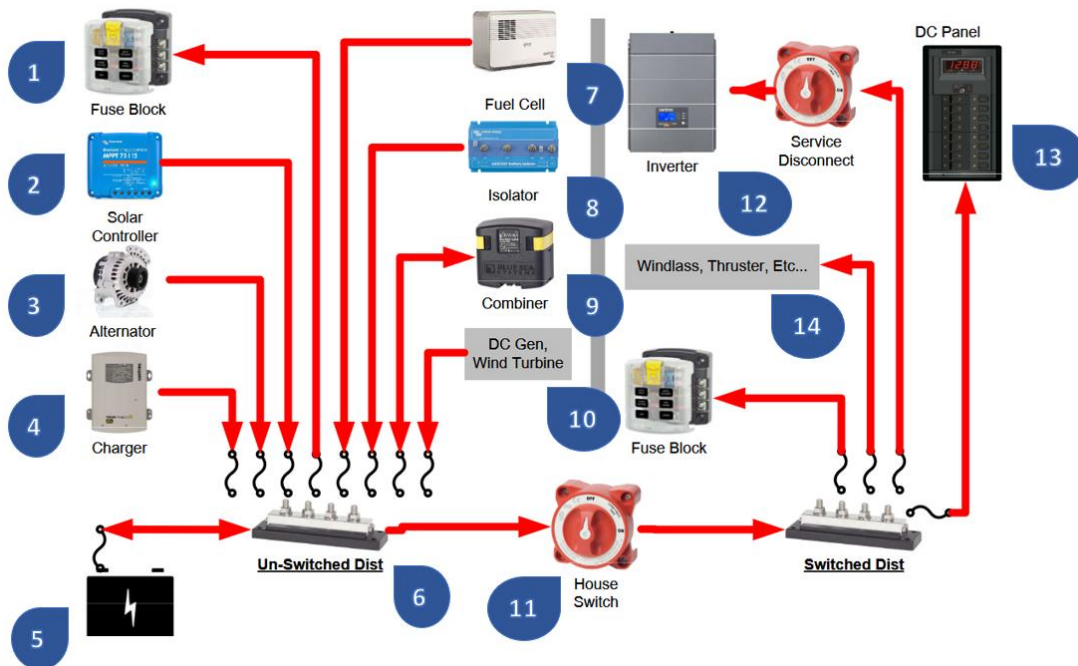
- στα φορτία που λειτουργούν από inverter
- στα φορτία που λειτουργούν από την παροχή της μαρίνας.

Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται για λόγους απόδοσης ώστε να απομονώνονται συστήματα που δε χρειάζεται να λειτουργούν. Για παράδειγμα εάν το inverter λειτουργούσε συσκευές όπως ο θερμοσίφωνα θα καταναλώνονταν ενέργεια από τις μπαταρίες που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πιο κρίσιμα συστήματα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο διαχωρισμός των συσκευών στο σκάφος. (Εικόνα 19)















**Εικόνα 19.** Διάγραμμα φορτίων εναλλασσόμενης τάσης σκαφών (2019,psysystems.ca)

Στο διάγραμμα (Εικόνα 19) απεικονίζονται σχεδόν όλα τα υποσυστήματα που μπορεί να συναντήσει κάποιος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σκάφους. Το διάγραμμα χωρίζεται σε δύο μέρη, αριστερά είναι όλες οι συσκευές που πρέπει να λειτουργούν συνέχεια (π.χ. φορτιστές, ηλιακοί ελεγκτές κ.α.) ενώ δεξιά είναι οι συσκευές που δεν πρέπει να λειτουργούν συνέχεια και ελέγχονται από διακόπτη. Αυτός ο διαχωρισμός είναι απαραίτητος για να υπάρχει μεγαλύτερος έλεγχος των καταναλώσεων του σκάφους. Επιπλέον, βελτιώνει την αξιοπιστία του συστήματος και διευκολύνει τη συντήρηση.



**Εικόνα 20.** Εννοιολογικό διάγραμμα βασικών εξαρτημάτων ηλεκτρικού κυκλώματος σκαφών (2019,psysystems.ca)

Θέση	Ονομασία	Περιγραφή	
1	 Fuse Block	Ασφαλειοθήκη	Ενοποιεί κυκλώματα διακλάδωσης και ασφάλειες γραμμής.
2	 Solar Controller	Ρυθμιστής Φόρτισης	Φορτίζει τις μπαταρίες με έξυπνη ρύθμιση της τάσης και του ρεύματος που προέρχεται από φωτοβολταϊκά πάνελ.
3	 Alternator	Δυναμό	Είναι μία γεννήτρια ρεύματος, που σκοπός της είναι να φορτίζει την μπαταρία εκκίνησης του κινητήρα.
4	 Charger	Φορτιστής	Φορτίζει τις μπαταρίες του σκάφους από την εναλλασσόμενη τάση της μαρίνας (120/230 VAC)
5	 Συσσωρευτής (Μπαταρία)	Συσσωρευτής (Μπαταρία)	Συσσωρεύει την ενέργεια από όλες τις πηγές φόρτισης και αποφορτίζεται όταν χρησιμοποιούνται οι διάφορες συσκευές τους σκάφους
6	 Διαμοιραστής	Διαμοιραστής	Ενοποιεί κυκλώματα διακλάδωσης και ασφάλειες γραμμής. Εκεί συνδέονται οι πόλοι της μπαταρίας
7	 Fuel Cell	Γεννήτρια	Παράγει ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το καύσιμο μπορεί να είναι μεθάνιο, πετρέλαιο κ.α.
8	 Isolator	Διαχωριστής μπαταρίας	Διαιρεί το συνεχές ρεύμα (DC) σε πολλαπλές μπαταρίες και επιτρέπει να περνά ρεύμα προς μία κατεύθυνση σε κάθε μπαταρία
9	 Combiner	Αυτόματος διαχωριστής μπαταρίας	Απομονώνει τις μπαταρίες με την έναρξη του κινητήρα. Αυτόματα διαχειρίζεται τη φόρτιση δυο μπαταριών
10		Γεννήτρια DC, Ανεμογεννήτρια	Φορτίζει την μπαταρία από διαφορές DC γεννήτριες
11	 House Switch	Αποζεύκτης	Απομονώνει τις μπαταρίες χρήσης από τη μπαταρία εκκίνησης.

Θέση	Ονομασία	Περιγραφή
12	 Inverter	Μετατρέπει τη DC τάση από τις μπαταρίες σε AC τάση. Για χρήση των inverter loads ( ψυγείο, φούρνος μικροκυμάτων, πρίζες)
13	 DC Panel	Πίνακας DC Πίνακας ελέγχου συστημάτων DC
14	Βαρούλκο, Έλικες Χειρισμού Πλώρης Σκάφους κ.α.	Είναι φορτία από κινητήρες που ενεργοποιούνται από διακόπτη

**Πίνακας 04.** Περιγραφή εξαρτημάτων ηλεκτρικού κυκλώματος σκάφους

### 6.3 Καταγραφή φορτίων

Η ηλεκτρική εγκατάσταση ενός συμβατικού ιστιοπλοϊκού σκάφους αποτελείται τουλάχιστον από μία ή δύο μπαταρίες, που φορτίζονται είτε από το δυναμό του κινητήρα ή και από γεννήτρια. Η επιλογή της μπαταρίας πρέπει να γίνεται ανάλογα με τη χρήση, για την οποία προορίζεται ανάλογα δηλαδή με τα ηλεκτρικά φορτία.

Τα φορτία, που πρέπει να εξυπηρετήσει η μπαταρία είναι το άθροισμα των ηλεκτρικών φορτίων, που απαιτούνται για να κινήσουν όλες τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές του σκάφους. Αν για παράδειγμα η ηλεκτρική ισχύς των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών του σκάφους είναι 360 Watt σε ένα 12 Volt σύστημα, τότε η ένταση θα είναι 30 Amperes ( $360 \text{ Watt} / 12 \text{ Volt} = 30 \text{ Amperes}$ ). Το παρακάτω παράδειγμα μας δίνει τα πιθανά φορτία κάποιου υποθετικού σκάφους με ηλεκτρικό σύστημα 12 Volt.

Η φόρτιση των συσσωρευτών μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους χάρη σε ειδική συνδεσμολογία. Ο πρώτος τρόπος είναι μέσω του ηλεκτρικού δικτύου εναλλασσόμενης τάσης του λιμένα της ακτής στον οποίο είναι δεμένο το σκάφος με τη βοήθεια ενός αντιστροφέα DC/AC και ο δεύτερος είναι μέσω της εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ιδιοκτήτες ιστιοπλοϊκών σκαφών εξοπλίζουν όλο και περισσότερο το σκάφος τους με πολλά όργανα προκειμένου να αυξήσουν την ασφάλεια και την άνεση επί του σκάφους (όργανα πλοήγησης, επικοινωνίας, οικιακές συσκευές). Επειδή οι ενεργειακές ανάγκες στα ιστιοφόρα αυξάνονται συνεχώς, η ηλεκτρική παραγωγή γίνεται απαραίτητη. [\[28\]](#)

Ο υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου είναι απαραίτητο για την επιλογή των μπαταριών και για την επιλογή του απαραίτητου εξοπλισμού για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για καθημερινή κατανάλωση στο σκάφος. Είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια απογραφή ηλεκτρικού υλικού, να ελεγχθεί η ισχύς λειτουργίας (Watt) για κάθε συσκευή και να εκτιμηθεί ο χρόνος χρήσης του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια 24 ωρών. Παράδειγμα: για εξοπλισμό που καταναλώνει ισχύ 10 Watt κατά τη διάρκεια 3 ωρών την ημέρα, η ημερήσια ενέργεια θα είναι 30 Wh (10W x 3 ώρες).

Ο εξοπλισμός των ιστιοφόρων και η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο πλοήγησης. Οι επόμενοι πίνακες δείχνουν μια σύνθεση του τρέχοντος εξοπλισμού και την ημερήσια κατανάλωσή τους ανάλογα με τον τρόπο πλοήγησης.

**Καθημερινή πλοήγηση:** Για 10 ώρες πλοήγησης, η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 50 Ah, ημερήσια ανάγκη για 600 Wh με μπαταρίες 12V.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ		ΧΡΗΣΗ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	
	Watt (12V)	Ampere	Hours	Watt.Hour	Ampere.Hour
Ενδιαίτηση					
Ψυγείο	42	3,5	6	252	21
Αντλία νερού	72	6	1	72	6
Ηχοσύστημα	12	1	2	24	2
Ηλεκτρονικά					
Πιλότος	60	5	2	120	10
GPS	24	2	3	72	6
Μετάδοση VHF	48	4	0,1	4,8	0,4
Αναμονή VHF	0,96	0,08	10	9,6	0,8
Πλοήγηση	24	2	2	48	4
Βυθόμετρο	12	1	2	24	2
<b>Συνολική μέση κατανάλωση για καθημερινή πλοήγηση</b>				<b>626,4 Wh</b>	<b>52,2 Ah</b>

*Πίνακας 05. Συνολική μέση κατανάλωση για καθημερινή πλοήγηση*

**Παράκτια πλοήγηση με αγκυροβόλιο:** Η ενέργεια στο σκάφος μπορεί να γίνει πρόβλημα επειδή δεν υπάρχουν μέσα επαναφόρτισης όπως στην καθημερινή πλοήγηση. Υπάρχει ανάγκη ηλεκτρικής αυτονομίας. Η μέση ηλεκτρική κατανάλωση για αυτήν τη λειτουργία πλοήγησης είναι 93Ah ανά 24 ώρες, η οποία αντιστοιχεί σε ημερήσια ανάγκη περίπου 1000Wh με μπαταρίες 12V.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ		ΧΡΗΣΗ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	
	Watt (12V)	Ampere	Hours	Watt.Hour	Ampere.Hour
<b>Φωτισμός</b>					
Square	24	2	4	96	8
Καμπίνες	24	2	1	24	2
Πιλοτήριο	24	2	1	24	2
Τουαλέτα	24	2	0,5	12	1
Εργάτης άγκυρας	12	1	8	96	8
<b>Ενδιαίτηση</b>					
Ψυγείο	42	3,5	16	672	56
Αντλία νερού	96	8	0,5	48	4
<b>Ηλεκτρονικά</b>					
Αναμονή VHF	0,96	0,08	24	23,04	1,92
Μετάδοση VHF	48	4	0,15	7,2	0,6
Βυθόμετρο	12	1	1	12	1
Η/Υ - TV	48	4	2	96	8
<b>Συνολική μέση κατανάλωση παράκτιας πλοήγησης με αγκυροβόλιο</b>				1110 Wh	92 Ah

