



National Technical University of Athens
School of Naval Architecture and Marine Engineering
Laboratory of Marine Engineering

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΠΟΡΘΜΕΙΟΥ
ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΟΥ – ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ**

ΠΗΛΙΧΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2020-2021

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ι. ΠΡΟΥΣΑΛΙΔΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την βοήθεια του και την ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω ειλικρινείς ευχαριστίες και την εκτίμηση στον επιβλέποντα μου, τον καθηγητή Ι.Προυσαλίδη.

Επίσης, η ευγνωμοσύνη μου επεκτείνεται στην οικογένεια μου για την υπομονή και την πλήρη υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εκπομπές από τα πλοία ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα, και μπορεί να είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, να προκαλέσουν όξινη βροχή, καθώς και να συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ναυτιλιακή βιομηχανία αναλαμβάνει δράση για την ουσιαστική αντιμετώπιση του θέματος αυτού εφαρμόζοντας αυστηρούς κανονισμούς. Η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (Marine Environment Protection Committee, MEPC) έδωσε μεγάλη προσοχή στον έλεγχο εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία, οριστικοποιώντας τον Ιούλιο του 2009 ένα πακέτο συγκεκριμένων τεχνικών και λειτουργικών μέτρων μείωσης τους. Τον Μάρτιο του 2010, η MEPC ξεκίνησε να εξετάζει ως λύση, την υποχρεωτική λήψη των τεχνικών και επιχειρησιακών μετρήσεων για όλα τα πλοία ανεξαρτήτως σημαίας και ιδιοκτησίας. Με τη μετάβαση στην ηλεκτρική πρόωση, τα θαλάσσια σκάφη εξασφαλίζουν ενσωματωμένη ευελιξία η οποία όχι μόνο μπορεί να μειώσει τις εκπομπές και να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση καυσίμων, αλλά καθίσταται ταυτόχρονα ελαφρύτερη, καταλαμβάνει λιγότερο χώρο, με χαμηλότερα επίπεδα θορύβου και κραδασμών, και μειωμένο κόστος συντήρησης. Η βιομηχανία, τα τελευταία χρόνια, κινείται προς αυτήν την κατεύθυνση, και πρέπει να συμβάλουμε στην ενίσχυση και εγκαθίδρυση αυτής της τάσης. Το προαναφερθέντα είναι τα κίνητρα αυτής της εργασίας, η δομή της οποίας αναλύεται ακολούθως. Σκοπός αυτής είναι αρχικά η διερεύνηση της τεχνοοικονομικής σκοπιμότητας της μετασκευής υφιστάμενων Ε/Γ Ο/Γ πλοίων σε πλήρως ηλεκτρικά. Μετέπειτα περιλαμβάνεται ο προ-υπολογισμός του κόστους, η ανάλυση της σύγκρισης των εξοικονομήσεων καυσίμων και ενέργειας και λειτουργίας ενός έτους και η κατάλληλη υποδομή και διάταξη στην πλευρά της ξηράς. Επίσης παρέχονται πληροφορίες για τα εκπεμπόμενα αέρια του θερμοκηπίου, τις επιπτώσεις τους, καθώς επίσης τις νομοθεσίες γύρω από αυτά και μερικούς τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος που δημιουργούν ενώ αναλύονται τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών, η δομή τους καθώς και οι τεχνολογίες και οι χημικές συστάσεις τους. Επιπλέον, περιγράφεται το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο για την έναρξη λειτουργίας πλήρως ηλεκτροκίνητων πλοίων και για την εγκατάσταση ενός συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά, πριν τον τεχνικό σχεδιασμό της μετατροπής. Ακόμα περιγράφονται οι εννοιολογικές ηλεκτρικές τοπολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στο σκάφος και την ξηρά. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σκάφους και την ισχύ, διαφορετικές διαμορφώσεις εξετάζονται για δίκτυα διανομής ρεύματος εναλλασσόμενου ή συνεχούς, και για συστήματα υψηλής ή χαμηλής τάσης. Αναλύεται η μεθοδολογία σχεδιασμού σχετικά με την εκτίμηση της απαιτούμενης χωρητικότητας της μπαταρίας επί του πλοίου, σύμφωνα με το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου και τα κριτήρια ασφάλειας. Ανάλογα με το σενάριο λειτουργικών χαρακτηριστικών, την εγκατεστημένη ισχύ του σκάφους, τις διαδικασίες φόρτισης, και τις μπαταρίες, δημιουργούνται προδιαγραφές για την αξιολόγηση της σημασίας της κάθε παραμέτρου. Τα αποτελέσματα κάθε σεναρίου είναι ο συνολικός αριθμός των μπαταριών που χρειάζονται, η τιμή τους, το βάρος και ο όγκος τους, καθώς και το προσδόκιμο ζωής τους. Η μεθοδολογία μετασκευής εξηλεκτρισμού εφαρμόζεται σε ένα τυπικό Ε/Γ Ο/Γ πλοίο. Επιπλέον, σύμφωνα με το επιλεγμένο σενάριο, υπολογίζεται η τιμή εγκατάστασης του συστήματος και η εξοικονόμηση από την κατανάλωση καυσίμου. Τέλος, πραγματοποιείται οικονομική εκτίμηση του έργου, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης του κόστους των εξωτερικών δαπανών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	7
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	7
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	8
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ	8
ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ.....	8
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	8
ΜΕΣΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	9
ΔΙΕΘΝΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	9
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΠΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ, ΕΠΙ ΞΗΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	12
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΛΟΙΟΥ : ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ DIESEL ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΚΟΡΕΑΤΙΚΟΥ RoPax.....	16
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	16
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	17
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΚΟΡΕΑΤΙΚΟΥ RoPax	18
LIFE CYCLE ASSESSMENT	22
ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	22
LCI	22
ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	23
ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	24
ΣΤΑΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ	25
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	26
DIESEL VS ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	27
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	28
ΘΕΜΑΤΑ ΥΠΟ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	28
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	29
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	31
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	31
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	31
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	32
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΠΟΥ ΔΙΑΤΙΘΕΝΤΑΙ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ.....	32
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΝΙΑΣ.....	35

PROJECTS ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	39
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΠΙΛΟΤΙΚΩΝ PROJECTS	39
ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ PROJECTS ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	40
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	41
ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	41
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ.....	47
ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ.....	47
ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ	48
ΚΟΣΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	49
CAPEX	49
OPEX	49
ΠΡΟΤΥΠΑ, ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ. 49	
ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ – ΙΜΟ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΡΑΤΩΝ/ΣΗΜΑΙΩΝ.....	49
ΚΩΔΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ	50
ΚΑΝΟΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ DNV GL.....	52
ΚΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ	52
ΑΣΦΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ.....	53
ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ	53
BATTERY MANAGEMENT SYSTEM – BMS.....	54
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	54
ΟΡΙΟΘΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	57
ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ	57
ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	60
ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	61
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	64
ΧΩΡΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	65
ΔΙΑΤΑΞΗ ΧΩΡΩΝ.....	66
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	67
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΙ	69
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΣΥΝΔΕΣΗΣ ΞΗΡΑΣ – ΠΛΟΙΟΥ	71
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΞΗΡΑΣ	71
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ	74
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΠΟΡΘΟΜΕΙΟΥ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΟΥ – ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ	77
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΟΡΘΟΜΕΙΟΥ.....	77
ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ.....	79
ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	80

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΞΗΡΑΣ ΚΑΙ ΣΚΑΦΟΥΣ	82
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	83
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	84
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ	84
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	85
NPV (ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ)	87
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Αέριο του θερμοκηπίου (ή Greenhouse Gas ή GHG), είναι τύπος αερίου σε μια ατμόσφαιρα, που απορροφά και εκπέμπει ακτινοβολία εντός της θερμικής υπέρυθρης εμβέλειας. Η διαδικασία αυτή είναι η πρωταρχική αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα βασικά αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης είναι οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, το όζον. Τα αέρια του θερμοκηπίου επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμοκρασία της Γης. Χωρίς αυτά η επιφάνεια της γης θα ήταν κατά μέσο όρο, περίπου 33° C ψυχρότερη, δηλαδή περίπου 15° C (59 ° F) κάτω από το σημερινό μέσο όρο των 14° C. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης (λαμβάνεται ως το έτος 1750), η καύση των ορυκτών καυσίμων και η εκτεταμένη εκκαθάριση των έμφυτων δασών, συνέβαλε στην αύξηση κατά 40% της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης σε διοξείδιο του άνθρακα, από 280, σε 392,6 στοιχεία ανά εκατομμύριο (parts per million, ppm) το 2012, ενώ τώρα έχει φτάσει τα 400 ppm στο βόρειο ημισφαίριο. Η αύξηση αυτή, συνέβη παρά την πρόσληψη ενός μεγάλου τμήματος των εκπομπών από διάφορες φυσικές "δεξαμενές άνθρακα" (carbon sinks, π.χ. ένα δάσος, ωκεανοί κτλ.) που συμμετέχουν στον κύκλο του άνθρακα. Μια δεξαμενή άνθρακα είναι κάτι που απορροφά περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από αυτό που απελευθερώνει, ενώ μια πηγή άνθρακα είναι κάτι που απελευθερώνει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι μπορεί να απορροφήσει. Τα δάση, τα εδάφη, οι ωκεανοί και η ατμόσφαιρα, αποθηκεύουν άνθρακα, και αυτός κινείται μεταξύ τους σε ένα συνεχή κύκλο. Ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (δηλαδή, οι εκπομπές που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες) προέρχονται από την καύση των καυσίμων με βάση τον άνθρακα, κυρίως το ξύλο, κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Όπως προαναφέρθηκε , τα αέρια του θερμοκηπίου είναι εκείνα που μπορούν να απορροφούν και να εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία, αλλά όχι την ακτινοβολία μέσα ή κοντά στο ορατό φάσμα.

Τα αέρια του θερμοκηπίου, στο μεγαλύτερο ποσοστό, στην ατμόσφαιρα της Γης είναι:

- Υδρατμοί (Water vapor, H₂O)
- Διοξείδιο του άνθρακα (Carbon dioxide, CO₂)
- Μεθάνιο (Methane, CH₄)
- Νιτρώδες οξείδιο (Nitrus oxide, N₂O)
- Όζον (Ozone, O₃)²³
- Χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbons, CFCs)

Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, προσδιορίζονται από την ισορροπία μεταξύ των πηγών (τις εκπομπές του αερίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα φυσικά συστήματα) και των δεξαμενών (την αφαίρεση του αερίου από την ατμόσφαιρα με μετατροπή σε μια διαφορετική χημική ένωση). Το ποσοστό της εκπομπής που παραμένει στην ατμόσφαιρα μετά από ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, είναι το "αερομεταφερόμενο κλάσμα" ("Airborne fraction", AF). Πιο συγκεκριμένα, το ετήσιο AF είναι ο λόγος, της ατμοσφαιρικής αύξησης σε ένα δεδομένο έτος, προς τις συνολικές εκπομπές εκείνου του έτους. Για το CO₂, το AF, έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών (1956-2006) κατά 0,25 ± 0,21% / έτος.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Υπό τις συνεχιζόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τα διαθέσιμα Μοντέλα Συστημάτων της Γης, εκτιμούν ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της θα μπορούσε να υπερβεί τις ιστορικές μετρήσεις πολύ σύντομα, από το 2047, επηρεάζοντας τα περισσότερα οικοσυστήματα της Γης και των συνθηκών διαβίωσης σε πάνω από 3 δισεκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Τα αέρια του θερμοκηπίου επίσης προκαλούν βιογεωχημικές αλλαγές στους ωκεανούς, με ευρείες επιπτώσεις στα θαλάσσια συστήματα.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ

- Οι συνολικές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αναμένεται να αυξηθούν.
- Η υπερθέρμανση του πλανήτη θα μειώσει το χιόνι, το θαλάσσιο πάγο και την κάλυψη των παγετώνων, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την αύξηση παράκτιων πλημμυρών.
- Καταιγίδες και κύματα καύσωνα είναι πιθανόν να αυξηθούν σε συχνότητα και σοβαρότητα.
- Πολλά άγρια είδη θα έχουν δυσκολίες προσαρμογής σε ένα θερμότερο κλίμα, καθώς και τα χωροκατακτητικά είδη (species) θα βιώσουν πιθανότατα μεγαλύτερη πίεση από τις ασθένειες

ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

- Ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι, αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο από τις αλλαγές.
- Αυξημένες θερμοκρασίες και πιο συχνά και σοβαρά φαινόμενα ακραίων καιρικών συνθηκών θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξημένο κίνδυνο θανάτου από αφυδάτωση και θερμοπληξία αλλά και σε τραυματισμούς από τις έντονες τοπικές αλλαγές του καιρού.
- Μπορεί να υπάρχει αυξημένος κίνδυνος αναπνευστικών και καρδιαγγειακών προβλημάτων και ορισμένων τύπων καρκίνων, καθώς οι θερμοκρασίες που αυξάνονται επιδεινώνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Ο κίνδυνος για μεταδιδόμενες ασθένειες του νερού και των τροφίμων, μπορεί να αυξηθεί.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία, τις καλλιέργειες και τα δάση, τα οικοσυστήματα και το κλίμα συνεπάγονται επίσης σημαντικό κόστος στο εμπόριο αλλά και εκτός αυτού. Το κόστος στην αγορά εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνει μειωμένη παραγωγικότητα στην εργασία, πρόσθετες δαπάνες για την υγεία και απώλειες σε καλλιέργειες και δασικές εκτάσεις. Ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) υπολογίζει το κόστος αυτό να φτάσει περίπου στο 2% του ευρωπαϊκού ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) το 2060 (ΟΟΣΑ, 2016), με αποτέλεσμα τη συσσώρευση κεφαλαίου και την επιβράδυνση της οικονομικής ανάπτυξης. Το κόστος εκτός εμπορίου (επίσης αναφέρεται ως κόστος ευημερίας) είναι αυτό που σχετίζεται με την αυξημένη θνησιμότητα και νοσηρότητα (αιτία ασθένειας, π.χ. πόνος και ταλαιπωρία), την

υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα και των υδάτων και συνεπώς την υγεία των οικοσυστημάτων, καθώς και την κλιματική αλλαγή. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι τα συνολικά εξωτερικά κόστη που σχετίζονται με την υγεία το 2010, ήταν στο φάσμα των 330 – 940 δισεκατομμυρίων ευρώ, συμπεριλαμβανομένων των άμεσων οικονομικών ζημιών ύψους 15 δισεκατομμυρίων ευρώ από τις χαμένες εργάσιμες μέρες, 4 δισεκατομμυρίων ευρώ από τα έξοδα υγειονομικής περίθαλψης, 3 δισεκατομμυρίων ευρώ από την απώλεια καλλιεργειών και 1 δισεκατομμυρίου ευρώ από ζημιές στα κτήρια (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2013). Οι δυνητικές συνολικές οικονομικές επιπτώσεις, τόσο της αγοράς όσο και των μη εμπορικών, της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι πολύ σημαντικές και υπογραμμίζουν την ανάγκη για ισχυρή πολιτική δράση.

ΜΕΣΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Τα πλοία είναι μια σημαντική πηγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σαφώς όμως είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών μέσω διεθνών κανονισμών. Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει τις δυνατότητες που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και άλλων συναφών ουσιών, από τεχνολογική άποψη. Κατ' αρχήν, υπάρχουν πέντε βασικές κατηγορίες επιλογών για τη μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τη ναυτιλία:

1. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή να γίνεται πιο χρήσιμο έργο με την ίδια κατανάλωση ενέργειας. Αυτό ισχύει τόσο για το σχεδιασμό, όσο και για τη λειτουργία των πλοίων.
2. Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή.
3. Χρήση καυσίμων με λιγότερες συνολικές εκπομπές στον κύκλο-καύσιμου ανά μονάδα έργου, όπως τα βιο-καύσιμα και το φυσικό αέριο.
4. Χρήση τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών - δηλαδή επίτευξη της μείωσης των εκπομπών μέσω χημικής μετατροπής, δέσμευσης και αποθήκευσης και άλλες επιλογές.
5. Εξάλειψη των εκπομπών, χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια για όλο το εύρος των αναγκών του πλοίου (π.χ. πρόωση, φορτοεκφόρτωση κλπ.) με ηλεκτρικούς κινητήρες και μπαταρίες. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η πρόωση των πλοίων με μπαταρίες.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η ΜΕΡC 64 συνέχισε τη βελτίωση των EEDI και SEEMP προκειμένου να τα θέσει σε ισχύ τον Ιανουάριο του 2013. Αναπτύχθηκαν προσωρινές κατευθυντήριες γραμμές για τη διατήρηση της ελάχιστης απαιτούμενης ισχύος για ελιγμούς, με το στόχο να υιοθετηθούν από την MSC (Mediterranean Shipping Company) το Νοέμβριο του 2012. Η προσωρινή λύση επηρέαζε μόνο φορτηγά πλοία και δεξαμενόπλοια. Η ελάχιστη απαίτηση δύναμης εξαρτιόταν από την μεταφορική ικανότητα, DWT του πλοίου. Εάν ένα πλοίο είχε λιγότερη ισχύ, θα έπρεπε να διεξαχθεί μια πιο λεπτομερή αξιολόγηση για την εξασφάλιση της ικανότητας ελιγμών σε έντονες συνθήκες, BF8. Τα σκάφη άνω των 400 GT (gross tones) απαιτείται να έχουν πιστοποιητικό IAPP (International Air Pollution Prevention), από τότε που ο IMO εισήγαγε το παράρτημα VI ως πρωτόκολλο το 1997. Έτσι, τα πλοία που ανήκουν σε τμήματα της MARPOL 73/78 πρέπει να εκδώσουν πιστοποιητικό IAPP. Πριν από την έκδοση του πιστοποιητικού το κράτος της σημαίας θα πρέπει να επιβεβαιώσει τη συμμόρφωση με τους

ισχύοντες κανονισμούς που περιέχονται στο εσωτερικό του παραρτήματος. Η συνεχόμενη ισχύς του πιστοποιητικού θα απαιτείται ετήσια/ενδιάμεση επισκόπηση και επισκόπηση ανανέωσης, οι οποίες θα πρέπει να διεκπεραιωθούν ικανοποιητικά. Για την ανανέωση του πιστοποιητικού IAPP, η προετοιμασία θα έγκειται στο γεγονός ότι το πλοίο συμμορφώνεται με τις διατάξεις του παραρτήματος VI. Πιο συγκεκριμένα, η προετοιμασία, σχετικά με διαφορετικούς κανονισμούς σύμφωνα με το παράρτημα VI, θα είναι:

Κανονισμός 12 - Ουσίες καταστροφής του όζοντος.

Ο παρόν κανονισμός δεν ισχύει για εξοπλισμό μόνιμα σφραγισμένο, όπου δεν υπάρχει σύνδεση ψυκτικής επαναφόρτισης. Με την επιφύλαξη του παρόντος κανονισμού οποιαδήποτε εσκεμμένη εκπομπή ODS (Ozone Depleting Substances) θα πρέπει να απαγορεύεται. Επίσης, μετά την 19η Μαΐου του 2005, κάθε εγκατάσταση που περιέχει άλλων ODS εκτός του HCFC (Chlorodifluoromethane, Χλωροδιφθορομεθάνιο) απαγορεύεται. Εγκαταστάσεις που περιέχουν HCFC επιτρέπονται μέχρι 1 Ιανουαρίου του 2020.

Καταγραφές & έγγραφα που πρέπει να διατηρούνται:

- Μια λίστα των συσκευών που περιέχουν ODS. 29
- Εάν το πλοίο έχει οποιαδήποτε επαναφορτιζόμενο σύστημα που περιέχει ODS, τότε θα πρέπει να διατηρείται ένα βιβλίο-καταγραφών ODS. Αυτό το βιβλίο θα πρέπει να εγκριθεί από τη διοίκηση.
- Οι ενδείξεις στο βιβλίο ODS πρέπει να καταγράφονται σε σχέση με τη μάζα (kg) της ουσίας σε σχέση με:
 - α) επαναφόρτιση του εξοπλισμού,
 - β) επισκευή ή συντήρηση,
 - γ) απόλυση των ODS στην ατμόσφαιρα είτε σκόπιμη ή μη σκόπιμη,
 - δ) απόλυση των ODS στις εγκαταστάσεις ξηράς,
 - ε) προμήθεια ODS στο πλοίο.

Κανονισμός 13 - Έλεγχος των εκπομπών NOx

Ο παρών κανονισμός ισχύει για τα πλοία που έχουν κινητήρα μεγαλύτερο από 130 KW. Οι κινητήρες χωρίζονται σε 3 κατηγορίες και κάθε κατηγορία έχει διαφορετικό περιορισμό των εκπομπών NOx, ανάλογα με τις στροφές (RPM) του κινητήρα. Οι εκπομπές NOx μπορούν να ελέγχονται με 3 μεθόδους.

Καταγραφές & έλεγχοι που πρέπει να διατηρούνται στις διάφορες μεθόδους:

- Παραμετρική μέθοδος κινητήρα:
 - α) Το πιστοποιητικό EIAPP (Engine-IAPP) εκδίδεται σε όλες τις μηχανές που κατατάσσονται στις πιο πάνω κατηγορίες. Το πιστοποιητικό αυτό εκδίδεται μετά την απόδειξη της συμμόρφωσης με τα όρια εκπομπών NOx.
 - β) Όλοι οι πιστοποιημένοι κινητήρες παραδίδονται με ένα ατομικό τεχνικό φάκελο που περιέχει τις προδιαγραφές συμμόρφωσης του κινητήρα με τον κανονισμό NOx. Ο τεχνικός φάκελος NOx πρέπει να βρίσκεται επί του σκάφους.

γ) Η μέθοδος παραμετρικού ελέγχου του κινητήρα απαιτεί IMO-σήμανση (identification markings) για την επίδραση των συστατικών NOx. Όλα τα εξαρτήματα που απαριθμούνται πρέπει να έχουν IMO-σήμανση σύμφωνα με τον τεχνικό φάκελο. Όσον αφορά στα εξαρτήματα, αν ανανεωθούν με νέα ανταλλακτικά, η IMO-σήμανση για τα νέα ανταλλακτικά θα πρέπει να είναι σύμφωνη με το τεχνικό φάκελο και πρέπει να διατηρείται σε ένα μητρώο.

- Απλοποιημένη μέθοδος μέτρησης:

- α) πιστοποιητικό EIAPP,

- β) τεχνικός φάκελος,

- γ) όλες οι συστάσεις από τον κατασκευαστή του κινητήρα να έχουν εγκριθεί από τη διοίκηση σχετικά με την απλοποιημένη μέθοδο μέτρησης

- δ) αποτέλεσμα δοκιμής.

- Μέθοδος Άμεσης παρακολούθησης & μέτρησης:

- α) πιστοποιητικό EIAPP,

- β) τεχνικός φάκελος που να περιλαμβάνει το εγχειρίδιο παρακολούθησης του σκάφους,

- γ) έγκριση του εγκατεστημένου εξοπλισμού μέτρησης,

- δ) καταγεγραμμένα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Κανονισμός 14: - Έλεγχος των εκπομπών Sox

Υπό αυτό τον κανονισμό, οι εκπομπές SOx είναι περιορισμένες, και ο περιορισμός βασίζεται στο αν το πλοίο είναι στην ελεγχόμενη περιοχή εκπομπής (Emission Controlled Area, ECA) ή εκτός αυτής.

Καταγραφές & έγγραφα που πρέπει να διατηρούνται:

- Τα πλοία που χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα για ECA, πρέπει να είναι εφοδιασμένα με την καταγεγραμμένη διαδικασία, δείχνοντας το πώς είναι προμελετημένη να γίνει η μετάβαση καυσίμου. Αυτό το σχέδιο πρέπει να εγκριθεί από τη διοίκηση.

- Η ημερομηνία, η ώρα, η θέση του πλοίου, όταν κάθε διαδικασία μετάβασης καυσίμου έχει ολοκληρωθεί, θα πρέπει να καταγράφονται στο ημερολόγιο του πλοίου, καθώς αυτό προβλέπεται από τη διοίκηση.

Κανονισμός 15: Άστατες Οργανικές Ενώσεις

Καταγραφές & έγγραφα που πρέπει να διατηρούνται:

- Όλα τα δεξαμενόπλοια που υπόκεινται σε έλεγχο των εκπομπών ατμού, σύμφωνα με την παραπάνω απαίτηση, θα πρέπει να εφοδιάζονται με ένα εγκεκριμένο σύστημα συλλογής ατμών και θα το χρησιμοποιούν κατά τη διάρκεια της φόρτωσης. Αυτό θα πρέπει να καταγράφεται.

- Δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου άνω των 400 GT πρέπει να εφαρμόσουν και να διατηρήσουν επί του σκάφους, ένα σχέδιο διαχείρισης VOC (Volatile Organic Compound)

εγκεκριμένο από τη διοίκηση. Θα πρέπει να ελέγχεται πριν από την επισκόπηση ανανέωσης.

Κανονισμός 16: Αποτέφρωση επί του πλοίου

Μια ειδοποίηση που θα περιέχει το υλικό που πρόκειται να αποτεφρωθεί πρέπει να αναρτηθεί στον αποτεφρωτήρα. Επίσης, η ποσότητα που αποτεφρώνεται θα πρέπει να καταγράφεται στο βιβλίο καταγραφής απορριμμάτων, μαζί με την ώρα και τη θέση του πλοίου.

Κανονισμός 18: Διαθεσιμότητα και ποιότητα υγρού καυσίμου

Έγγραφα που πρέπει να διατηρούνται:

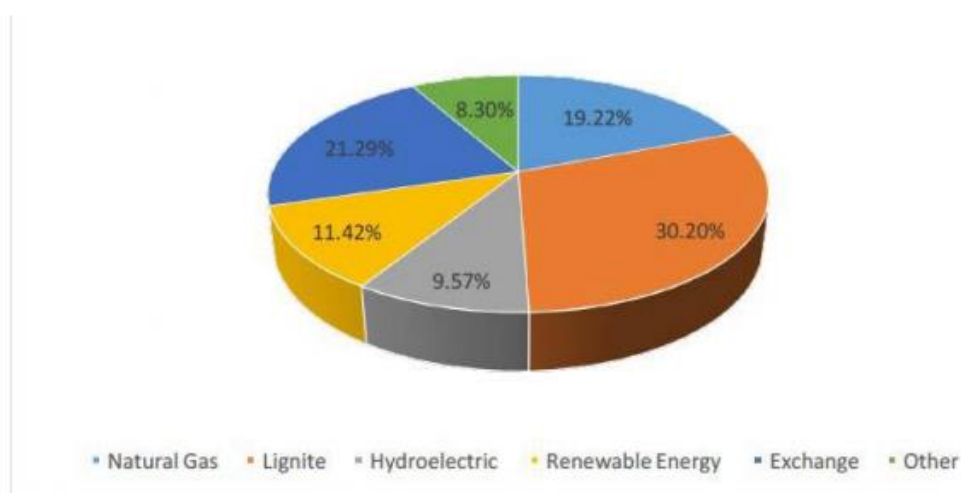
- Είναι προϋπόθεση ότι οποιαδήποτε διαδικασία παράδοσης και χρήσης υγρού καυσίμου επί του πλοίου, που προορίζεται για καύση, θα πρέπει να καταγράφεται στο δελτίο παράδοσης καυσίμου (Bunker Delivery Note, BDN). Το BDN θα πρέπει να διατηρείται επί του σκάφους για τουλάχιστον 3 χρόνια.
- Κάθε BDN πρέπει να συνοδεύεται από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του καυσίμου που παραδίδεται. Το δείγμα πρέπει να σφραγίζεται και να υπογράφεται τόσο από τον εκπρόσωπο του προμηθευτή όσο και τον υπεύθυνο αξιωματικό υπηρεσίας. Το δείγμα πρέπει να διατηρείται επί του σκάφους για τουλάχιστον 12 μήνες. Έτσι, διατηρώντας όλα τα παραπάνω έγγραφα έτοιμα, η επισκόπηση IAPP μπορεί να διεκπεραιωθεί εύκολα και το πιστοποιητικό IAPP μπορεί να ανανεωθεί.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΠΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ, ΕΠΙ ΞΗΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Τα πλοία με μπαταρίες που φορτίζονται από το δίκτυο καθώς και οι περιβαλλοντικές εξοικονομήσεις, εξαρτώνται από τις εκπομπές που δημιουργούνται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή. Επομένως, σε αυτή την παράγραφο, θα συγκρίνουμε την ποσότητα των ρύπων που εκπέμπονται από την παραγωγή ενέργειας επί πλοίου, με αυτή από την παραγωγή ενέργειας στην ξηρά (εθνικό δίκτυο κοινής ωφέλειας). Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα παράγεται με διάφορες μεθόδους. Ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής παραγωγής (30%) προέρχεται από λιγνιτικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι είναι ρυπογόνοι, αλλά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας λιγνίτη στο ελληνικό έδαφος. Σχεδόν το 20% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται σε σταθμούς παραγωγής φυσικού αερίου και ένα άλλο 20% προέρχεται από την ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας με την Ιταλία, τη Βουλγαρία, την ΠΓΔΜ και την Αλβανία. Η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η υδροηλεκτρική ενέργεια, αντιπροσωπεύει μόλις το 20% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΥΠΟ		
Τύπος	GWh	Χρήση (%)
Φυσικό Αέριο	2458	19.22
Λιγνίτης	3862	30.2
Υδροηλεκτρικός	1224	9.57
Ανανεώσιμες Πηγές	1460	11.42
Συναλλαγή	2722	21.29
Άλλοι	1061	8.3
Σύνολο	12787	100

