



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**Τεχνο-οικονομική μελέτη βιωσιμότητας, μετατροπής πλοίου  
ανοιχτού τύπου σε αποκλειστική χρήση ενέργειας από συστημα  
μπαταριών.**

Κωνσταντίνος-Φίλιππος Πελτέκης

**Επιβλέπων:** Δημήτρης Λυρίδης.

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα Φεβρουάριος 2019



# Περίληψη

Γίνεται σαφές τα τελευταία χρόνια, ότι η επίδραση του ανθρώπου στο περιβάλλον πρέπει σιγά σιγά να μειωθεί. Σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς γίνεται μία προσπάθεια να ελεγχθεί η εκπομπή ρύπων, σε μία κατεύθυνση περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας. Οι αλλαγές στο κλίμα πολλών περιοχών της Γης έχει ήδη ξεκινήσει να συμβαίνει με τις πόλεις που είναι κοντά στη θάλασσα αλλά και συνολικά τις παράκτιες περιοχές να δέχονται τις περισσότερες παρενέργειες της κλιματικής αλλαγής.

Για τον τομέα της ναυτιλίας, το πλήρως εξηλετρισμένο πλοίο, μοιάζει ως εκείνη η λύση που θα κάνει τη ναυτιλία μία «πράσινη» βιομηχανική λειτουργία. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορεί να επιφέρει έως και 100% μείωση των μολυσματικών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Στόχος, λοιπόν, αυτής της μελέτης είναι η διερεύνηση της βιωσιμότητας μίας μετατροπής σε πλοία ανοικτού τύπου ώστε να χρησιμοποιούν ως αποκλειστική πηγή ενέργειας την ηλεκτρική, παραγόμενη από ένα σύστημα μπαταριών. Συμπεριλαμβάνεται το κόστος της μετατροπής, μία σύγκριση στα οφέλη από τη λειτουργία του συστήματος μπαταριών σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, τις υποδομές απο πλευράς του λιμανιού για την επαναφόρτιση του συστήματος και τα οφέλη σε οικονομικές μονάδες από τη μείωση των ρύπων.

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή της ηλεκτροπρόωσης αλλά και κάποια βασικά τεχνικά στοιχεία για τη χημική σύσταση αλλά και τα διάφορα είδη των μπαταριών.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μία οπτική για το πώς πρέπει να είναι δομημένη η εγκατάσταση από πλευράς λιμανιού για την υποστήριξη του συστήματος. Προφανώς σε αυτό το κομμάτι επιδρά καθοριστικά και η ίδια η διαμόρφωση του εκάστοτε πλοίου αλλά και του λιμανιού για να γίνεται με βέλτιστο τρόπο η επαναφόρτιση του συστήματος.

Στα τελευταία κεφάλαια γίνεται η παρουσίαση των συγκεκριμένων υπολογισμών και αποτελεσμάτων για το πλοίο και το δρομολόγιο που χρησιμοποιεί η παρούσα μελέτη ως παράδειγμα εφαρμογής της μεθοδολογίας. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη συνολική επίδραση της ναυτιλίας σε περιβαλλοντολογικό επίπεδο και τις ιδιαίτερες επιπτώσεις των εκπομπών ρύπων στην κλιματική αλλαγή.

### **Λέξεις κλειδιά**

Σύστημα μπαταριών, πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, εκπομπές πλοίων, βιώσιμη ναυτιλία.

# Ευχαριστίες

Για τη βοήθεια και τη συνεχή καθοδήγησή του, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτρη Λυρίδη, που με τη βοήθεια του έγινε η εργασία αυτή κατανοητή και ελπίζω και χρήσιμη.

Για την πολύ εποικοδομητική συνεργασία, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στον καθηγητή Ιωάννη Προυσαλίδη, που με τις δικές του συμβουλές ολοκληρώθηκε η παρούσα μελέτη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον υποψήφιο διδάκτορα Χρήστο Μπακιρτζόγλου για την πολύτιμη βοήθεια του σε πολλά στάδια υλοποίησης της εργασίας.

Κωνσταντίνος-Φίλιππος Πελτέκης

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Περιεχόμενα.....	6
1. Εισαγωγή.....	9
1.1. Το ιστορικό της μελέτης.....	9
1.2. Στόχος της μελέτης.....	11
2. Η Ηλεκτροπρόωση.....	12
2.1. Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτρικού Πλοίου.....	14
3. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες.....	17
3.1. Μία εισαγωγή στην τεχνολογία της μπαταρίας.....	17
3.2. Περιγράφοντας την τεχνολογία της μπαταρίας.....	19
3.3. Περιγραφή της Χημικής Σύστασης της Μπαταρίας.....	21
4. Ανάλυση της μεθοδολογίας.....	30
4.1. Το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο.....	31
4.2. Το σύστημα των μπαταριών.....	32
4.3. Η χωρητικότητα του συστήματος μπαταριών.....	35
4.4. Τοπικές ρυθμίσεις του συστήματος.....	36
4.5. Το περιβάλλον λειτουργίας.....	37
4.6. Το σύστημα διαχείρισης των μπαταριών.....	39
4.7. Το σύστημα διασύνδεσης.....	40
4.7.1 Η πλευρά του σταθμού φόρτισης.....	40
4.7.2 Η πλευρά του πλοίου.....	42
6. Μεθοδολογία του σχεδιασμού της μετατροπής.....	44
6.1 Η φιλοσοφία της μετατροπής.....	44
6.2 Τα δεδομένα και οι υπολογισμοί.....	46
7. Το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα των πλοίων.....	51
7.1 Οι εκπομπές των πλοίων και οι επιδράσεις τους.....	52
7.2 Η επίδραση των εκπομπών στην κλιματική αλλαγή.....	54
7.3 Η επίδραση των εκπομπών στην ανθρώπινη υγεία.....	54
7.4 Τα εξωτερικά κόστη (externalities).....	55
8. Το παράδειγμα της μελέτης: Μήλος-Κίμωλος.....	58
8.2 Ανάλυση των δεδομένων.....	58
8.3 Υπολογισμοί του συστήματος.....	61

8.4 Η οικονομική ανάλυση τη μετατροπής.....	65
9. Συμπεράσματα .....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	72





# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Το Ιστορικό της μελέτης

Η μεγάλη αύξηση της θαλάσσιας κίνησης σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος, συμβαίνουν ταυτόχρονα σε μία περίοδο τεράστιας τεχνολογικής καινοτομίας. Η μεγάλη πρόοδος στις τεχνολογίες των μπαταριών σε συνδυασμό με τους νέους κανονισμούς για τις εκπομπές ρύπων των πλοίων, θέτει επιτακτικά το ζήτημα της ηλεκτρικής πρόωσης των πλοίων. Οι πρώτες προσπάθειες για την ηλεκτροκίνηση των πλοίων μέσω συστημάτων μπαταριών έγιναν πριν δύο αιώνες, αλλά είναι σήμερα που μπορεί αυτή η αντίληψη να θέσει νέες βάσεις για τη λειτουργία και τη βιωσιμότητα των ίδιων των πλοίων.

Οι κλιματικές αλλαγές έχουν ήδη αρχίσει να κάνουν ορατά τα σημάδια τους. Τα λιμάνια και οι παράκτιες περιοχές είναι οι πιο ευάλωτοι στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Σε τέτοιες περιοχές, οι εκπομπές των πλοίων είναι ο κύριος παράγοντας της αστικής μόλυνσης, με καίριες επιπτώσεις στις ίδιες τις ζωές των ανθρώπων. Η προσπάθεια μείωσης των ρύπων από πλευράς «στεριάς» επιτάσσει και από την άλλη πλευρά τις αντίστοιχες ενέργειες.



Το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, στοχεύει στο να προωθήσει μηδενικές εκπομπές αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του «θερμοκηπίου», συνδυάζοντας ένα σχεδιασμό που θα αξιοποιεί στο 100% την εγκατεστημένη ενέργεια και ισχύ.

Φυσικά, μιλώντας για ένα πλοίο που η μοναδική του πηγή ενέργειας είναι το σύστημα μπαταριών, η εξοικονόμηση πόρων από τη μη χρησιμοποίηση συμβατικών καυσίμων έχει πολύ σημαντικό αντίκτυπο στη συνολικό κόστος



ζωής μίας τέτοιου σχεδιασμού. Αντίστοιχα οφέλη μπορεί να είναι η απόδοση συνολικά του πλοίου, ο μικρότερος χρόνος εκκίνησης των μηχανών αλλά και ο μεγαλύτερος συντελεστής ασφαλείας της εγκατάστασης. Την τελευταία δεκαετία, μια ποικιλία από μπαταρίες λιθίου έχουν αναπτυχθεί, με την πυκνότητα ενέργειάς τους, την πυκνότητα ισχύος, τον συνολικό κύκλο ζωής τους και την απόδοσή τους σε κρύο καιρό να έχει βελτιστοποιηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Στην Ελλάδα, το 98% του πληθυσμού ζει σε απόσταση μικρότερη από 100 χλμ από τη θάλασσα και το 33% σε παράκτιες πόλεις και χωριά με απόσταση από τη θάλασσα κάτω των 2 χλμ, ενώ δεν υπάρχει μέρος στη χώρα που να απέχει περισσότερο από 150 χλμ από τη θάλασσα. Στην ελληνική ακτογραμμή, που αντιστοιχεί περίπου στο 5% της ευρωπαϊκής, δραστηριοποιούνται περίπου 150 πλοία ανοιχτού τύπου που κάνουν μικρά δρομολόγια και όλα χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την κίνησή τους.



Όπως γίνεται προφανές, η ανάγκη για πράσινη ενέργεια στον τομέα της ναυτιλίας, ιδιαίτερα στη χώρα μας γίνεται επιτακτική. Ο ελληνικός τομέας της ναυτιλίας πρέπει να γίνει πρωτοπόρος σε μία τέτοια προσπάθεια, στο βαθμό που επηρεάζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό.

Η παρούσα μελέτη ερευνά τη βιωσιμότητα της ανακατασκευής πλοίων ανοιχτού τύπου για να χρησιμοποιούν ως αποκλειστική πηγή ενέργεια ένα σύστημα μπαταριών, για την

αντικατάσταση των εγκαταστάσεων πρόωσης και ηλεκτρικής τροφοδότησης από μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα.

## 1.2. Στόχος της μελέτης

Η στόχευση αυτής της μελέτης είναι να περιγράψει τις επιλογές που μπορούν να κάνουν ένα τέτοιο εγχείρημα βιώσιμο και να αξιολογήσει αυτές τις επιλογές όσον αφορά τα ζητήματα της λειτουργίας, της απόδοσης αλλά και της οικονομικής απόδοσης της εγκατάστασης. Από την πλευρά του σχεδιασμού, τα παρακάτω ζητήματα είναι που πρέπει να απασχολήσουν περισσότερο:

- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα πρέπει να είναι αρκετή για να καλύπτει τις ανάγκες των καταναλωτών αλλά και τα απαραίτητα περιθώρια ασφαλείας
- Η συμμόρφωση με τους εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς
- Η σχεδίαση ενός συνόλου συστήματος υποστήριξης μίας τέτοιας προωστήριας εγκατάστασης και πάνω στο πλοίο αλλά και στην πλευρά του λιμανιού.

Όλα τα παραπάνω θα πρέπει να μπορούν να έχουν ένα οικονομικά βιώσιμο αποτέλεσμα.

## 2. Η Ηλεκτροπρόωση



Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης, στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντήζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά, οι κινητήρες ντήζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα, κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, οπότε και αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως “prime movers” (‘κινητήριες μηχανές’). Το προωστήριο σύστημα συμπληρώνεται από κάποια διάταξη ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

Η ηλεκτρική πρόωση έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πριν από περίπου 55 χρόνια . Επί μεγάλο διάστημα, τα κινητήρια συστήματα ήταν του τύπου Σ.Ρ./Σ.Ρ. (συχνά συστήματα Ward-Leonard) δηλαδή παραγωγή συνεχούς τάσεως και κίνηση με συνεχές ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα αρχίζει να χρησιμοποιείται στα πλοία στις αρχές της δεκαετίας του 1950, αλλά τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης εξακολουθούν να στηρίζονται σε κινητήρες Σ.Ρ.. Κατά την τελευταία εικοσαετία, η ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών ελέγχου κινητήρων Ε.Ρ (ηλεκτρονικά ισχύος), που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της πρόωσης από πλευράς τόσο ευελιξίας όσο και οικονομίας καυσίμου,

έδωσε τη δυνατότητα για ευρύτερη διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης σε εμπορικά πλοία.

Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- α. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων.
- β. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- γ. Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- ε. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των Υποβρυχίων. Η χρήση της σε πολεμικά πλοία επιφάνειας, που μέχρι σήμερα ήταν σχετικά περιορισμένη, προσελκύει ξανά το έντονο ενδιαφέρον των ναυτικών χωρών που κατασκευάζουν πολεμικά πλοία και εξετάζεται πλέον σαν υποψήφιο σύστημα για την προωστήρια εγκατάσταση της επόμενης γενιάς και των μεγάλων πολεμικών πλοίων. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία προδιαγραφές του πολεμικού ναυτικού διαφόρων χωρών, (τόσο από απόψεως περιορισμού χώρου αλλά και απαιτήσεων του προωστηρίου συστήματος), προϋποθέτουν περισσότερη ανάπτυξη και τελειοποίηση υποσυστημάτων για να πραγματοποιηθούν τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης.

Οι κύριες αιτίες της αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος του πολεμικού ναυτικού για τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης είναι :

- α. Η αύξηση του αριθμού των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία και η τάση για την 'ηλεκτροποίηση' των πλοίων (με αποκορύφωση το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο All Electric Ship-AES), δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να γίνονται πλέον από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κ.λ.π.),
- β. Η ανάγκη για περισσότερο 'αθόρυβη' λειτουργία των πλοίων ,

γ. Η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και μειωμένες απαιτήσεις προσωπικού.

δ. Η ωρίμανση τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης. Τέτοιες τεχνολογίες είναι κυρίως των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχό τους.

Επίσης πρέπει να τονιστεί, ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως επαγωγικών κινητήρων μεγάλης ισχύος (0.5-2.5 MW)



## 2.1. Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτρικού Πλοίου

Μία σειρά πειραματικών εφαρμογών ηλεκτρικής πρόωσης πραγματοποιήθηκαν στο τέλος του 19ου αιώνα σε Ρωσία και Γερμανία όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης τροφοδοτούταν απευθείας από συστοιχίες συσσωρευτών. Η πρώτη γενιά ηλεκτροπρόωσης εφαρμόστηκε περί το 1920. Ήταν αποτέλεσμα του μμεγάλου ανταγωνισμού για μμείωση του χρόνου των υπερατλαντικών ταξιδιών, μμεταξύ των ναυτιλιακών εταιριών επιβατηγών πλοίων.

Οι μμεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης καλύπτονταν τότε από στρόβιλο – ηλεκτρικά συστήματα. Το πλοίο S/S Normandie χρησιμοποιούσε ένα τέτοιο σύστημα, ήταν το πρώτο σκάφος που διέσχισε τον Ατλαντικό Ωκεανό (1935) κινούμενο με 30 και



πλέον κόμβους. Στρόβιλοι ατμού τροφοδοτούσαν τους σύγχρονους ηλεκτρικούς κινητήρες ισχύος 29 MW σε καθέναν από τους τέσσερις άξονες μετάδοσης κίνησης. Η περιστροφική ταχύτητα δινόταν από την ηλεκτρική συχνότητα των γεννητριών. Σε κανονική λειτουργία οι γεννήτριες τροφοδοτούσαν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, υπήρχε όμως και η δυνατότητα τροφοδότησης δύο μηχανών από μία γεννήτρια για ταξίδι χαμηλότερης ταχύτητας.

Με την εισαγωγή των μηχανών Diesel στο μέσο του 20ου αιώνα, η τεχνολογία ατμοστροβίλων και η ηλεκτρική πρόωση εξαφανίστηκαν λίγο πολύ από την εμπορική ναυτιλία μέχρι τη δεκαετία του '80. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος και συγκεκριμένα των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων, έφεραν τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα πάλι στα πλοία.

Αρχικά περί το 1970 μέσω των ανορθωτών (E.P./Σ.P.) για τον έλεγχο μηχανών πρόωσης Σ.P. και στη συνέχεια το 1980 με τη χρήση των μετατροπέων E.P./E.P. για τον έλεγχο μηχανών E.P., έχουμε τη δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης. Το προωστήριο σύστημα τροφοδοτείται πλέον από ένα ισχυρό δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας.

Μέσω του ελέγχου των στροφών των ηλεκτρικών κινητήρων στρέφονται οι έλικες σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propellers – FPP). Αυτές οι λύσεις αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε ειδικές κατηγορίες πλοίων όπως ερευνητικά και παγοθραυστικά πλοία αλλά και σε κρουαζιερόπλοια. Το “S/S Queen Elizabeth II”, μετατράπηκε σε



ηλεκτροκίνητο περί το 1975, στη συνέχεια ακολούθησαν και άλλα πλοία όπως τα κρουαζιερόπλοια Fantasy και Princess, shuttle tankers κ.α.. Σημειωτέον, στην άμεσα οδηγούμενη πετρελαιοκίνητη πρόωση η ώση συνήθως ελέγχεται μέσω ενός υδραυλικού συστήματος αλλαγής του βήματος των ελίκων. Οι έλικες αυτές είναι γνωστές ως έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propellers– CPP).