**Πίνακας 06.** Συνολική μέση κατανάλωση παράκτιας πλοήγησης με αγκυροβόλιο

**Υπεράκτια πλοήγηση:** Αυτός ο τρόπος πλοήγησης απαιτεί πιο σημαντικούς ενεργειακούς πόρους και ηλεκτρική αυτονομία. Η μέση κατανάλωση για αυτήν τη λειτουργία πλοήγησης είναι 245Ah ανά 24 ώρες, που αντιστοιχεί σε ημερήσια ανάγκη περίπου 3.000 Wh με μπαταρίες 12V.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ		ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ
	Watt (12V)	Ampere	
VHF	3	0,25	Σε αναμονή
GPS	6	0,5	Λειτουργία χωρίς τους χάρτες
Ασύρματος πο/κτης	24 – 48	2 - 4	Χαμηλή φωτεινότητα οθόνης
Ραντάρ	25 – 48	2 - 4	Λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης
Γεννήτρια*	12 – 48	1 - 4	Οθόνη ενδείξεων σβηστή
Πιλότος	48 – 72	4 - 6	Λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης
AIS	6	0,5	
Η/Υ	24 – 48	2 - 4	Χαμηλή φωτεινότητα οθόνης
Ψυγείο	42	3,5	
Φώτα πορείας	24	2	Χρήση λαμπτήρων LED
Προβολέας	48	4	Χρήση λαμπτήρων LED
Αντλία νερού	72	6	
Φωτισμός εσωτ.	24 – 60	2 - 5	Χρήση λαμπτήρων LED



ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 24 Ωρών	
	Wh (12V)	Ah
Εσωτερικός και εξωτερικός φωτισμός	300	25
Ψυγείο και αντλία νερού	840	70
Ηλεκτρονικά σκάφους (πιλότος,GPS,VHF,ραντάρ,βυθόμετρο)	1800	150
<b>Συνολική μέση κατανάλωση υπεράκτιας πλοήγησης</b>	<b>2940 Wh</b>	<b>245 Ah</b>

**Πίνακας 07.** Συνολική μέση κατανάλωση υπεράκτιας πλοήγησης

#### 6.4 Υπολογισμός καταναλώσεων εγκατεστημένου εξοπλισμού

Από την προηγούμενη ανάλυση των καταναλώσεων του σκάφους θα επιλέξουμε τη χωρητικότητα των μπαταριών με βάση τον πιο απαιτητικό τρόπο πλοήγησης, που είναι η υπεράκτια πλοήγηση. Αυτό σημαίνει πως η συνολική ενέργεια που πρέπει να παρέχεται από τους συσσωρευτές και τις Α.Π.Ε. πρέπει να μας παρέχουν για 24 ώρες τουλάχιστον 3000Wh.

$$P * h = V * I * h \Rightarrow I * h = \frac{P (Wh)}{V (V)} = \frac{3000Wh}{12V} = 250Ah$$

ΤΡΟΠΟΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ	Ah	Wh	ΤΑΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ
Καθημερινή πλοήγηση	10 ώρες	50 Ah	600 Wh	12V
Παράκτια πλοήγηση με αγκυροβόλιο	24 ώρες	93 Ah	1000Wh	12V
Υπεράκτια πλοήγηση	24 ώρες	245 Ah	3.000 Wh	12V

**Πίνακας 08.** Συνολικές καταναλώσεις ανά τρόπο πλοήγησης

Το ιστιοφόρο SUN ODYSSEY 49 DS διαθέτει 4 μπαταρίες 110Ah flooded μπαταρίες συνδεδεμένες παράλληλα για να παρέχουν 12V 440Ah. Τρεις από αυτές τις μπαταρίες χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν τα υποσυστήματα του σκάφους (house battery), ενώ μια μπαταρία είναι υπεύθυνη για την εκκίνηση του πετρελαιοκινητήρα (engine battery).

$$Wh = V * Ah = 12V * 110Ah = 1.320Wh$$

Για 4 μπαταρίες η συνολική χωρητικότητα είναι:

$$4 * 1.320Wh = 5.280Wh$$

Καθώς όμως οι μπαταρίες αυτές είναι flooded μόλυβδου-οξέος (lead-acid batteries) δεν πρέπει να εκφορτίζονται πάνω από το 70% της ονομαστικής τους χωρητικότητας. Εκφόρτιση κάτω από αυτό το όριο οδηγεί σε μη αναστρέψιμες χημικές διεργασίες που μειώνουν τον κύκλο ζωής της μπαταρίας ή μπορεί ακόμη και να την καταστρέψουν. Οπότε η τελική συνολικά διαθέσιμη χωρητικότητα που πρέπει να υπολογίσουμε είναι κατά το 70% της ονομαστικής:

$$5.280Wh * 0,7 = 3.696 Wh$$

Θα αντικαταστήσουμε τις μπαταρίες αυτές με AGM EP-12 Victron AGM Deep Cycle 12V/220Ah που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και την ίδια τεχνολογία με τις μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα. Επίσης μπορούν να εκφορτιστούν έως 80% της ονομαστικής τους χωρητικότητας. Συνεπώς η νέα διαθέσιμη χωρητικότητα είναι :

$$4 * (12V * 220Ah) * 0,8 = 8.448Wh$$

Συγκρίνοντας με τις απαιτήσεις ενέργειας του σκάφους προκύπτει πως οι μπαταρίες αυτές επαρκούν για να τροφοδοτήσουν με 12V τα συστήματα του σκάφους.

$$8.448Wh > 2940Wh$$

Ο λόγος που αυξάνουμε τη χωρητικότητα των μπαταριών αυτών οφείλεται και στο γεγονός ότι θα φορτίζουν τις μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα, που περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.

## 6.5 Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτροκινητήρα

Ο ηλεκτροκινητήρας χρειάζεται 9 μπαταρίες των 12 VDC για να παρέχει την σωστή τάση λειτουργίας του κινητήρα που είναι 108 V. Για να το πετύχει αυτό ο κατασκευαστής συνδέει σε σειρά 9 μπαταρίες όπου η νέα τάση είναι το άθροισμα των τάσεων ( $9 * 12V = 108V$ ), ενώ η χωρητικότητα παραμένει σταθερή (220Ah).

Οι παρακάτω παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χωρητικότητας των μπαταριών:

1. Τα χαρακτηριστικά του σκάφους (LWL, βάρος, σχήμα)
2. Τρόπος πλοήγησης
3. Επιθυμητή αυτονομία
4. Τύπος μπαταρίας

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, στο σκάφος θα υπάρχει ομάδα συσσωρευτών για τον ηλεκτροκινητήρα που στο σύνολο μας παρέχουν την παρακάτω χωρητικότητα.

$$Wh = V * Ah = 108V * 220Ah = 23.760Wh$$

Επειδή οι μπαταρίες είναι AGM (Absorbent Glass Mat) υπολογίζουμε το 80% της παραπάνω χωρητικότητας που είναι:

$$23.760Wh * 0,8 = 19.008 Wh$$

Για να υπολογίσουμε τη διάρκεια της πλοήγησης αρχικά υπολογίζουμε το hull speed, τη μέγιστη ταχύτητα του σκάφους.

$$v_{hull} \approx 1,34 \cdot \sqrt{L_{WL}}$$

Όπου  $L_{WL}$  είναι το μήκος του waterline σε πόδια (feet) και  $v_{hull}$  είναι η ταχύτητα σε κόμβους (knots). Από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή του σκάφους προκύπτει ότι :

$$v_{hull} = 1,34 \cdot \sqrt{42,4} = 1,34 \cdot 6,5 = 8,71 \text{ knots}$$

Ο κατασκευαστής του ηλεκτροκινητήρα υπολογίζει ότι η τελική ταχύτητα του σκάφους είναι 60-80% της hull speed, που στη δική μας περίπτωση είναι 5.22-6.96 knots. [33]

Για να υπολογίσουμε την ισχύ που χρειάζεται για το σκάφος για να κινηθεί χρησιμοποιούμε τους τύπους υπολογισμού του Gerr. [32] Το μέγιστο βάρος του σκάφους είναι 18.000kg (39683 lbs). Αρχικά υπολογίζουμε την αναλογία ταχύτητας και μήκους:

$$\text{Speed to length ratio} = \frac{\text{Knots}}{\sqrt{L_{WL}}} = \frac{5,22}{\sqrt{42,4}} = 0,8$$

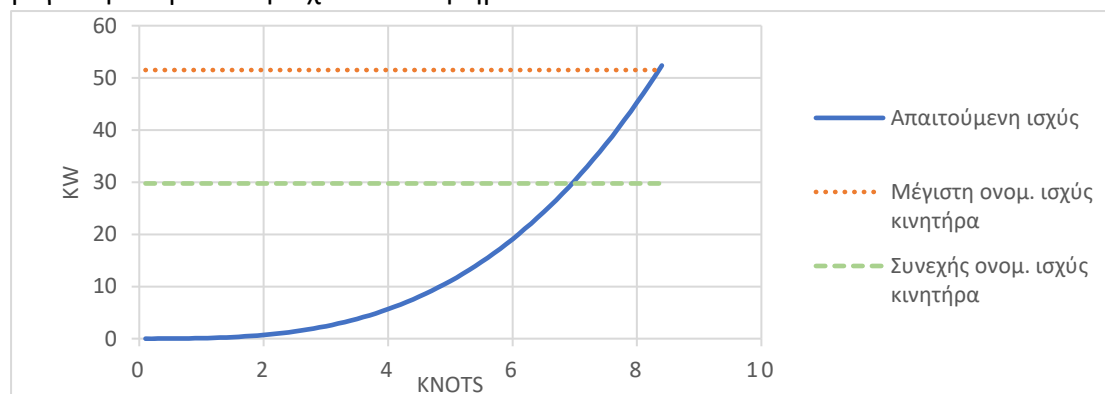
Στη συνέχεια υπολογίζουμε την απαιτούμενη υποδύναμη από το τύπο:

$$\text{Horsepower Required} = \frac{\text{Displacement}}{\left(\frac{10,665}{\text{Speed to Length Ratio}}\right)^3} = \frac{39683}{\left(\frac{10,665}{0,8}\right)^3} = 16.8 \text{ hp}$$

Τέλος, μετατρέπουμε την υποδύναμη σε kW και προκύπτει ότι η ισχύς με ταχύτητα πλεύσης είναι:

$$16.8 \text{ hp} * 0.7457 = 12.57 \text{ kw}$$

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται κατά προσέγγιση η απαιτούμενη ισχύς πλεύσης του σκάφους για διαφορετικές ταχύτητες του σκάφους (knots) μέχρι τη μέγιστη ονομαστική ισχύ του κινητήρα.



**Εικόνα 21.** Διάγραμμα προσέγγισης σχέσης ταχύτητας σκάφους και απαιτούμενης ισχύς με βάση τον τύπο του Gerr.

Συνεπώς η αυτονομία του σκάφους με μέγιστη ταχύτητα τα 5,22 knots θα είναι:

$$\text{CruisingHours} = \frac{19.008 \text{ Wh}}{12.570 \text{ W}} = 1.5 \text{ hours}$$

Ομοίως εάν υπολογίσουμε να κινηθούμε με 6,96 knots η ισχύς διαμορφώνεται σε 26,46kW που ισοδυναμεί με 0,7 ώρες ή 42min.

Εννοείται πως οι παραπάνω υπολογισμοί είναι προσεγγιστικοί και λαμβάνεται υπόψη μόνο η μέγιστη θεωρητική χωρητικότητα των μπαταριών. Υπάρχουν παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η αντίσταση του νερού και του αέρα, η κατάσταση των μπαταριών κ.α. που μειώνουν την ταχύτητα και την αυτονομία του σκάφους.

Για να αυξήσουμε τη διάρκεια πλοήγησης πρέπει να αυξήσουμε τη χωρητικότητα των συσσωρευτών (Ah). Αυτό γίνεται με τη χρήση μπαταριών λιθίου με μεγαλύτερη χωρητικότητα και ενεργειακή πυκνότητα που όμως αυξάνουν σημαντικά το κόστος και το βάρος της μετατροπής αυτής.