Εικόνα 1: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Ανά Τύπο Στην Ελλάδα



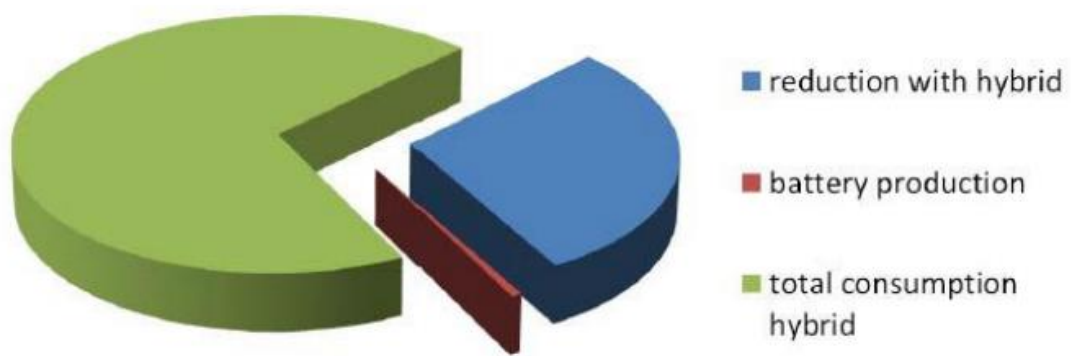
Εικόνα 2: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Ανά Τύπο Στην Ελλάδα

Με βάση τις πληροφορίες που υπάρχουν στις ετήσιες εκθέσεις της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΑΔΜΗΕ 2016), οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τις εκπομπές CO₂, SO_x, NO_x και PM σε g/kWh. Οι μονάδες παραγωγής λιγνίτη είναι οι πλέον ρυπογόνες με σχεδόν 1000 γραμμάρια CO₂ και 2.8 γραμμάρια SO_x ανά παραγόμενη kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά, σταθμοί παραγωγής λιγνίτη και φυσικού αερίου στην Ελλάδα βρίσκονται μακριά από κατοικημένες πόλεις και ως εκ τούτου υπάρχει ένα μικρό ποσοστό του πληθυσμού που επηρεάζεται άμεσα από τις εκπομπές τους.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ					
Τύπος	Χρήση	CO ₂	SO _x	NO _x	PM
	(%)	kWh			
Φυσικό Αέριο	19.22	584.8	0.02	0.3	0.03
Λιγνίτης	30.2	984.3	2.8	2.3	1.02
Υδροηλεκτρικός	9.57	0	0	0	0
Ανανεώσιμες Πηγές	11.42	0	0	0	0
Συναλλαγή	21.29	0	0	0	0
Άλλοι	8.3	0	0	0	0
Σύνολο	100	402.8	0.85	0.752	0.314
Επί πλοίου		638	0.2	12.05	0.45

Εικόνα 3: Σύγκριση Των Εκπομπών Από Την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Στην Ελλάδα Με Αυτή Επί Του Πλοίου

Συγκρίνοντας τους συντελεστές εκπομπών της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά με εκείνους της παραγωγής ισχύος επί πλοίου, το συμπέρασμα είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά αποτελεί μια πιο «πράσινη» επιλογή. Σύμφωνα με το γεγονός, επίσης, πως προβλέπεται ότι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί τα επόμενα χρόνια στην Ελλάδα, τα πλοία υπό εκσυγχρονισμό θα είναι έτοιμα να είναι τα πρώτα σκάφη με 100% μηδενικές εκπομπές. Τέλος, για τις ερωτήσεις που μπορεί να τίθενται σχετικά με το πόσο φιλικές προς το περιβάλλον είναι οι λύσεις που βασίζονται στην μπαταρία, εκτιμάται ότι σε μια προοπτική κύκλου ζωής, η ενέργεια και οι εκπομπές από την παραγωγή των μπαταριών, είναι μικρές σε ποσότητα σε σύγκριση με την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται, κυρίως λόγω των πολλών ωρών λειτουργίας σύμφωνα με τον DNV-GI. Σε αντίθεση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, που περιέχουν δηλητηριώδες μόλυβδο, μπαταρίες νικελίου-καδμίου που περιέχουν ακόμη πιο δηλητηριώδες κάδμιο και NiMH που περιέχουν σπάνια υλικά της γης, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περιέχουν μη δηλητηριώδη υλικά και πολύ λίγα σπάνια υλικά της γης. Το κύριο περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους δημιουργείται από την ενέργεια που χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία, αλλά όπως φαίνεται από μια πρόσφατη έρευνα σχετικά με τις εκπομπές CO₂ (για ένα υβριδικό πλοίο που χρησιμοποιεί σύστημα μπαταριών 300kWh που κινείται από τον DNV-GI), τα περιβαλλοντικά οφέλη των συστημάτων μπαταριών της ναυτιλίας, υπερβαίνουν κατά πολύ τις αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την ίδια την παραγωγή μπαταριών.



Εικόνα 4: Απεικόνιση Της Κατανομής Των Εκπομπών CO₂, Για Υβριδικό Πλοίο Που Χρησιμοποιεί Σύστημα

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΛΟΙΟΥ : ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ DIESEL ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΚΟΡΕΑΤΙΚΟΥ RoPax

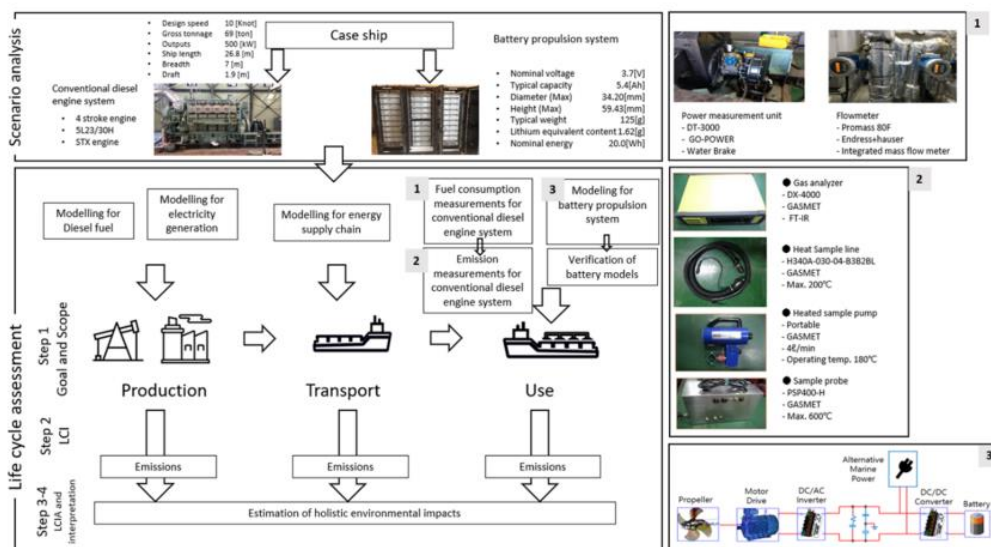
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στη διερεύνηση των περιβαλλοντικών οφελών από τη χρήση συστήματος μπαταριών σε επιβατηγό πλοίο roll-on / roll off (ro-ro), στην παράκτια υπηρεσία της Κορέας, το οποίο αρχικά χρησιμοποιούσε κινητήρα diesel. Η έρευνα έχει πολλαπλά επίπεδα. Πρώτον, καταγράφηκε το υπηρεσιακό προφίλ του εν λόγω πλοίου, όπως η ταχύτητα, ο χρόνος λειτουργίας και η διαμόρφωση του συστήματος πρόωσης diesel. Δεύτερον, το πλήρες σύστημα πρόωσης με μπαταρία, αντί του diesel, μοντελοποιήθηκε και προσομοιώθηκε σε μια πλατφόρμα λογισμικού προσομοίωσης ισχύος (PSIM). Στη συνέχεια, η μέθοδος αξιολόγησης του κύκλου ζωής εφαρμόστηκε για τη συνολική σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του ντίζελ-μηχανικού και του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου. Δόθηκε έμφαση στον κύκλο ζωής των ενεργειακών πηγών από τις οποίες έγινε κατανάλωση από το συγκεκριμένο πλοίο, λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα κατάσταση εισαγωγών και παραγωγής ενέργειας της Νότιας Κορέας. Στην ανάλυση εξετάστηκαν τρία στάδια του κύκλου ζωής: η παραγωγή, η μεταφορά και η χρήση. Με την βοήθεια της έκδοσης του λογισμικού Sphera GaBi 2019 και της εκτεταμένης βιβλιοθήκης δεδομένων του, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αξιολογήθηκαν στα στάδια παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας, ενώ οι ίδιες επιπτώσεις στο στάδιο χρήσης προσδιορίστηκαν με βάση τις πραγματικές εργαστηριακές μετρήσεις. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συζητήθηκαν για τα δύο σενάρια, κατηγοριοποιούνται σε τέσσερα φαινόμενα: υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP), οξίνιση (AP), ευτροφισμός (EP) και δημιουργία φωτοχημικού όζοντος (POCP). Μια σειρά αναλύσεων έδειξε ότι η ενσωμάτωση μπαταριών σε ναυτιλιακές εφαρμογές μπορεί να μην είναι πάντα η καλύτερη λύση. Οι τύποι πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα αποτελέσουν βασικό παράγοντα για τον προσδιορισμό του εάν η τεχνολογία της μπαταρίας μπορεί τελικά να αποτελέσει την πιο φιλική περιβαλλοντικά επιλογή. Με την αμφιβολία για τα οφέλη από την πρόωση με μπαταρίες, το κεφάλαιο αυτό προσφέρει μια σημαντική ιδέα για την ανάπτυξη ενός σωστού χάρτη για την ηλεκτροκίνηση του πλοίου με μηδενικές εκπομπές.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη ναυτιλία, η μετάβαση από τα συμβατικά προϊόντα πετρελαίου σε εναλλακτικά καύσιμα είναι περισσότερο σημαντική από ποτέ, καθώς οι περιβαλλοντικές ανησυχίες αυξάνονται και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός καθώς και οι τοπικές κυβερνήσεις επιβάλλουν αυστηρότερους κανονισμούς. Η ηλεκτρική πρόωση με τα συστήματα μπαταριών έχουν αναγνωριστεί ως μία από τις πιο αξιόπιστες επιλογές για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος και επιτυγχάνουν την απανθράκωση στη θαλάσσια βιομηχανία. Φορτίζοντας την μπαταρία από το παράκτιο ηλεκτρικό δίκτυο επιτυγχάνονται μηδενικές εκπομπές κατά την λειτουργία των πλοίων. Χάρη στην αξιοσημείωτη τεχνολογική πρόοδο στα συστήματα μπαταριών, ο αριθμός των πλοίων με μπαταρία αυξάνεται ραγδαία παγκοσμίως. Από τον Μάρτιο του 2019, περισσότερα από 150 υβριδικά πλοία χρησιμοποιούν συστήματα μπαταριών ως κύρια ή / και δευτερεύουσα πηγή ισχύος.

Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από εφαρμογές μπαταριών σε πλοία, οι περισσότερες έρευνες και δημοσιεύσεις έχουν δώσει έμφαση στις μηδενικές εκπομπές στο στάδιο λειτουργίας των πλοίων. Εν τω μεταξύ, έχουν γίνει προσπάθειες να επεκταθεί το πεδίο των περιβαλλοντικών εκτιμήσεων στον κύκλο ζωής του υβριδικού πλοίου. Οι Jeong et al. συνέβαλαν στη μεθοδολογική βελτίωση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA). Οι Ling-Chin και Roskilly διερεύνησαν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός υβριδικού συστήματος ισχύος σε φορτηγό πλοίο roll-on / roll-off από άποψη βιωσιμότητας. Αυτές οι μελέτες επικεντρώθηκαν στη σύγκριση της απόδοσης του κύκλου ζωής των συστημάτων μπαταρίας και των κινητήρων diesel, λαμβάνοντας υπόψη την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος του πλοίου. Η υπεροχή των υβριδικών πλοίων έχει αποδειχθεί μέσω αυτών των μελετών και τα αποτελέσματα είναι ίδια με αυτές των μελετών LCA για εφαρμογές μπαταριών στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Από την άλλη πλευρά, αυτές οι μελέτες LCA αποκαλύπτουν ότι εάν η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από την ακτή στο πλοίο, μέσω σύνδεσης plug-in, η χρήση μπαταριών απαιτεί επιπλέον δραστηριότητα για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς παραγωγής στην ξηρά, οι οποίες ενδέχεται να αυξήσουν τις εκπομπές κατά τη διάρκεια της φάσης παραγωγής. Προτάθηκε η μελέτη μιας περίπτωσης βασισμένης στην διαδικασία LCA με εργαστηριακά πειράματα. Η προσέγγιση της μελέτης αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από δύο μέρη: την ανάλυση σεναρίων και την LCA.