Το 1990 έκανε την εμφάνισή του το αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης (podded propulsion). Σε αυτό ο ηλεκτρικός κινητήρας βρίσκεται μέσα σε μια λοβοειδή κατασκευή ποντισμένη στη θάλασσα. Η έλικα, που είναι απευθείας συνδεδεμένη με τον κινητήρα, είναι σταθερού βήματος και το όλο σύστημα έχει τη δυνατότητα περιστροφής κατά 360ο προσφέροντας στο πλοίο ευκινησία και ευελιξία (maneuverability). Από την πρώτη εφαρμογή στο κρουαζιερόπλοιο “M/S Elation”, τα αποτελέσματα ήταν τόσο ενθαρρυντικά ώστε να καθιερωθεί η αζιμουθιακή πρόωση στα νέα κρουαζιερόπλοια.



## 3. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες.

### 3.1. Μία εισαγωγή στην τεχνολογία της μπαταρίας.

Στην ίδια τη φύση, υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι να παραχθεί ενέργεια. Οι περισσότεροι έχουν να κάνουν με την καύση, τη μηχανική κίνηση και τη φωτοσύνθεση, όπως σε ένα ηλιακό κύτταρο. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μία μπαταρία επιτυγχάνεται μέσα από την ηλεκτροχημική αντίδραση δύο μετάλλων με διαφορετική δραστηριότητα. Όταν τα μέταλλα εκτεθούν σε οξέα, σχηματίζεται μεταξύ τους μια τάση ως αποτέλεσμα της μεταφοράς των ιόντων και κλείνοντας το κύκλωμα δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα. Γίνεται προφανές ότι όσο μεγαλύτερη η διαφορά στη δραστηριότητα των μετάλλων τόσο μεγαλύτερη η τάση που σχηματίζεται μεταξύ τους.

Μία μπαταρία είναι ένας ηλεκτροχημικός συσσωρευτής που αποθηκεύει στο εσωτερικό του ηλεκτρική ενέργεια στη μορφή της χημικής δυνατότητας ανάμεσα σε ένα θετικό και ένα ηλεκτρικό ηλεκτρόδιο. Τα βασικά στοιχεία μίας μπαταρίας είναι η άνοδος, η κάθοδος, ο ηλεκτρολύτης και ο διαχωριστής. Ο διαχωριστής επιτρέπει στα θετικά φορτία να μετακινούνται από την άνοδο στην κάθοδο χωρίς να περνάνε μαζί και άλλα μόρια.

Βάσει της επιθυμητής τάσης, μία μπαταρία αποτελείται από ένα ή και περισσότερα κυψελίδες-κύτταρα συνδεδεμένα παράλληλα ή σε σειρά. Κάθε κυψελίδα αποτελείται από:

- Την άνοδο ή αρνητικό ηλεκτρόδιο, η χημική αντίδραση στην άνοδο (οξειδωση) απελευθερώνει ηλεκτρόνια που ρέουν προς την κάθοδο μέσα από ένα εξωτερικό κύκλωμα. Η άνοδος επιλέγεται βάσει της αποδοτικότητάς της, την ευκολία στην κατεργασία της, της αγωγιμότητάς της και της υψηλής ειδικής χωρητικότητας της και του χαμηλού κόστους.
- Την κάθοδο ή θετικό ηλεκτρόδιο, η χημική αντίδραση στην κάθοδο (μείωση) δέχεται τα ηλεκτρόνια. Η κάθοδος επιλέγεται βάσει της τάσης της και της χημικής σταθερότητάς της στο χρόνο.

- Ο ηλεκτρολύτης ολοκληρώνει το κύκλωμα της κυψελίδας με το να μεταφέρει τα ιόντα από την άνοδο στην κάθοδο. Ο ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι υγρό οξύ, αλκαλικό ή κάποιος διαλύτης. Ο ηλεκτρολύτης επιλέγεται βάσει της μεγάλης αγωγιμότητάς του, του να μην αντιδράει με τα ηλεκτρόδια, την σταθερότητα στις ιδιότητες του στις διάφορες θερμοκρασίες και το χαμηλό κόστος.

Φυσικά, τα ηλεκτρόδια αποτρέπονται από τα να δημιουργούν εσωτερικά μικροκυκλώματα, αλλά περιτριγυρίζονται από τον ηλεκτρολύτη. Σε μία πρακτική σχεδίαση της κυψελίδας, ο διαχωριστής, που είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη, προσφέρουν μηχανικό διαχωρισμό ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Ο καλύτερος συνδυασμός είναι αυτός που καταλήγει σε μια κυψελίδα με χαμηλό βάρος, υψηλή τάση και μεγάλη χωρητικότητα.

Όταν οι χημικές διαδικασίες συμβαίνουν μέσα σε μία κυψελίδα, η χημική ενέργεια του συστήματος μειώνεται, ως αποτέλεσμα της μετατροπής της σε ηλεκτρική. Η θεωρητική τάση της κυψελίδας είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων των υλικών και είναι το άθροισμα των δυνατοτήτων της ανόδου και της καθόδου. Η θεωρητική χωρητικότητα είναι συνάρτηση της ποσότητας των δραστικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε μία κυψελίδα.

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στις επαναφορτιζόμενες, που οι χημικές αντιδράσεις είναι αντιστρεπτές και μπορούν να επαναφορτιστούν αρκετές φορές και στις μη-επαναφορτιζόμενες που οι χημικές αντιδράσεις είναι μη αντιστρεπτές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μία φορά. Οι επαναφορτιζόμενες, φορτίζονται μέσα από την επιβολή ενός εξωτερικού ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα, ενεργοποιεί τη χημική αντίδραση να γίνει με την αντίστροφη ροή, επαναφέροντας τη χημική ενέργεια της μπαταρίας. Δεδομένης της κυκλικότητας των διαδικασιών στην ναυτιλία, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι προφανώς επαναφορτιζόμενες.

Οι κυψελίδες των μπαταριών μπορεί να είναι διαφορετικού σχήματος και μορφής, όπως κυλινδρικές ή πρισματικές και μπορεί να είναι σε διάφορα μεγέθη. Τα συστήματα προοριζόμενα για ναυτιλιακές διεργασίες βασίζονται κυρίως σε κυψελίδες Li-ion με NMC (νικέλιο μαγνήσιο κοβάλτιο) καθόδους και γραφίτη για άνοδο. Επίσης χρησιμοποιούνται και κάθοδοι σιδήρου-φωσφορικού. Και τα δύο συστήματα καθόδων

έχουν έναν ικανοποιητικό συνδυασμό στους βασικούς παράγοντες που ενδιαφέρουν: ασφάλεια, ενέργεια, κύκλο ζωής και κόστος.

### 3.2. Περιγράφοντας την τεχνολογία της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες περιγράφονται ή αξιολογούνται μέσα από τι παραμέτρους που καταδεικνύουν την απόδοσή τους. Οι βασικοί παράγοντες για την αξιολόγηση των τεχνικών προδιαγραφών των μπαταριών προοριζόμενες για ναυτική χρήση είναι:

- **C- and E- rates:** Συνήθως, το ηλεκτρικό ρεύμα αποφόρτισης της μπαταρίας εκφράζεται σε C-rate, για να μην γίνεται σύγχυση με τη χωρητικότητά της, (Capacity). Το C-rate είναι το μέγεθος που δείχνει το ρυθμό με τον οποίο αποφορτίζεται μία μπαταρία σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά της. Μία μπαταρία με 1C σημαίνει ότι το ρεύμα αποφόρτισης την αποφορτίζει σε μία ώρα. Για μία μπαταρία χωρητικότητας 100 Amps-hrs (αμπερώρες) σημαίνει ότι το ρεύμα αποφόρτισης είναι 100 Amps. Αν η ίδια μπαταρία ήταν 5C τότε το ρεύμα αποφόρτισης θα ήταν 500 Amps κτλ. Αντίστοιχα το E-rate περιγράφει την ενέργεια αποφόρτισης. 1E-rate είναι η ενέργεια αποφόρτισης που χρειάζεται για να αποφορτιστεί η μπαταρία σε μία ώρα.
- **Ονομαστική Τάση (V):** Η θεωρητική τάση της μπαταρίας
- **Ονομαστική Χωρητικότητα (Ah σε συγκεκριμένο C-rate):** Οι συνολικές αμπερώρες όταν η μπαταρία ξεφορτίζεται υπό ένα συγκεκριμένο ρεύμα.
- **Ονομαστική Ενέργεια (Wh):** Η «χωρητικότητα ενέργειας» όταν η μπαταρία ξεφορτίζεται υπό ένα συγκεκριμένο ρεύμα.
- **Κύκλος ζωής (αριθμός συγκεκριμένων DOD):** Ο αριθμός των συγκεκριμένων εκφορτίσεων-φορτίσεων που η μπαταρία μπορεί να υποστεί πριν αρχίσει να αποτυγχάνει να επανέρχεται στην επιθυμητή αρχική κατάσταση. Το συγκεκριμένο μέγεθος υπολογίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης εκφόρτισης και αποτελεί εκτίμηση του κύκλου ζωής, καθώς οι παράμετροι που επηρεάζουν τον εν λόγω κύκλο είναι αδύνατον να προβλεφθούν κατά την καθημερινή χρήση.
- **Ειδική Ενέργεια (Wh/Kg):** Η ονομαστική ενέργεια της μπαταρίας ανα μονάδα μάζας. Αυτό το μέγεθος είναι χαρακτηριστικό της χημικής σύστασης της

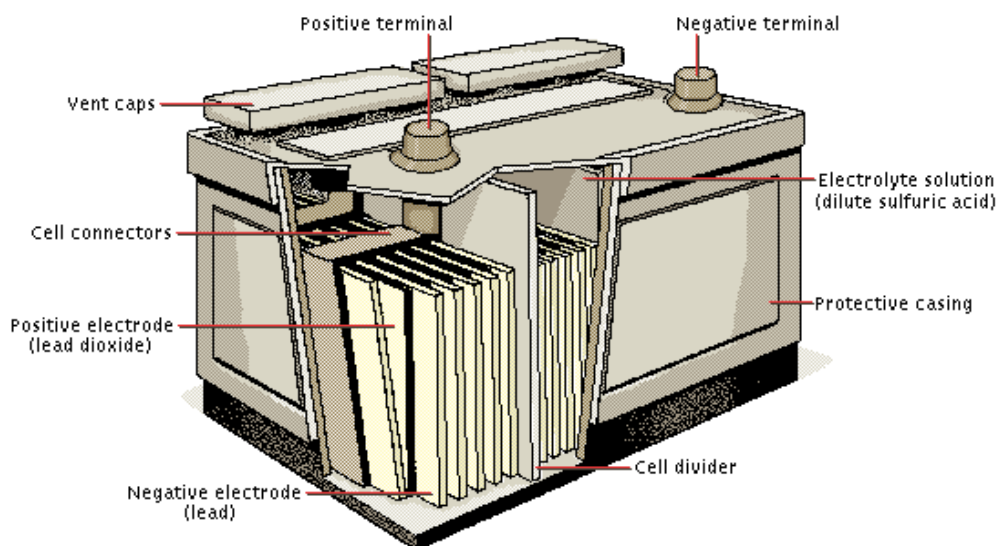
μπαταρίας. Προσδιορίζει το βάρος της μπαταρίας ικανό για να φτάσει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια.

- **Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/L):** Η ονομαστική ενέργεια της μπαταρίας ανα μονάδα όγκου.
- **Ειδική Ισχύς (W/kg):** Είναι η ροή της ισχύος ανά μονάδα μάζας.
- **Πυκνότητα ισχύος (W/L):** Είναι η ροή της ισχύος ανά μονάδα όγκου.
- **Μέγιστο συνεχόμενο ρεύμα αποφόρτισης (A):** Το όριο αυτό καθορίζεται από τον κατασκευαστή για να αποφευχθεί βλάβη στην μπαταρία μειώνοντας τη χωρητικότητα της αλλά και τον κύκλο ζωής της.
- **Τάση Φόρτισης (V):** Η τάση υπό την οποία φορτίζεται η μπαταρία.
- **Εσωτερική Αντίσταση (Ohm):** Συνήθως διαφέρει μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης.
- **Κατάσταση φόρτισης (SoC):** Εκφρασμένο σε ποσοστό επί τοις εκατό, δείχνει σε τι βαθμό είναι φορτισμένη η μπαταρία σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά της.
- **Βάθος αποφόρτισης (DOD):** Εκφρασμένο σε ποσοστό επί τοις εκατό, δείχνει σε ποιο ποσοστό έχει αποφορτιστεί η μπαταρία σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά της.

### 3.3. Περιγραφή της Χημικής Σύστασης της Μπαταρίας.

#### Μολύβδου-Οξέως

Επινοήθηκε από το Γάλλο Gaston Plante το 1859, ήταν η πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία για εμπορικούς λόγους και συνεχίζει μέχρι και σήμερα να χρησιμοποιείται. Ο λόγος που είναι τόσο δημοφιλής είναι η πολύ καλή σχέση μεταξύ ισχύος και κόστους που διαθέτει. Χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτοκινούμενα, αυτοκίνητα του Golf και UPS.



Η βασική δομή αποτελείται από κράμα μολύβδου. Ο μολύβδος από μόνος του είναι πολύ μαλακός γι' αυτό εισάγονται μικρές ποσότητες άλλων μετάλλων για να επιτευχθεί η επιθυμητή αντοχή. Οι πιο συνήθεις προσμίξεις είναι: ασβέστιο, αντιμόνιο, κασσίτερος και σελήνιο.

Η προσθήκη αντιμονίου και κασσίτερου βελτιώνει τους βαθείς κύκλους αλλά αυξάνει κατά πολύ την κατανάλωση νερού. Το ασβέστιο μειώνει την αυτοεκφόρτιση αλλά η θετική πλάκα μολύβδου-ασβεστίου μεγαλώνει λόγω της οξείδωσης κατά την υπερφόρτωση. Πιο σύγχρονες μπαταρίες μολύβδου χρησιμοποιούν σελήνιο, κάδμιο, κασσίτερο και αρσενικό για να μειώσουν το ασβέστιο και το αντιμόνιο. Τα συστήματα μολύβδου-οξέως έχουν μεγαλύτερο βάρος και μικρότερο κύκλο ζωής από αυτά του νικελίου και του λιθίου σε βαθιές εκφορτίσεις. Μία πλήρης εκφόρτιση προκαλεί

αρκετή ζημία στο σύστημα όπου κάθε επόμενη εκφόρτιση αφαιρεί ένα ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας του συστήματος. Οι μειώσεις αυτές είναι σχετικά μικρές αλλά αυξάνονται ραγδαία όταν η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας πέσει κοντά ή και κάτω από το μισό της αρχικής της χωρητικότητας.

Ανάλογα, πάντα, με τον τρόπο εκφόρτισης, το συγκεκριμένο είδος μπορεί να παράγει μέχρι και 200-300 κύκλους. Ο βασικός λόγος για τον σχετικά μικρό αυτό κύκλο είναι η διάβρωση στα θετικά ηλεκτρόδια και η εξάντληση του δραστικού στοιχείου. Τα φαινόμενα αυτά γίνονται πιο έντονα σε υψηλές θερμοκρασίες και υψηλά ηλεκτρικά ρεύματα εκφόρτισης.

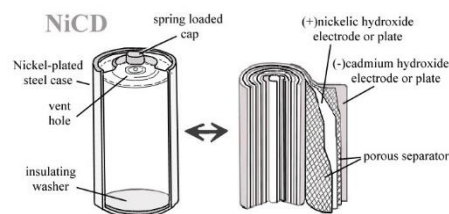
Η φόρτιση μίας τέτοιας μπαταρίας είναι σχετικά εύκολη αλλά πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα όρια της τάσης που δίνει ο κατασκευαστής.

### **Μπαταρίες Νικελίου**

Για 50 χρόνια, οι φορητές συσκευές επαφύονταν σχεδόν αποκλειστικά σε μπαταρίες Νικελίου-κάδμιου. Αυτό δημιούργησε μία αρκετά μεγάλη βάση δεδομένων για το συγκεκριμένο σύστημα, αλλά ήταν το 1990 που εισήχθησαν τα υβριδικά συστήματα Νικελίου-Μετάλλου και ήρθαν να λύσουν το ζήτημα της τοξικότητας του κατά τα άλλα επιτυχημένου μοντέλου Νικελίου-Καδμίου.