**Power consumption indication displacement vessel**

Waterline length	4 m (13 ft)	6 m (19 ft)	8 m (26 ft)	10 m (33 ft)	12 m (39 ft)
	6 km/u (3.3 kn)	6 km/u (3.3 kn)	6 km/u (3.3 kn)	6 km/u (3.3 kn)	6 km/u (3.3 kn)
Gentle sailing	1 kW	0.7 kW	0.8 kW	1 kW	1.1 kW
	7.2 km/u (3.8 kn)	8.8 km/u (4.7 kn)	10.2 km/u (5.5 kn)	11.4 km/u (6.1 kn)	12.5 km/u (6.7 kn)
Cruising speed	1.5 kW	2.1 kW	3.9 kW	6.7 kW	9.6 kW
	9 km/u (4.9 kn)	11 km/u (5.9 kn)	12.8 km/u (6.9 kn)	14.3 km/u (7.7 kn)	15.7 km/u (8.4 kn)
Hull speed	3.1 kW	4.1 kW	7.7 kW	13.4 kW	18.9 kW

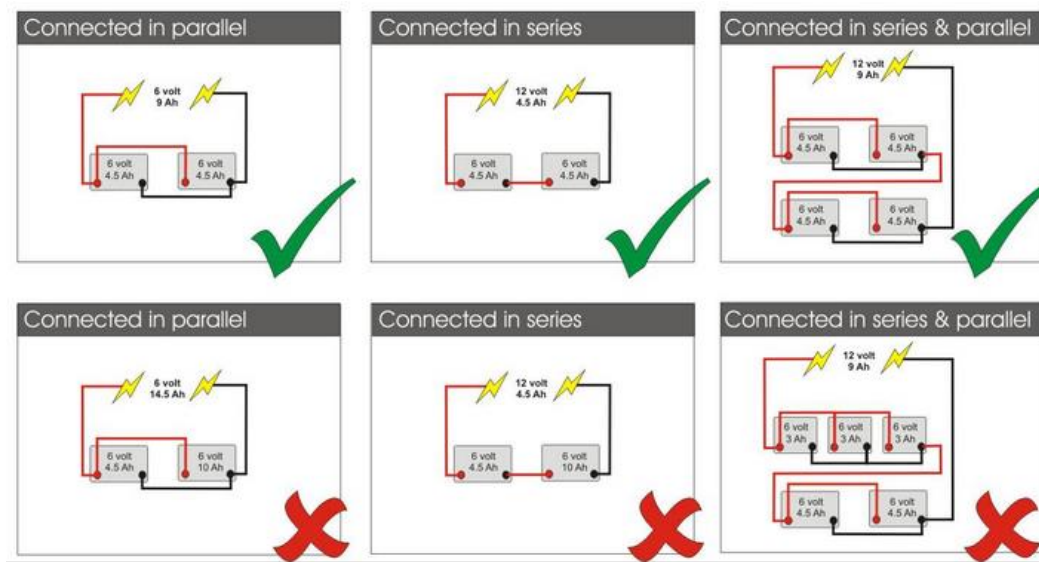
**Πίνακας 09.** Ενδεικτική ισχύς ηλεκτρικών κινητήρων για διαφορετικά LWL και ταχύτητες πλεύσης



## Κεφάλαιο 7: Λειτουργία εγκατάστασης

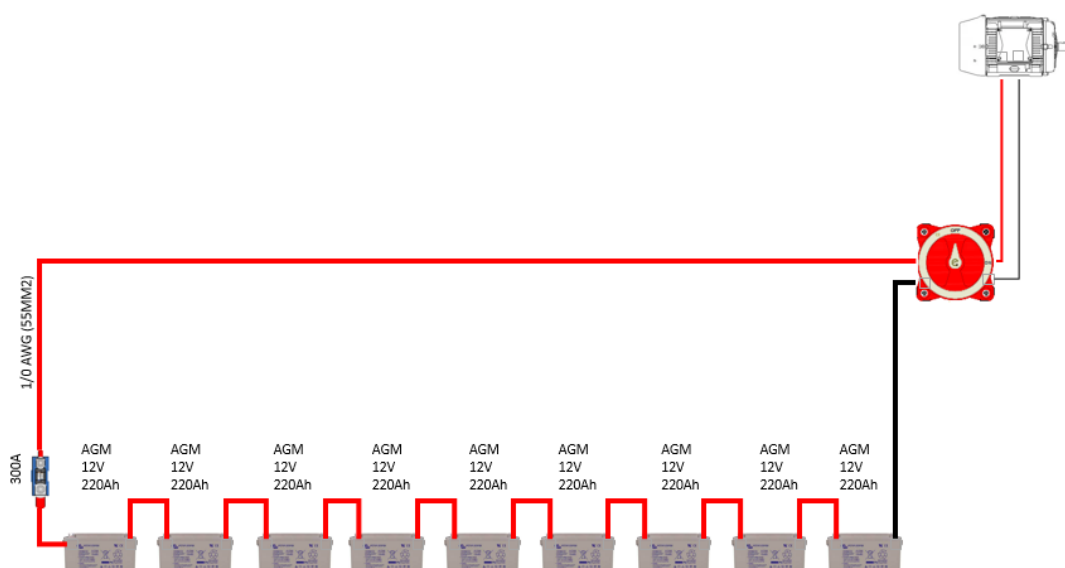
### 7.1 Διάταξη μπαταριών σκάφους

Στην παρούσα μελέτη θα γίνει χρήση τριών Α.Π.Ε. που θα φορτίζουν τις μπαταρίες του κινητήρα και τις house batteries. Αρχικά πρέπει να αποφασίσουμε τον τρόπο σύνδεσης των μπαταριών μιας και έχουμε διαφορετικές τάσεις στις δύο ομάδες συσσωρευτών (12V, 108V).



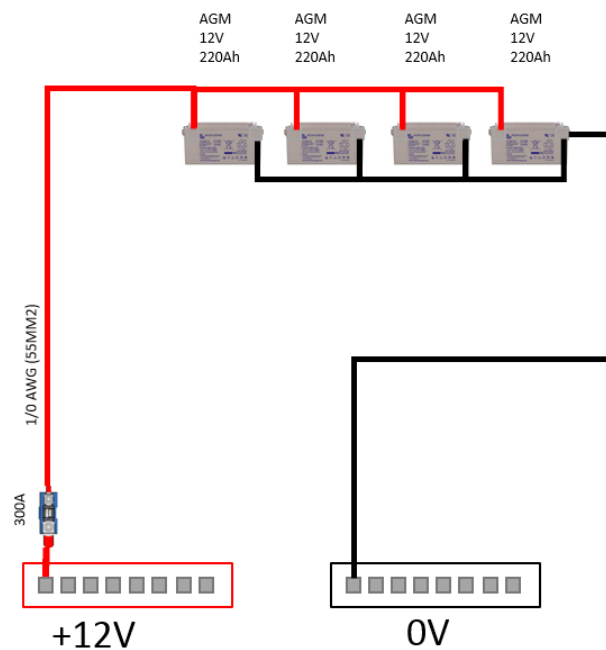
**Εικόνα 22.** Σωστοί και λανθασμένοι τρόποι σύνδεσης μπαταριών

Στην περίπτωση του ηλεκτροκινητήρα συνδέουμε 9 μπαταρίες σε σειρά με τάση 12V κα χωρητικότητα 220Ah ώστε η τάση των μπαταριών να είναι 108V, που είναι και η ονομαστική τάση λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα. Ασφαλίζουμε το καλώδιο (+) με ασφάλεια 300A καθώς το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα είναι 275A.



**Εικόνα 23.** Σύνδεση (σε σειρά) μπαταριών ηλεκτροκινητήρα

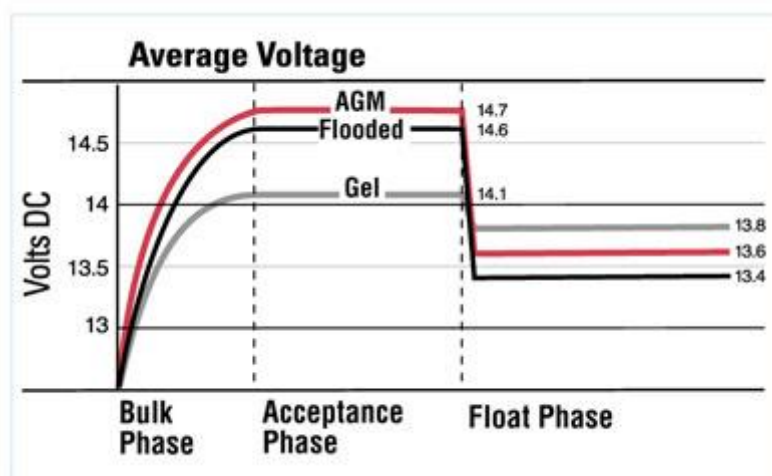
Στην περίπτωση των house batteries συνδέουμε παράλληλα 4 μπαταρίες με τάση 12V κα χωρητικότητα 220Ah ώστε να έχουμε 12V τάση αλλά η χωρητικότητα είναι  $4 \cdot 220\text{Ah} = 880\text{Ah}$ . Συνδέουμε τους πόλους των μπαταριών σε μπάρες διακλάδωσης.



**Εικόνα 24.** Σύνδεση (παράλληλα) μπαταριών τροφοδοσίας χώρων ενδιαίτησης

## 7.2 Τρόπος φόρτισης AGM μπαταριών

Και στις δύο περιπτώσεις υπολογίζουμε το ρυθμό φόρτισης που να καλύπτει τις ανάγκες των μπαταριών. Οι AGM μπαταρίες θέλουν συγκεκριμένο τρόπο φόρτισης που χωρίζεται σε 3 διακριτά στάδια. [\[28\]](#)



**Εικόνα 25.** Διάγραμμα σταδίων φόρτισης διαφορετικών τύπων μόλυβδου-οξέος

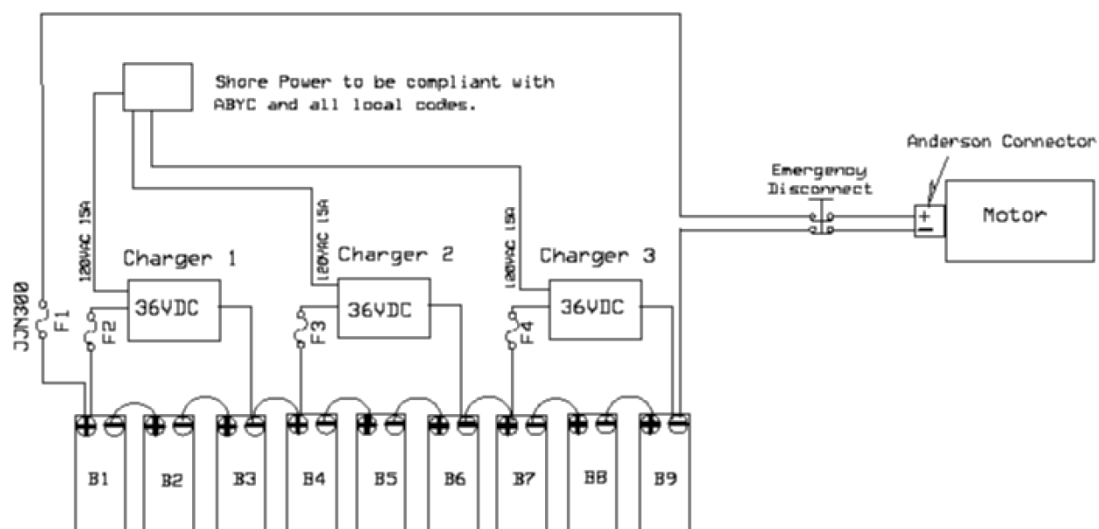
- **Bulk Phase:** Είναι η πιο απαιτητική φάση φόρτισης, όπου έχουμε φόρτιση με 14,7V ενώ το ρεύμα είναι 20-40% παραπάνω από την ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας. Στην περίπτωση μας οι μπαταρίες με χωρητικότητα 220Ah θα φορτίζουν με 44A έως 88A. Αυτό θα φέρει γρήγορα και αποτελεσματικά τη μπαταρία στο 75% της πλήρους φόρτισης μια μπαταρία δέχεται περισσότερο ρεύμα φόρτισης όταν είναι άδεια.
- **Acceptance phase:** Σε αυτή τη φάση η τάση φόρτισης παραμένει σταθερή στα 14,7V ενώ το ρεύμα μειώνεται σταθερά. Στο στάδιο αυτό φορτίζουμε το υπόλοιπο 25% της μπαταρίας με φθίνοντα ρυθμό. Η μπαταρία μπορεί να θεωρηθεί πλήρως φορτισμένη και δέχεται το 2% της χωρητικότητας της μπαταρίας σε ρεύμα. Στην περίπτωση μας το ρεύμα της φάσης αυτής θα είναι περίπου 4,4A.
- **Float phase:** Όταν φτάνουμε στο 2% της χωρητικότητας της μπαταρίας η τάση μειώνεται στα 13,6V για να διατηρηθεί η φόρτιση της μπαταρίας χωρίς να χάνεται ηλεκτρολύτης από τα κελιά. Αυτή είναι η φάση συντήρησης και όχι φόρτισης.

Επομένως όλοι οι ρυθμιστές φόρτισης του σκάφους πρέπει να διαθέτουν ειδικό προφίλ για AGM μπαταρίες, αλλιώς η διάρκεια ζωής τους και η απόδοσή τους μειώνεται σε σημείο που χρειάζεται αντικατάσταση που έχει μεγάλο κόστος. Παρακάτω περιγράφονται τα βασικότερα αίτια φθοράς των μπαταριών.