Εικόνα 5: Περιγραφή για Την Περιβαλλοντική Εκτίμηση Του Κύκλου Ζωής Για Πλοία Μπαταριών Και Πλοία Diesel.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η ανάλυση σεναρίου προτάθηκε για τον καθορισμό του πεδίου και του ορίου της συγκριτικής ανάλυσης μεταξύ των συστημάτων μπαταρίας και diesel, ενώ λαμβάνει υπόψη τις προδιαγραφές της περίπτωσης καθώς και τις πρακτικές λειτουργίες του. Ένας τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας (κινητήρας STX 5L23 / 30H) πανομοιότυπος με τον κινητήρα που τοποθετείται στο συγκεκριμένο πλοίο δημιουργήθηκε στο εργαστήριο έτσι ώστε οι εκπομπές του κινητήρα να μπορούν να μετρηθούν κατά τη διάρκεια των δοκιμών σε σχέση με το πραγματικό προφίλ λειτουργίας του πλοίου. Επιπλέον, το σύστημα

μπαταριών διαμορφώθηκε εικονικά και η εγκυρότητα του αποδείχθηκε μέσω προσομοίωσης PSIM.

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΚΟΡΕΑΤΙΚΟΥ RoPax

Ένας από τους πιο συνηθισμένους τύπους σκαφών της Κορέας επιλέχθηκε ως το υπό εξέταση πλοίο. Τα Roll on/roll off και τα επιβατηγά αντιπροσωπεύουν το 61% των πλοίων της Κορέας. Αποτελούν τα 102 από τα 167 πλοία σύμφωνα με τις ναυτιλιακές στατιστικές του 2017. Τα χαρακτηριστικά του άνωθεν πλοίου παρατίθενται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 6: Το Υπό Εξέταση Πλοίο

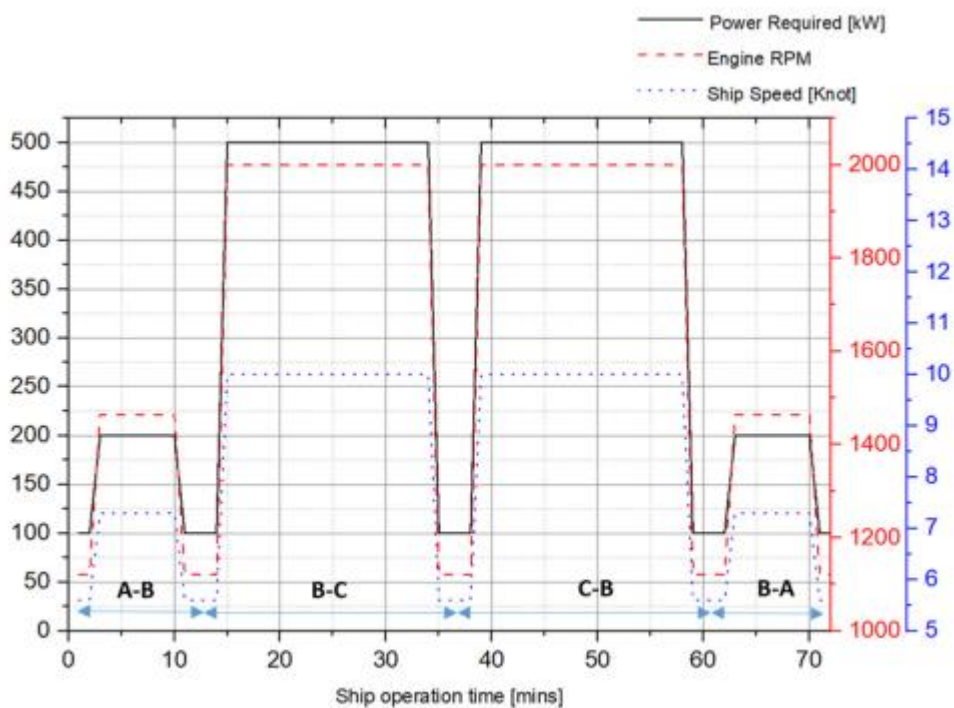
Item	Specification (Unit)
Design speed	10 (Knot)
Gross tonnage	69 (ton)
Outputs	500 (kW) at 400 (rpm)
Operation time (voyage)	72 (mins)
Ship length	26.8 (m)
Breadth	7 (m)
Draft	1.9 (m)

Εικόνα 7: Τα Βασικά Χαρακτηριστικά Του Πλοίου



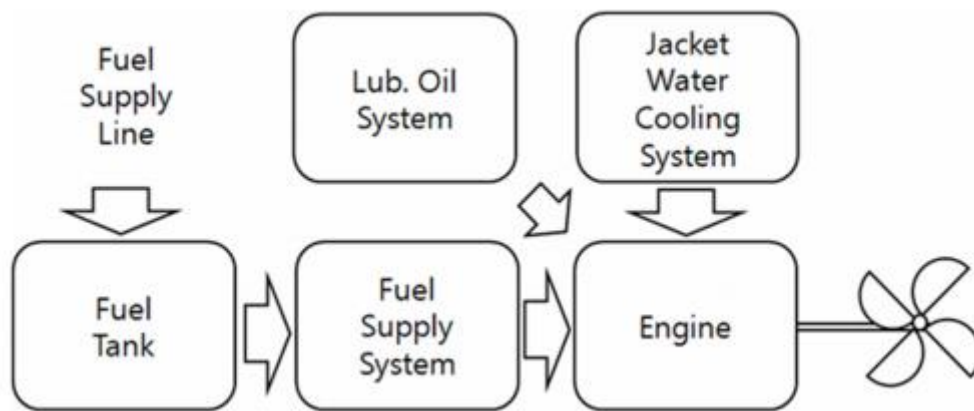
Εικόνα 6: Το Ταξίδι Που Εκτελεί Το Εν Λόγω Πλοίο

Το πλοίο αναχωρεί από το λιμάνι Incheon Hagi και καταφθάνει στο λιμάνι του Seogeom μέσω του λιμανιού του Mibeop. Το πλήρες ταξίδι διαρκεί 72 λεπτά, κατά μέσο όρο, και το πλοίο εκτελεί 4 ταξίδια την μέρα. Το πλοίο θεωρείται ότι εκτελεί υπηρεσία για πάνω από 30 χρόνια. Η ισχύς του κινητήρα και ο χρόνος λειτουργίας που καθορίζονται από την πραγματική μέτρηση παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

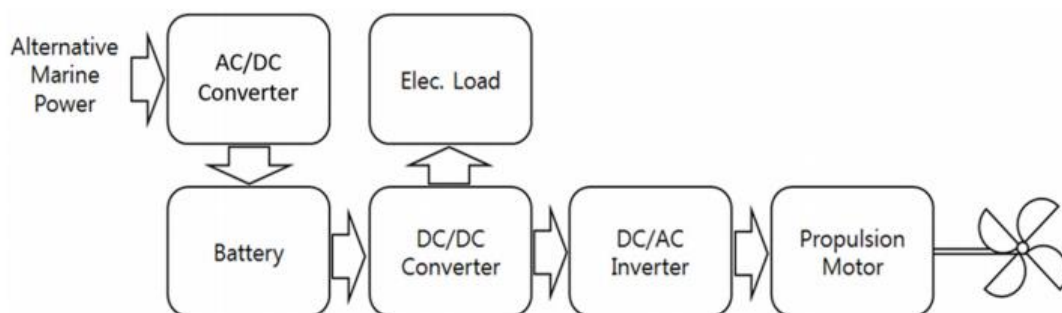


Εικόνα 7: Ισχύς Μηχανής, Ταχύτητα Και Χρόνος Λειτουργίας Του Πλοίου

Προκειμένου να συγκριθεί με το αρχικό πλοίο Diesel, η μοντελοποίηση του προωθητήριου συστήματος με μπαταρία πραγματοποιήθηκε για τη βέλτιστη ισχύ λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του πλοίου όπως η διαδρομή, ο προορισμός, ο σταθμός φόρτισης και η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Δεδομένου ότι το εν λόγω πλοίο ήταν αρχικά εξοπλισμένο με μηχανικά συστήματα κίνησης diesel ένα σχηματικό διάγραμμα του μηχανικού συστήματος πρόωσης φαίνεται παρακάτω. Το εναλλακτικό σύστημα πρόωσης έχει σχεδιαστεί με συστήματα μπαταριών. Το σύστημα πρόωσης με μπαταρία αποτελείται από μπαταρίες ιόντων λιθίου, μετατροπείς ισχύος και προωθητήριους κινητήρες. Η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στις μπαταρίες παρέχεται σε ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης για απόκτηση ισχύος πρόωσης μέσω του κινητήρα. Για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών, η ηλεκτρική ενέργεια προτείνεται το πλοίο να φορτίζεται από την ακτή όταν είναι ελλιμενισμένο και όχι χρησιμοποιώντας ενσωματωμένες γεννήτριες.



Εικόνα 10: Σχεδιαστικό Διάγραμμα Μηχανικής Πρόωσης Με Diesel



Εικόνα 11: Σχεδιαστικό Διάγραμμα Ηλεκτρικής Πρόωσης Με Σύστημα Μπαταριών

Σε πλοία diesel, ο κύριος κινητήρας αναλαμβάνει πλήρως την παραγωγή και τη μετάδοση μηχανικής ισχύς στην πρόωση. Γενικά, δεν συμβάλλει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αντι αυτού το ηλεκτρικό φορτίο (γενικά για βοηθητικά συστήματα και λοιπές εγκαταστάσεις) καλύπτεται από ανεξάρτητα διευθετημένα σετ γεννήτριας. Αντίθετα, τα ηλεκτρικά πλοία έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να καλύψει τόσο την πρόωση όσο και τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία. Το ηλεκτρικό φορτίο για θαλάσσια σκάφη είναι πολύ μικρότερο από το απαιτούμενο φορτίο πρόωσης. Για παράδειγμα, ένα πλοίο μικρών διαδρομών έχει μέγιστο φορτίο πρόωσης 500 kW με το ηλεκτρικό φορτίο για τη λειτουργία μικρών κινητήρων, συστημάτων φωτισμού κ.λπ. να είναι λιγότερο από 30 kW.

Η βέλτιστη χωρητικότητα της μπαταρίας εκτιμήθηκε στα 415 kWh. Για να εκτιμηθεί η κατάλληλη χωρητικότητα της μπαταρίας, ελήφθη υπόψη το βάθος εκφόρτισης, το οποίο καθορίζει τον αριθμό των κύκλων μπαταρίας. Η χρήση της μπαταρίας θα μειώσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η χρήση μπαταριών σε μικρό βάθος εκφόρτισης έχει το πλεονέκτημα της εξασφάλισης μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι απαιτείται μεγάλη χωρητικότητα. Σε αυτή την περίπτωση, το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης της μπαταρίας θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιεί έως και 50% της μπαταρίας. Επομένως, η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας για το πλοίο εκτιμήθηκε στα 830 kWh, η οποία θα απαιτούσε 41.500 μονάδες (η καθεμία έχει 0,02 kWh) με συνολικό βάρος 5,2 τόνους και όγκο 2,3 m³.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βάθη και οι χρόνοι εκφόρτισης ποικίλλουν ανάλογα με τον έλεγχο της μπαταρίας και τους προμηθευτές. Δεδομένου ότι το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χωρητικότητας μπαταριών, αυτή η αναφορά οδηγεί την ανάλυση σε μια συντηρητική στάση κατά την εκτίμηση της χωρητικότητας της μπαταρίας. Αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες πρέπει να αντικατασταθούν για μια συγκεκριμένη περίοδο, κάτι που μπορεί να προκαλέσει επιπλέον κόστος. Αν και αυτό το γεγονός είναι ένα μειονέκτημα για τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία, μια τέτοια εκτίμηση δεν έχει καμία επίδραση στην ανάλυση LCA καθώς αφορά μόνο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και όχι το μέγεθος της μπαταρίας. Με άλλα λόγια το βάθος και οι χρόνοι φόρτισης της μπαταρίας σχετίζονται περισσότερο με την οικονομική πλευρά παρά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Depth of Discharge	Discharge Times
100%	500
50%	1500
25%	2500
20%	4700

Εικόνα 12: Βάθος Εκφόρτισης Και Χρόνοι

Η ηλεκτρική ενέργεια που εκφορτίζεται από τις μπαταρίες μεταδίδεται στο σύστημα πρόωσης που κυρίως έχει ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν τις έλικες. Για τη

μοντελοποίηση του συστήματος, επιλέχθηκε ο τύπος του κινητήρα επαγωγής για θαλάσσια πρόωση.

Parameter	Value (Unit)
Outputs	500 (kW)
No. of Poles	6
Rotation speed	400 (rpm)
Stator resistance	0.0045 (Ω)
Stator inductance	0.0957 (H)
Rotor resistance	0.007 (Ω)
Rotor inductance	0.1486 (H)
Mutual inductance	2.75 (H)
Moment of Inertia	20.1 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

Εικόνα 8: Χαρακτηριστικά Του Κινητήρα Επαγωγής

LIFE CYCLE ASSESSMENT

Το δεύτερο μέρος της προτεινόμενης προσέγγισης σχεδιάστηκε για την αξιολόγηση του ολιστικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου του πλοίου με μπαταρία σε σύγκριση με ένα συμβατικό μηχανικό diesel. Όπως συνέβη σε προηγούμενες εκδόσεις LCA, η βασική διαδικασία του σε αυτήν την έρευνα ήταν σύμφωνη με το ISO. Οι οδηγίες προτύπων του προτείνουν τέσσερα βασικά βήματα: στόχος και πεδίο εφαρμογής, ανάλυση αποθεμάτων κύκλου ζωής(LCI), εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (LCIA) και ερμηνεία.