### **Νικέλιο-Κάδμιο (NiCd)**

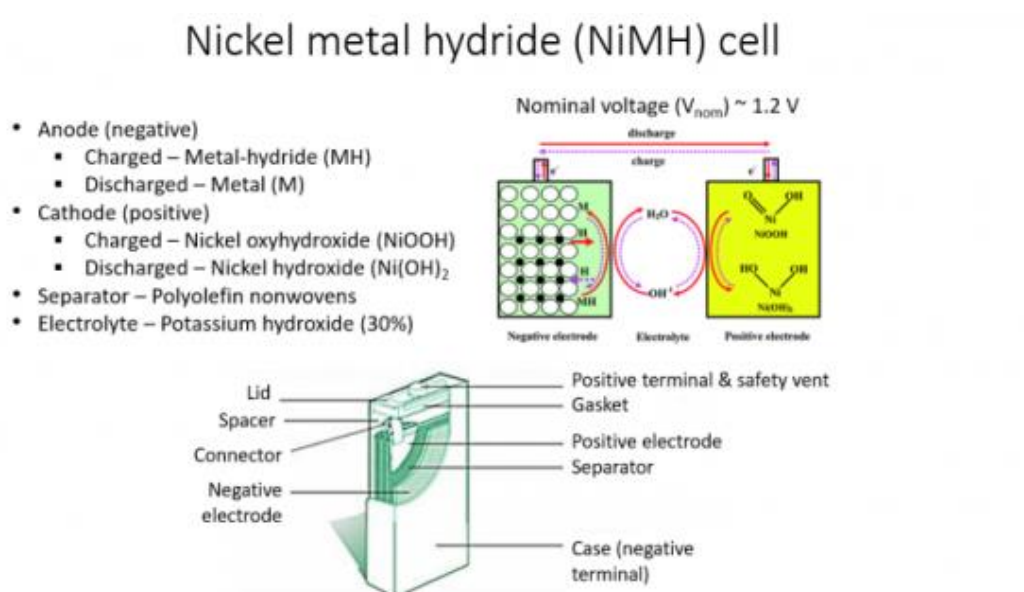
Η συγκεκριμένη διάταξη, προσέφερε αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτή του Μολύβδου-Οξέως, αλλά το κόστος των υλικών ήταν το βασικό μειονέκτημα. Η εξέλιξη αυτής της μπαταρίας ήταν σχετικά αργή αλλά το 1932 έγινε η μεγάλη αλλαγή με τα δραστικά στοιχεία να μπαίνουν σε πορώδεις πλάκες Νικελίου. Περαιτέρω βελτιώσεις έγιναν το 1947 με την απορρόφηση των αερίων που εκλύονταν κατά τη διάρκεια της φόρτισης, που οδήγησε στη σύγχρονη μορφή της μπαταρίας Νικελίου-Καδμίου. Για πολλά χρόνια η NiCd ήταν η πιο συχνή επιλογή για φορητό ιατρικό εξοπλισμό, επαγγελματικές κάμερες και ηλεκτρικά εργαλεία. Προς το τέλος του 1980, η τεράστια αύξηση της χωρητικότητάς της, έως και 60% παραπάνω από το συμβατικό μοντέλο, κυριάρχησε στην αγορά. Η αύξηση των δραστικών στοιχείων ανα κυψελίδα,



έκανε δυνατή αυτήν την αύξηση, αυξάνοντας όμως ταυτόχρονα την εσωτερική της αντίσταση και κατ' επέκταση μειώνοντας τον συνολικό κύκλο ζωής της.

Η κλασική διάταξη NiCd παραμένει δημοφιλής και η αεροπλοοία είναι η μεγαλύτερη της απορρόφηση, αλλά χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να εξασφαλίζεται η μακροζωία της. Το συγκεκριμένο είδος αλλά και η NiMH παρουσιάζουν το φαινόμενο της «μνήμης» που οδηγεί στη μείωση της συνολικής τους χωρητικότητας αν δεν γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα μία πλήρης εκφόρτιση. Το φαινόμενο αυτό, σημαίνει ότι η μπαταρία «θυμάται» το τελευταίο ποσό ενέργειας που μετέφερε και αν αυτό εξελιχθεί σε «ρουτίνα», αυτοπεριορίζεται σε χαμηλότερες χωρητικότητες από την ονομαστική της.

### Νικελίου-Μετάλλου-Υβριδική (NiMH)



Η έρευνα για μία τέτοιου είδους μπαταρία ξεκίνησε το 1967 αλλά οι αστάθειες με το μέταλλο-υβριδικό, οδήγησε στη δημιουργία της Νικελίου-Υδρογόνου (NiH). Με την ανακάλυψη νέων υβριδικών κραμάτων το 1980 μπορούσε πλέον να επιτευχθεί η απαραίτητη σταθερότητα των ηλεκτροδίων με αποτέλεσμα μέχρι και σήμερα οι NiMH να προσφέρουν έως και επιπλέον 40% χωρητικότητα σε σχέση με την NiCd. Το συγκεκριμένο είδος βέβαια είναι πιο δύσκολο και «εύθραστο» κατά τη διάρκεια της φόρτισης και έχει και το μειονέκτημα ότι αυτοεκφορτίζεται κατά 20% στο πρώτο 24ωρο μετά την φόρτιση, ποσοστό που αυξάνεται κατά 10% κάθε μήνα χρήσης, πράγμα που την κάνει να είναι πρώτη στη λίστα σε αυτήν την κατηγορία. Οι αλλαγές στη σύνθεση των υβριδικών υλικών είναι εφικτό να μειώσουν τα παραπάνω νούμερα

μειώνοντας τη διάβρωση του κράματος αλλά ταυτόχρονα μειώνουν την ειδική ενέργεια του συστήματος.

Οι NiMH έχουν γίνει οι πιο προσιτές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες σε εμπορικό επίπεδο. Υπάρχουν σε AA, AAA και άλλα μεγέθη.

### Νικελίου-Σιδήρου (Ni-Fe)

Το συγκεκριμένο είδος χρησιμοποιεί άνοδο σιδήρου με ηλεκτρολύτη υδροξείδιο του καλίου. Οι NiFe έχουν καλή αντίδραση σε φαινόμενα υπερφόρτωσης και μπορούν να διαρκέσουν και μέχρι 20 χρόνια. Έχουν χαμηλή ειδική ενέργεια, περίπου 50 Wh/Kg, χαμηλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και αυτοεκφορτίζονται έως και 40% περίπου ανα μήνα. Παρόλα αυτά, οι βελτιώσεις που έχουν λάβει χώρα καθιστούν αυτό το είδος μία βιώσιμη εναλλακτική σε σχέση με τις Μολύβδου-Οξέος. Η αυτοεκφόρτωση έχει μειωθεί και πλέον η μπαταρία αυτή μπορεί να διαρκέσει έως και 50 χρόνια, κάτι που κάνει την τιμή της να συγκρίνεται μόνο με τις μπαταρίες Li-Ion

### Νικελίου-Ψευδαργύρου (Ni-Zn)

Μοιάζει αρκετά με τις Νικελίου-Καδμίου αφού χρησιμοποιεί αλκαλικό ηλεκτρολύτη και ηλεκτρόδιο Νικελίου αλλά διαφέρει στην τάση που παράγει με αυτό το είδος να έχει περίπου 1.65V/κυψελίδα. Η ειδική ενέργειά της είναι 100 Wh/Kg και μπορεί να κάνει 200-300 κύκλους. Δεν χρησιμοποιεί κανένα τοξικό υλικό και γι' αυτό μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί.

### Μπαταρίες Λιθίου

Η μπαταρία ιόντων λιθίου (γνωστή και ως Li-ion μπαταρία) ανήκει στην κατηγορία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Σε αυτή τη μπαταρία, ιόντα λιθίου μετακινούνται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο προς το θετικό κατά την εκφόρτιση και αντιστρόφως κατά τη φόρτιση. Οι μπαταρίες Li-ion είναι πολύ κοινές σε διάφορα ηλεκτρονικά που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα. Είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών για κινητές ηλεκτρονικές συσκευές, λόγω των εξής χαρακτηριστικών: υψηλή πυκνότητα ενέργειας, μικρή επίδραση μνήμης και μικρή





απώλεια φορτίου όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αξίζει να σημειωθεί πως οι μπαταρίες Li-ion αποκτούν μεγάλη φήμη και σε άλλες κατηγορίες χρήσης, εκτός των καταναλωτικών ηλεκτρονικών, όπως: στρατιωτικές εφαρμογές, ηλεκτρικά αυτοκίνητα και διαστημικές εφαρμογές. Σημαντικά προτερήματα αποτελούν τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά καθώς και το μειωμένο βάρος των μπαταριών αυτών σε σχέση με μπαταρίες άλλων τύπων για τις ίδιες απαιτήσεις ενέργειας.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χωρίζονται σε έξι βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση :

- Lithium Cobalt Oxide (LiCoO<sub>2</sub>)
- Lithium Manganese Oxide (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)
- Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO<sub>2</sub>)
- Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)
- Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO<sub>2</sub>)
- Lithium Titanate (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)

Η κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από την εκάστοτε χημική της σύσταση καθώς και από ορισμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες. Κριτήρια σύγκρισης αποτελούν η ειδική ενέργεια, η ειδική ισχύς, το κόστος, η ασφάλεια, η διάρκεια ζωής και η απόδοση της μπαταρίας.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των μπαταριών ιόντων λιθίου αποτελεί το γεγονός ότι το λίθιο βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία αποθεμάτων στο φλοιό της γης σε σχέση με το μόλυβδο και το νικέλιο (από 20 έως 100 φορές). Παρ' όλα αυτά ο λόγος που είναι λιγότερο σύνηθες όμως, οφείλεται στο γεγονός ότι το λίθιο είναι πολύ πιο αντιδραστικό από οποιοδήποτε άλλο μέταλλο και έτσι δεν βρίσκεται σε ελεύθερη κατάσταση, αλλά συνδυασμένο με άλλα στοιχεία.

Τα τρία κύρια λειτουργικά μέρη μίας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι ο θετικός ακροδέκτης, ο αρνητικός ακροδέκτης και ο ηλεκτρολύτης. Γενικότερα, το αρνητικό ηλεκτρόδιο μίας κοινής μπαταρίας Li-ion είναι κατασκευασμένο από άνθρακα, το θετικό ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από οξείδια του μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διάλυμα. Οι ηλεκτροχημικοί ρόλοι των

ηλεκτροδίων εναλλάσσονται μεταξύ ανόδου και καθόδου ανάλογα με την φορά ροής του ρεύματος μέσα στην κυψέλη (διαδικασία φόρτισης ή εκφόρτισης).

Ο πιο κοινός τύπος αρνητικού ηλεκτροδίου είναι το ηλεκτρόδιο γραφίτη. Το θετικό ηλεκτρόδιο είναι συνήθως ένα εκ των τριών υλικών: στρώσεις οξειδίου, πολυανιόν ή σπινέλιο. Ο ηλεκτρολύτης τυπικά είναι μίγμα οργανικών ανθράκων όπως ανθρακικό αιθυλένιο ή ανθρακικό διαιθυλεστερά που περιέχει συμπλέγματα ιόντων λιθίου.

Με βάση την επιλογή των υλικών, η τάση, η πυκνότητα ενέργειας, η διάρκεια ζωής και η ασφάλεια μία μπαταρίας ιόντων λιθίου μπορούν να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό. Οι πρόσφατες αρχιτεκτονικές, χρησιμοποιώντας νανοτεχνολογία στοχεύουν στην αύξηση της απόδοσης των μπαταριών. Το καθαρό λίθιο είναι υψηλά αντιδραστικό στοιχείο. Αντιδρά δυναμικά με το νερό και για το λόγο αυτό ένας μη υδατικός ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται τυπικά και ένα σφραγισμένο δοχείο αποτρέπει την είσοδο της υγρασίας στην κατασκευή της μπαταρίας.

Οι Li-ion μπαταρίες είναι πιο ακριβές από τις μπαταρίες NiCd αλλά λειτουργούν σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών και με μεγαλύτερες πυκνότητες ενέργειας. Επίσης, είναι απαραίτητο ένα προστατευτικό κύκλωμα για μείωση υπερτάσεων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι διαθέσιμες σε διάφορα μεγέθη και σχήματα που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα εξής:

- Μικρό κυλινδρικό (στερεό σώμα, χωρίς ακροδέκτες, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε μπαταρίες laptop)
- Μεγάλο κυλινδρικό (στερεό σώμα με μεγάλους σπειροειδείς ακροδέκτες)
- Pouch (μαλακό, επίπεδο σώμα, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα)
- Πρισματική (ημίσκληρη πλαστική θήκη με μεγάλους σπειροειδείς ακροδέκτες)

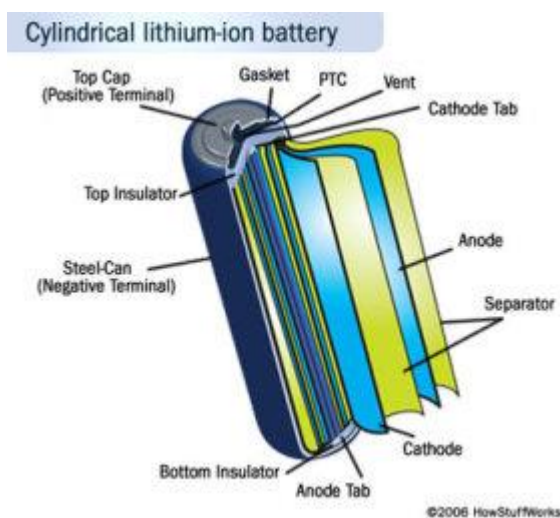
Η ποικιλία σε μεγέθη και σχήματα δείχνει κατά ένα μέρος το εύρος χρήσης των μπαταριών αυτού του τύπου.

Όπως κάθε τεχνολογία, έτσι και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Παρ' όλο που όπως αναφέρθηκε υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι μπαταριών Li-ion, είναι εφικτό να περιγράψουμε κάποια από τα γενικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αυτές παρουσιάζουν. Μετά από αυτή την γενικότερη διάκριση

πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που θα γίνει σε αυτή και στην επόμενη υποενότητα, είναι δυνατόν να διερευνηθούν περαιτέρω τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα της εκάστοτε κατηγορίας έναντι στις άλλες.

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στη χρήση μπαταριών ιόντων λιθίου έναντι σε άλλους τύπους μπαταριών. Αυτά είναι:

- Υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Η αρκετά υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας είναι ένα από τα κύρια προτερήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου. Οι σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές απαιτούν μεγάλη διάρκεια λειτουργίας μεταξύ των φορτίσεων, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η απαίτηση σε κατανάλωση ισχύος. Επομένως, υπάρχει πάντοτε η ανάγκη να υφίστανται μπαταρίες με μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα.



- Διατήρηση του φορτίου. Ένα μεγάλο πρόβλημα στην τεχνολογία των μπαταριών είναι η εκφόρτισή τους λόγω μη χρήσης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου πλεονεκτούν και σε αυτόν τον τομέα έναντι άλλων τύπων μπαταριών, έχοντας αρκετά μικρό ρυθμό εκφόρτισης λόγω μη χρήσης (self-discharge). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χάνουν περίπου 5% του φορτίου τους ανά μήνα, ενώ οι μπαταρίες NiMH έχουν αντίστοιχο ρυθμό εκφόρτισης 20%.

- Χαμηλή συντήρηση. Ένα πολύ σημαντικό προτέρημα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι ότι δεν απαιτούν συντήρηση για να διασφαλίσουν ποιοτική λειτουργία. Άλλοι τύποι μπαταριών απαιτούν περιοδική εκφόρτιση προκειμένου να διασφαλίσουν πως δεν υπάρχει επίδραση φαινομένων μνήμης. Όπως περιγράφεται στη συνέχεια, οι Li-ion μπαταρίες δεν έχουν αντίστοιχο πρόβλημα, οπότε δεν απαιτούν ανάλογη συντήρηση.

- Ποικιλία διαθέσιμων τύπων. Όπως έχει ήδη γραφτεί υπάρχουν πολλά διαθέσιμα μοντέλα μπαταριών Li-ion, όπου το καθένα εξυπηρετεί απαιτήσεις για ειδικές εφαρμογές. Αυτό σημαίνει ότι ο κατάλληλος τύπος μπαταρίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατάλληλη εφαρμογή. Παραδείγματος χάριν, κάποιοι τύποι μπαταριών ιόντων λιθίου, προσφέρουν υψηλή ρευματική πυκνότητα και είναι ιδανικοί

για κινητό ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Άλλοι τύποι μπορούν να προσφέρουν πολύ υψηλά επίπεδα ρεύματος και είναι ιδανικοί για εργαλεία ισχύος και ηλεκτρικά οχήματα.

- Μειωμένο βάρος. Άμεση συνέπεια της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, είναι πως για καθορισμένες ενεργειακές απαιτήσεις, μία μπαταρία ιόντων λιθίου είναι πολύ ελαφρύτερη από αντίστοιχες μπαταρίες άλλου τύπου. Οι μπαταρίες Li-ion μπορεί να είναι έως και 40% ελαφρύτερες από τις μπαταρίες νικελίου.

- Υψηλότερη απόδοση. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περιέχουν ποιοτικότερα χημικά συστατικά σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών. Αυτό μεταφράζεται σε καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα, και άρα μικρότερη εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας. Επομένως, όπως γίνεται εύκολα κατανοητό έχουμε μικρότερη κατανάλωση ισχύος στην εσωτερική αντίσταση (μικρότερες απώλειες) και άρα μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

- Μηδενική επίδραση μνήμης. Αυτό μεταφράζεται ως η δυνατότητα να φορτίζουμε και να εκφορτίζουμε την μπαταρία πολλές φορές χωρίς να μειώνεται η χωρητικότητά της. Ακόμη, δεν απαιτείται κάθε φορά πλήρης εκφόρτιση και μετά φόρτιση όπως σε μπαταρίες τύπου νικελίου, προκειμένου να μην δημιουργηθούν κρύσταλλοι στη μπαταρία. Άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκατοντάδες κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης.

Όπως και σε κάθε τεχνολογία έτσι και στις μπαταρίες Li-ion, υπάρχουν μειονεκτήματα που πρέπει να ισοσταθμιστούν έναντι των πλεονεκτημάτων. Αυτά είναι:

- Απαιτείται προστασία. Οι κυψέλες ιόντων λιθίου και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν είναι τόσο στιβαρές όσο άλλες επαναφορτιζόμενες τεχνολογίες. Απαιτείται η ύπαρξη κυκλώματος προστασίας για να μην υπερ-φορτιστούν ή να μην εκφορτιστούν σε μεγάλο βαθμό. Επιπρόσθετα απαιτείται να ελέγχεται το ρεύμα της μπαταρίας ώστε να παραμένει εντός των ασφαλών ορίων. Επομένως πρέπει να υφίσταται κύκλωμα προστασίας της μπαταρίας για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας. Θετικό γεγονός αποτελεί το ότι η τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μπορεί να φτιάξει τα κατάλληλα κυκλώματα προστασίας σε μικρή κλίμακα και με μικρό κόστος.