- **Υποφόρτιση:** Η συνεχής έλλειψη πλήρους φόρτισης των μπαταριών, αφήνει θεικό μόλυβδο που σκληραίνει στις πλάκες των μπαταριών- θειίκωση - και σταδιακά χάνουν την απόδοσή τους. Η αυξημένη αντίσταση κατά τη φόρτιση προκαλεί ψευδώς αυξημένες ενδείξεις τάσης, ξεγελώντας ουσιαστικά τον φορτιστή της μπαταρίας, οδηγώντας σε περαιτέρω υποφόρτιση. Πέρα από ένα ορισμένο σημείο, μια μπαταρία μόλυβδου-θείου δεν μπορεί να επιστρέψει σε υγιή κατάσταση και χρειάζεστε αντικατάσταση.
- **Υπερφόρτιση:** Ιδιαίτερα καταστροφική για τις μπαταρίες Gel και AGM μπαταρίες, η συνεχής υπερφόρτιση θερμαίνει τον ηλεκτρολύτη σε σημείο να εξατμιστεί από τις κυψέλες και μπορεί ακόμη και να οδηγήσει σε θερμική διαφυγή, με την μπαταρία να γίνεται όλο και πιο ζεστή.
- **Υπερβολική εκφόρτιση:** Όσο πιο βαθιά είναι η εκφόρτιση της μπαταρίας τόσο μικρότερη διάρκεια ζωής θα έχει. Η δανική μέθοδος είναι να φορτίζουν και να αποφορτίζουν στο 50% έως 85% της χωρητικότητάς τους. Αφήνοντας την μπαταρία σε κατάσταση πλήρως αποφορτισμένη, για παράδειγμα κατά τη χειμερινή αποθήκευση, προκαλείται θειίκωση της μπαταρίας.



### 7.3 Φόρτιση μπαταριών ηλεκτροκινητήρα



**Εικόνα 26.** 108 Volt DC Συνδεσμολογία ηλεκτρικού κινητήρα (Installation Instructions, February, 2013, Elco Motor Yachts)

Ο κατασκευαστής συνδέει σε σειρά 9 μπαταρίες και τις φορτίζει με τρεις διαφορετικούς φορτιστές. Σε κάθε φορτιστή αντιστοιχούν τρεις μπαταρίες για καλύτερη διαχείριση της φόρτισης.

Ο κατασκευαστής έχει προβλέψει τη φόρτιση των μπαταριών μόνο από την παροχή της μαρίνας (shore power) και έχει επιλέξει μπαταρίες EP-12 Victron AGM Deep Cycle 12V/220Ah.



**Εικόνα 27.** Elcon UHF3300

Ο φορτιστής UHF3300 είναι σχεδιασμένος για ηλεκτρικά οχήματα και έχει δυνατότητες παραμετροποίησης για να φορτίζει μπαταρίες λιθίου ή μολύβδου-οξέως. Επίσης, είναι αδιάβροχος, με προστασία IP 67 και θερμική προστασία υπέρτασης. Παρακάτω φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά. (Το όνομα του μοντέλου αλλάζει ανάλογα με τον κατασκευαστή, τα χαρακτηριστικά όμως είναι ίδια)

Hardware	DC output Voltage Range	Max Output Current	Lead Acid Battery Charger Model	Lithium Battery Charger Model
48V40A	18-68VDC	40A	HK-J-48-40	HK-J-H66-40

Model	HK-J-H66-40
AC Input Voltage Range	AC 85~265V
AC Input Frequency	45~65 Hz
AC Power Factor	≥0.99 at over half power
Full Load Efficiency	≥94%
Vibration Resistance Level	10 – 25Hz Amplitude 1.2mm, 25 – 500Hz 30m/s <sup>2</sup> , 8hrs per direction
Environmental Enclosure	IP67
Operating Temperature	-35°C ~ +85°C
Storage Temperature	-55°C ~ +100°C
Mechanical Dimensions(mm)	239(L)*135(W)*125(H)
Net Weight	6.4kg

**Πίνακας 10.** Τα τεχνικά χαρακτηριστικά φορτιστή UHF3300

Η αξιοποίηση της ενέργειας από τις Α.Π.Ε. που υπάρχουν στο σκάφος θα γίνει με την προσθήκη μετατροπέων DC/DC που θα μετατρέπουν την τάση των 12V σε 36V DC. Θα υπάρχουν τρεις μετατροπείς που θα φορτίζουν ανεξάρτητα 3 μπαταρίες ο καθένας, από τις 9 που υπάρχουν συνολικά στο σκάφος μόνο για τον ηλεκτροκινητήρα.



**Εικόνα 28.** Η χρήση μετατροπέα DC/DC είναι απαραίτητη κάθε φορά που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές τάσεις από την ίδια ομάδα συσσωρευτών. Η εικόνα δείχνει τον σωστό τρόπο διαμοίρασμού των 12V στις καταναλώσεις, μέσω μετατροπέα από 24VDC/12VDC. Η απευθείας σύνδεση δεν είναι σωστή.

Ιδανικά, θα ήταν προτιμότερο να υπήρχε 24V ή 48V DC τάση στο σκάφος αντί για 36V, καθώς χρησιμοποιούνται συχνότερα και υπάρχουν πολλές διαθέσιμες συσκευές στο εμπόριο που λειτουργούν σε αυτές τις τάσεις. Έτσι για μια μελλοντική αναβάθμιση με συσκευές των 24V/48V οι μετατροπές στο σκάφος θα ήταν λιγότερες ή θα υποστηρίζονταν ήδη από τους υφιστάμενους μετατροπείς, με κάποια ρύθμιση. Αντίθετα στα 36V οι επιλογές μας είναι περιορισμένες και είμαστε υποχρεωμένοι να προσθέσουμε ενδιάμεσες διατάξεις μετατροπέων που μειώνουν την απόδοση ισχύος, σε κάθε κλίμακα, τουλάχιστον 6 %.

- Εναλλακτικά, αν χωρίζαμε διαφορετικά τις μπαταρίες π.χ. μια ομάδα με 4 μπαταρίες και μία ομάδα με 5 μπαταρίες τότε δημιουργούμε δύο νέες τάσεις 48V και 60V που κάνουν πιο σύνθετη την εγκατάσταση.
- Επιπλέον, η απευθείας φόρτιση με μετατροπέα 12VDC/108VDC δεν είναι ασφαλής λόγω της μεγάλης τάσης εξόδου και δε φαίνεται να υπάρχει σε αυτή τη μορφή στο εμπόριο.
- Τέλος, η φόρτιση των μπαταριών με AC/DC φορτιστές μέσω ενός inverter δεν αποτελεί λύση από πλευράς απωλειών εξαιτίας των περιττών μετατροπών (12V DC σε 230 V AC και 230 V AC σε 36V DC).

#### 7.4 Ρυθμιστές φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι εκείνη η ηλεκτρονική διάταξη που καθορίζει τη διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης των μπαταριών (για παράδειγμα όταν οι μπαταρίες είναι πλήρως φορτισμένες και δεν υπάρχει ζήτηση από το φορτίο διακόπτει την παροχή ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά πάνελ προς τη συστοιχία συσσωρευτών). Οι ρυθμιστές φόρτισης καθορίζονται από την τάση και το ρεύμα λειτουργίας τους. Η τάση ταυτίζεται με την τάση της συστοιχίας συσσωρευτών και το ρεύμα καθορίζεται από τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Διακρίνονται σε "έξυπνους" (MPPT = maximum power point tracking) και μη, οι πρώτοι εκμεταλλεύονται καλύτερα την ηλιακή ακτινοβολία καθώς ανιχνεύουν το βέλτιστο σημείο λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ο ρυθμιστής προστατεύει επίσης από ολοκληρωτική αποφόρτιση των συσσωρευτών, ή να επιβάλει ελεγχόμενες αποφορτίσεις ανάλογα με την τεχνολογία των συσσωρευτών για να συντηρήσει τη απόδοση των συσσωρευτών.

Ως πρόσθετη λειτουργία των ρυθμιστών φόρτισης μπορεί να αναφερθεί και η δυνατότητα παρακολούθησης της θερμοκρασίας των συσσωρευτών για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Σε μερικά συστήματα ο ρυθμιστής φόρτισης μπορεί να εμφανίζει δεδομένα να τα μεταδίδει σε απομακρυσμένες οθόνες και να καταγράφει δεδομένα για την παρακολούθηση της ηλεκτρικής ροής με την πάροδο του χρόνου. [25]



Victron Energy BlueSolar MPPT 100/30  
Ρυθμιστής Φόρτισης 24V 30A



Solarfam SX1535  
Ρυθμιστής Φόρτισης MPPT 12V 15A

**Εικόνα 29.** Ρυθμιστές φόρτισης

## 7.5 Μετατροπέας DC/DC 12V σε 36V

Για τη φόρτιση των μπαταριών του κινητήρα έχουμε δύο επιλογές, είτε μέσω των φορτιστών από την παροχή της μαρίνας είτε μέσω του παρακάτω μετατροπέα που μετατρέπει τα 12V DC των house batteries σε 36V DC, με βαθμό απόδοσης 96%, στα 15A.

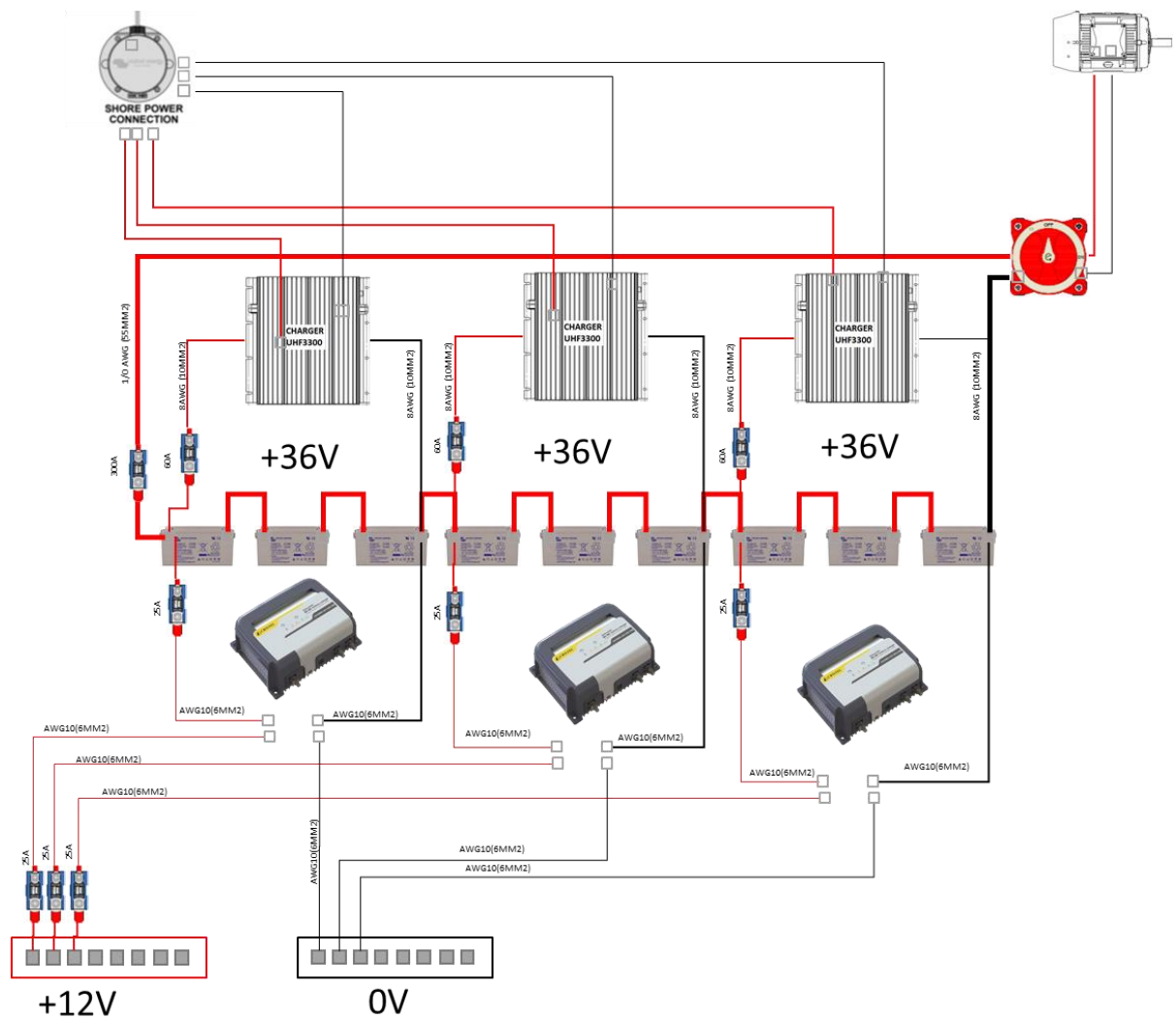


**Εικόνα 30.** YPOWER DC-DC battery chargers

<b>Model</b>	<b>YPO12-36/15</b>
<b>Input voltage</b>	12VDC
<b>Output voltage</b>	36VDC
<b>Nominal power</b>	570
<b>Max. output current</b>	15A
<b>Isolation Input/Output</b>	no as 0V is common
<b>5-step charging curve</b>	Boost, Absorption, Floating, Refresh & Reboost
<b>Efficiency</b>	96% typical
<b>Ripple</b>	< 2% (at nominal conditions)
	Electronic limitation of the input current
<b>Remote control</b>	serial CAN-BUS interface

**Πίνακας 11.** Τα τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα YPOWER YPO12-36/15

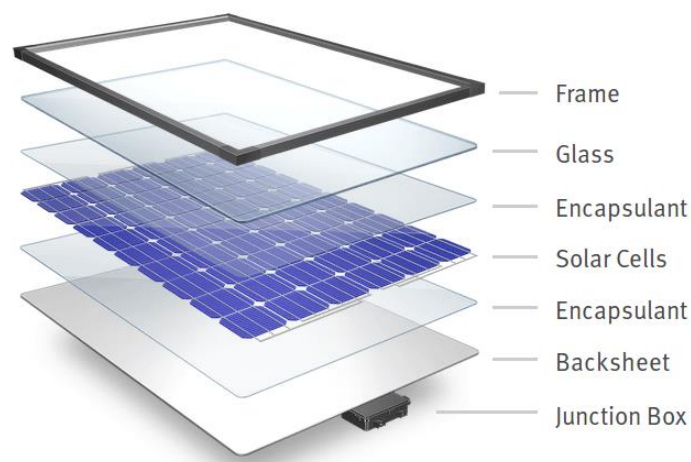
Στο παρακάτω κύκλωμα (Εικόνα 31) φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης των DC/DC μετατροπέων. Τα 12V προέρχονται από τις house batteries που φορτίζονται συνεχώς από διάφορες πηγές.