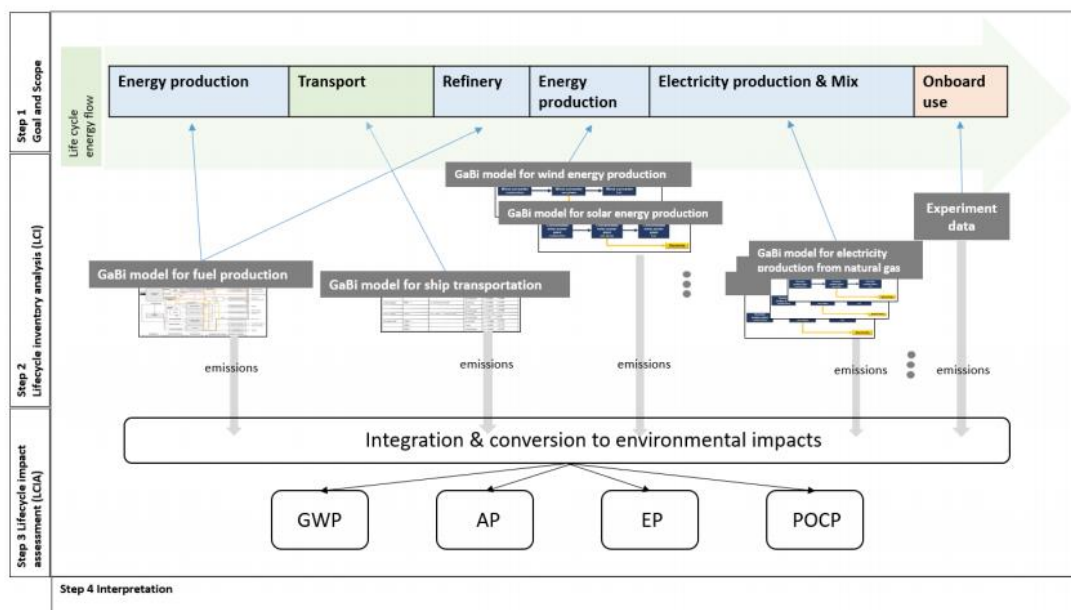
ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τον πρωταρχικό στόχο αυτής της έρευνας LCA, δοθηκε σημασία στον κύκλο ζωής των ενεργειακών οδών, που αποτελείται από τα στάδια παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης. Το πεδίο της ανάλυσης δεν επεκτάθηκε στα προϊόντα κινητήρα μπαταρίας ή diesel για το λόγο ότι μια σειρά προηγούμενων μελετών LCA έχουν αποδείξει ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με την κατασκευή, την εγκατάσταση και την ανακύκλωση θαλάσσιων προϊόντων είναι αμελητέα μικρή.

LCI

Μόλις οι δραστηριότητες, σε κάθε στάδιο ζωής, προσδιοριστούν στο παραπάνω βήμα του LCA, ο τύπος και η ποσότητα των εκπομπών που σχετίζονται με κάθε δραστηριότητα εκτιμώνται παρακολουθώντας όλες τις ροές των ενεργειών στο βήμα LCI. Αυτό το είδος ανάλυσης θεωρείται ότι περιλαμβάνει δεκάδες μεμονωμένες διαδικασίες που σχετίζονται

με την αλυσίδα εφοδιασμού, που κυμαίνονται από την παραγωγή ενέργειας έως τη χρήση επί του πλοίου.



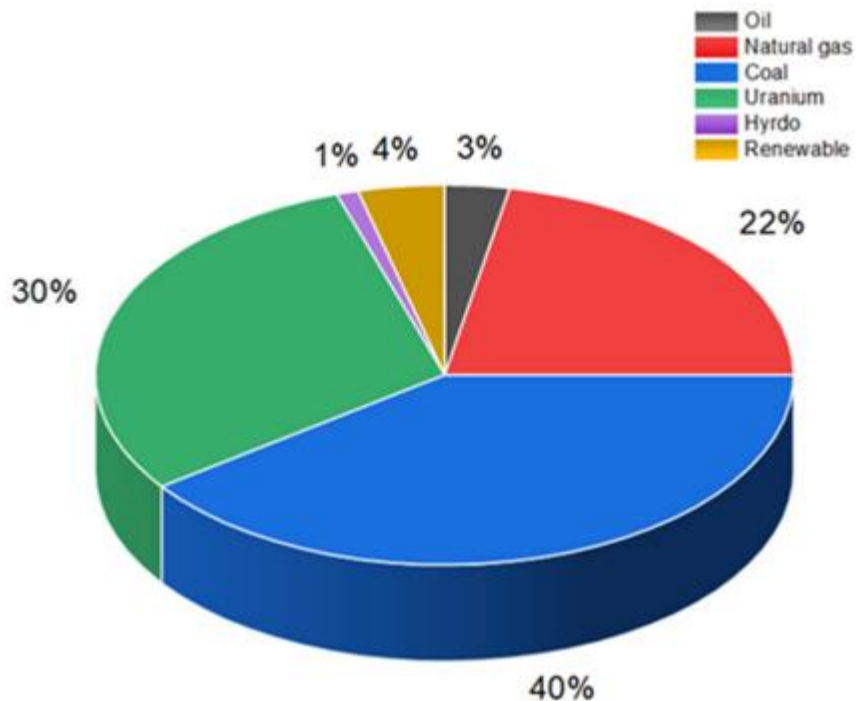
Εικόνα 14: LCA

Η μοντελοποίηση της διαδικασίας και το LCI έχουν πραγματοποιηθεί στην πλατφόρμα GaBi LCA Software 2019, η οποία προσφέρει μια εξαιρετικά εκτεταμένη βιβλιοθήκη δεδομένων LCA, με την οποία αυτή η έρευνα θα μπορούσε να εκτιμήσει περισσότερους από εκατό διαφορετικούς τύπους εκπομπών από την παραγωγή ενέργειας, τη μεταφορά και την παραγωγή ηλεκτρισμού.

ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η αναλυτική διαδικασία στο στάδιο της παραγωγής περιλαμβάνει την εκτίμηση των εκπομπών που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας σύμφωνα με τις υπάρχουσες τοποθεσίες και τεχνολογίες. Η ενέργεια που καταναλώθηκε στο πλοίο ταξινομείται σε δύο τύπους: καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO0.5, μείγμα) για τη μηχανική πρόωση diesel και την ηλεκτρική ενέργεια για το σύστημα μπαταριών.

Το μείγμα LSFO0.5, είναι μείγμα 50:50 υπολειμμάτων και αποσταγμένων καυσίμων πλοίων με μέση περιεκτικότητα θείου 0,5%, που παράγεται από αργό πετρέλαιο. Η παραγωγή καυσίμων συνίσταται από την παραγωγή του αργού πετρελαίου στη Σαουδική Αραβία (ο μεγαλύτερος εξαγωγέας πετρελαίου στη Νότια Κορέα) για μεταφορά και διύλιση σε LSFO0.5 στη Νότια Κορέα. Το σκάφος χρησιμοποιεί εθελοντικά LSFO0.5 που συμμορφώνεται με τους διεθνείς κανονισμούς για τον έλεγχο των εκπομπών SO_x (το ίδιο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα). Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι και οι δύο τύποι, diesel και μπαταρίας είναι σύμφωνοι με το ίδιο επίπεδο ναυτικών κανονισμών. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Νότια Κορέα προέρχεται κυρίως από συμβατική θερμική ισχύ, που αντιπροσωπεύει το 65% της παραγωγής και το 30% από την πυρηνική ενέργεια.



Εικόνα 9: Πηγές Ενέργειας Στην Νότια Κορέα

Category	Items	Coal	Oil	Natural Gas	Hyo	Nuclear	Renewables	
							PV	Wind
Major Emissions (kg)	CO ₂	8.68×10^{-1}	6.95×10^{-1}	5.23×10^{-1}	6.16×10^{-3}	5.31×10^{-3}	6.22×10^{-2}	9.87×10^{-3}
	CO	3.38×10^{-4}	2.23×10^{-4}	2.53×10^{-4}	1.01×10^{-5}	6.24×10^{-6}	8.32×10^{-5}	3.48×10^{-5}
	NO _x	2.29×10^{-3}	9.84×10^{-4}	7.26×10^{-4}	4.98×10^{-6}	2.04×10^{-5}	1.18×10^{-4}	1.38×10^{-5}
	SO _x	1.46×10^{-4}	1.68×10^{-3}	1.94×10^{-4}	3.05×10^{-6}	1.65×10^{-5}	1.73×10^{-4}	1.48×10^{-5}
	PM ₁₀	1.01×10^{-4}	1.90×10^{-6}	1.66×10^{-6}	1.80×10^{-6}	4.82×10^{-6}	3.96×10^{-5}	2.49×10^{-6}
	PM _{2.5}	2.04×10^{-5}	1.50×10^{-5}	2.23×10^{-5}	3.73×10^{-7}	4.56×10^{-7}	2.18×10^{-5}	9.42×10^{-7}
Environmental potentials	GWP (kg CO ₂ eq.)	9.12×10^{-1}	7.06×10^{-1}	5.65×10^{-1}	6.24×10^{-3}	5.68×10^{-3}	6.71×10^{-2}	1.05×10^{-2}
	AP (kg SO ₂ eq.)	1.20×10^{-3}	2.52×10^{-3}	6.01×10^{-4}	6.90×10^{-6}	3.13×10^{-5}	2.82×10^{-4}	2.92×10^{-5}
	EP (kg Phosphate eq.)	1.46×10^{-4}	1.36×10^{-4}	9.67×10^{-5}	9.03×10^{-7}	6.13×10^{-6}	2.11×10^{-5}	3.18×10^{-6}
	POCP (kg Ethene Eq.)	9.09×10^{-5}	1.45×10^{-4}	6.79×10^{-5}	3.80×10^{-7}	2.62×10^{-6}	2.45×10^{-5}	1.04×10^{-6}

Εικόνα 16: Εκπομπές Από Τις Βασικές Πηγές Ενέργειας

ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Αυτό το στάδιο προτάθηκε για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τις μεταφορές ενέργειας και την εφοδιαστική από χώρες παραγωγής στη

Νότια Κορέα, μέσω πλωτών μέσων μεταφοράς. Τα φορτηγά πλοία υποτέθηκε ότι χρησιμοποιούν diesel. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι εκπομπές από τη μεταφορά ενέργειας μέσω αυτών των φορτίων, δύο κύριοι παράγοντες λήφθηκαν υπόψη: η απόσταση μεταφοράς και οι ποσότητες φορτίου που πρέπει να παραδοθούν.

Όπως και το στάδιο παραγωγής, το μοντέλο μεταφοράς θαλάσσιων οδών στη βάση δεδομένων Gabi εφαρμόστηκε για εκτίμηση των εκπομπών. Η κατανάλωση καυσίμου (kg/h) υπολογίστηκε γραμμικά σύμφωνα με το φορτίο από 0% (κενό) έως 100% (πλήρες φορτίο) λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες λειτουργίας όπως η μέση ταχύτητα του πλοίου (km /h), η απόσταση (km) και το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο (dwt). Μόλις εκτιμήθηκε η κατανάλωση καυσίμου, τα επίπεδα εκπομπών καθορίστηκαν μέσω των συντελεστών εκπομπών καυσίμων που παρέχονται από τη βάση δεδομένων.

Για τη περίπτωση πλοίου με μπαταρία, ένα ταξίδι για εισαγωγή ενέργειας, υπολογίστηκε στα 22.902 χλμ (Σαουδική Αραβία), 23.224 χλμ (Κατάρ), 35.300 χλμ (ΗΠΑ) και 8433 χλμ (Αυστραλία). Σύμφωνα με τα τμήματα ενέργειας και τις τιμές θερμότητας, η ενέργεια που θα μεταφερθεί ποσοτικοποιήθηκε ως 42 τόνοι για λάδι, 260 τόνοι για φυσικό αέριο, 814 τόνοι για άνθρακα, 0,005 τόνοι για ουράνιο. Οι πηγές ενέργειας προμήθευσαν τα διυλιστήρια ή / και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται σε κάθε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται ότι μεταφέρεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Νότιας Κορέας, από όπου το κάθε πλοίο θα μπορεί να φορτίσει τις μπαταρίες του.

Από την άλλη πλευρά, για την πρόωση με diesel, υπολογίστηκε ότι θα μεταφερθούν 4286 τόνοι αργού πετρελαίου από τη Σαουδική Αραβία. Το εξευγενισμένο πετρέλαιο θα παρέχεται απευθείας στο πλοίο κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού. Η μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλές τάσεις μειώνει το ποσοστό της ενέργειας που χάνεται στην αντίσταση, που εξαρτάται από τον συγκεκριμένο αγωγό, το ρεύμα που ρέει και το μήκος της γραμμής μετάδοσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τη συγκεκριμένη μελέτη, όλοι οι τύποι σταθμών παραγωγής ενέργειας βρίσκονται σε ακτίνα 100 km από τα λιμάνια του Ίντσεον όπου λειτουργεί το πλοίο. Με δεδομένο αυτό, επιβεβαιώθηκε ότι το LCA θα μπορούσε να αγνοήσει τις απώλειες ενέργειας που σχετίζονται με την παράδοση ισχύος στο λιμάνι.

Από την άλλη πλευρά, η ηλεκτρική απώλεια είναι ανάλογη με την αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξηλεκτρισμένου πλοίου (γραμμική σχέση). Και πάλι, 10% ηλεκτρική απώλεια έχει ως αποτέλεσμα 10% επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια για να καλυφθεί η απαιτούμενη ισχύς, με αποτέλεσμα να παράγονται 10% περισσότερες εκπομπές. Επομένως, ακόμη και αν η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αγνοηθεί, αυτή η έρευνα θα μπορούσε ακόμη να προσφέρει μια ιδέα για τη σχέση μεταξύ απώλειας ενέργειας και εκπομπών.

ΣΤΑΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ

Το στάδιο χρήσης περιγράφει έναν τρόπο εκτίμησης των εκπομπών που σχετίζονται με την χρήση της ενέργειας στο πλοίο. Στις παρελθοντικές LCA, οι εκπομπές κινητήρων υπολογίζονταν με βάση τους παρεχόμενους παράγοντες εκπομπών από τον IMO. Παρατηρήθηκε ότι ένας τέτοιος αναλυτικός υπολογισμός πιθανότατα θα οδηγούσε σε υψηλές αποκλίσεις μεταξύ των πραγματικών και των υπολογισμένων εκπομπών. Οι πραγματικές μετρήσεις σε ένα εργαστήριο δοκιμών ήταν μια προσπάθεια να βελτιωθεί η

αξιοπιστία της ανάλυσης. Το δοκιμαστικό πλαίσιο σχεδιάστηκε στο Vessel Exhaust Gas Test Research (VEGTR) που βρίσκεται στο Sacheon City, στη Νότια Κορέα, η οποία λειτουργεί από το Korea Marine Equipment Research Institute (KOMERI). Η ίδια χωρητικότητα του κινητήρα του σκάφους δοκιμών ελέγχθηκε και η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές του κινητήρα diesel που ήταν τοποθετημένοι σε αυτό μετρήθηκαν σε κάθε τμήμα λειτουργίας όπως φαίνεται παρακάτω. Ένα δυναμόμετρο εγκαταστάθηκε για τη ρύθμιση και την παρακολούθηση του ίσου φορτίου με το πραγματικό προφίλ λειτουργίας, και δύο σετ ροόμετρων τοποθετήθηκαν στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος σωληνώσεων καυσίμου κινητήρα. Η διαφορά μεταξύ της ροής εισόδου και της ροής εξόδου αντιπροσωπεύει την πραγματική κατανάλωση καυσίμου στη μηχανή. Οι προσομοιώσεις κινητήρων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την Εθνική Πιστοποιημένη Δοκιμή (KOLAS) με οδηγίες που συμφωνούν με το ISO / IEC 17025: 2017.