- Γήρανση. Η γήρανση είναι χρονική, αλλά επίσης εξαρτάται και από τον αριθμό των κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων στους οποίους υφίσταται η μπαταρία. Όταν μία μπαταρία Li-ion χρειάζεται να αποθηκευτεί κάπου, πρέπει να φορτιστεί μερικώς πριν

την αποθήκευση, τυπικά στο 40% με 50% του πλήρους φορτίου της, και να τοποθετηθεί σε δροσερό μέρος. Όταν η αποθήκευση γίνεται υπό αυτές τις συνθήκες, η μπαταρία προστατεύεται από παράγοντες που επιφέρουν τη γήρανσή της.

- Μεταφορά. Άλλο ένα μειονέκτημα των μπαταριών ιόντων λιθίου αποτελεί η επιβολή μέτρων που απαγορεύουν την μεταφορά τους, ειδικά σε αεροσκάφη. Αυτό συμβαίνει διότι διάφορα μέτρα ασφαλείας μπορεί να παραβιαστούν αν δεν γίνει ειδική μεταχείριση της μπαταρίας, όπως πρόκληση πυρκαγιάς σε περίπτωση που βραχυκυκλωθούν οι ακροδέκτες. Επίσης, οι μπαταρίες αυτές είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε υψηλές θερμοκρασίες.

- Κόστος. Ένα μείζον θέμα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι το κόστος τους. Είναι περίπου 40% ακριβότερες από αντίστοιχες μπαταρίες νικελίου καδμίου. Αυτός ο βασικός παράγοντας του κόστους, παίζει μείζονα ρόλο σε προϊόντα μαζικής παραγωγής, όπου το κόστος είναι, ίσως, ο βασικότερος παράγοντας.

- Εξελισσόμενη τεχνολογία. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου βρίσκονται σε αναπτυσσόμενο στάδιο. Το αρνητικό με αυτό είναι ότι η τεχνολογία τους ίσως δεν παραμένει σταθερή και συνεχώς μεταβάλλεται. Ωστόσο, καθώς νέες τεχνολογίες ιόντων λιθίου αναπτύσσονται συνεχώς, μπορεί να ερευνηθεί κάποια νέα καλύτερη λύση, μιλώντας από τεχνολογικής άποψης.

Τέλος, αξίζει να επαναληφθεί, πως όλες οι τεχνολογίες έχουν θετικά και αρνητικά στοιχεία. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν αποτελούν εξαίρεση για τον κανόνα αυτό. Ωστόσο, αναγνωρίζοντας ποια σημεία χρειάζονται βελτίωση μπορούμε να εξελίσσουμε την τεχνολογία τους ούτως ώστε να μειώσουμε ή και να εξαλείψουμε όσα από αυτά είναι εφικτό.

## 4. Ανάλυση της μεθοδολογίας

Ο σκοπός της μελέτης αυτής, είναι η ανακατασκευή ενός RO/Pax πλοίου ώστε να κινείται με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μπαταρίες. Αυτό που μπορούμε να δούμε είναι ότι παρ' όλο που η ανακατασκευή αυτών των πλοίων είναι σχετικά κοστοβόρα μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στις τοπικές κοινωνίες και από πλευράς περιβάλλοντος αλλά και της βιωσιμότητας των εκάστοτε δρομολογίων. Η χρήση αυτού του είδους πλοίων ιδιαίτερα στη χώρα μας, δείχνει και το κατά πόσο μπορεί η ανακατασκευή όλου αυτού του στόλου να μεγεθύνει τα οφέλη και σε μεγαλύτερες κλίμακες.

Για τα συγκεκριμένα πλοία, τα βασικά μηχανικά μέρη δεν διαφέρουν πολύ από τα υπόλοιπα εμπορικά πλοία:

- Μία κύρια μηχανή για την πρόωση του πλοίου.
- 2 ή 3 ηεκτρογεννήτριες για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών φορτίων.
- Μία ηεκτρογεννήτρια έκτακτης ανάγκης.

Προφανώς, για τη δική μας μελέτη, οι μπαταρίες θα αναλάβουν και την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών φορτίων αλλά και της ίδιας της πρόωσης του πλοίου. Η επαναφόρτιση του δικτύου θα γίνεται κατά τη διάρκεια τη πρόσδεσής του στο λιμάνι από ειδικό εξοπλισμό του ίδιου του λιμανιού Όπως γίνεται αντιληπτό, αλλαγές πρέπει να γίνουν και στο ίδιο το πλοίο αλλά και στα λιμάνια που θα επισκέπτεται. Συγκεκριμένα, τα βασικά στοιχεία που πρέπει να γίνουν στο πλοίο είναι:

- Η εγκατάσταση ικανού αριθμού μπαταριών στις υπάρχουσες δεξαμενές υγρού καυσίμου
- Η σωστή συνδεσμολογία αυτών για να επιτυγχάνουν την απαιτούμενη τάση αλλά και την απαιτούμενη ισχύ.
- Η τήρηση όλου του εθνικού και του παγκόσμιου κανονιστικού νομικού πλαισίου
- Η αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσης με αντίστοιχες ηλεκτρικές που φτάνουν την ίδια ισχύ
- Η αλλαγή στον άξονα της προπέλας αλλά και στην ίδια την προπέλα για να μπορεί να συνδεθεί με την καινούρια προωστήρια εγκατάσταση

- Η απεγκατάσταση των ηλεκτρογεννητριών και οι κατάλληλες ενέργειες για να συνδεθεί το ηλεκτρικό δίκτυο απευθείας με τις μπαταρίες

#### 4.1. Το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο

Για να μπορεί να προχωρήσει μία τέτοια ανακατασκευή, πρέπει να είναι σαφές ότι οι διεθνείς κανόνες πληρούνται. Βέβαια, όσον αφορά και τον I.M.O. αλλά και το ελληνικό κράτος, το κανονιστικό πλαίσιο για πλοία που έχουν ως αποκλειστική χρήση, ενέργεια παρεχόμενη από συστήματα μπαταριών, είναι υπό διερεύνηση ακόμα. Το βασικό στοιχείο από αυτή, λοιπόν, την πλευρά είναι να εξασφαλίσουμε ότι πληρούνται όλα τα κεφάλαια του SOLAS ανφερόμενα στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και τις διαδικασίες πυρόσβεσης, μετά την ανακατασκευή.

Το επόμενο βήμα, είναι η επιλογή Νηγνώμονα ούτως ώστε να είναι πιστοποιημένο το πλοίο μετά την ανακατασκευή ως «battery ready». Η επιλογή αυτή κυρίως έχει να κάνει με την πλοιοκτήτρια εταιρεία, γι' αυτό το λόγο παρακάτω αναφέρονται τα πιο σημαντικά στοιχεία που ήδη έχουν αναπτυχθεί από διάφορους νηογνώμονες και είναι τα βασικά τεχνικά στοιχεία στα οποία βασίζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε:

- DNV-GL : Rules for classification, Part 6, Additional Class Notations (Oct.2015)
- DNV-GL : Guideline for Large Maritime Battery Systems (Mar. 2014)
- Lloyd's : Battery installations, Key hazards to consider and Lloyd's Register's approach to approval (Jan. 2016)
- DNV-GL : Tentative Rules for Battery Power (Jan. 2012)
- IEC61508 : Functional Safety
- SOLAS: ChII-1: Electrical installation
- SOLAS: ChII-2: fire protection
- IEC 62619 9.2.3
- IEC 62620
- IEC 61508 : Functional Safety
- IEC 62619

- IEC/ISO/IEEE 80005 : Utility Connections Reports (– Shore Connection High Voltage)
- IEC/ISO/IEEE 80005-1: The onshore power supply standard high voltage
- IEC/ISO/IEEE 80005-2: Communication protocol

## 4.2. Το σύστημα των μπαταριών

Το σύστημα των μπαταριών είναι η καρδιά του πλοίου, έχει το ρόλο να τροφοδοτεί με ενέργεια όλες τις λειτουργίες του πλοίου. Το πυρηνικό στοιχείο αυτού του συστήματος είναι οι κυψελίδες, οι οποίες σχηματίζουν κυψέλες και αυτές με τη σειρά τους υποσυστοιχίες και συστοιχίες οι οποίες με τους κατάλληλους μετασχηματιστές, μπάρες και τα καλώδια υψηλής και χαμηλής τάσης, διαμορφώνουν το πλήρες λειτουργικό σύστημα.

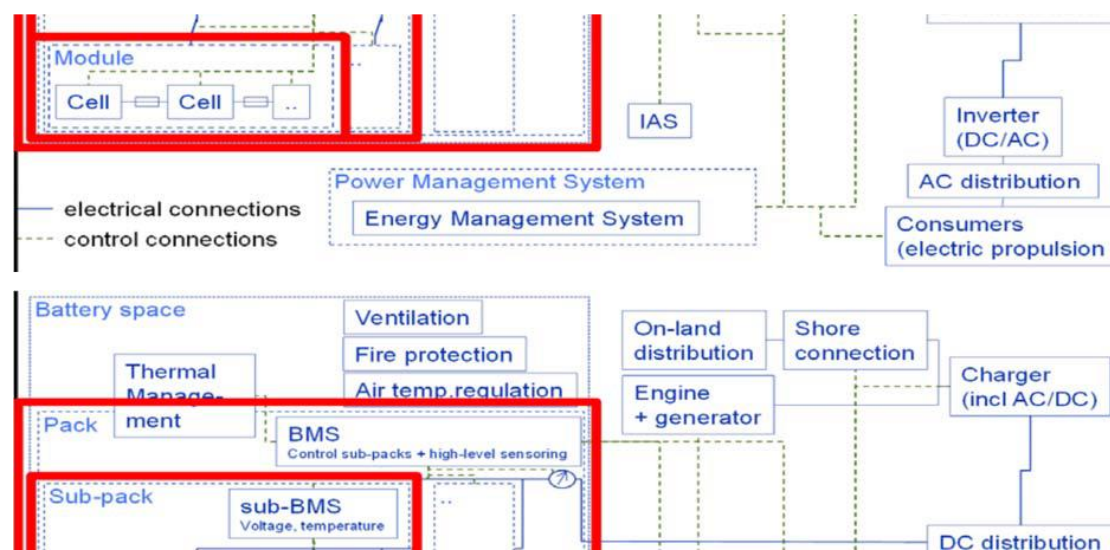


Figure 4-4: Battery system and related sub-systems (DNV, 2014)

Η κυψελίδα είναι το μικρότερο ηλεκτροχημικό στοιχείο. Μία συνδεσμολογία κυψελίδων, σχηματίζουν την κυψέλη.

Οι κυψέλες, είναι συνδεδεμένες παράλληλα ή σε σειρά για να σχηματίσουν μία υποσυστοιχία ή συστοιχία. Η υποσυστοιχία είναι το μικρότερο στοιχείο που μπορεί να είναι ηλεκτρικά μονωμένο. Ανάλογα με την αρχιτεκτονική του συστήματος, κάθε υποσυστοιχία μπορεί να έχει εσωτερικά ρελέ που μπορούν να σταματούν την παροχή ρεύματος.



Μία συστοιχία, μπορεί να αποτελείται από αρκετές υποσυστοιχίες (ή κυψέλες αν δεν υπάρχουν υποσυστοιχίες). Ένα σύστημα μπαταριών μπορεί να αποτελείται από αρκετές συστοιχίες μαζί με εκείνα τα αυτοτελή στοιχεία που κάνουν το όλο λειτουργικό.

Όλα τα στοιχεία του συστήματος, πρέπει να τοποθετούνται προσεκτικά και να παρακολουθούνται σε συνεχή βάση για την αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων που μπορεί να οδηγήσουν σε μολυσματικές συνέπειες όπως οι παρακάτω:

#### **Κίνδυνοι της Κυψελίδας**

- Μεγάλη αντίσταση
- Εσωτερικό βραχυκύκλωμα
- Βλάβη της μόνωσης
- Διαρροή του ηλεκτρολύτη

#### **Κίνδυνοι της Κυψέλης**

- Βραχυκύκλωμα
- Βλάβη των συστημάτων ελέγχου
- Βλάβη του μετρητή Θερμοκρασίας και Τάσης
- Εσωτερικό ανοιχτό κύκλωμα, μεγάλη αντίσταση
- Εσωτερικό βραχυκύκλωμα
- Βλάβη της μόνωσης
- Διαρροή του ψυκτικού μέσου
- Απώλεια ψύξης

#### **Κίνδυνοι Υποσυτοιχίας**

- Βλάβη του επαφέα
- Βλάβη του μετρητή ρεύματος
- Μεγάλη αντίσταση του επαφέα
- Διαρροή της ψύξης του επαφέα
- Διαρροή της υποσυτοιχίας

#### **Κίνδυνοι Συστοιχίας**

- Βλάβη του μετρητή υψηλής τάσης

- Ανισοροπία θερμοκρασίας-τάσης
- Περιορισμός της ζωής της μπαταρίας
- Βλάβη του επαφέα
- Αντιστροφή πολικότητας
- Βλάβη της διακοπής έκτακτης ανάγκης

Αν η αρχιτεκτονική του συστήματος μίας υποσυστοιχίας εμπεριέχει ανεξάρτητους συνδετήρες, κάθε συνδετήρας πρέπει να περιλαμβάνει ανεξάρτητους μετρητές ρεύματος. Η χαμηλή αντίσταση στις ηλεκτρικές συνδέσεις είναι κρίσιμη στο να μην αναπτυχθεί υπερθέρμανση και να ελέγχεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς αλλά και να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση. Επαναλαμβανόμενοι παράλληλοι συνδετήρες μειώνουν την πιθανότητα υπερθέρμανσης. Μπορούν επίσης να διευκολύνουν τον εντοπισμό υψηλών επιπέδων αντίστασης στις ηλεκτρικές συνδέσεις και να οδηγήσουν το σύστημα σε μεγαλύτερη ασφάλεια.

Οι απαιτήσεις σε προστασία εισροής (Ingress Protection) για το σύστημα εξαρτάται από την τοποθεσία του. Ως ελάχιστο, η απαίτηση είναι για IP 44. Η συγκεκριμένη απαίτηση είναι για σύστημα πυρόσβεσης με βάση το νερό και η ελάχιστη απαίτηση για άλλους τύπους πυρόσβεσης μπορεί να είναι IP 2X για χαμηλή τάση ή IP 32 για υψηλή τάση αλλά όχι κάτι λιγότερο.

Για αυξημένο επίπεδο ασφαλείας, προτείνεται να υπάρχει ένα δίκτυο έκτακτης ανάγκης που θα αποσυνδέει το σύστημα των μπαταριών και θα μπορεί να επιβληθεί και τοπικά αλλά και από τη γέφυρα.

### 4.3. Η χωρητικότητα του συστήματος μπαταριών

Η απαιτούμενη χωρητικότητα (Ah) του συστήματος εξαρτάται από το προφίλ λειτουργία του πλοίου και από τους ακόλουθους κανόνες ασφαλείας.

Το μέγεθος των μπαταριών πρέπει να εγγυάται και ένα πλεόνασμα ενέργειας. Το επίπεδο αξιοπιστίας και ασφάλειας πρέπει να είναι τουλάχιστον αντίστοιχο με αυτά των μηχανών εσωτερικής καύσης.

Τουλάχιστον δύο συστοιχίες μπαταριών εντελώς ανεξάρτητες πρέπει να είναι εγκατεστημένες. Η εγκατεστημένη ενέργεια του συστήματος θα πρέπει να επιτρέπει του πλοίου την ασφαλή επιστροφή σε λιμάνι ακόμα και με μία συστοιχία εκτός λειτουργίας. Η χωρητικότητα των μπαταριών θα πρέπει να είναι επαρκής για τα συγκεκριμένα δρομολόγια του πλοίου. Η φόρτιση του συστήματος θα γίνεται κατά τη διάρκεια της παραμονής του στο λιμάνι και θα πρέπει να πιστοποιείται η επάρκεια της φόρτισης πριν το πλοίο αναχωρήσει από το λιμάνι.

Η εγκατεστημένη χωρητικότητα θα πρέπει να προβλέπει και ένα περιθώριο τουλάχιστον 10% για ενδεχόμενες προσαρμογές λόγω καιρού στην ισχύ πρόωσης. Για μεγάλες αλλαγές στη λειτουργία του πλοίου που δεν είναι μόνιμες, όπως ένα δρομολόγιο προς το ναυπηγείο που θα γίνει η συντήρηση του πλοίου, δεν είναι αναγκαίο να καλύπτεται η απαιτούμενη ενέργεια που την εγκατεστημένη και προτείνεται για τέτοιες περιπτώσεις να χρησιμοποιούνται φορητές συστοιχίες για την υποβοήθηση του συστήματος.

Η ύπαρξη γεννήτριας έκτακτης ανάγκης μπορεί να παραληφθεί στο βαθμό που η σημαία του πλοίου το επιτρέπει αλλά δεν συνίσταται.

Η βλάβη μίας κυψέλης δεν θα πρέπει να επηρεάζει συνολικά το σύστημα του πλοίου και σε περιπτώσεις πέραν της πρόωσης, απώλεια ενέργειας των μπαταριών δε θα πρέπει να επηρεάζει κρίσιμες λειτουργίες του πλοίου.