Εικόνα 31. Ο τρόπος σύνδεσης των DC/DC μετατροπέων.

## 7.6 Φόρτιση μπαταριών χρήσης / Φωτοβολταϊκό σύστημα σκάφους

Στο σκάφος θα υπάρχουν φωτοβολταϊκά πάνελ για να φορτίζουν τις service μπαταρίες και τις μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο στοιχεία τα φωτοβολταϊκά πάνελ και τον ρυθμιστή φόρτισης (MPPT).



**Εικόνα 32.** Τμήματα φωτοβολταϊκού πάνελ

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell) είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.

Υπάρχουν τρεις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα ή thin film, πολυκρυσταλλικά και μονοκρυσταλλικά. Οι διαφορές τους ως προς την απόδοση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΤΥΠΟΣ	Thin film	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας (%)	15-22%	15-22%	22-27%
Διάρκεια ζωής (έτη)	20	25	25

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ φαίνονται παρακάτω:

1.  $P_m$  = Η ονομαστική (μέγιστη) ισχύς (σε Watt)
2.  $V_{pm}$  = Η τάση που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ (σε Volt)
3.  $I_{pm}$  = Η ένταση ρεύματος που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ (σε Ampere)
4.  $V_{oc}$  = Τάση ανοιχτού κυκλώματος (σε Volt)
5.  $I_{sc}$  = Ένταση ρεύματος βραχυκυκλώματος (σε Ampere)
6.  $V_{max}$  = Μέγιστη Τάση συστήματος (σε Volt)
7.  $T_{coe}$  = Συντελεστές επίδρασης θερμοκρασίας  $\alpha P_m$  (%/C),  $\alpha I_{sc}$  (%/C),  $\alpha V_{oc}$  (mV/C)

Καθώς η ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η εποχή του έτους, η τοποθεσία, οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση των συλλεκτών, οι μόνιμες σκιάσεις και η κατεύθυνση των συλλεκτών, θεωρούμε πως οι ώρες που θα έχουμε αρκετό ήλιο σε ημερήσια βάση θα είναι περίπου 5.

Ο υπολογισμός του αριθμού των πάνελ, της ονομαστικής τάσης και της ονομαστικής μέγιστης ισχύς προκύπτει από την ημερήσια κατανάλωση του σκάφους σε υπεράκτια πλοήγηση που είναι 2.940Wh. Διαιρούμε τον αριθμό αυτό με τις ώρες που έχουμε ήλιο και προκύπτει η συνολική ισχύς της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών πάνελ.

$$\frac{2.940Wh}{5h} = 588W$$

Συνεπώς η συνολική ισχύς των ηλιακών συλλεκτών πρέπει να είναι τουλάχιστον 588Watt για να φορτίσουν οι μπαταρίες μόνο από τους ηλιακούς συλλέκτες σε 5 ώρες. Επιλέγουμε 4 εύκαμπτους συλλέκτες με μέγιστη ισχύ 150W επειδή είναι ανθεκτικοί στους κραδασμούς, στο θαλασσινό νερό, στις πτώσεις και άλλες παρόμοιες καταστάσεις. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογές όπου υπάρχει περιορισμός χώρου, βάρους ενώ ταυτόχρονα απαιτείται υψηλή απόδοση ρεύματος.

Τεχνικές προδιαγραφές:	
Μέγιστη Ισχύς	150Wp
Ονομαστική Τάση Συστήματος	24V
Μέγιστο ρεύμα	5,59A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	32,1V
Ρεύμα βραχυκυκλώματος	6,26A
Καλώδιο	3 m (2 x 1,5 mm <sup>2</sup> )
Διαστάσεις	1050 x 796 x 3 mm
Βάρος	2,68 kg

**Πίνακας 12.** Τεχνικές προδιαγραφές

Οι συλλέκτες αυτοί θα συνδεθούν σε MPPT ρυθμιστή φόρτισης με συμβατά χαρακτηριστικά μέγιστης τάσης εισόδου, μέγιστη ισχύ εισόδου και ονομαστική τάση εξόδου προς τους συσσωρευτές.

Εφόσον η τάση ανοιχτού κυκλώματος (VOC) είναι 32,1V εάν συνδέσουμε τους συλλέκτες σε σειρά η συνολική τάση τους είναι:

$$4 * 32,1V = 128.4V$$

Επομένως ο ρυθμιστής φόρτισης πρέπει να έχει τουλάχιστον 128,4V τάση εισόδου και μέγιστη ισχύ εισόδου 800W. Η ονομαστική τάση των μπαταριών (house batteries) είναι 12V, συνεπώς το μέγιστο ρεύμα στην έξοδο του MPPT είναι:

$$\frac{800W}{12V} = 66,7A$$

Ο καταλληλότερος MPPT που πληροί τα παραπάνω είναι ο SmartSolar MPPT 150/70 της Victron Energy.

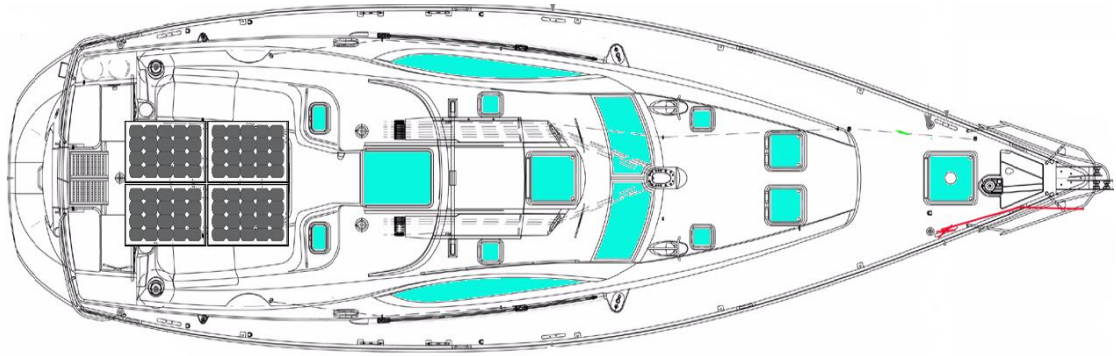


**Εικόνα 33.** SmartSolar MPPT 150/70 της Victron Energy.

SmartSolar Charge Controller with VE.Can interface	150/70 VE.Can
Battery voltage	12/24/48V Auto Select (36V: manual)
Rated charge current	70A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	1000W
Max. PV short circuit current	50A (max 30A per MC4 conn.)
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions
	145V start-up and operating maximum
Maximum efficiency	98%
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V
Charge voltage 'equalization'	Default setting: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (adjustable)
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight preprogrammed algorithms) or user defined algorithm
Protection	PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature
Operating temperature	30 to +60°C (full rated output up to 40°C)
Data communication	VE.Can, VE.Direct and Bluetooth
Parallel operation	Yes, parallel synchronised operation with VE.Can (max. 25 units) or Bluetooth (max. 10 units)

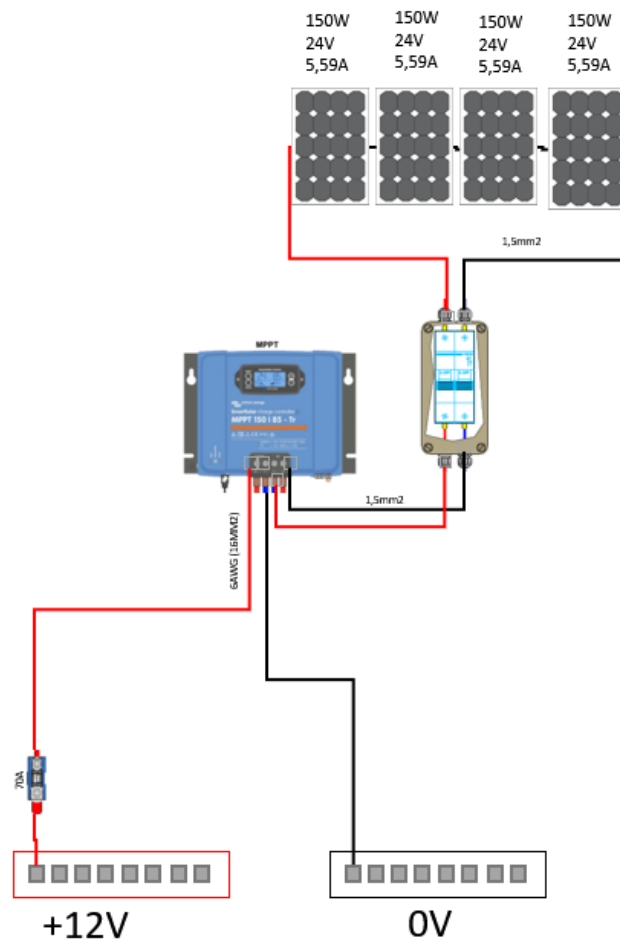
**Πίνακας 13.** Τεχνικές προδιαγραφές SmartSolar MPPT 150/70





**Εικόνα 34.** Θέση φωτοβολταϊκών πάνελ σε κλίμακα στο σκάφος

Παρακάτω φαίνεται το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών και του ρυθμιστή φόρτισης. Οι μπάρες των 12V και 0V είναι συνδεδεμένες στους πόλους των μπαταριών.



**Εικόνα 35.** Το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών και του ρυθμιστή φόρτισης

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 36) φαίνεται ο τρόπος στήριξης των πάνελ πάνω στο σκάφος.