	100 kW at 55 rpm				200 kW at 100 rpm				500 kW at 400 rpm			
	Inlet (kg/h)	Return (kg/h)	(kg/h)	g/kWh	Inlet (kg/h)	Return (kg/h)	(kg/h)	g/kWh	Inlet (kg/h)	Return (kg/h)	(kg/h)	g/kWh
1st	631.89	81.68	50.21	251.1	668.21	554.24	113.97	227.9	668.21	554.24	113.97	227.9
2nd	632.29	581.52	50.77	253.9	668.15	554.03	114.12	228.2	668.15	554.03	114.12	228.2
3rd	632.78	581.56	51.22	256.1	667.88	554.05	113.83	227.7	667.88	554.05	113.83	227.7
4th	633.52	581.18	52.34	261.7	667.78	553.66	114.12	228.2	667.78	553.66	114.12	228.2
5th	633.17	580.76	52.41	262.1	667.80	553.99	113.81	227.6	667.80	553.99	113.81	227.6
Average			51.39	257.0	Average		113.97	227.9	Average		113.97	227.9

Εικόνα 10: Μετρήσεις Κατανάλωσης Καυσίμου

Operation Route	Diesel System							Battery System Electricity Consumption (kWh)
	Actual Measurement			IMO Analytic Calculation		Deviation (Actual vs. Analytic)		
	Fuel Consumption (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO ₂ (%)	NO _x (%)	
A-B	8.91	22.61	0.08	28.60	0.78	126.50%	968.96%	66.67
B-C	40.05	101.65	2.22	128.56	3.48	126.47%	156.95%	180.00
C-B	40.05	101.65	2.22	128.56	3.48	126.47%	156.95%	180.00
B-A	8.89	22.61	0.08	28.54	0.77	126.21%	966.79%	66.67
One Voyage	97.92	248.52	4.60	314.26	8.52	126.45%	185.20%	493.33
One Day (Four Voyages)	391.68	994.08	18.40	1257.04	34.08	126.47%	185.20%	1973.32

Εικόνα 18: Κατανάλωση Καυσίμου Και Εκπομπές Στα Διάφορα Στάδια Του Ταξιδιού

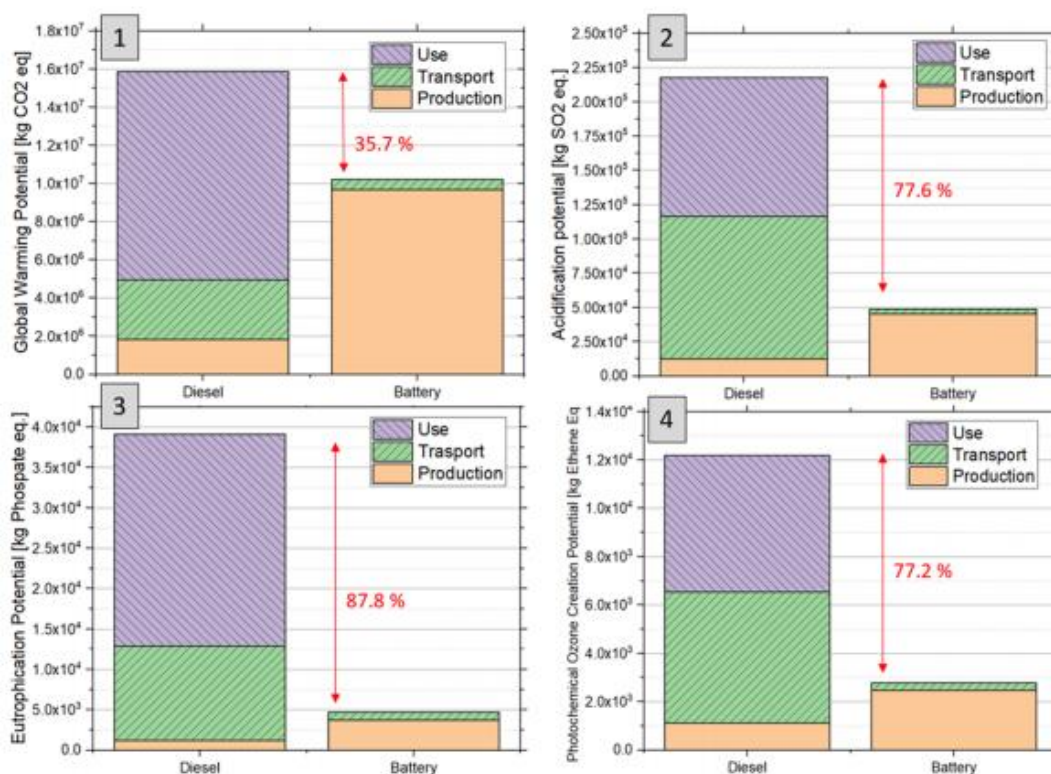
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο LCIA, οι εκτιμώμενοι τύποι εκπομπών και οι ποσότητές τους ως αποτέλεσμα του LCI εμπίπτουν σε πολλές δυνατότητες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στη θαλάσσια βιομηχανία, λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες εκπομπές πλοίων γενικά προτείνονται

τέσσερις κατηγορίες επιπτώσεων: Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP), οξίνιση δυναμικό (AP), δυναμικό ευτροφισμού (EP) και δυνατότητα δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (POCP).

DIESEL VS ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποδεικνύουν φαινομενικά την αρχική υπόθεση, ότι η χρήση του συστήματος μπαταριών θα ήταν πιο φιλική προς το περιβάλλον σε σχέση με την επιλογή diesel, που παράγει περίπου $1,6 \times 10^7$ kg ισοδύναμο CO₂ (GWP), $2,17 \times 10^5$ kgSO₂ ισοδύναμο (AP), $3,8 \times 10^4$ kg ισοδύναμο φωσφορικών (EP), $1,2 \times 10^4$ kg ισοδύναμο αιθενίου (POCP).



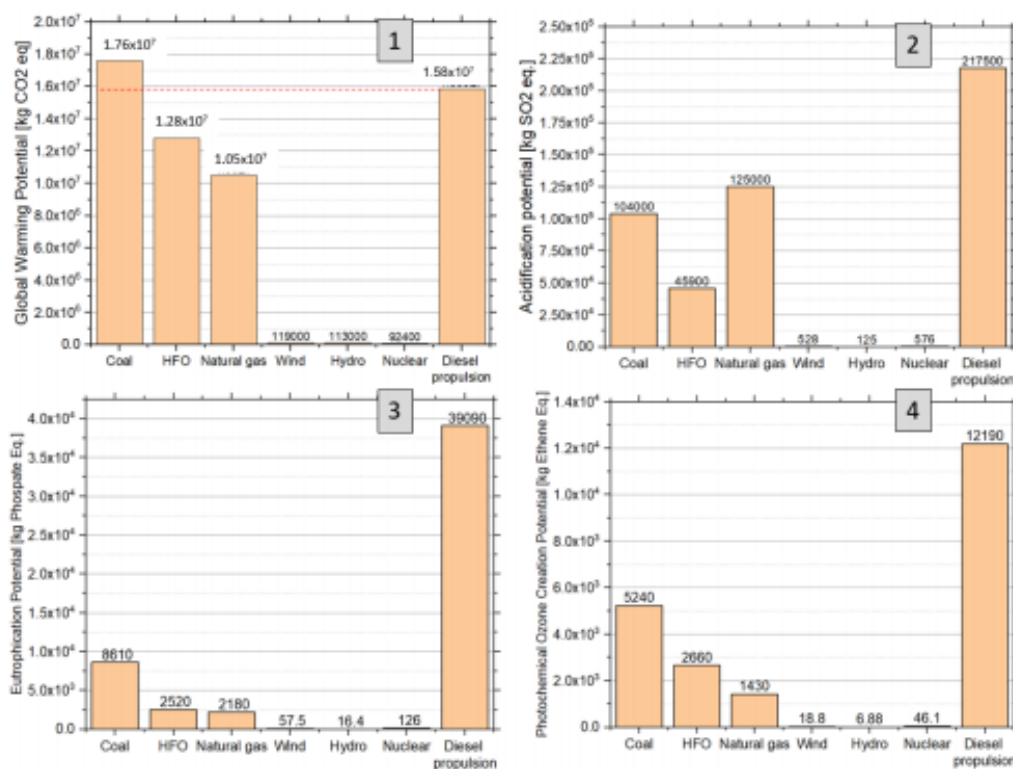
Εικόνα 19: LCA

Από την άλλη πλευρά, αν κοιτάξουμε προσεκτικά τις λεπτομέρειες, υπάρχουν μερικά πράγματα που πρέπει να σημειωθούν. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της LCA, η χρήση μπαταριών αντί για κινητήρες diesel αποκάλυψε ότι μειώνει το 35,7% του GWP, και όχι το 100%. Αυτό συμβαίνει επειδή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας και οι μεταφορές συμβάλλουν ουσιαστικά στις συνολικές επιπτώσεις: εκτιμήθηκε ότι $1,05 \times 10^7$ kg CO₂ παρήχθη για 30 χρόνια λειτουργίας. Για τις άλλες τρεις περιπτώσεις, στα πλοία με μπαταρίες, παρατηρήθηκαν καλύτερα αποτελέσματα με τη μείωση του AP κατά 77,6%, το EP κατά 87,8% και το POCP κατά 77,2%. Για ποσοτική παρουσίαση, η λειτουργία μπαταρίας έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στην παραγωγή περίπου $5,00 \times 10^4$ kg SO₂, περίπου $5,0 \times 10^3$ kg φωσφορικού και περίπου $2,8 \times 10^3$ kg αιθενίου κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Παρά τις γενναιόδωρες μειώσεις εκπομπών, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός ότι οι μπαταρίες συμβάλλουν στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων εκπομπών, ιδίως όσον αφορά το GWP. Δεδομένου αυτού, μπορούμε

ακόμα να διερωτούμαστε σχετικά με το εάν πρέπει να ληφθούν περαιτέρω μέτρα για να ελαχιστοποιηθούν κι άλλο οι εκπομπές και να φτάσουμε σε μηδενικά επίπεδα.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Δημιουργήθηκαν έξι σενάρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τη διερεύνηση της ευαισθησίας των πηγών ενέργειας σε επίπεδα εκπομπών. Για κάθε σενάριο θεωρήθηκε 100% χρήση μιας μοναδικής πηγής ενέργειας μεταξύ των ακόλουθων: άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, αιολική, υδροηλεκτρική και πυρηνική ενέργεια. Παρατηρήθηκε πως παραδόξως, το GWP από μπαταρίες φάνηκε να είναι μεγαλύτερο από αυτό του diesel εάν η ηλεκτρική ενέργεια θα βασίζεται πλήρως στον άνθρακα. Ομοίως, όλες οι άλλες ενέργειες με βάση τα ορυκτά καύσιμα (HFO και φυσικό αέριο), έδειξαν σημαντικά υψηλότερα περιβαλλοντικά αντίκτυπα από εκείνα από ανανεώσιμες πηγές ή πυρηνικές ενέργειες.



Εικόνα 20: Αποτελέσματα LCA Για Διαφορετικές Πηγές Ηλεκτρισμού

ΘΕΜΑΤΑ ΥΠΟ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Είναι προφανές ότι οι προηγμένες τεχνολογίες πλοίων με μπαταρία μπορούν να μειώσουν εκπομπές πλοίων σε ορισμένα επίπεδα και επιτρέπουν στα πλοία να συμμορφώνονται με διάφορα διεθνή και περιφερειακά πρότυπα και κανονισμούς εκπομπών. Η ναυτιλιακή βιομηχανία συχνά υποθέτει ότι η λειτουργία της μπαταρίας συμβάλλει σε μηδενικές εκπομπές. Αυτό μπορεί να αληθεύει εάν περιορίσουμε το πεδίο εφαρμογής μας στο στάδιο

λειτουργίας του πλοίου. Ωστόσο, αυτό το κεφάλαιο υποστήριξε ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει απολύτως εάν επεκτείνουμε την άποψή μας στην ολιστική πλευρά. Πράγματι, η μελέτη LCA που διεξήχθη θα μπορούσε να απομυθοποιήσει τις ολιστικές και ρεαλιστικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πλοίων με μπαταρία. Για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη και παραγωγή σκαφών με μπαταρία, συνιστάται να απαντηθούν οι παρακάτω ερωτήσεις:

- Είναι αρκετή η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές για τη φόρτιση των μπαταριών που θα χρησιμοποιηθούν για την ισχύ των πλοίων;
- Αναγνωρίζεται ότι μια νέα τεχνολογία μπορεί απλώς να αλλάξει τις εκπομπές πλοίων από το στάδιο λειτουργίας σε άλλα στάδια κύκλου ζωής, π.χ. κατασκευή, μεταφορά ή ανακύκλωση;