Η μείωση της χωρητικότητας των μπαταριών (λόγω χρήσης) θα πρέπει να καταγράφεται συστηματικά.

Η συνολική χωρητικότητα των μπαταριών θα πρέπει να είναι επαρκής για φορτίσεις και εκφορτίσεις ανάλογα με τον ισολογισμό του πλοίου, χωρίς να έχουμε

υπερθερμάνσεις και αποκλίσεις στην καθημερινή λειτουργία για να μην μειώνεται ο κύκλος ζωής του συστήματος.

Για μη προγραμματισμένες αποκλίσεις έκτακτης ανάγκης, οι κανονισμοί της ΕΕ προβλέπουν το πλοίο να έχει επαρκή ενέργεια για να μπορεί να καταπολεμήσει μια περίπτωση πυρκαγιάς για τρεις ώρες με ίδια μέσα.

Ο κύκλος ζωής των μπαταριών θα πρέπει να επιλεγεί ώστε το εγχείρημα να είναι οικονομικά βιώσιμο.

#### 4.4. Τοπικές ρυθμίσεις του συστήματος

Οι χώροι που θα φιλοξενούν τις μπαταρίες θα πρέπει να είναι τέτοιοι ώστε η ασφάλεια του πληρώματος και των επιβατών να είναι διασφαλισμένη, γι' αυτό πρέπει να υπάρχουν τα παρακάτω:

Το σύστημα θα πρέπει να τοποθετηθεί πρόωραθεν της φράκτης σύγκρουσης. Τα όρια των χώρων που τοποθετείται το σύστημα θα πρέπει να είναι κομμάτι της κατασκευής του πλοίου.

Στο βαθμό που το σύστημα των μπαταριών αντικαθιστά τις μηχανές εσωτερικής καύσης θα πρέπει να τοποθετείται στο μηχανοστάσιο.

Η διαρρύθμιση του χώρου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ενδεχόμενη αστοχία του συστήματος με μολυσματικές συνέπειες να μην επηρεάζει τη λειτουργία του πληρώματος σε σχέση με την πρόωση του πλοίου.

Ο χώρος των μπαταριών θα πρέπει να έχει επαρκή ασφάλεια από φαινόμενα όπως ο καιρός, πηγές διαρροών νερού ή πετρελαίου. Αν είναι εφικτό, ο χώρος των μπαταριών θα πρέπει να είναι ένας εντελώς ξεχωριστός χώρος.

Στο χώρο των μπαταριών δε θα πρέπει να συνυπάρχουν άλλα στοιχεία κρίσιμα για την πλοήγηση του πλοίου για την αποφυγή πολλαπλών βλαβών στο σύστημα, όπως καλώδια για την πηδαλιουχία, ή αλλά στοιχεία που έχουν να κάνουν με την πρόωση του πλοίου.

Ο χώρος αυτός δεν θα πρέπει να έχει άλλες πηγές υπερθέρμανσης και εύφλεκτα υλικά.

Η πρόσβαση στο χώρο για ενδεχόμενες επισκευές ή συντηρήσεις θα πρέπει να είναι καθορισμένος με βάση την ανθρωποκεντρική σχεδίαση.

Ο χώρος θα πρέπει να δείχνει ανθεκτικότητα σε καιρικά φαινόμενα μακράς διάρκειας όπως υγρασία, ζέστη, και θα πρέπει να υπάρχει προστασία απέναντι σε εξωτερικά φαινόμενα πυρκαγιάς και εισροή υγρών και διαρροή σωληνώσεων.

## 4.5. Το περιβάλλον λειτουργίας

Για την καλύτερη αποδοτικότητα του συστήματος, θα πρέπει να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες του χώρου των μπαταριών. Μέσα στο χώρο, μπορεί να αναπτυχθούν αρκετά επικίνδυνα φαινόμενα γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την αποτροπή τους.

Τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία του συστήματος από πλευράς υψηλής θερμοκρασίας, συσσώρευσης σκόνης και ότι άλλο μπορεί να θέσει υπό διακύβευση το σύστημα, θα πρέπει να προβλέπεται με αυστηρές διαδικασίες αλλά και θα πρέπει να είναι εγκατεστημένοι αρκετοί συναγερμοί που θα ειδοποιούν για την πιθανότητα προβλήματος στο χώρο των μπαταριών.

Κάποιες βασικές προβλέψεις είναι:

- Ο έλεγχος της θερμοκρασίας
- Ο εξαερισμός του χώρου
- Η πυρασφάλεια

Τα παρακάτω θα πρέπει να είναι βασικά συστατικά του κέντρου ελέγχου συναγερμών του πλοίου (AMS: alarm monitoring system):

- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος του χώρου των μπαταριών
- Η ένδειξη λειτουργίας των εξαεριστικών

Οποιαδήποτε δυσλειτουργία μέσα στο χώρο του συστήματος θα πρέπει να ξεκινά κάποιον συναγερμό. Για πλοία χωρίς κεντρικό έλεγχο, τα στοιχεία των μπαταριών θα πρέπει να υπάρχουν στη γέφυρα.

Η σωστή θερμοκρασία του συστήματος είναι ένα μέγεθος που προσφέρεται από τον κατασκευαστή και τα εξαεριστικά των χώρων των μπαταριών θα πρέπει να

λειτουργούν για να φτάσουν τη συγκεκριμένη απαίτηση. Για μπαταρίες με μέσο ψύξης κάποιο υγρό, τα εξαιρεστικά δεν είναι τόσο κρίσιμης σημασίας.

Είναι αναγκαίο να υπάρχει πρόβλεψη για το αν υπάρχει κίνδυνος να εκλυθούν από το σύστημα μολυσματικά αέρια. Σε τέτοια περίπτωση, τα εξαιρεστικά θα πρέπει να δουλεύουν ώστε να μειώσουν τη συγκέντρωση των αερίων για την αποφυγή πυρκαγιάς. Είναι προφανές ότι οι διαδικασίες του πλοίου όσον αφορά την ασφάλεια θα πρέπει να τροποποιηθούν για να περιλαμβάνουν πιθανές συνέπειες της ύπαρξης του συστήματος των παταριών.

Για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να υπάρχει ένας εξαιρεσστήρας έκτακτης ανάγκης αλλά και μία είσοδος καθαρού αέρα, στο χώρο των μπαταριών.

Ο χώρος των μπαταριών θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με ένα σταθερό σύστημα πυρασφάλειας με βάση το νερό για χρήση σε χώρους μηχανοστασίου κατηγορίας «Α» όπως περιγράφεται στο SOLAS Reg. II-2/10 και στον FSS code. Πέρα από αυτό, η χημεία της κυβελίδας θα πρέπει να είναι ο απόλυτος οδηγός για τη φύση της πυρασφάλειας που θα είναι πιο αποδοτική για το σύστημα. Για παράδειγμα, η ρίψη νερού σε μπαταρία λιθίου, οδηγεί στο σχηματισμό υδρογόνου. Ωστόσο, μία πυρκαγιά μπορεί αρκετά εύκολα να αποφευχθεί με τη χρήση αλατιού.

Ως γενικό μέσο πυρασφάλειας, τα προϊόντα αφρού είναι μάλλον τα πιο κατάλληλα. Τα πλεονεκτήματά τους είναι:

1. Μακράς διάρκειας ψύξη της επιφάνειας που έρχεται σε επαφή.
2. Ο αφρός μπορεί να ψεκασθεί από το υψηλό σημείο του χώρου πιάνοντας έτσι και τα όποια αέρια έχουν εκλυθεί που είναι πιο ελαφριά από τον αέρα.
3. Ο αφρός μπορεί να δεσμεύσει εύφλεκτα στερεά και υγρά ενώ τα αέρια μπορούν να διαφύγουν από τους εξαιρεστήρες.

Οι χώροι των μπαταριών θα πρέπει να παρακολουθούνται από τους συμβατικούς αισθητήρες καπνού.

Τέλος, η διακοπή ρεύματος έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να μπορεί να γίνει:

- Σε χώρο δίπλα στο χώρο των μπαταριών
- Στη γέφυρα του πλοίου.

## 4.6. Το σύστημα διαχείρισης των μπαταριών

Η λειτουργία του πλοίου θα πρέπει να είναι όσο απλή όσο και του συμβατικού πλοίου. Χρειάζεται μία σειρά από αυτοματισμούς όσον αφορά τη διαχείριση της ενέργειας και του ρεύματος. Το ρόλο αυτό τον αναλαμβάνει το σύστημα διαχείρισης των μπαταριών (BMS). Είναι εκείνο το σύστημα που παρακολουθεί όλες τις παραμέτρους των μπαταριών για την έγκαιρη πρόβλεψη πιθανών αστοχιών. Ο λόγος ύπαρξης του είναι, η παρακολούθηση του περιβάλλοντος των μπαταριών, να εξασφαλίζει ότι το σύστημα λειτουργία μέσα σε κάποια όρια, να υπολογίζει δευτερεύοντα δεδομένα του συστήματος και όπου χρειαστεί να επεμβαίνει για να ισορροπήσει τα δεδομένα. Φυσικά, το σύστημα θα πρέπει να προστατεύονται από κακόβουλα λογισμικά και λάθη στη βαθμονόμηση.

Πιο συγκεκριμένα, το BMS θα πρέπει:

- Να βάζει όρια στη φόρτιση και την εκφόρτιση του φορτιστή.
- Να προστατεύει ενάντια στο υπερ-ρεύμα και την υπερ-τάση
- Να προστατεύει ενάντια στην υπερθέρμανση
- Να προστατεύει ενάντια στην υπερ-πίεση

Οι παρακάτω παράμετροι θα πρέπει να μετρώνται.

- Η τάση της κυψελίδας
- Η θερμοκρασία τη κυψελίδας
- Το ρεύμα της μπαταρίας

Τα παρακάτω πρέπει να παρακολουθούνται και να παρέχονται στο πλήρωμα σε τοπικά συστήματα ελέγχου:

- Η τάση του συστήματος
- Η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τάση των κυψελίδων
- Η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση θερμοκρασία των κυψελίδων
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Η αντίσταση της ηλεκτρικής μόνωσης

Τα παρακάτω θα πρέπει να υπολογίζονται και να είναι προσβάσιμα σαν πληροφορίες στο Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management System EMS)

- Η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών (SOC)
- Η κατάσταση «υγείας» των μπαταριών.

## 4.7. Το σύστημα διασύνδεσης

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο τύποι συνδέσεων:

- Σύστημα σύνδεσης συνεχούς ρεύματος (DC)
- Σύστημα σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

Το πρότυπο IEC 8005-1 καλύπτει τα στοιχεία της σύνδεσης υψηλής τάσης με εναλλασσόμενο ρεύμα ενώ το πρότυπο IEC 8005-3, καλύπτει το αντίστοιχο χαμηλής τάσης με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Προς το παρόν, δεν υπάρχει κάποια προτυποποίηση για συστήματα στη «στεριά» συνεχούς ρεύματος και για αυτό και εμείς θα επιλέξουμε διασυνδέσεις με εναλλασσόμενο, αλλά υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι ένα σύστημα με συνεχές ρεύμα θα είχε σοβαρά πλεονεκτήματα.

### 4.7.1 Η πλευρά του σταθμού φόρτισης

Τα παραπάνω πρότυπα στοχεύουν στο να επιτύχουν τη συμβατότητα μεταξύ του πλοίου και ενός σταθμού φόρτισης υψηλής τάσης με τον κατάλληλο εξοπλισμό, τις αντίστοιχες τυποποιημένες διαδικασίες και προσπαθεί να φτιάξει κατάλληλους σταθμούς για την εύκολη και συμβατή πρόσβαση αρκετών διαφορετικών πλοίων σε διαφορετικούς σταθμούς που όμως πληρούν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια.

Το πρότυπο εγγυάται μία απλή σύνδεση, εξαλείφοντας την ανάγκη για το πλοίο να κάνει μετατροπές στον υπάρχοντα εξοπλισμό του. Τα πλοία που δεν ακολουθούν το πρότυπο δύσκολα θα καταφέρουν να συνδεθούν με έναν προτυποποιημένο σταθμό φόρτισης.

Το πρότυπο καλύπτει τα πεδία της ποιότητας της ενέργειας, τις ηλεκτρικές απαιτήσεις και τον μηχανολογικό εξοπλισμό, την ασφάλεια, τις απαιτήσεις σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, τις απαιτήσεις όσον αφορά το πλοίο, τη συμβατότητα μεταξύ πλοίου και σταθμού, τις απαραίτητες ηλεκτρικές υποδοχές και τη διαπίστευση του συστήματος.



Στη μελέτη που εκπονήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, συλλέχθηκαν πληροφορίες και δεδομένα για τα επιβατηγά πλοία που εκτελούν το δρομολόγιο Πειραιάς-Ρόδος καθώς και για τα κρουαζιερόπλοια που περνούν από τα δύο αυτά λιμάνια. Οι πληροφορίες αυτές αφορούσαν στα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων αυτών και στον αριθμό των δρομολογίων τους.

Τα πρότυπα προτείνουν παρόμοιες ρυθμίσεις και για το σύστημα υψηλής αλλά και χαμηλής τάσης. Η βασική διαφορά τους έχει να κάνει με τους τρόπους γείωσης του συστήματος.

Ένα σημείο που και οι δύο τύποι έχουν κοινό είναι ότι το τελευταίο στοιχείο πριν τη σύνδεση μεταξύ σταθμού και πλοίου είναι ένας πλήρως απομονωμένος μετασχηματιστής. Ο όρος απομονωμένος έχει να κάνει ότι σε κάθε μετασχηματιστή μπορεί να συνδεθεί μόνο ένα πλοίο για να αποφευχθούν διαταραχές στο σταθμό φόρτισης.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που καλύπτει το πρότυπο είναι ο αριθμός καλωδίων που θα πρέπει να έχει στη διάθεση του ο σταθμός φόρτισης. Οι παρακάτω πίνακες δείχνουν το αριθμό των καλωδίων τροφοδότησης ως συνάρτηση της μέγιστης απαίτησης ενέργειας και της τάσης του του σταθμού και το μέγιστο ρεύμα ανά καλώδιο.

Πίνακας 4-1

kVA	Connection Voltage		
	400V	440V	690V
250	2	1	1
500	3	2	2
750	4	3	2
1000	5	4	3

Πίνακας 4-2

kVA	Connection Voltage		
	400V	440V	690V
250	180.4 A	328.0 A	209.2 A
500	240.6 A	328.0 A	209.2 A
750	270.6 A	328.0 A	313.8 A
1000	288.7 A	328.0 A	278.9 A

## 4.7.2 Η πλευρά του πλοίου

Για υποστηριχθεί ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, το πλοίο θα πρέπει να έχει και το ίδιο ένα σύστημα φόρτισης των μπαταριών.

Ο φορτιστής θα πρέπει να επικοινωνεί και να λειτουργεί μέσα στα όρια του συνολικού συστήματος των μπαταριών.

Ο φορτιστής θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε να καλύπτει την απαιτούμενη χωρητικότητα του συστήματος.

Το σύστημα φόρτισης και η διασύνδεση με τον σταθμό φόρτισης θα πρέπει να έχει δικούς του αισθητήρες θερμοκρασίας, για να μπορεί να προλάβει τυχούσα αύξηση θερμοκρασίας στη διαδικασία φόρτισης σε αρχικά στάδια.

Η διαδικασία σύνδεσης με τον σταθμό φόρτισης θα πρέπει να γίνεται με αυτοματοποιημένο τρόπο για την αποφυγή ανθρώπινων λαθών.

Ο φορτιστής θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε να αποφεύγεται το ρεύμα φόρτισης να ξεφεύγει από τα προκαθορισμένα όρια.

Σε περίπτωση βλάβης της φόρτισης θα πρέπει να δίνεται σήμα στη γέφυρα του πλοίου για να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες και να αποφευχθεί πιθανή αστοχία του συστήματος.

Επίσης το σύστημα θα πρέπει να ακολουθεί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Όπου χρειάζονται αλλαγές στις ρυθμίσεις του συστήματος για να συνδεθεί σε ένα σταθμό εναλλασσόμενου ρεύματος, αυτές θα πρέπει να μπορούν να γίνονται εύκολα και γρήγορα από το πλήρωμα.
- Ένας ξεχωριστός πίνακας ελέγχου για τη διαδικασία της φόρτισης θα πρέπει να είναι εγκατεστημένος στο πλοίο, κατά προτίμηση σε τοποθεσία κοντά στο σημείο σύνδεσης.
- Η απόσταση μεταξύ του σημείου παροχής του σταθμού και του σημείου εισόδου του πλοίου θα πρέπει να είναι όσο μικρότερη γίνεται.
- Ο πίνακας ελέγχου θα πρέπει να διαθέτει διακόπτη διακοπής του κυκλώματος για να προστατέψει τον εξοπλισμό σε περίπτωση υπερφόρτωσης του συστήματος φόρτισης.

- Το σύστημα προστασίας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ένα εφεδρικό σύστημα μπαταριών αρκετό για τουλάχιστον 30 λεπτά, όπως περιγράφεται στο IEC 60092-504:2001, 9.6.2.5. Σε περίπτωση αστοχίας της φόρτισης των μπαταριών και ενεργοποίησης του εφεδρικού συστήματος, θα πρέπει να ενεργοποιείται ένας συναγερμός στο σταθμό ελέγχου.
- Ο γαλβανικός διαχωρισμός μεταξύ του σταθμού φόρτισης και του πλοίου θα πρέπει να παρέχεται από τον σταθμό.
- Σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει να υπάρχουν εύφλεκτα υλικά κοντά στο σημείο σύνδεσης.