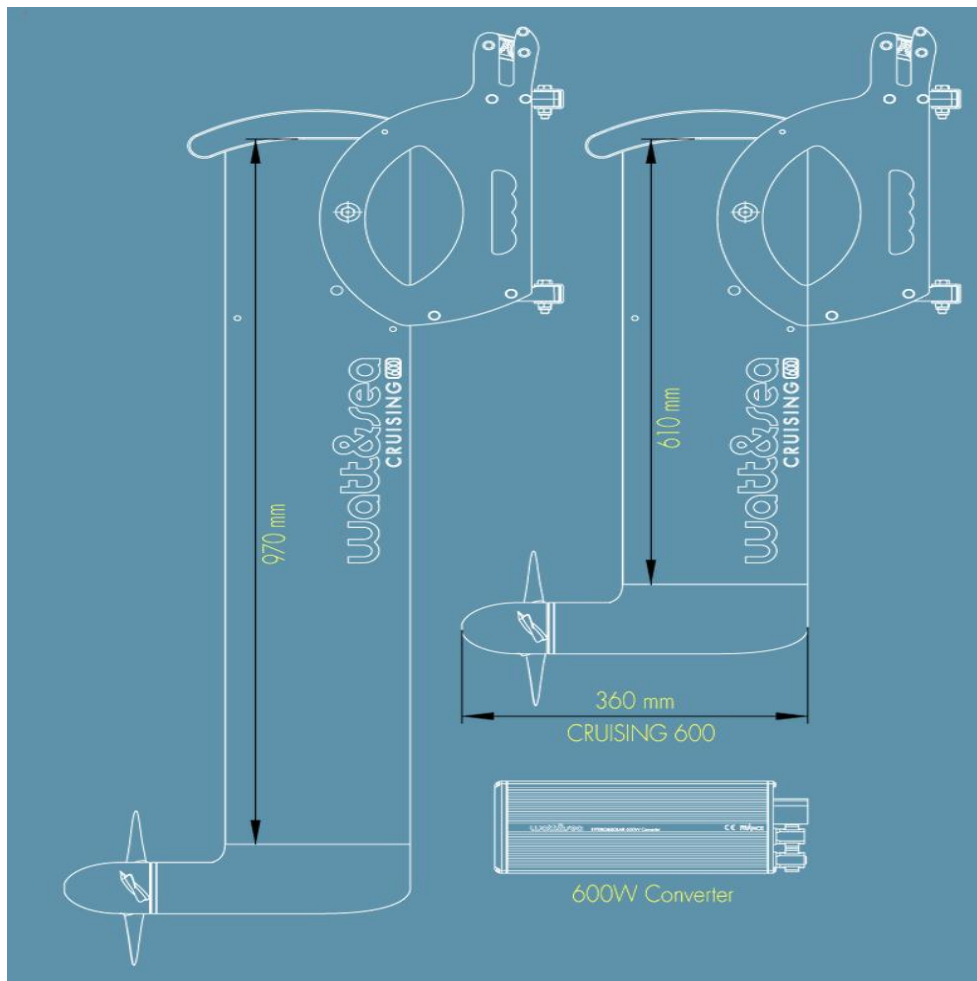


**Εικόνα 36.** Ο τρόπος στήριξης των πάνελ πάνω στο σκάφος.

## 7.7 Φόρτιση μπαταριών χρήσης / Υδρογεννήτρια Cruising 600W

Hydrogenerator	Nominal power 600W
Converter	Max output power 600W 12 Vcc or 24 Vcc autodetected Mobile application - 48 Vcc in option Input for solar panel 7,5-50 Vcc / 14 Amps
Holding bracket	With cam cleat - Locking pin
Aluminium leg	610 mm or 970 mm
Propeller	240 mm
Output at 5 knots	8 Amps in 12 Vcc (100 W) with the 240 mm propeller 10 Amps in 12 Vcc (120 W) with the optional 280 mm propeller
Maximum using speed	15 knots with the 240 mm propeller 20 knots with the optional 200 mm propeller
Compatible batteries	Lead battery - Lithium
Converter	1,5 kg
Three-phases cable length	4 meters
Pre-assembled plugs with their cable	1 meter

**Πίνακας 14.** Τεχνικά χαρακτηριστικά υδρογεννήτριας Cruising 600

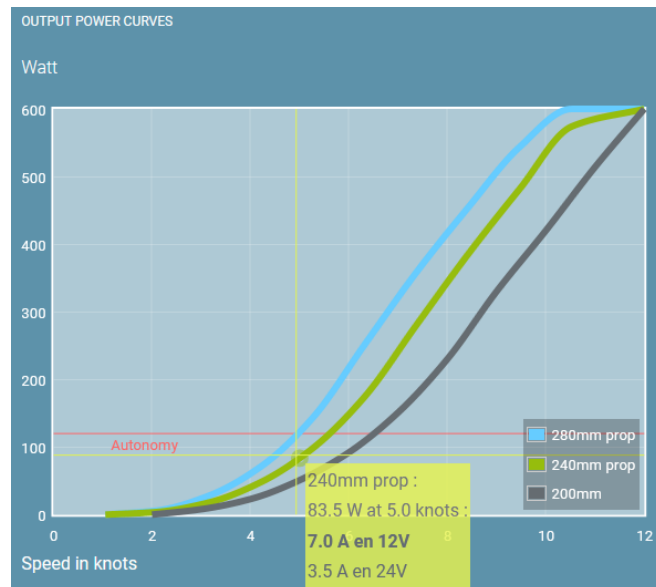


**Εικόνα 37 . Σχεδιάγραμμα υδρογεννήτριας Cruising 600**



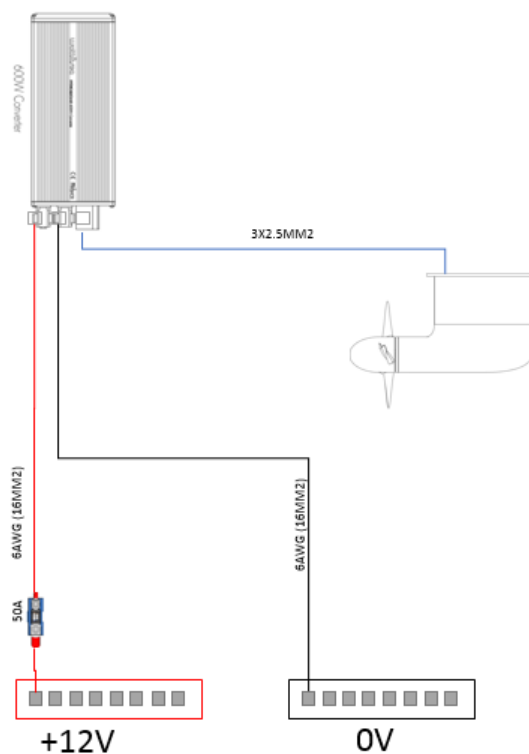
**Εικόνα 38. Εξαρτήματα υδρογεννήτριας**

Η ονομαστική μέγιστη ισχύς της υδρογεννήτριας είναι 600W και παράγει ενέργεια μόνο όταν το ιστιοφόρο κινείται. Η απόδοση της υδρογεννήτριας εξαρτάται από τη διάμετρο της προπέλας, τη θέση εγκατάστασης στο σκάφος και την ταχύτητα του σκάφους. Εάν το σκάφος κινείται με 5knots τότε παράγει 7A στα 12V με προπέλα διαμέτρου 240mm.



**Εικόνα 39.** Γράφημα σχέσης ταχύτητας και ισχύς υδρογεννήτριας

Παρακάτω φαίνεται το κύκλωμα της υδρογεννήτριας και του ρυθμιστή φόρτισης. Οι μπάρες των 12V και 0V είναι συνδεδεμένες στους πόλους των μπαταριών.



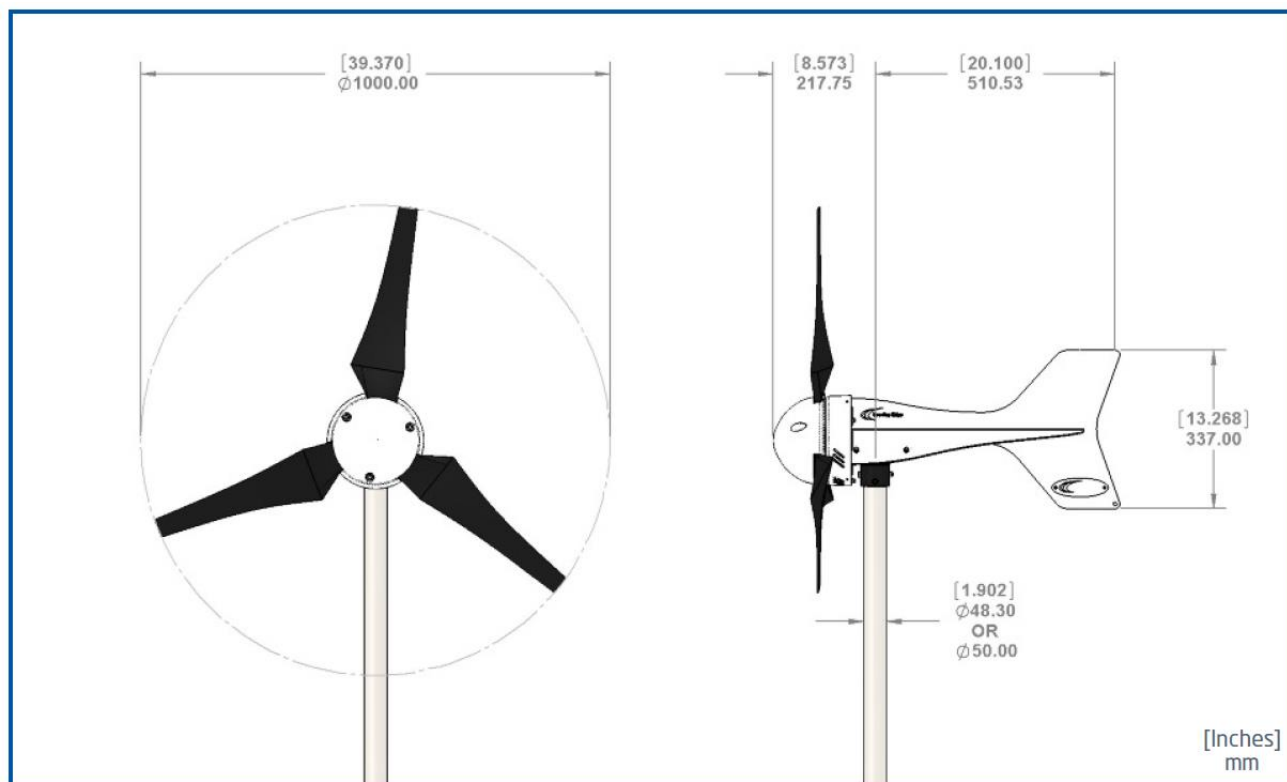
**Εικόνα 40.** Ηλεκτρικό κύκλωμα σύνδεσης υδρογεννήτριας από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή

## 7.8 Φόρτιση μπαταριών χρήσης / Ανεμογεννήτρια LE 300

Η ανεμογεννήτρια συνδέεται απευθείας στις μπαταρίες του σκάφους και ένας ελεγκτής φόρτισης ελέγχει την τάση εισόδου από την ανεμογεννήτρια. Καθώς η τάση και το ρεύμα αυξάνεται όσο μεγαλώνει η ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας, ο ελεγκτής εκτρέπει την έξοδο της ανεμογεννήτριας σε μια αντίσταση (dump load) μόλις οι μπαταρίες αρχίσουν να φτάνουν σε υψηλές τάσεις. Το φορτίο καταναλώνει την «υπερβολική» ισχύ από την ανεμογεννήτρια. Η μέγιστη ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι 300W.

Specifications	
Rotor diameter	1 meter
Rotor Type	3-Blade upwind
Blade Material	Glass Reinforced, UV resistant Nylon
Rated output	85W at 8m/s (18mph)
Peak output	300W
Cut-in speed	3m/s (6.7mph)
Weight	6.5Kg
DC output voltage	12V, 24V or 48V

**Πίνακας. 15** Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας LE 300



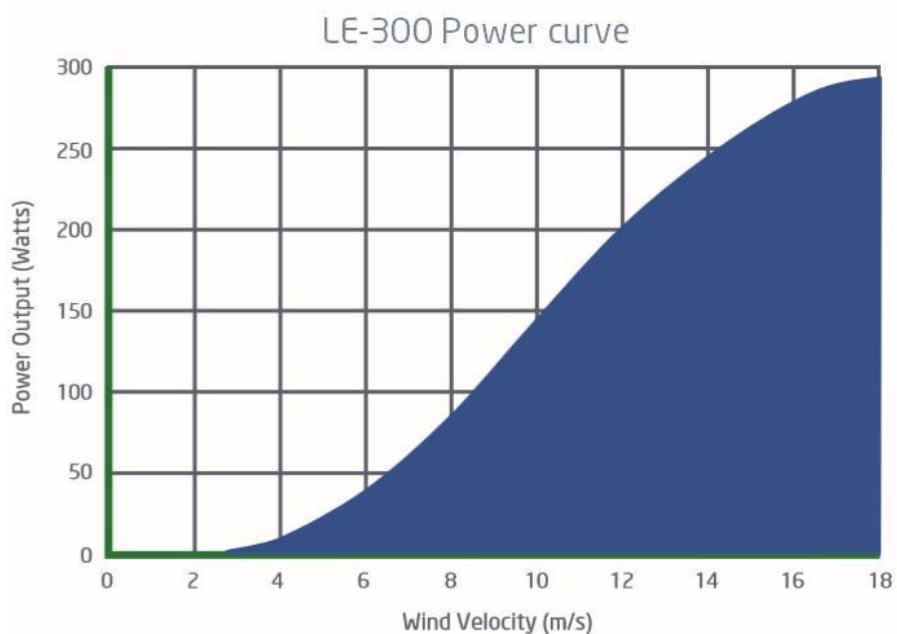
**Εικόνα 41.** Ανεμογεννήτρια LE-300 Marine <sup>[32]</sup>



**Εικόνα 42.** Ανεμογεννήτρια LE-300 Marine

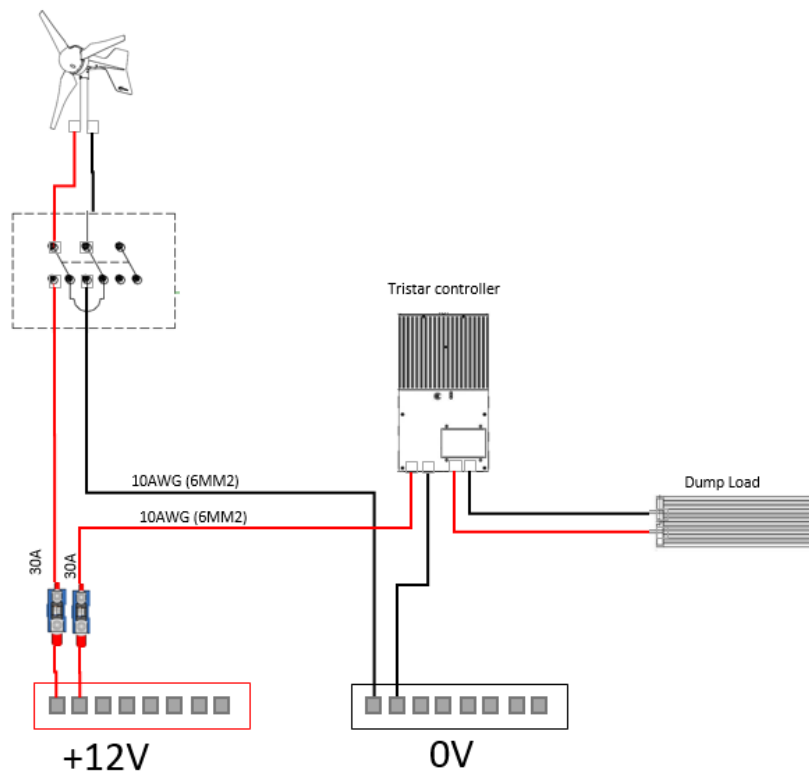
Χρησιμοποιούμε τον ελεγκτή Tristar για πιο σύνθετα αιολικά/φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς αυτό μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε την τάση ρύθμισης με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό διασφαλίζει ότι το Tristar μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να λειτουργεί με άλλους ελεγκτές φόρτισης και αποτρέπει την ανεπιθύμητη απόρριψη ισχύος από άλλες πηγές ενέργειας, όπως τα Φ/Β.

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ισχύος σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου.



**Εικόνα 43.** Το διάγραμμα ισχύος σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου.

Παρακάτω φαίνεται το κύκλωμα της ανεμογεννήτριας και του ρυθμιστή φόρτισης σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Οι μπάρες των 12V και 0V είναι συνδεδεμένες στους πόλους των μπαταριών.



**Εικόνα 43.** Το κύκλωμα της ανεμογεννήτριας και του ρυθμιστή φόρτισης

## 7.9 Αντιστροφέας τάσης και φορτιστής 12V

Το σκάφος διαθέτει κύκλωμα 230V AC για να λειτουργήσει συσκευές που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενη τάση π.χ. φορητός υπολογιστής, φορτιστές, φούρνος μικροκυμάτων, θερμάστρες, κλιματισμός κ.α. Η χρήση αυτών των συσκευών γίνεται μόνο όταν το σκάφος είναι συνδεδεμένο με την παροχή ρεύματος της μαρίνας όπου έχουμε 230V/16A. Για να έχουμε εναλλασσόμενη τάση στο σκάφος εκτός μαρίνας θα πρέπει να προσθέσουμε έναν αντιστροφέα τάσης (inverter).



**Εικόνα 44.**  
Αντιστροφέας τάσης Multiplus C 12/1600/70

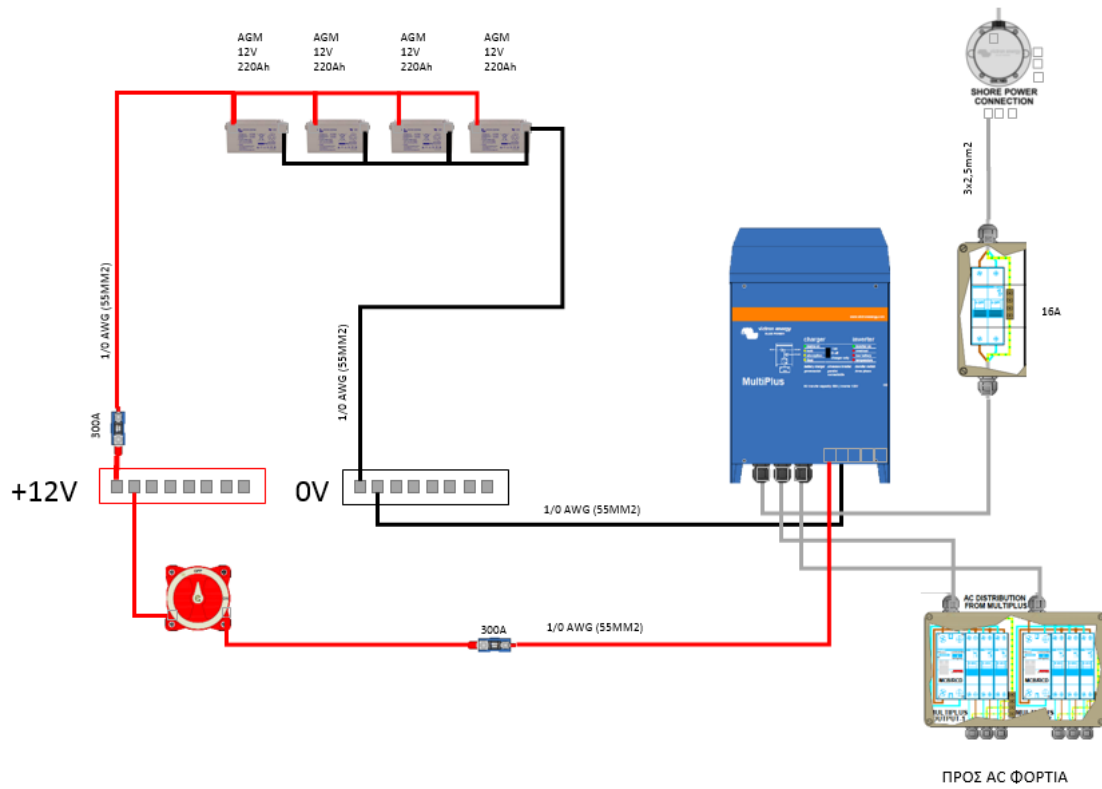
Πέρα από την αντιστροφή τάσης, το συγκεκριμένο inverter έχει δύο ακόμη δυνατότητες όταν το σκάφος συνδεθεί στην παροχή της μαρίνας. Αρχικά, σταματά αυτόματα την αντιστροφή τάσης και παρέχει το εναλλασσόμενο ρεύμα της μαρίνας στο κύκλωμα του σκάφους. Ταυτόχρονα, φορτίζει τις μπαταρίες στις οποίες είναι συνδεδεμένο, χωρίς την ανάγκη ανεξάρτητου φορτιστή πάνω στο σκάφος.

<b>MultiPlus C 12/1600/70</b>		<b>12 Volt</b>
PowerControl	Yes	
Transfer switch (A)	16	
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17 V	
Output	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)	
Cont. output power at 25°C (VA)	1600	
Cont. output power at 25°C (W)	1300	
Cont. output power at 40°C (W)	1200	
Cont. output power at 65°C (W)	800	
Peak power (W)	3000	
Maximum efficiency (%)	93	
Zero load power (W)	8	
Zero load power in AES mode (W)	5	
Zero load power in Search mode (W)	2	
<b>CHARGER</b>		
AC Input	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1	
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4 / 28,8 / 57,6	
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8 / 27,6 / 55,2	
Storage mode (V DC)	13,2 / 26,4 / 52,8	
Charge current house battery (A)	70	
Charge current starter battery	4	
Battery temperature sensor	Yes	
Weight (kg)	10	
Dimensions (hwxwd in mm)	375 x 214 x 110	

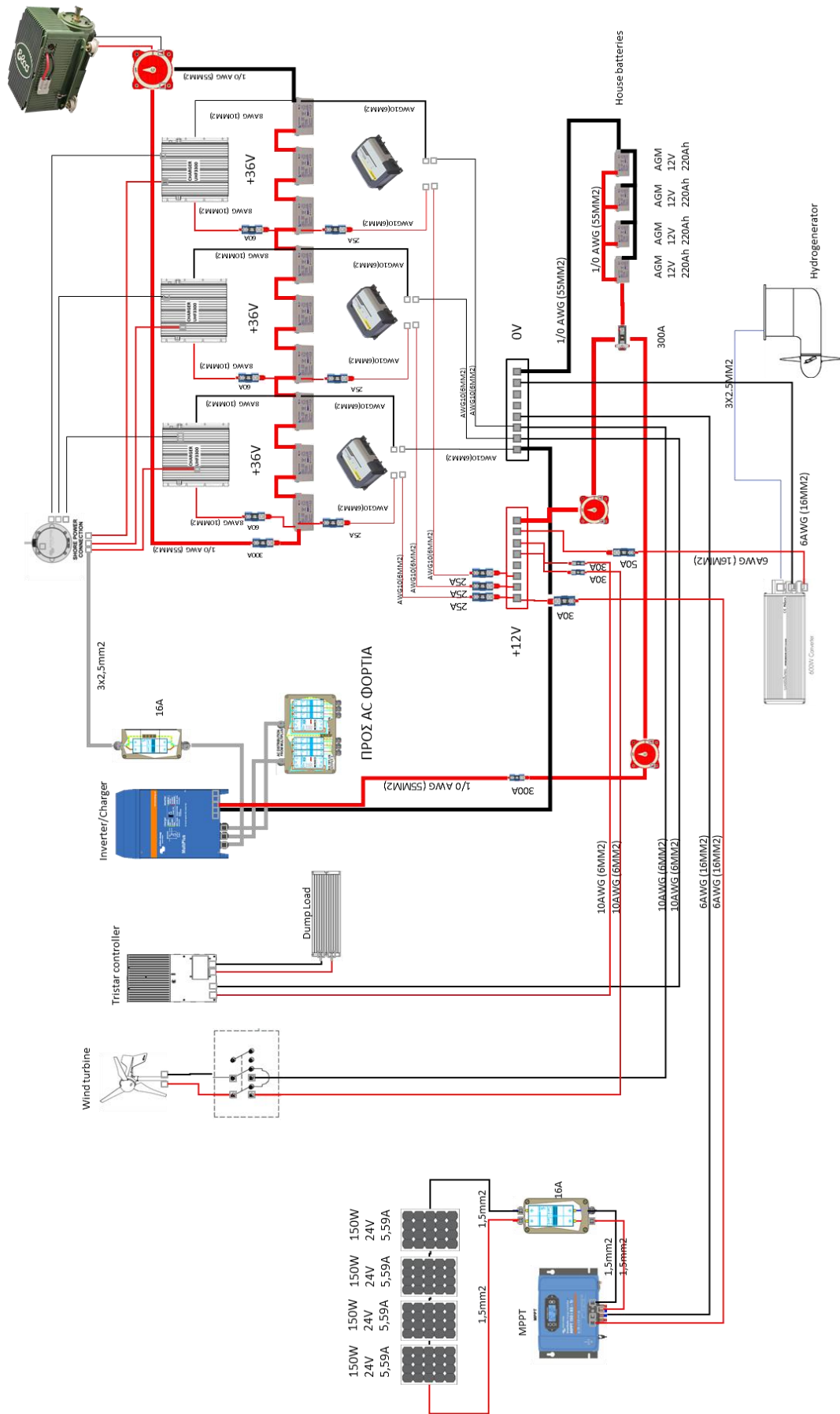
**Πίνακας. 16** Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα τάσης Multiplus C 12/1600/70



Παρακάτω (Εικόνα 45.) φαίνεται το ηλεκτρικό κύκλωμα του αντιστροφέα.



Εικόνα 45. Ηλεκτρικό κύκλωμα του αντιστροφέα.



Εικόνα 46. Ηλεκτρικό κύκλωμα του σκάφους

## Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

### 8.1 Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη εργασία αναλύθηκαν οι πιθανοί τρόποι εκμετάλλευσης των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, στα ιστιοπλοϊκά σκάφη. Μελετήθηκε η πιθανή εφαρμογή τους σε ιστιοπλοϊκό σκάφος με τη χρήση εξαρτημάτων που διατίθενται στο εμπόριο.

Η επιλογή του ιστιοφόρου σκάφους σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση των ΑΠΕ παρέχει τη δυνατότητα ταξιδιών χωρίς την ανάγκη ανεφοδιασμού σε καύσιμα. Η ηλεκτρική ενέργεια που αποκτάται μέσω του εγκαταστημένου συστήματος παρέχει τη δυνατότητα της συνεχούς χρήσης όλων των σύγχρονων συστημάτων ναυσιπλοΐας καθώς και την τροφοδοσία όλων των ηλεκτρικών συσκευών που καθιστούν ένα ταξίδι άνετο.