## 6. Μεθοδολογία του σχεδιασμού της μετατροπής.

### 6.1 Η φιλοσοφία της μετατροπής.

Το επόμενο βήμα στη μετατροπή ενός πλοίου που χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας μηχανές εσωτερικής καύσης σε ένα που έχει ως αποκλειστική πηγή ενέργειας τις μπαταρίες, είναι ο καθορισμός των χαρακτηριστικών του συστήματος. Το κόστος των αγορών των μπαταριών θα είναι το βασικό κόστος της μετατροπής και ο καθορισμός του βάρους αλλά και του αριθμού των μπαταριών είναι καθοριστικής σημασίας για το όλο σύστημα. Ο λόγος είναι προφανής. Χρειαζόμαστε μία μελέτη που να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες του πλοίου σε ενέργεια, χωρίς να έχει μεγάλα περίσσια ενέργειας που θα αυξήσουν το κόστος της μετατροπής και θα κάνουν και θα αυξήσουν και σημαντικά το ίδιο το βάρος του συστήματος. Η επιλογή λοιπόν του σωστού αριθμού είναι μία διαδικασία λεπτής ισορροπίας για το σύστημα.

Με την εγκατάσταση των μπαταριών, το βασικό νόημα της μετατροπής θα έχει επιτευχθεί με την πολύ σημαντική μείωση των ρύπων αλλά και των θορύβων με σημαντικά αποτελέσματα στο περιβάλλον λειτουργία του πλοίου και όχι μόνο.

Το μέγεθος του συστήματος των μπαταριών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατανάλωση ενέργειας και το διαθέσιμο χρόνο για τη φόρτιση σε κάθε βάρδια του πλοίου. Για να προσεγγιστεί η πρώτη φάση η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος θα πρέπει να υπολογιστούν οι απαιτήσεις του συστήματος για την πρόωση του αλλά και για τα ηλεκτρικά φορτία που έχει το πλοίο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Η αντικατάσταση της ηλεκτρικής γεννήτριας εκτάκτου ανάγκης δεν θα μελετηθεί. Μπορεί από τεχνικής άποψης να είναι εφικτή η μετατροπή και αυτή της εγκατάστασης με κατάλληλο σύστημα μπαταριών αλλά η έλλειψη, προς το παρόν, σαφούς νομικού και κανονιστικού πλαισίου και η θέση της μέσα στο πλοίο οδήγησε στο να μην είναι αντικείμενο αυτής της μελέτης.

Η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς βασίζεται κυρίως στην επίτευξη της ταχύτητας που έχει σχεδιαστεί το πλοίο ( $V_{service}$ ) σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτισης (DWT)

και το συνεπαγόμενο βύθισμα (T). Στα πλοία ανοικτού τύπου, το φορτίο του πλοίου (DWT), θεωρείται ο αριθμός επιβατών και οχημάτων.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την προσέγγιση της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος, είναι η μελέτη της λειτουργίας του πλοίου και η ισοδύναμη ισχύς που παράγεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης για την εξυπηρέτηση του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιούμε αμφιλεγόμενα δεδομένα για τις καταναλώσεις του ίδιου του πλοίου σε καθημερινή βάση, ή να μελετηθεί η αντίσταση της γάστρας με μεθόδους που δεν είναι διαθέσιμες από την πλοιοκτήτρια εταιρεία (π.χ. CFD) και θα ανέβαζαν το κόστος της μελέτης.

Οι βασικές διαστάσεις του πλοίου είναι μεταβλητές που δε θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα. Όπως αναφέρθηκε, ο υπολογισμός της αντίστασης της γάστρας δεν είναι εφικτός. Ο υπάρχον μηχανολογικός εξοπλισμός, όμως, έχει επιλεγεί για να είναι αρκετός για την επίτευξη των προδιαγραφών του πλοίου. Με αυτό το σκεπτικό, τα νέα ηλεκτρικά μοτέρ θα επιλεγούν έτσι ώστε να έχουν την ίδια δυνατότητα παραγωγής ενέργειας.

Στο βαθμό που το πλοίο που μελετάται δεν είναι διπλής πλώρης, οι ελιγμοί του πλοίου ως ένα ξεχωριστό στάδιο από την κατάσταση στο λιμάνι και τη κατάσταση εν πλω, θα ληφθούν υπόψιν.

Το πιο βιώσιμο αρχικό σενάριο, είναι ότι το πλοίο θα φορτίζεται μόνο σε ένα από τα λιμάνια τα οποία θα επισκέπτεται.

Αναφορικά με το πρόγραμμα του πλοίου, οι κινήσεις του θα αναλυθούν σε voyages (ταξίδια) και trips (διαδρομές) όπως αποσαφηνίζονται παρακάτω:

1.  $1 \text{ trip} = 2 \times \text{voyages} + 2 \times \text{port stand-by} + 2 \times \text{maneuvering}$
2.  $\text{Time per trip} = 2 \times T_{\text{cruising}} + 2 \times T_{\text{port}} + 2 \times T_{\text{maneuvering}}$

Ο αριθμός των ταξιδιών και ο διαθέσιμος χρόνος για τη φόρτιση θα είναι τα δύο πιο κρίσιμα σημεία των υπολογισμών. Όπως γίνεται αντιληπτό, περισσότερα ταξίδια σε μία βραδεία, σημαίνει μεγαλύτερη ανάγκη για εγκατεστημένη ενέργεια και μικρότερο χρόνο για τη φόρτιση του συστήματος.

Ανάλογα με τα δεδομένα του πλοίου, τις συγκεκριμένες διαδρομές, την αγορά των μπαταριών και την εγκατάσταση στο λιμάνι θα καθοριστεί και το κόστος των μπαταριών που είναι από την πλευρά της ιδιοκτησίας του πλοίου και το πιο σημαντικό κριτήριο.

Το κανονιστικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4 θα είναι «παρόν» σε κάθε βήμα της ανάλυσης της μεθοδολογίας.

Η απόδοση του συστήματος από ενεργειακή αλλά και οικονομικής άποψης είναι ζητήματα βελτιστοποίησης . Σε κάθε περίπτωση, όμως, τα περιβαλλοντολογικά οφέλη για τις τοπικές κοινωνίες και το ευρύτερο περιβάλλον είναι πολύ βασικά σημεία της αναγκαιότητας της μετατροπής.

## 6.2 Τα δεδομένα και οι υπολογισμοί.

Τα απαιτούμενα δεδομένα για να προσεγγίσουμε το «ενεργειακό προφίλ» του πλοίου είναι τα παρακάτω:

Αναφορικά με τον υπάρχοντα εξοπλισμό του πλοίου

- Ο αριθμός των κύριων μηχανών και τα ονομαστικά τους χαρακτηριστικά
- Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων κύριων μηχανών για την πρόωση του πλοίου
- Ο βαθμός φόρτισης των κύριων μηχανών
- Ο αριθμός ηλεκτρογεννητριών και τα ονομαστικά τους χαρακτηριστικά
- Ο βαθμός φόρτισης των ηλεκτρογεννητριών
- Ο ηλεκτρολογικός ισολογισμός εν πλω
- Ο ηλεκτρικός ισολογισμός στο λιμάνι
- Ο ηλεκτρικός ισολογισμός στους ελιγμούς
- Ο παράγοντας διαφορετικότητας των ηλεκτρικών μοτέρ (diversity factor)
- Ο βαθμός απόδοσης των ηλεκτρικών μοτέρ
- Η τάση του συστήματος

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του ταξιδιού του πλοίου

- Η απόσταση που διανύει σε ένα ταξίδι
- Ο χρόνος ενός ταξιδιού
- Ο χρόνος στο λιμάνι

- Ο χρόνος ελιγμών
- Ο μέγιστος αριθμός ταξιδιών ανα βάρδια

Αναφορικά με τις μπαταρίες

- Η ονομαστική τάση
- Οι διαστάσεις
- Η χωρητικότητα
- Ο όγκος
- Το βάρος
- Ονομαστικά μεγέθη φόρτισης και αποφόρτισης
- C-rate
- Ονομαστικό DOD

Η απαιτούμενη ενέργεια ανά ταξίδι υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E_{pr/voyage} = \left[ P_{thrust} \times N_{thrust} \times Lf \times \frac{T_{cruising} \times \eta_{el.motor}}{60} \right] (kWh) \text{ (Eq. 6-1)}$$

$P_{thrust}$  = Thrusters nominal power output (kw)

$N_{thrust}$  = No. of Thrusters operating at sea

$Lf$  = Main Engine load factor (%)

$T_{cruising}$  = Time at sea (min)

$\eta_{el.motor}$  = New electric motor efficiency index

Η απαιτούμενη ενέργεια για την εξυπηρέτηση του ηλεκτρικού φορτίου σε ένα ταξίδι

$$E_{hot/voyage} = \left[ \frac{P_{hot}}{sea} \times Df \times \frac{T_{cruising}}{60} \right] + \left[ \frac{P_{hot}}{port} \times Df \times \frac{T_{port}}{60} \right] + \left[ \frac{P_{hot}}{maneuvering} \times Df \times \frac{T_{maneuvering}}{60} \right] (kWh) \text{ (Eq. 6-2)}$$

$P_{hot/sea}$  = Electric load balance (kw)

$P_{hot/port}$  = Electric load balance (kw)

$P_{hot/maneuvering}$  = Electric load balance (kw)

$Df$  = Diversity factor (%)

$T_{cruising}$  = Time at sea (min)

$T_{port}$  = Time at berth (min)

$T_{\text{maneuvering}}$  = Time at maneuvering (min)

Η συνολική ενέργεια για ένα ταξίδι

$$E_{\text{trip}} = 2 \times \left[ E_{\frac{\text{pr}}{\text{voyage}}} + E_{\frac{\text{hot}}{\text{voyage}}} \right] \text{ (kWh) (Eq. 6-3)}$$

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για μία μέρα/βάρδια

$$E_{\text{total/day}} = [N_{\text{trips}} \times E_{\text{trip}}] \text{ (kWh) (Eq. 6-4)}$$

$N_{\text{trips}}$  = No. of trips per day

Η ελάχιστη εγκατεστημένη ισχύς  $E_{\text{min.installed}}$  ανάλογα με τα ταξίδια που θα γίνονται ανα μέρα/βάρδια κατά τη λειτουργία με το ονομαστικό DOD και για μέγιστο κύκλο ζωής, υπολογίζεται παρακάτω:

$$E_{\text{min.installed}} = \frac{E_{\text{total}}}{\text{day}} / [(N_{\text{trips}} - 1) \times f + \text{DOD}] \text{ (kWh) (Eq. 6-5)}$$

DOD= Depth of discharge of battery system for maximum life-cycles (%)

$f$ = a parameter to estimate the impact of different discharging current and time needed to connect

$$f = \left( \frac{C1}{C2} \right) \times (T_{\text{port}} - T_{\text{plug}}) / T_{100} \text{ (kWh) (Eq. 6-6)}$$

$C1$ = Charging current

$C2$ = Nominal charging current

$T_{100}$  = total time needed to charge completely the battery system at nominal charging current

$T_{\text{plug}}$  = total time needed to plug-in/off vessel to grid

Ο αριθμός μπαταριών συνδεδεμένος σε σειρά



$$N_{Bt.series} = V_{syst}/V_{Bt}. \text{ (Eq. 6-7)}$$

$V_{syst}$  = System main bus bar's voltage (V)

$V_{Bt}$  = Battery module's nominal voltage (V)

Ο αριθμός των μπαταριών συνδεδεμένων παράλληλα

$$N_{Bt.parallel} = E_{min.installes}/(N_{Bt.seies} \times V_{Bt}. \times Ah_{Bt}. \text{ (Eq. 6-8)}$$

$Ah_{Bt}. = \text{battery module's nominal capacity (Ah)}$

Στη συνέχεια, σύμφωνα με τους κανονισμούς του κεφαλαίου 4 το σύστημα μας θα διαιρεθεί σε 2 η περισσότερες συστοιχίες και για αυτό ο αριθμός των μπαταριών σε παράλληλη σύνδεση θα πρέπει να διορθωθεί για να είναι ζυγός αριθμός σε κάθε συστοιχία.

$$N_{Bt.total} = N_{packs} \times N_{bt.pack} \times N_{bt.series} \text{ (Eq. 6-9)}$$

$$E_{installed} = N_{Bt.total} \times V_{Bt}. \times Ah_{Bt}. \text{ (Eq. 6-10)}$$

Για να πληρούνται οι κανονισμοί ασφαλείας θα πρέπει η υπολειπόμενη ενέργεια να είναι περίπου ίση με την ενέργεια μίας διαδρομής.

$$E_{remain} = (1 - DOD) \times E_{installed} / N_{packs} \text{ (kWh)} \text{ (Eq. 6-11)}$$

$$E_{voyage} = E_{trip} / 2 \text{ (kWh)} \text{ (Eq. 6-11)}$$

Το συνολικό βάρος και ο συνολικός όγκος του συστήματος

$$W_{total} = N_{Bt.total}. \times W_{Bt}. \text{ (tn)} \text{ (Eq. 6-12)}$$

$$V_{total} = N_{Bt.total} \times V_{Bt}. \text{ (m3)} \text{ (Eq. 6-13)}$$

$W_{bt}$  = Battery module's weight (tn)

$V_{bt}$  = Battery module's volume (m3)

Ημερήσιοι κύκλοι για τον υπολογισμό του συνολικού κύκλου ζωής των μπαταριών

$$Cycles_{daily} = (T_{charging} \times (N_{trips} - 1)) / (DOD \times T_{charg(0-100)}) + 1 \text{ (Eq. 6-14)}$$

$$Life_{expectancy} = Cycles_{nominal} / Cycles_{daily} \text{ (Eq. 6-15)}$$

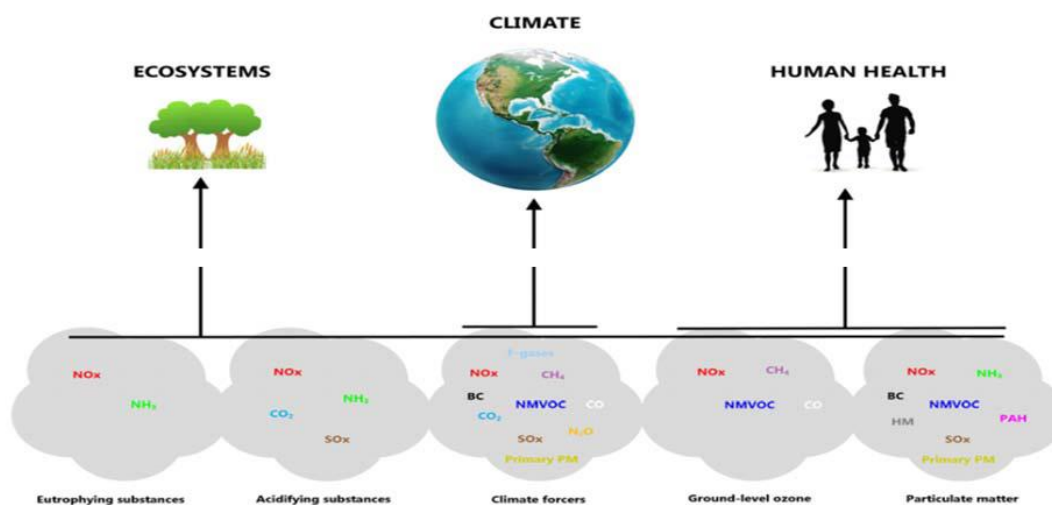
$Cycles_{daily}$  = battery cycles per day

$Cycles_{nominal}$  = nominal number of cycles if system is operated at nominal values

$T_{charging}$  =  $T_{port}$  –  $T_{plug}$

$T_{charg.0-100}$  = time needed to recharge from 0-100 % at nominal charging current

## 7. Το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα των πλοίων.



Στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλίας συγκαταλέγονται η ατμοσφαιρική, η θαλάσσια, η πετρελαϊκή και η ακουστική ρύπανση. Τα πλοία εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα καυσαέρια, αιωρούμενα σωματίδια και υδρογονάνθρακες συμβάλλοντας σημαντικά στην αύξηση των ανθρωπογενών εκπομπών.

Υπολογίστηκε ότι κατά το έτος 2010 ο αριθμός των πρόωρων μοιραίων περιστατικών που προκλήθηκαν από την ατμοσφαιρική ρύπανση, ανήλθε στις 400.000 εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι κύριες εκπομπές καυσαερίων των κινητήρων των πλοίων περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) ή και άλλα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της φόρτωσης δεξαμενόπλοιων, η εξάτμιση οδηγεί σε πρόσθετες εκπομπές πτητικών υδρογονανθράκων (VOC, HALON). Οι παραπάνω εκπομπές αλλάζουν σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και έχουν επιπτώσεις στο κλίμα.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από τη ναυτιλία εκτιμάται ότι είναι το 4 έως 5% του παγκόσμιου συνόλου, ενώ από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) εκτιμάται ότι το ποσοστό θα αυξηθεί έως και κατά 72% επί του προηγούμενου μέχρι το 2020, εάν δεν ληφθούν μέτρα.

Επίσης, οι εκπομπές καυσαερίων από τα πλοία δίνουν το 18 έως 30% του συνόλου των οξειδίων του αζώτου και το 9% των οξειδίων του θείου παγκοσμίως.

Πλέον, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις θαλάσσιες μεταφορές, κυριαρχεί σήμερα στην διεθνή και ευρωπαϊκή ατζέντα περιβαλλοντικής προστασίας. Εκτός από τους ρύπους που εκπέμπονται στην ανοιχτή θάλασσα, τα πλοία επιβαρύνουν με τις εκπομπές τους και τα λιμάνια που τα φιλοξενούν.

## 7.1 Οι εκπομπές των πλοίων και οι επιδράσεις τους.

Όπως όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν ως καύσιμο κάποιο προϊόν πετρελαίου, για να παράγουν οποιαδήποτε μορφή ενέργειας, έτσι και οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων, παράγουν καυσαέρια τα οποία εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Οι διαφορετικές εκπομπές αερίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες αναφορικά με το ποια επίπτωση έχουν στο περιβάλλον:

A) Εκπομπές που προκαλούν ρύπανση της ατμόσφαιρας

B) Εκπομπές που συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εκπομπές οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), νιτρικά οξείδια (NO<sub>x</sub>), μικροσωματίδια (PM), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), HCFC και μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Οι εκπομπές των πλοίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω, ανάλογα με την επίδρασή τους στην ανθρώπινη υγεία σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία. Τα πρωτεύοντα στοιχεία είναι αυτά που έχουν άμεσες επιπτώσεις όταν έρθουμε σε επαφή. Δευτερεύοντα στοιχεία είναι αυτές οι εκπομπές που όταν αφεθούν στην ατμόσφαιρα παράγουν διαφορετικούς ρύπους. Η μετατροπή αυτή έχει να κάνει με τις χημικές αντιδράσεις του αέρα με τις διάφορες εκπομπές και μπορεί να συμβεί και αρκετά μακριά από την πηγή των εκπομπών. Παραδείγματα τέτοιων αερίων είναι το όζον (O<sub>3</sub>), τα θειϊκά και τα νιτρικά.

**SO<sub>x</sub>**: είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας καύσης των μηχανών Diesel. Η ποιότητα των ναυτιλιακών καυσίμων εξαρτάται από το ποσοστό θείου που εμπεριέχεται σε αυτά. Η καύση θειούχων καυσίμων οδηγεί στη δημιουργία εκπομπών SO<sub>2</sub>.

**NO<sub>x</sub>**: σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας και πίεσης στους κυλίνδρους.

**VOC**: είναι οργανικές ενώσεις που έχουν υψηλή πίεση ατμοποίησης σε περιβάλλον δωματίου.

**CO**: αέριο που εκλύεται λόγω της ατελούς καύσης ορυκτών καυσίμων και εκλύεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα.

**CO<sub>2</sub>**: είναι φυσικό αέριο της ατμόσφαιρας αλλά μπορεί να παραχθεί και από ατελή καύση καυσίμου.

**O<sub>3</sub>**: δημιουργείται μέσα από χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα με «πρώτη ύλη» αέρια NO<sub>x</sub>

Οι αέριες εκπομπές των πλοίων επηρεάζουν:

- Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής
- Το οικοσύστημα
- Την υγεία του ανθρώπου

και αυτές οι παρενέργειες μπορούν να χρηματοποιηθούν για να καταλάβουμε καλύτερα τις επιπτώσεις τους.

## 7.2 Η επίδραση των εκπομπών στην κλιματική αλλαγή.

Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη, έχει να κάνει με την υπερσυσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα που προκαλούν μία συνεχιζόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα τέτοιο αέριο που μαζί με άλλα τέτοια αέρια έχουν βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις στο περιβάλλον (δεκαετίες). Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καύση ορυκτών καυσίμων συνεισφέρουν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επιπρόσθετα, έχουν σημαντική επίπτωση στη διόγκωση της τρύπας του όζοντος και έχουν σημαντική επίπτωση συνολικά στο κλίμα. Σε γενικές γραμμές, τα αέρια του «θερμοκηπίου» έχουν τις παρακάτω επιπτώσεις:

- Το λιώσιμο των πάγων
- Την αύξηση της επιφάνειας τη θάλασσας
- Αλλαγές στο οικοσύστημα
- Δυσχέραση της ανθρώπινης υγείας

Η αέρια ρύπανση και η κλιματική αλλαγή υπερκαλύπτονται. Το τριοξείδιο του οξυγόνου είναι ένα παράδειγμα αερίων ρύπων που έχει άμεση επίπτωση στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Το να παρθούν μέτρα, λοιπόν, για την καταπολέμηση του φαινομένου είναι κρίσιμης σημασίας.

## 7.3 Η επίδραση των εκπομπών στην ανθρώπινη υγεία.

Η αέρια ρύπανση είναι η βασική περιβαλλοντική απειλή για τον άνθρωπο στην Ευρώπη, πρόσφατες εκτιμήσεις λένε, ότι οι περισσότερες ασθένειες σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Οι καρδιακές παθήσεις είναι ο πιο συχνές αιτίες πρόωρου θανάτου και σχετίζονται άμεσα με την κλιματική αλλαγή. Οι παθήσεις των πνευμόνων, μαζί με τον καρκίνο του πνεύμονα έρχονται δεύτερα.

Άλλες επιπτώσεις των αερίων ρύπων έχουν να κάνουν με διάφορες λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Έρευνες δείχνουν ότι οι επιπτώσεις στη γονιμότητα, την εγκυμοσύνη, τα βρέφη και τα παιδιά έχουν ραγδαία αύξηση. Σε άλλες έρευνες, φαίνεται ότι το νευρικό σύστημα δεν μένει ανεπηρέαστο από αυτούς τους αέριους

ρύπους αλλά ακόμα και ασθένειες που προσβάλλουν τους ενήλικες, όπως ο διαβήτης, φαίνεται ότι έχει πολύ να κάνει με τις ραγδαίες αλλαγές του κλίματος της Γης.

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μέσα από τα επίπεδα θνησιμότητας από ασθένειες που σχετίζονται με τους αέριους ρύπους. Τα νούμερα αυτά έχουν να κάνουν με το προσδόκιμο ζωής που μειώνεται λόγω των πρώιμων θανάτων από την έκθεση σε μολυσματικά αέρια. Οι βασικές επιπτώσεις ανα ρύπο αναλύονται παρακάτω:

- PM: προκαλεί, καρδιαγγειακές και πνευμονολογικές παθήσεις, επηρεάζει το κεντρικό νευρικό σύστημα και μπορεί να προκαλέσει καρκίνο.
- SO<sub>x</sub>: προκαλεί επιθετικό άσθμα και μειώνει τη λειτουργία των πνευμόνων. Βασικά συμπτώματα είναι ο βήχας και γενικά ερεθισμό του αναπνευστικού.
- NO<sub>x</sub>: επηρεάζει τη λειτουργία του ήπατος, των πνευμόνων και του σπλήνα. Συχνά συνδέεται και με ασθένειες του αίματος.
- O<sub>3</sub>: Συνδέεται κυρίως με ασθένειες στους πνεύμονες και το άσθμα.
- CO: ο βασικός παράγοντας καρδιοπαθειών και του νευρικού συστήματος.
- C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>: βασικά συμπτώματα είναι ο πονοκέφαλος, οι ζαλάδες και η κούραση.

## 7.4 Τα εξωτερικά κόστη (externalities).

Ο στόχος αυτής της παραγράφου είναι η παρουσίαση της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί για την εκτίμηση του εξωτερικού κόστους από τις εκπομπές των υπάρχοντων μηχανών πρόωσης του πλοίου.

Τα εξωτερικά κόστη μπορούν να έχουν αρνητική ή θετική επίπτωση. Τα εξωτερικά κόστη στη ναυτιλία μπορούν να προέρχονται από τη μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, την ηχορύπανση τις αέριες εκπομπές κτλ. Η εκτίμηση αυτού του «κόστους» παίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική ανάλυση κόστους-επωφελείας του συνολικού έργου. Η χρηματοικοποίηση βέβαια αυτού του μεγέθους δεν είναι πάντα εύκολη αν και ποσοτικοποίηση των ρύπων δεν είναι πάντα μία πολύ δύσκολη διαδικασία.

Στη δική μας μελέτη, όπως στο CBA.2014 για έργα που μειώνουν τους ρύπους στα πλαίσια της ΕΕ, θα χρηματοικοποιήσουμε τους ρύπους που σχετίζονται με:

- Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής
- Την αέρια ρύπανση

### Βήμα Πρώτο

Η ποσοτικοποίηση των ρύπων που γλιτώνουμε από την μετατροπή που μελετάμε θα γίνει ανάλογα με τις οδηγίες του TIER-II που παίρνει ως δεδομένα τις καταναλώσεις των κύριων και των βοηθητικών μηχανών σε κάθε ταξίδι.

Για ένα ταξίδι οι εκπομπές μπορούν να εκφραστούν με την παρακάτω σχέση:

$$EM_{trip} = EM_{at\ sea} + EM_{at\ port} + EM_{maneuvering} \quad (tn) \quad (Eq. 7-1)$$

$$EM_{trip,i,j,m} = \sum p \quad (FC_{j,m,p} \times EF_{i,j,m,p} \quad (tn) \quad (Eq. 7-2)$$

Όπου:

$EM_{trip}$  = emissions over a complete trip (tn)

FC = fuel consumption (tn)

EF = emission factor (kg/tn) from table 7-1

i= pollutant

m= fuel type

j=engine type

Πίνακας 7-1

Engine	Phase	Engine Type	Fuel Type	Nox (gr/kwh)	NMVOC (gr/kwh)	TSP PM10 PM2.5 (gr/kwh)	CO (kg/tn)	SOx (kg/tn)
Main/Aux	Cruise	Medium Speed Diesel	MDO/MGO	12.3	0.5	0.3	7.4	20 x s
	Stand-by			9.9	1.5	0.9		
	Cruising			13	0.4	0.3		
	Hoteling			13	0.4	0.3		



Για την ποσοτικοποίηση των αερίων του θερμοκηπίου όπως αναλύεται στο IPCC 2006:

Πίνακας 7-2

Engine	Phase	Engine Type	Fuel Type	CO2 (kgr/tn)	CH4 (kgr/tn)	N2O (kgr/tn)
Main/Aux	Cruise	Medium Speed Diesel	MDO/MGO	3.19	0.18	1.3

### Βήμα Δεύτερο

Για να υπολογίσουμε τα εξωτερικά κόστη που προκαλούνται από τη ρύπανση του αέρα, η παρακάτω μεθοδολογία αξιολογείται ως η βέλτιστη.

Η μέθοδος ονομάζεται “willing to pay method” και έχει να κάνει με το πόσο πρόθυμη είναι η κοινωνία να δαπανήσει πόρους για να προστατεύσει το περιβάλλον.

Για την εσωτερικοποίηση του εξωτερικού κόστους θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα της μελέτης “Techno-economical feasibility study on the retrofit of double-ended Ro/Pax ferries into battery powered ones” (Μπακιρτζόγλου 2017)

Πίνακας 7-3

	PM2.5 (Euro/tn)	PM10 (Euro/tn)	NOx (Euro/tn)	SOx (Euro/tn)	NMVOC (Euro/tn)
Value	85389.1	75477	3635.2	4510.4	294.03

## 8. Το παράδειγμα της μελέτης: Μήλος-Κίμωλος.

Ο στόχος της μελέτης έρχεται να βρει εφαρμογή στο πραγματικό πεδίο. Κατά την ελληνική επικράτεια υπάρχουν πολλά σημεία που εξυπηρετούνται από πλοία ανοιχτού τύπου. Η διαδρομή Μήλος-Κίμωλος επιλέχθηκε ως μια χαρακτηριστική διαδρομή αντίστοιχων πλοίων που εξυπηρετεί και τις ανάγκες της τοπικής κοινωνίας αλλά και τουριστικούς σκοπούς.

Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι συμβατό με τις νέες οδηγίες και τους κανονισμούς της ΕΕ. Προωθεί την έξυπνη και πράσινη ανάπτυξη διατηρώντας το περιβάλλον και για τους κατοίκους των εκεί περιοχών αλλά και συνολικά για το οικοσύστημα.

### 8.2 Ανάλυση των δεδομένων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά μεγέθη του πλοίου. Για τη δική μας μελέτη χρειαζόμαστε πάνω από όλα τα μηχανικά μέρη του πλοίου που θα δείξουν και τα χαρακτηριστικά του συστήματος των μπαταριών που είναι απαραίτητα για να είναι λειτουργικό.

Πίνακας 8-1

Loa	32.5	Main Diesel Engines	2 x Daewoo MD188TI 272 Kw
B	10.2		
D	2.02	Diesel Generators	2x 27 Kw
Year built	1993		

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία λειτουργίας του πλοίου. Είναι από τα πιο σημαντικά δεδομένα στο βαθμό που εδώ φαίνεται η ενέργεια που χρειάζεται το πλοίο υπό μελέτη για να λειτουργήσει στο συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας που έχει αποφασίσει η πλοιοκτήτρια εταιρεία. Με βάση και τις ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια υπολογίζεται και η ποσότητα των ταξιδιών που μπορεί να κάνει με το νέο σύστημα σε μία μέρα εργασίας.

Πίνακας 8-2

Electrical Load Balance At Port (kW)	6.5
Electrical Load Balance At Sea (kW)	22.7
Electrical Load Balance At Maneuvering (kW)	33.2
Diversity Factor	0.9
No of Operating Main Engines At Sea	2
Main Engine Load Factor	0.9
Electric Motors Efficiency	0.98
Propulsion Load (kW)	489.6
Electric Propulsion Load (kW)	499.6
Load at port (kWh)	2.7
Load at sea (kWh)	256.2
Load at maneuvering (kwh)	38.2
Energy/trip (kWh)	594.1
Max trips/day	3
DOD (nominal for max lifecycles)	0.7
System dc voltage (V)	1000
Time to plug-in/off (min)	4

Εδώ παρουσιάζονται τα δεδομένα για τη διαδρομή που κάνει το πλοίο, δεδομένα απαραίτητα για την υλοποίηση της μελέτης

Πίνακας 8-3

Tcruising (min)	30
Tberth (min)	25

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών που θα χρησιμοποιηθούν. Επιλέχθηκαν μπαταρίες LiFeMgPO<sub>4</sub>. Ο λόγος της επιλογής έχει να κάνει με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά (που παρουσιάζονται παρακάτω), τη συνολική διάρκεια ζωής τους, αλλά και το κόστος τους.

Πίνακας 8-4

Nominal Module Voltage V	38.4	
Nominal Capacity (C/5, 23o) Ah	46.2	
Dimension (LxWxH) mm	306 x 172 x 255 mm	
Weight 19.6 kg	19.6	
Volume m <sup>3</sup>	0.11	
Specific energy Wh/kg	91	
Energy density Wh/lt	148	
Standard Discharging @ 25 C	Max Cont. Current A	90
	Peak Load Current (30sec) A	135
	Cut-off Voltage V	30
Standard charging @ 25 C	Max charge voltage V	43.8
	Float Voltage V	41.4
	Rec. current C/2 A	23
Charging time for max l.f. (DOD: 100% -> 0%) (h)	2.5	

### 8.3 Υπολογισμοί του συστήματος.

Ο πιο βασικός υπολογισμός για τη μελέτη μας έχει να κάνει με τον αριθμό των μπαταριών που πρέπει να εγκατασταθούν στο πλοίο. Οι λόγοι είναι προφανείς και έχουν να κάνουν με το ότι θα πρέπει να πληρούνται οι ενεργειακές ανάγκες του πλοίου και όλοι οι κανόνες ασφαλείας αλλά θα πρέπει παράλληλα να γίνει μία έστω βασική μελέτη βελτιστοποίησης στο βαθμό που η αγορά των μπαταριών είναι το μεγαλύτερο και βασικότερο κόστος της όλης μετατροπής. Με βάση τις εξισώσεις του κεφαλαίου 6, τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και έχουν να κάνουν με το χρόνο που το πλοίο μένει στο λιμάνι, την ελάχιστη εγκατεστημένη ενέργεια που πρέπει να έχει το πλοίο βάσει των κανονισμών αλλά και τους υπολογισμούς για το πόσες μπαταρίες πρέπει να αγοραστούν και να εγκατασταθούν για να πληρούνται όλα τα παραπάνω.

Πίνακας 8-5

Time at port (min)	Emin Installed (kwh)	Nbt series	Nbt parallel	Nb total
25	1591	27	34	918

Πίνακας 8-6

Einstalled (kwh)	Eremain (kwh)	Wtotal (tn)	Volume total (m3)
1630	325	18	101

Οι παραπάνω υπολογισμοί δείχνουν ότι μπορεί να υλοποιηθεί η μετατροπή στο βαθμό που:

- Η ενέργεια που παραμένει (Eremain) είναι παραπάνω από την ενέργεια που χρειάζεται για μία διαδρομή.
- Η περίοδος φόρτισης καλύπτει τα περιθώρια ασφαλείας
- Με βάση τα σχέδια του πλοίου, το βάρος των μπαταριών μπορεί να οδηγήσει το πλοίο στο να πλέει σε μικρότερο βύθισμα και άρα να εξοικονομεί ενέργεια
- Ο όγκος της εγκατάστασης μπορεί να χωρέσει στις υπάρχουσες δεξαμενές πετρελαίου του πλοίου.
- Οι υπολογισμοί για την περίοδο ζωής των μπαταριών είναι μέσα στη διάρκεια που δίνει ο κατασκευαστής, τα 7 χρόνια, που θα είναι και η περίοδος για την οποία θα αξιολογήσουμε την επένδυση.