Η χρήση του ηλεκτροκινητήρα που αντικαθιστά τον κινητήρα εσωτερικής καύσης αυξάνεται, και στο μέλλον θα μπορούσε να υπάρξει μεγαλύτερη εφαρμογή τους στις θαλάσσιες μετακινήσεις, σε ιστιοπλοϊκά σκάφη, κυρίως σε εγκαταστάσεις μικρής ισχύος, οι οποίες βρίσκονται ως επί το πλείστον σε σκάφη αναψυχής, που δεν απαιτείται να αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες, και ήδη αξιοποιούν μία από τις κύριες πηγές ενέργεια που μας προσφέρει η φύση, τον άνεμο.

## Βιβλιογραφία

- [1] Έγχρωμη Εγκυκλοπαίδεια Δομή Εκδόσεις «ΔΟΜΗ» 1996
- [2] Αγγέλου Εμμανουήλ, Ε.Μ.Π, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών, Διπλωματική εργασία, « *Μελέτη Καρίνας Ιστιοπλοϊκού Σκάφους*»
- [3] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <https://asa.com/news/2017/12/16/history-of-the-yacht/> (9/1/2021)
- [4] Ajay Menon Indian Institute of Technology, Kharagpur (n.d.). Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: [https://www.marineinsight.com/naval-architecture/types-of-sailboats/\\_Mr.](https://www.marineinsight.com/naval-architecture/types-of-sailboats/_Mr.) (9/1/2021)
- [5] Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π. “*Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Ανανεώσιμες Πηγές*”, Αθήνα 1997
- [6] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/wind-power-tech/> (17/01/2021)
- [6<sup>α</sup>] John F. Walker & Nicholas Jenkins (2007) *Αιολική ενέργεια και ανεμογεννήτριες* μετάφραση Ηλίας Μακρής Εκδόσεις Ίων
- [7] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work> (17/01/2021)
- [7<sup>α</sup>] Κρητικός Αθανάσιος (2010) *Ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά : δωρεάν ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο και τον άνεμο μπορείς και συ* Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
- [8] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/hydroelectric-power-how-it-works>
- [9] Víctor Alfonsín <sup>a,\*</sup>, Andres Suarez <sup>a</sup>, Angeles Cancela <sup>b</sup>, Angel Sanchez <sup>b</sup>, Rocio Maceiras <sup>b</sup>  
<sup>a</sup> Defense University Center, Escuela Naval Militar, Plaza de España 2, 36920 Marín, Spain  
<sup>b</sup> Chemical Engineering Department, EEI, University of Vigo, 36310 Vigo, Spain  
Modelization of hybrid systems with hydrogen and renewable energy oriented to electric propulsion in sailboats. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: [www.elsevier.com/locate/he](http://www.elsevier.com/locate/he)
- [10] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Catamaran> (17/1/2021)
- [11] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.fotovoltaikasystems.gr/fotovoltaika-panel.html> (23/1/2021)
- [12] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_photovol.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm) (23/1/2021)
- [13] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.sailmagazine.com/diy/know-how-wind-generators> (23/1/2021)
- [14] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://el.wikipedia.org/wiki/Μπαταρία>

- [14<sup>α</sup>] Σερεμετάκη Η. - Μιχαηλίδου Γ. 2017. Διπλωματική εργασία: Μετασκευή ιστιοφόρου σκάφους: εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση τυπωμένων φωτοβολταϊκών. Εφαρμογή σε υπάρχων σκάφος
- [15] Παρουσίαση μαθήματος, Ηλεκτροχημικά Συστήματα Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Δρ. Αθανάσιος Παπαδεράκης, Α.Π.Θ.
- [16] Anthony C. Fischer-Cripps (2004). The electronics companion. CRC Press. s. 13. ISBN 978-0-7503-1012-3.
- [17] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.nist.gov/pml/special-publication-811>
- [18] Davide Andrea (2010). Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Artech House. p. 189. ISBN 978-1-60807-105-0
- [19] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://el.wikipedia.org/>
- [20] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://batteryuniversity.com/articles>
- [20<sup>α</sup>] Μαργαρίτης Χ. Αποστολίδης 2013 Διπλωματική εργασία: Υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ιστιοπλοϊκά σκάφη
- [21] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/batteries/>
- [22] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal\\_hydride\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery)
- [23] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93hydrogen\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93hydrogen_battery)
- [24] Δρ.-Μηχ. Εμμανουήλ Τατάκης, Καθηγητής Πολυτεχνική Σχολή Πατρών  
Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Σημειώσεις μαθήματος  
Ηλεκτρονικά Ισχύος II Ενότητα 2: Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης σε Εναλλασσόμενη Τάση
- [25] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_inverter](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter)
- [26] Wei Chen,<sup>a</sup> Yang Jin,<sup>a</sup> Jie Zhao,<sup>a</sup> Nian Liu,<sup>b,1</sup> and Yi Cui<sup>a,c,2</sup> Nickel-hydrogen batteries for large-scale energy storage. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: Published online 2018 Oct 29 [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6243278/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6243278/)
- [27] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.rebattery.gr/ilektrokinisi-mpataries-ni-mh-kai-li/>
- [28] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <https://www.save-marine.com/en/electricity-cruising-sailboat> Source : « *cahier spécial l'énergie à bord* », BLOC MARINE 2017.
- [29] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [www.jeanneau.com](http://www.jeanneau.com)

- [30] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://sailboat.guide/jeanneau/sun-odyssey-49-ds>
- [31] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://2yachts.com/boat/504064-sun-odyssey-49-ds>
- [32] Gerr, D. (2022). *Propeller handbook: the complete reference for choosing, installing, and understanding boat propellers* / Dave Gerr (Third Edition. ed.). Camden: International Marine.
- [33] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://www.kiwiprops.co.nz/cms/index.php/resources-general/vesselspeedcalc>
- [34] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://www.elcomotoryachts.com/product/ep-70-electric-inboard/>
- [35] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://batteryguy.com/kb/knowledge-base/connecting-batteries-in-parallel/>
- [36] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <https://www.altestore.com/blog/2016/04/how-do-i-read-specifications-of-my-solar-panel/#.YiZyMZaxWUk>
- [37] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Marine-Wire-Size-And-Ampacity>
- [38] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Selecting-a-Battery-Charger>
- [39] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>
- [40] Παναγιώτης Γ. Στρούζας (2001) *Ιστιοπλοΐα και ναυτική τέχνη* Έκδοση Π.Ο.Ι.Α.Θ.
- [41] Παπαπέτρου Αλέξανδρος (1975) *Ηλεκτρικά μηχαναί : ηλεκτρικά μηχαναί συνεχούς ρεύματος*
- [42] USNA (2020) EN400: Principles of Ship Performance Course Notes - Naval Academy

## Παράρτημα

### Πίνακας μετατροπών με κόστος και βάρος

A / A	Περιγραφή	Τεμάχιο	Τιμή /Τεμάχιο	Σύνολο	Kg/Τεμάχιο	Kg/Σύνολο	
1	Φορτιστής	Elcon UHF3300	3	895,00 \$	2.685,00 \$	6,4	19,2
2	Μπαταρίες	Victron Energy 12V/220Ah AGM Deep Cycle Battery	13	536,00 \$	6.968,00 \$	64,8	842,4
3	Φωτοβολταϊκά	Flexible Solar Panel 150W - 24V	4	249,64 \$	998,56 \$	2,68	10,72
4	Ηλ. κινητήρας	EP-70 Electric Inboard	1	15.995,00 \$	15.995,00 \$	294,83	294,83
5	Υδρογεννήτρια	Cruising 600 Hydrogenerator	1	4.158,00 \$	4.158,00 \$	8,9	8,9
6	Ανεμογεννήτρια	LE-300 Marine Wind Turbine Advanced Kit 12/24/48V	1	1.204,35 \$	1.204,35 \$	6,5	6,5
7	DC/DC Μετατροπέας	YPOWER DC/DC 12V/36V - 15A	3	543,00 \$	1.629,00 \$	2,2	6,6
8	MPPT	Victron Energy SmartSolar MPPT 150/70 -Tr VE.Can	1	752,00 \$	752,00 \$	3,0	3,0
				<b>Σύνολο</b>	34.389,91 \$		1.192,15

### Πηγές

1. [www.evolveelectrics.com/products/elcon-uhf-3-3-kw-charger-w-canbus](http://www.evolveelectrics.com/products/elcon-uhf-3-3-kw-charger-w-canbus)
2. [www.invertersupply.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=25361](http://www.invertersupply.com/index.php?main_page=product_info&products_id=25361)
3. [www.gosolar.gr/en/product/flexible-solar-panel-150w-24v/](http://www.gosolar.gr/en/product/flexible-solar-panel-150w-24v/)
4. [www.elcomotoryachts.com/shop/electric-inboards/ep-70-electric-inboard/#gref](http://www.elcomotoryachts.com/shop/electric-inboards/ep-70-electric-inboard/#gref)
5. [www.wattandsea.com/en/hydrogenerators/cruising-600-en/](http://www.wattandsea.com/en/hydrogenerators/cruising-600-en/)
6. [www.leadingedgepower.com/le-300-wind-turbine-standard-1013010.html](http://www.leadingedgepower.com/le-300-wind-turbine-standard-1013010.html)
7. [www.vdm-reya.com/CRIYPO12-36-15-chargeur-convertisseur-ypower-dcdc-12v36v---15a](http://www.vdm-reya.com/CRIYPO12-36-15-chargeur-convertisseur-ypower-dcdc-12v36v---15a)
8. [www.e-kiriazis.gr/ell/product/Ρυθμιστής\\_φόρτισης\\_φωτοβολταϊκών\\_Victron\\_SmartSolar\\_MPPT](http://www.e-kiriazis.gr/ell/product/Ρυθμιστής_φόρτισης_φωτοβολταϊκών_Victron_SmartSolar_MPPT)

## Κλίμακα Beaufort

Κλίμακα Beaufort					
Βαθμίδα	Ταχύτητα ανέμου			Χαρακτηρισμός ανέμου	Χαρακτηρισμός θάλασσας
	m/sec	Knots	Km/h		
0	<1	<1	<2	Άπνοια ή νηνεμία	Γαλήνια
1	1_2	1_3	1_5	Σχεδόν άπνοια ή Υποπνέων άνεμος	Ρυτιδωμένη
2	2_3	4_6	6_11	Πολύ ασθενής	Ήρεμη
3	4_5	7_10	12_19	Ασθενής	Λίγο παραγμένη
4	6_8	11_16	20-29	Σχεδόν μέτριος	Ταραγμένη
5	9_11	17-21	30-39	Μέτριος	
6	12_14	22-27	40-50	Ισχυρός	Κυματώδης
7	15-17	28-33	51-61	Σχεδόν Θυελλώδης ή Πολύ ισχυρός	Πολύ κυματώδης
8	18-21	34-40	62-74	Θυελλώδης	Τρικυμιώδης
9	22-24	41-47	76-87	Πολύ Θυελλώδης	
10	25-28	48-55	88-102	Θύελλα	Πολύ τρικυμιώδης
11	29-32	56-63	103-118	Ισχυρή θύελλα	
12	33+	64+	119+	Κυκλώνας	Πολύ άγρια

Πηγή: [www.emy.gr/emv/el/navigation/naftilia\\_beaufort](http://www.emy.gr/emv/el/navigation/naftilia_beaufort)



## Σύγκριση τεχνικών προδιαγραφών συσσωρευτών

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific Energy Density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal Resistance (mΩ)	<100	100-200	200-300	150-300	25-75	25-50
	12V pack	6V pack	6V pack	7.2V	per cell	per cell
Life Cycle (80% discharge)	200-300	1000	300-500	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Fast-Charge Time	8-16h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge Tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-Discharge/month (room temp)	5%	20%	30%	<10%		
Cell Voltage (nominal)	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3.8V	3.3V
Charge Cutoff Voltage (V/cell)	2.40	Full charge detection		4.20		3.60
	Float 2.25	by voltage signature				
Discharge Cutoff Voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak Load Current	5C	20C	5C	>3C	>30C	>30C
Best Result	0.2C	1C	0.5C	<1C	<10C	<10C
Charge Temperature	-20 to 50°C	0 to 45°C		0 to 45°C		
	-4 to 122°F	32 to 113°F		32 to 113°F		
Discharge Temperature	-20 to 50°C	-20 to 65°C		-20 to 60°C		
	-4 to 122°F	-4 to 149°F		-4 to 140°F		
Maintenance Requirement	3-6 Months	30-60 days	60-90 days	Not required		
	(topping charge)	(discharge)	(discharge)			
Safety Requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory		
In Use Since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very High	Very High	Low	Low		

Πηγή: [www.epectec.com/batteries/cell-comparison](http://www.epectec.com/batteries/cell-comparison)