## Τα κόστη της μετατροπής

Σε αυτό το κομμάτι, θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που δείχνουν το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του νέου συστήματος ενεργειακής τροφοδότησης του πλοίου υπό μελέτη. Τα βασικά στοιχεία των υπολογισμών έχουν να κάνουν με το κόστος κάθε μπαταρίας, το κόστος του συστήματος διαχείρισης των μπαταριών, που εκτιμάται στο 45% του κόστους των μπαταριών και τελικά μία εκτίμηση του οφέλους της πλοιοκτήτριας εταιρείας από την πώληση των μηχανών εσωτερικής καύσης που είχε το πλοίο ήδη εγκατεστημένες.

Πίνακας 8-7

<b>INSTALLATION COST</b>	
Battery Cost	963,900 €
Battery Management System - 45% of batteries cost	433,755 €
Battery Inverter per Kw	200 €
2 x Inverter if 300 Kw	120,000 €
Motor Drives per Kw	250 €
2 x Motor Drivers of 440 Kw	150,000 €
Electric Motor per Kw	60 €
2 x Electric Motors	36,000 €
Contingencies 10%	
<b>SUM (€)</b>	<b>1,800,045 €</b>
<b>SALES OF EXISTING MACHINERY</b>	
Used Medium Speed Diesel Engines (40€/kW)	
Existing Main Engines 272kW x2	21,760.00 €
Used Electric Generators (35€/kW)	
Existing Electric Generator-1 27 kW	945.00 €
Existing Electric Generator-2 27 kW	945.00 €
<b>FINAL COST OF RETROFIT (€)</b>	<b>1,776,395 €</b>

## Σύγκριση της λειτουργίας και της εξοικονόμησης από τα εναλλακτικά καύσιμα

Πολύ σημαντικό κομμάτι είναι να δούμε με αριθμητικά στοιχεία, την οικονομική (και εν μέρει περιβαλλοντολογική) σύγκριση των δύο συστημάτων που μπαίνουν σε λειτουργία. Όπως φαίνεται και στον πίνακα τον ίδιο, η βασική διαφορά είναι τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης σε σύγκριση με το κόστος του ρεύματος για την επαναφόρτιση του συστήματος. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την εκτίμηση της ποσότητας κατανάλωσης Diesel των μηχανών για ένα χρόνο, βασίστηκε στην ειδική κατανάλωση των μηχανών (sfoc gr/kWh) και την αναγωγή της μέσα σε ένα χρόνο.

Πίνακας 8-8

<b>WITH BATTERIES</b>	
Electric Motors Efficiency	0.98
Required Energy Per Trip	594.06
Total Required Energy for 1 Year Operation	641588.40
Total Consumed Energy for 1 Year Operation from Electric Motors & Electric Machines	654682.04
Price of kWh from Utility Grid (€/kWh) - B1B Pricelist	0.05
<b>Total Cost (€)</b>	<b>32,734.10 €</b>
<b>WITH EXISTING MACHINERY</b>	
Main Engine Efficiency	0.50
Electric Generators Efficiency	0.90
Propulsion Load/Energy from Main Engines for 1 trip (kWh)	512.30
Electric Load/Energy from Generators for 1 trip (kWh)	81.76
Total Consumed Energy for 1 Year Main Engines (kWh)	1,106,568.0
Total Consumed MDO for 1 Year Main Engines (tn)	224.6
Total Consumed Energy for 1 Year Auxiliary Engines (kWh)	98,116.00
Total Consumed MDO for 1 Year Auxiliary Engines (tn)	19.92
Price of Marine Diesel Oil for 1 tn (€)	550.00
<b>Total Cost (€)</b>	<b>134,502.97 €</b>
<b>Benefit from one year fuel saving (€)</b>	<b>101,769 €</b>

Πίνακας 8-9

<b>OPERATION &amp; MAINTENANCE COST PER YEAR</b>	
<b>WITH BATTERIES</b>	
Fixed Operation & Maintenance is 2% of the PCS cost (€)	19,278.00 €
Variable O&M is about 2\$/kWh for systems below MW and 1\$ for systems >1M	
For Selected Batteries quantity our system is (kWh)	1,628.61 €
Variable O&M expenses (€)	1,628.61 €
<b>TOTAL O&amp;M COST PER YEAR (€)</b>	<b>20,906.61 €</b>
<b>WITH EXISTING MACHINERY</b>	
Maintenance cost 13.6€/Hp	
Total Installed Power = 2 x 370HP	11,472.96 €
<b>O&amp;M COST PER YEAR (€)</b>	<b>11,472.96 €</b>
<b>YEARLY COST FROM O&amp;M EXPENSES (€)</b>	<b>- 9,433.65 €</b>



## 8.4 Η οικονομική ανάλυση τη μετατροπής.

Η οικονομική ανάλυση της επένδυσης θα γίνει με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή για τη μείωση της απόδοσης του συστήματος στο 70% Ah ονομαστικής χωρητικότητας. Η κοινωνικο-οικονομική ανάλυση θα γίνει με βάση την ανάλυση κέρδους-κόστους για επενδύσεις που δημοσιοποιήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (cost-benefit analysis, CBA 2014).

Η εναπομένουσα αξία της επένδυσης εκτιμάται στο 65% της αρχική της αξίας:

- 30% του αρχικού κόστους των μπαταριών
- 70% του αρχικού κόστους του υπόλοιπου εξοπλισμού
- Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου εκτιμάται στο 3.5% κάθε χρόνο
- Η αύξηση της τιμής του ρεύματος εκτιμάται στο 1% κάθε χρόνο

Τα παρελκόμενα κόστη εκτιμώνται στο 10% ενώ το επιτόκιο ανατοκισμού ορίζεται στο 6%

Πίνακας 8-10 FRR before EU grant

FRR©										
			Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7
Calculation of Return of Investment		NPV % 6	<b>Construction</b>	<b>Operation</b>						
Investing Cost	EUR	- 1,776,395.00 €	- 1,776,395.00 €							
Benefit from Fuel Consumption	EUR	639,920.53 €		101,768.87 €	106,149.13 €	110,690.89 €	115,399.87 €	120,282.01 €	125,343.46 €	130,590.58 €
O&M Cost	EUR	-54,143.23 €		- 9,433.65 €	- 9,527.98 €	- 9,623.26 €	- 9,719.49 €	- 9,816.69 €	- 9,914.86 €	- 10,014.00 €
Residual Value of investments	EUR	507,496.77 €		- €	- €	- €	- €	- €	- €	763,087.50 €
<b>FNPV©-Before EU Grant / Net Cash Flow</b>		- 683,120.93 €	- 1,776,395.00 €	92,335.22 €	96,621.15 €	101,067.62 €	105,680.37 €	110,465.32 €	115,428.61 €	883,664.08 €
<b>FRR© - Before EU Grant</b>		-0.0288								

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται βάσει της μεθόδου που επιλέχθηκε η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης χωρίς να υπολογίζεται η επιδότηση της επένδυσης από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο συντελεστής αυτός βλέπουμε ότι είναι οριακά αρνητικός. Τα οικονομικά μεγέθη για την εκτίμηση της αξίας του κόστους και της αξίας της επένδυσης όπως περιεγράφηκαν παραπάνω αποτελούν ένα σχετικά απαισιόδοξο σενάριο κατ' επιλογήν της ίδιας της μελέτης για να υπάρχει μία όσο το δυνατόν ρεαλιστική προσέγγιση των οικονομικών μεγεθών.

Στο βαθμό που ο συντελεστής FRR είναι αρνητικός οριακά, η επένδυση είναι σε θέση να επιδοτηθεί από την ΕΕ που είναι και αναγκαίο για να γίνει βιώσιμη η επένδυση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο υπολογισμός του ύψους της Ευρωπαϊκής επιδότησης βάσει των κανόνων που παρουσιάζονται στη δημοσίευση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιούμε.

Πίνακας 8-11 EU Grant calculation

EU GRANT			Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7
Calculation of Discounted Investment Cost (DIC)		NPV % 6	Construction	Operation						
Investing Cost (Including contingencies)		1,776,395.00	1,776,395.00	0	0	0	0	0	0	0
DIC / Investment Cost Cash-Flow	EUR	1,776,395.00	1,776,395.00	0	0	0	0	0	0	0
Calculation of Discounted Net Revenues (D										
Benefit from Fuel Consumption	EUR	639,920.53	-	101,769	106149.1294	110690.885	115399.8675	120282.0123	125343.4636	130590.5816
O&M Cost	EUR	-54,143.23		-9,434	-9,528	-9,623	-9,719	-9,817	-9,915	-10,014
Residual Value of Investment	EUR	507,496.77	0	0	0	0	0	0	0	763087.5
DNR / Net Revenue Cash Flow	EUR	<b>1,093,274.07</b>	-	92,335	96,621	101,068	105,680	110,465	115,429	883,664
ELIGIBLE COST (EC)	EUR	1,598,755.50								
Pro-Rata application of DNR=(DIC-DNR)/DIC		0.384554637								
CO-FINANCING RATE OF PRIORITY AXIS (CF)		85%								
EU GRANT ( = EC x PRO-RATA x CF)	EUR	522587.5151								

Πίνακας 8-12 FRR (K)

FRR (K)		Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	
		Construction	Operation							
Promoter's Contribution	EUR	-1,253,807	0	0	0	0	0	0	0	
<b>NPV %</b>										
<b>6</b>										
<b>Calculation of the Return on Private</b>										
Promoter's Contribution	EUR	-1,253,807	0	0	0	0	0	0	0	
Benefit from Fuel Consumption	EUR	639,920.53	101768.8666	106149.1294	110690.885	115399.8675	120282.0123	125343.4636	130590.5816	
O&M Cost	EUR	-54,143.23	-9,434	-9,528	-9,623	-9,719	-9,817	-9,915	-10,014	
Residual Value of investments	EUR	507,496.77	0	0	0	0	0	0	763087.5	
<b>Net Cash Flow</b>		<b>-160,533.42</b>	-1,253,807	92,335	96,621	101,068	105,680	110,465	115,429	883,664
<b>FRR© - Before EU Grant</b>		<b>0.0335</b>								

Σε αυτόν τον πίνακα, δίνεται μια εκτίμηση του συντελεστή FRR όσον αφορά το επενδύσιμο κεφάλαιο από πλευράς επενδυτή για την μετατροπή σε συνδυασμό πλέον με την Ευρωπαϊκή επιδότηση του όλου εγχειρήματος.

Η επένδυση φαίνεται να είναι οικονομικά βιώσιμη μετά την επιδότηση από την ΕΕ. Ο λόγος βέβαια της βιωσιμότητας και της ίδιας της επιδότησης είναι τα περιβαλλοντολογικά δεδομένα που φέρνει μία τέτοια επένδυση. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της περιβαλλοντολογικής ανάλυσης από τους ρύπους που εξοικονομούνται από τη μη χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων ως πηγή ενέργειας του πλοίου. Το συγκεκριμένο κομμάτι είναι και το βασικό στοιχείο και κίνητρο για όλη τη μελέτη. Οι μελλοντικές επενδύσεις ειδικά στο χώρο της ναυτιλίας έχουν το χρέος να είναι φυσικά οικονομικά βιώσιμες αλλά και περιβαλλοντολογικά συμφέρουσες για τους λόγους που ήδη έχουν αναλυθεί.

Ως εξωτερικά κόστη λοιπόν, ορίζονται οι περιβαλλοντολογικές επιβαρύνσεις που υπάρχουν λόγω της χρήσης ορυκτών καυσίμων, πού είναι το στοιχείο που προσπαθούμε να αντικαταστήσουμε.

### Τα εξωτερικά κόστη (Externalities)

Πίνακας 8-13

Pollutant	PM2.5	PM10	NOx	SOx	NM VOC	CO2	CH4	N2O
Sum (tn)	0.39	0.39	16.16	13.03	0.63	843.65	47.60	343.81
Sum in Euro	33,373 €	29,499 €	58,751 €	58,761 €	186 €	46,151 €	2,604 €	18,808 €
Benefit	248,135 €							

## Η Κοινωνικο-οικονομική Ανάλυση

Πίνακας 8-14

ERR		NPV%	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7
Calculation of the Economic Rate of Return			Construction	Operation						
		6								
Project Investment Cost		-1776395	-1776395	0	0	0	0	0	0	0
Benefit from Fuel Consumption		EUR 639921	0	101769	106149	110691	115400	120282	125343	130591
O&M Cost		EUR -54143	0	-9434	-9528	-9623	-9719	-9817	-9915	-10014
Residual Value of investments		507497	0	0	0	0	0	0	0	763088
<b>Total Economic Costs</b>		EUR -628978	-1776395	101769	106149	110691	115400	120282	125343	893678
B1. AIR POLLUTION		EUR 1008019	0	180572	180572	180572	180572	180572	180572	180572
B4. CO2 GHG		EUR 377163	0	67563	67563	67563	67563	67563	67563	67563
Total Economic Benefits (B1+B2)		EUR 1385182	0	248135	248135	248135	248135	248135	248135	248135
<b>ENPV / Net Benefits</b>		EUR 856755	-	-1426491	354284	358826	363535	368417	373478	1141813
<b>ERR</b>		0.21								

Σε αυτόν τον τελευταίο πίνακα παρουσιάζεται μετά τον συντελεστή FRR και ο συντελεστής ERR, που συνδέει τα οικονομικά μεγέθη με τις περιβαλλοντολογικές επιβαρύνσεις που εξοικονομούνται μέσα από την μετατροπή που μελετάμε, η οποία όπως δείχνουν όλες οι οικονομικές και κοινωνικοοικονομικές αναλύσεις είναι βιώσιμη.

## 9. Συμπεράσματα

1. Η μετατροπή υπό μελέτη δεν είναι βιώσιμη χωρίς εξωτερική χρηματοδότηση
2. Η εξοικονόμησή από τη μη χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων και οικονομικά και περιβαλλοντικά είναι αρκετά υψηλή
3. Το κόστος των μπαταριών είναι το πιο σημαντικό κόστος της επένδυσης
4. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μειώνει την ανάγκη για περισσότερες φορτίσεις του συστήματος
5. Οι κανόνες ασφαλείας και συνολικά οι κανονισμοί για μία τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι σε αρκετά πρώιμο στάδιο
6. Η μελέτη τέτοιου είδους πράσινων επενδύσεων που σχετίζονται με τη ναυτιλία, έχουν να προσφέρουν πολλαπλά οφέλη στην υπόθεση της κλιματικής αλλαγής και ιδιαίτερα σε χώρες όπως η δική μας.

Η εισαγωγή τέτοιων επενδυτικών πλάνων στην πραγματική οικονομία θα γίνει με αρκετά αργό ρυθμό. Αυτό έχει να κάνει με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και των υποδομών που σε κάποιο βαθμό θα καθιστούν μία τέτοια επένδυση ασφαλή, βιώσιμη αλλά και άμεσα υποστηρικτές από τις υπάρχουσες δομές. Το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο παραμένει μια ακριβή υπόθεση παρά τα τεράστια οφέλη από τη μη χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων.

Τα «καλά νέα» για τέτοιου τύπου μελέτες είναι ότι η κλιματική αλλαγή έχει ήδη θέσει βασικά ερωτήματα για την αλλαγή τη ενεργειακής προσήλωσης της ανθρωπότητας στα ορυκτά καύσιμα. Οι τεχνολογικές καινοτομίες των τελευταίων χρόνων προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταδεικνύουν που θα δοθεί βάρος στα χρόνια που έρχονται.

Σε κάθε περίπτωση, η αλλαγή των ενεργειακών πηγών των πλοίων φαίνεται να γίνεται επιτακτική ανάγκη. Οι μελέτες που ασχολούνται με την ηλεκτροπτόωση δείχνουν πως μπορεί ένα πλοίο να έχει μικρότερες έως μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων, πως μπορεί ένα πλοίο να πλέει με μικρότερα βυθίσματα και να μειώνει την αντίσταση που του ασκείται και εν τέλει πως η ίδια η ναυτιλία μπορεί από ρυπογόνα βιομηχανία να γίνει μία πράσινη πηγή επενδύσεων.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Carlo Trozzi, R.D.(2016). Air pollutant emissions from national navigation, inventory guidebook.EEA.
- [2] CE DELFT. (2008). Handbook on the estimation of external costs in the transport sector.
- [3] DNV.(2014). Guidline for large maritime systems
- [4] DNV-GL (2014). Guidelines for arge maritimes systems
- [5] EEA 2016 Air quaity in Europe.
- [6] EERE 2006.
- [7] MIT-EVT 2008. A guide to understand batteries.
- [8] Mueller, U.T. 2011.
- [9] Οικονομού 2014. Estimation of annual external health cost of air pollution from ships in the port Piraeus using the impact pathway analysis.
- [10] Sloomweg 2010. Biodiversity in environmental assesment.
- [11] TRONCOSO 2013 Batteries for marine application.
- [12] Tzanatos 2010 Air emissions and their impacts, Piraeus port case study aeus.
- [13] WEF 2014 Climate change report.
- [14] ΑΔΜΗΕ 2012.
- [15] ΥΝΝΠ 2016 Δηλώσεις τακτικής δρομολόγησης περιόδου 1/1182016-31/10/2016.
- [16] Modeling of batteries EV's applications, 2014 Georgia Mourka thesis, SoECE, Ntua.
- [17] Δελτίο ενέργειας, Μάρτιος 2016, ΑΔΜΗΕ.
- [18] 2008- Ο ρόλος του άνθρακα στη στρατηγική παραγωγής της ΔΕΗ-ΔΕΗ.
- [19] Skjong 2016, Past,Present and future of electric vessel's powwer system .