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Όπως και οι περισσότερες από τις προηγούμενες έρευνες, το κεφάλαιο αυτό επικεντρώθηκε στην επίδειξη περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων για μικρά πλοία που εκτελούν δρομολόγια μικρών διαδρομών. Για τα πλοία που πηγαίνουν στον ωκεανό, χρειάζεται επιπλέον έρευνα σχετικά με τον προσδιορισμό των οφελών και των δαπανών της αίτησης σύμφωνα με την οφειλόμενη τεχνική προ-ωριμότητα: σχετίζεται κυρίως με την περιορισμένη χωρητικότητα μπαταρίας με χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, το υπερβολικό βάρος μπαταρίας και τον μεγάλο χρόνο φόρτισης. Τα συστήματα μπαταριών για την συγκεκριμένη περίπτωση του πλοίου έχουν σχεδιαστεί για να φορτίζονται μέσω ηλεκτρικού ρεύματος στο plug-in port. Για τα πλοία που πηγαίνουν στον ωκεανό, η υπηρεσία plug-in δεν είναι ρεαλιστική επιλογή ενώ αναπόφευκτα οι γεννήτριες επί του πλοίου θα συμμετάσχουν στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τη φόρτιση μπαταριών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Σε αυτήν την περίπτωση, οι εκπομπές από τις γεννήτριες ενδέχεται να συμβάλλουν αρνητικά στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο των πλοίων με μπαταρίες. Για την διευθέτηση αυτού του ζητήματος, η εισαγωγή ενός καθαρότερου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη θέση του υπάρχοντος μπορεί να συντελέσει στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ευρήματα της έρευνας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Παρουσιάζει τα οφέλη από τη πρόωση με μπαταρία, με τη σημαντική μείωση του GWP κατά 35,7%, του AP κατά 77,6%, του EP κατά 87,8% και του POCP κατά 77,2%, σε σύγκριση με τη συμβατική μηχανική πρόωση diesel. Παρ' όλα αυτά, έχει βρεθεί ότι οι εφαρμογές της μπαταρίας επί του παρόντος δεν είναι σε θέση να επιτύχουν τον στόχο μείωσης του GWP κατά 50%.
- Βασικοί τεχνολογικοί και επιχειρησιακοί παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές στη διαδικασία αποδείχθηκαν οι εξής:
 - a. οι εκπομπές που σχετίζονται με την επί του πλοίου χρήση
 - b. οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή αυτών των καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση τις τοποθεσίες και την πηγή ενέργειας

- c. οι εκπομπές που σχετίζονται με τη μεταφορά αυτών των καυσίμων με βάση τα μέσα μεταφοράς και τις θέσεις των λιμένων και διωλιστήρια ·
- Διαπιστώθηκε ότι ενδέχεται οι τρέχουσες πρακτικές για την θαλάσσια περιβαλλοντική εκτίμηση να έχουν παραπλανήσει σχετικά με την πιο φιλική περιβαλλοντική προσέγγιση.
 - Η προτεινόμενη προσέγγιση LCA πιστεύεται ότι προσφέρει πολύτιμη συμβολή στην τυποποίηση μοντέλου θαλάσσιας LCA . Παρέχει μια κατευθυντήρια γραμμή για τη διαδικασία αξιολόγησης αποτελεσματικών καυσίμων για την επίτευξη του στόχου του IMO 2050, λαμβάνοντας υπόψη την ένταση του κύκλου ζωής των αερίων του θερμοκηπίου / άνθρακα και των τοπικών ρύπων.

Όσον αφορά την εκτίμηση των εκπομπών των θαλάσσιων κινητήρων, σημαντικά επίπεδα απόκλισης προσδιορίστηκαν μεταξύ της μέτρησης και του αναλυτικού υπολογισμού. Επομένως, τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν ότι θαλάσσια LCA θα πρέπει να διεξάγεται με βάση τη μέτρηση.

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

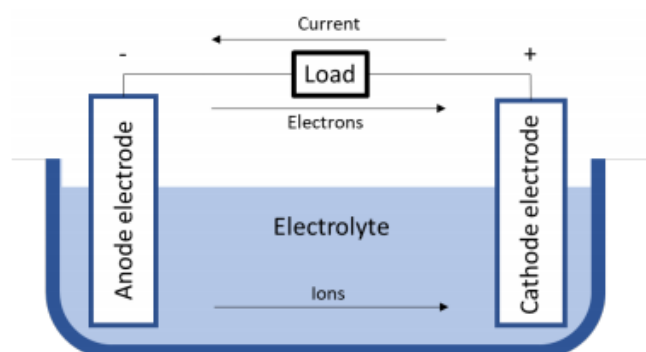
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Οι μπαταρίες, στη ναυτιλία, αποτελούν σημαντικό μέρος τόσο των διατάξεων των βοηθητικών συστημάτων όσο και του λοιπού μηχανολογικού εξοπλισμού των πλοίων. Έχουν, ωστόσο, υποστηρικτικό ρόλο, κυρίως στην εκκίνηση συστημάτων έκτακτης ανάγκης, εξοπλισμού ασφαλείας, επικοινωνίας και άλλων αναγκών που απαιτούν λιγότερη ενέργεια/ισχύ. Η πρόκληση σήμερα είναι να διασφαλιστεί με μπαταρίες, η απαραίτητη ισχύς για βαρέως τύπου απαιτήσεις, επί του σκάφους, όπως η πρόωση και η παροχή πλήρους ισχύος στα βοηθητικά συστήματα. Οι μπαταρίες καθίστανται, λοιπόν, στην σύγχρονη βιομηχανία, αντικείμενο περαιτέρω μελέτης, ώστε να αρχίσουν να αποτελούν κύρια συστήματα παροχής ισχύος, πέρα από τον ρόλο τους ως υποστηρικτικά συστήματα, τον οποίον πληρούν επαρκώς. Στο παρόν κεφάλαιο θα επιχειρηθεί να διερευνηθούν τρεις συνιστώσες του ζητήματος. Αφενός θα γίνει μια ανασκόπηση των τεχνολογιών μπαταρίας που χρησιμοποιούνται σήμερα καθώς και αυτών που είναι υπό ανάπτυξη, ενώ θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους στο φάσμα των θαλάσσιων εφαρμογών, αφετέρου δε, θα παρουσιαστούν το πλαίσιο κανονισμών και απαιτήσεων καθώς και ζητημάτων ασφαλείας, κυρίως σχετικά με – τις επικρατούσες στην αγορά – μπαταρίες λιθίου. Θα παρατεθούν διαφορετικά μοντέλα μπαταριών που είτε είναι υπό χρήση, είτε υπό έρευνα, θα γίνει αναφορά σε απαιτήσεις για το επόμενο χρονικό διάστημα, θα αναδειχθούν σχετικά projects, ενώ θα γίνει αναφορά στην υπάρχουσα νομοθεσία και σε ενδεχόμενα κενά της καθώς και στους κινδύνους που ενέχουν οι μπαταρίες σε συνδυασμό με πιθανές επιπτώσεις – περιβαλλοντικές και μη – και προτεινόμενες λύσεις.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Γενικά, σε ότι αφορά τα βασικά της μέρη, μια μπαταρία αποτελείται από δύο διαφορετικούς πόλους - ένα θετικό ηλεκτρόδιο που ονομάζεται κάθοδος και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο που ονομάζεται άνοδος. Μέσα στην μπαταρία χρησιμοποιείται κάποιο υλικό, που ονομάζεται ηλεκτρολύτης, που επιτρέπει στα ιόντα να μεταφέρονται μεταξύ των παραπάνω πόλων, με ηλεκτροχημικές αντιδράσεις. Μεταξύ της καθόδου και της ανόδου, μπορεί να τοποθετηθεί διαχωριστικό υλικό εμποδίζοντας την επαφή μεταξύ τους. Ως εκ τούτου, όταν οι πόλοι είναι συνδεδεμένοι με ηλεκτρικά αγωγίμο υλικό, τα ηλεκτρόνια θα ρέουν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος, και τα ιόντα θα ρέουν μέσω του ηλεκτρολύτη. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την αποθήκευση ή την παραγωγή ενέργειας στην μπαταρία. Το επιλεγμένο υλικό μεταφοράς ενέργειας, η σύνθεση ηλεκτροδίων και ηλεκτρολυτών και το σχήμα των ηλεκτροδίων καθορίζουν τις ιδιότητες των μπαταριών. Ο πιο γνωστός φορέας ενέργειας είναι το ιόν λιθίου. Είναι εφικτό, ωστόσο, να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά υλικά ως φορείς ενέργειας αντί για αυτό. Η χημική σύνθεση, τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης μπορούν επίσης να αλλάξουν. Ορισμένες διατάξεις μπορεί να προβλέπουν ακόμη και χρήση υγρών ή και αέριων ηλεκτροδίων, αλλά η βασική λογική παραμένει ίδια. Χαρακτηριστικές ιδιότητες και παράμετροι των μπαταριών αποτελούν το C-rate και E-rate, τα οποία συσχετίζουν την ενέργεια με την ισχύ, δίνοντας μια ένδειξη του πόσο γρήγορα μπορεί να εκφορτιστεί ή να φορτιστεί μια μπαταρία, το μέγιστο ρεύμα φόρτισης που μπορεί να αντέξει, το οποίο εξαρτάται από τον σχεδιασμό της, οι καταστάσεις φόρτισης SOC (State of Charge /επίπεδο φόρτισης) και DOD (Depth of Discharge / Βάθος αποφόρτισης) – το ένα είναι συμπληρωματικό του άλλου - που αποτελούν μέτρα της υπολειπόμενης διαθέσιμης ενέργειας για την εκφόρτιση μιας μπαταρίας, η ειδική ενέργεια (Wh/kg) και η ενεργειακή πυκνότητα (Wh/L), καθώς και ο

χρόνος ζωής της μπαταρίας ως μέτρο απόδοσής της. Γενικά η ποιότητα της λειτουργίας μιας μπαταρίας, σε συνδυασμό με κάποια άλλα χαρακτηριστικά, όπως η θερμοκρασία, αποτελεί συνισταμένη των παραπάνω παραμέτρων και είναι δύσκολο να καθοριστεί επακριβώς σε εργαστηριακό πλαίσιο.



Εικόνα 21: Χαρακτηριστική Μορφή Μπαταρίας

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΠΟΥ ΔΙΑΤΙΘΕΝΤΑΙ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ

1. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούνται από διαφορετικά υλικά και χημική σύνθεση στα ηλεκτρόδια και στον ηλεκτρολύτη, καθώς και στις διαδικασίες κατασκευής. Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των μπαταριών είναι ότι πραγματοποιείται μεταφορά ιόντων λιθίου στον ηλεκτρολύτη. Κατά τη φόρτιση, θετικά φορτισμένα ιόντα λιθίου μεταφέρονται μέσω ενός διαχωριστή από το θετικό ηλεκτρόδιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Μόλις το ηλεκτρικό φορτίο αποθηκευτεί, με τη μορφή ιόντων λιθίου που συλλέγονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτώντας έναν καταναλωτή που συνδέεται μεταξύ των ακροδεκτών.

Οι περισσότερες από τις διαθέσιμες μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν ανόδους με βάση τον άνθρακα ή τον γραφίτη και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη χημική σύνθεση της καθόδου. Μια από τις τεχνολογίες καθόδου που κυκλοφορούν, τελευταία, ευρέως στην αγορά για πλήθος εφαρμογών αποτελεί η NMC ($\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Co}_y\text{O}_2$). Το νικέλιο, το μαγγάνιο και το κοβάλτιο (NMC) στην κάθοδο παρέχουν στις μπαταρίες υψηλές δυνατότητες όπως υψηλή ειδική ενέργεια (Νικέλιο, Κοβάλτιο) και σταθερότητα (Μαγγάνιο). Οι σχετικές συστάσεις μεταξύ των χημικών στοιχείων μπορούν να τροποποιηθούν και να οδηγήσουν σε διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με την πυκνότητα ισχύος, την ενεργειακή πυκνότητα, το κόστος και την ασφάλεια, καθώς και προσαρμογή των μπαταριών σε συγκεκριμένες εφαρμογές ή ομάδες εφαρμογών. Άλλες μορφές καθόδου με διαφορετικά πλεονεκτήματα

και μειονεκτήματα για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν οι Λιθίου/Σιδήρου/Φώσφορου (LFP), Νικελίου/Κοβάλτιου/Αλουμινίου (NCA), Οξειδίου Λιθίου/Κοβάλτιου (LCO) και Οξειδίου Μαγγανίου/Λιθίου (LMO). Σχετικά με τις τεχνολογίες ανόδου, εκτός από τον γραφίτη και τον άνθρακα που κυρίως χρησιμοποιούνται, συναντώνται και τεχνολογίες γραφενίου (υψηλή μηχανική αντοχή, μεγάλη ειδική επιφάνεια, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, ευελιξία), τιτανίτη (αύξηση του επιπέδου ισχύος της μπαταρίας καθώς και της διάρκειας του κύκλου ζωής, ιδανικό για θαλάσσιες εφαρμογές) και πυριτίου (αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας αλλά μειούμενη διάρκεια ζωής).

2. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ – ΟΞΕΩΣ (LEAD – ACID)

Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος, ο ενεργειακός φορέας είναι τα ιόντα H^+ . Η άνοδος είναι ηλεκτρόδιο μολύβδου (Pb) και η κάθοδος είναι διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2). Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα υδατικό διάλυμα θεικού οξέος (H_2SO_4). Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος παρέχονται παγκοσμίως από μεγάλη βάση προμηθευτών σε πολύ χαμηλό κόστος. Αυτοκινητοβιομηχανίες και βιομηχανίες όπου η ηλεκτρική ενέργεια σε κατάσταση αναμονής είναι κρίσιμη είναι οι μεγαλύτεροι αγοραστές. Οι εν λόγω μπαταρίες θεωρούνται πολύ ασφαλείς, καθώς ο ηλεκτρολύτης και τα ενεργά υλικά δεν είναι εύφλεκτα. Τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι η χαμηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα. Επιπλέον, ο συνολικός κύκλος ζωής των μπαταριών είναι μικρός για μεγάλες αποφορτίσεις, καθώς και για εφαρμογές που η μπαταρία δεν φορτίζεται πλήρως μετά από έναν κύκλο και θα εμφανιστεί μη αναστρέψιμη θείωση των αρνητικών πλακών, η οποία είναι επιβλαβής για την μπαταρία.

3. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

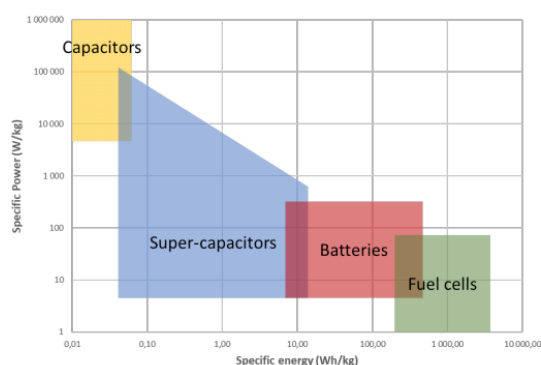
Στις μπαταρίες επαναφορτιζόμενου νικελίου ως φορείς ενέργειας χρησιμοποιούνται τα ιόντα υδροξειδίου OH^- . Ο ηλεκτρολύτης περιέχει ένα υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH). Οι διαθέσιμοι τύποι είναι οι νικελίου καδμίου (NiCd), υδριδίου νικελίου μετάλλου (NiMH), σιδήρου νικελίου (NiFe), ψευδαργύρου νικελίου (NiZn) και υδρογόνου νικελίου (NiH). Δεδομένου ότι οι ποσότητες OH^- ιόντων που απελευθερώνονται και απορροφώνται είναι ίσες στα ηλεκτρόδια κατά τη φόρτιση / εκφόρτιση, η ιοντική συγκέντρωση δεν αραιώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Σε αυτό το σημείο οι συγκεκριμένες μπαταρίες διαφέρουν από του μολύβδου-οξέος, όπου το θεικό οξύ αραιώνεται όταν αποβάλλεται. Οι διαφορετικοί τύποι των μπαταριών επαναφορτιζόμενου νικελίου διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το υλικό ανόδου, καθόδου και τον ηλεκτρολύτη, παρουσιάζοντας διαφορετικές μεταξύ τους ιδιότητες. Κάποια από τα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα των εν λόγω μπαταριών αποτελούν το χαμηλό κόστος των υλικών όπως της νικελίου καδμίου και υδριδίου νικελίου μετάλλου, η μη αναφλεξιμότητα και τοξικότητα των υλικών και η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και η μακρά διάρκεια ζωής, όπως της νικελίου σιδήρου και υδρογόνου, ενώ βασικά μειονεκτήματα τους είναι η μικρή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντος λιθίου και το υψηλό ποσοστό αυτο-εκφόρτισης.

4. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Δύο τύποι μπαταριών νατρίου υψηλής θερμοκρασίας διατίθενται στο εμπόριο: η μπαταρία θείου νατρίου (Na-S) και η ZEBRA (Zero Emission Battery Research Activities) (Na-NiCl₂). Και οι δύο τύποι χρησιμοποιούν ιόντα Na + ως φορείς ενέργειας. Χρειάζονται λυμένο νάτριο ως κάθοδο, καθιστώντας απαραίτητη τη λειτουργία στους 300 °C. Οι εμπορικά διαθέσιμες μπαταρίες χρησιμοποιούν ως ηλεκτρολύτη βета αλουμίνα (οξείδιο του αργιλίου) στερεάς κατάστασης. Ηλεκτρολύτες κεραμικού γυαλιού, γυαλιού και τύπου NASICON αποτελούν θέμα έρευνας για τη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας στους 100 °C. Τα συστατικά πρέπει επίσης να αντέχουν τους ατμούς των Na και S και των τηγμένων ηλεκτροδίων. Οι μπαταρίες νατρίου υψηλής θερμοκρασίας κατασκευάζονται από άφθονες και φθηνές πρώτες ύλες και έχουν υψηλότερη ειδική ενέργεια σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Ωστόσο, οι διαδικασίες κατασκευής και η ανάγκη για μόνωση, θέρμανση και θερμική διαχείριση καθιστούν αυτές τις μπαταρίες αρκετά ακριβές και αντισταθμίζουν τα οφέλη.

5. ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ (SUPER-CAPACITORS)

Οι πυκνωτές αποθηκεύουν ηλεκτρισμό σε μορφή ηλεκτροστατικής ενέργειας - σε αντίθεση με τις μπαταρίες που αποθηκεύουν ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Τόσο οι κεραμικοί όσο και οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές χρησιμοποιούν διηλεκτρικό για την αποθήκευση της ηλεκτροστατικής ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλού στρώματος ή αλλιώς υπερπυκνωτές (EDLC, Supercapacitors ή Ultracapacitors) είναι είδη πυκνωτών που χρησιμοποιούν έναν υγρό ηλεκτρολύτη (όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου) για τη δημιουργία στρώματος Helmholtz στη διεπαφή του στερεού και υγρού. Με αυτόν τον τρόπο, οι υπερπυκνωτές γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ πυκνωτών υψηλής ισχύος και χαμηλής ενέργειας και χαμηλής ισχύος αλλά υψηλής ενέργειας μπαταριών ιόντων λιθίου. Οι υπερπυκνωτές γενικά έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής σε σύγκριση με τις μπαταρίες λιθίου και καθιστούν ικανή την πολύ γρήγορη φόρτιση ή εκφόρτιση. Ωστόσο, οι υπερπυκνωτές έχουν περιορισμένη συνολική ποσότητα ενέργειας που μπορούν να αποθηκεύσουν καθώς η ενέργεια που αποθηκεύεται τείνει να εκφορτίζεται όταν διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η κατασκευή ενός υπερπυκνωτή είναι παρόμοια με αυτήν μιας κυλινδρικής μπαταρίας ιόντων λιθίου. Υπάρχουν φύλλα μεταλλικών συλλεκτών καλυμμένων με ενεργό άνθρακα, σε εναλλασσόμενα στρώματα με διαχωριστή (συχνά το πολυπροπυλένιο), τυλιγμένο σε δοχείο που στη συνέχεια γεμίζεται με ηλεκτρολύτη. Στην ναυτιλία οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως οι ανυψώσεις γερανών, όπου φορτίζονται και εκφορτίζονται διαρκώς και η ανάγκη αποθήκευσης της απορροφούμενης ενέργειας είναι περιορισμένη.



Εικόνα 22: Ειδική Ενέργεια Και Ισχύς Υπερπυκνωτών Και Μπαταριών

6. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΡΟΗΣ (FLOW BATTERIES)

Οι μπαταρίες ροής, όπως και κάθε άλλη ηλεκτροχημική κυψέλη, παράγουν τάση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων από τα ηλεκτρόνια που κινούνται μέσω ενός ηλεκτρολύτη. Ενώ στις συμβατικές μπαταρίες όπως οι μπαταρίες ιόντος λιθίου, τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από μέταλλο ή άνθρακα και ο ηλεκτρολύτης παραμένει σταθερός μεταξύ τους, η μπαταρία ροής λειτουργεί με άντληση του ηλεκτρολύτη - ο οποίος αποθηκεύεται σε δεξαμενές - μέσω των διαχωρισμένων ηλεκτροδίων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της τάσης και του ρεύματος. Ο ηλεκτρολύτης στην άνοδο ονομάζεται ανολύτης ενώ ο ηλεκτρολύτης στην κάθοδο καθολύτης. Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η ενεργειακή ικανότητα της μπαταρίας περιορίζεται μόνο στο μέγεθος της δεξαμενής του ηλεκτρολύτη, το οποίο θεωρητικά μπορεί να είναι άπειρο. Επιπλέον, η ικανότητα ισχύος αυξάνεται εύκολα προσθέτοντας απλά περισσότερες συστοιχίες κυψελών. Ακόμη, η διάρκεια ζωής του συστήματος μπορεί να παραταθεί σημαντικά, καθώς δεν υπόκειται στους μηχανισμούς υποβάθμισης των παραδοσιακών μπαταριών. Αν και τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν κινδύνους για μηχανική βλάβη (κάτι που δεν συμβαίνει με τις παραδοσιακές μπαταρίες), οι επισκευές είναι μικρής κλίμακας. Οι μπαταρίες ροής έχουν χαμηλούς κινδύνους αναφλεξιμότητας. Το κύριο μειονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Η υψηλή τιμή των ηλεκτρολυτών απαγορεύει την εφαρμογή σε πολλά πεδία. Ως εκ τούτου θεωρείται κατάλληλο για σταθερές εφαρμογές και όχι για ηλεκτρικά οχήματα ή σκάφη.

Flow battery
Vanadium Redox Battery
Bromide/polysulphide Battery
Zinc-Bromine Battery
Zinc/Cerium Battery
Lead Acid flow battery
Iron-Chromium battery

Εικόνα 23: Κατηγορίες Μπαταριών Ροής

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΝΙΑΣ

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια αναφορά στις τεχνολογίες μπαταρίας που επί του παρόντος αποτελούν αντικείμενο έρευνας και δεν βρίσκονται στην αγορά. Οι εν λόγω μπαταρίες είναι πολλά υποσχόμενες και υπάρχει ο στόχος να διατεθούν στην αγορά, στο εγγύς μέλλον. Η κατεύθυνση της βελτίωσης των μπαταριών αυτών σε σχέση με τις προαναφερθείσες έχει να κάνει με τη μείωση του κόστους των πρώτων υλών, την αύξηση της ειδικής ενέργειας και της ενεργειακής πυκνότητας και τη βελτίωση της ασφάλειας. Σημειώνεται ότι λόγω της μικρής συμμετοχής της ναυτιλίας στην αγορά μπαταριών, οι έρευνες για τις τεχνολογίες νέας γενιάς κατευθύνονται κυρίως από άλλες βιομηχανίες, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον γύρω από τις εξελίξεις επί του ζητήματος.

1. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (SOLID STATE)

Αυτού του είδους οι μπαταρίες χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρολύτη στερεάς κατάστασης, αντί για υγρό που χρησιμοποιείται σε συμβατικές μπαταρίες λιθίου. Η κάθοδος και η άνοδος αποτελούνται από τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούνται στην τυπική μπαταρία ιόντος λιθίου (για παράδειγμα NMC και άνθρακας / γραφίτης). Δεδομένου ότι ο υγρός ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται στις τυπικές μπαταρίες λιθίου είναι εύφλεκτος, οι ιδιότητες ασφαλείας αναμένεται να βελτιωθούν αντικαθιστώντας τον με ένα στερεό υλικό. Μια μπαταρία στερεάς κατάστασης δίνει ελευθερία στον σχεδιασμό της γεωμετρίας και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας τοποθέτησης των κελιών. Προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς και τη δυνατότητα χρήσης υψηλής τάσης καθόδου. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά, πρακτικά, αυξάνουν την ενεργειακή πυκνότητα της μπαταρίας. Από την πλευρά της ανόδου, οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης επιτρέπουν την ασφαλή εφαρμογή τεχνολογιών όπως του Li-metal, του λιθίου ή του λιθίου-αέρα, αποτρέποντας τον σχηματισμό δενδρίτη. Υπάρχουν οκτώ διαφορετικές μεγάλες κατηγορίες μπαταριών στερεάς κατάστασης, για τις οποίες η κάθε μία χρησιμοποιούνται διαφορετικά υλικά στον ηλεκτρολύτη. Αυτές είναι οι Li-Halide, Perovskite, Li-Hydride, NASICON-like, Garnet, Argyrodite, LiPON και LISICON. Τα κύτταρα με βάση το σουλφίδιο, το LiPON και το Garnet θεωρούνται ως οι πιο πολλά υποσχόμενοι ηλεκτρολύτες. Εάν ξεπεραστούν οι προκλήσεις αγωγιμότητας και δομής των ηλεκτροδίων, οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης θα αυξήσουν την επιχειρησιακή εμβέλεια για όλα τα ηλεκτρικά οχήματα - και το ίδιο θα ισχύει για όλες τις ναυτιλιακές εφαρμογές. Εάν συνδυαστεί με κάποια τεχνολογία ηλεκτροδίου αέρα-μετάλλου, θα μπορούσε ακόμη και να καταστήσει δυνατή ολόκληρη την ηλεκτρική λειτουργία βαθυσκάφων.

2. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΟΣ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ (ZINC-ION)

Οι συγκεκριμένες μπαταρίες χρησιμοποιούν ιόντα ψευδαργύρου (Zn^{2+}) ως φορείς φόρτισης (σε αντίθεση με τα ιόντα λιθίου) μέσω υδατικού χλωριούχου ψευδάργυρου ή ηλεκτρολύτη χλωριούχου αμμωνίου. Χρησιμοποιείται μεταλλική άνοδος ψευδαργύρου. Διαφορετικές χημικές κάθοδοι έχουν δοκιμαστεί, όπως οξείδιο του μαγγανίου (MnO_2), εξακυανοϊκός χαλκός (C_6CuFeN_6) και οξείδιο του βαναδίου ($Zn_{0.25}V_2O_5 \cdot nH_2O$). Χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου μπαταρίας είναι η μη αναφλεξιμότητα του ηλεκτρολύτη, ο μη σχηματισμός δενδρίτη, το χαμηλό κόστος παραγωγής και το γεγονός ότι είναι φιλικές για το περιβάλλον, ενώ τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν την χαμηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις μπαταρίες λιθίου.

3. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΟΣ ΝΑΤΡΙΟΥ (SODIUM-ION)

Οι μπαταρίες ιόντων νατρίου χρησιμοποιούν ιόντα νατρίου (Na^+) ως φορείς φόρτισης. Το νάτριο είναι ένα ελκυστικό υποκατάστατο του λιθίου, λόγω της υψηλής αφθονίας και του χαμηλού κόστους του. Στον περιοδικό πίνακα είναι αμέσως μετά το λίθιο στη σειρά αλκαλίων, ενώ έχει παρόμοιο δυναμικό οξειδοαναγωγής (-2,71 V για νάτριο έναντι -3,04 V για λίθιο). Δεδομένου ότι το νάτριο είναι βαρύτερο από το λίθιο (23 g / mol σε σύγκριση με 6,9 g / mol) αυτές οι μπαταρίες θα έχουν ελλείψεις σε σχέση με την ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντος λιθίου. Ωστόσο, η εύρεση μιας ανόδου με την κατάλληλη αποθήκευση τάσης, επαρκή χωρητικότητα και υψηλή δομική σταθερότητα παραμένει μια πρόκληση. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι επίσης μια πρόκληση κατά τη χρήση μετάλλου νατρίου ηλεκτρόδια, καθώς το σημείο τήξης του νατρίου είναι στους 97.7°C. Πλεονεκτήματα αποτελούν η αφθονία των υλικών και το χαμηλό κόστος, ενώ η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και η δυσλειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες συνθέτουν τα μειονεκτήματα της εν λόγω μπαταρίας.

4. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ (CALCIUM-ION)

Οι μπαταρίες ιόντων ασβεστίου χρησιμοποιούν ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) ως φορείς φόρτισης. Το κύριο πρόβλημα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής ήταν να βρεθούν ηλεκτρολύτες που επιτρέπουν αναστρέψιμη επίστρωση και απογύμνωση ασβεστίου. Αυτό επιτεύχθηκε πρόσφατα εφαρμόζοντας ένα στερεό στρώμα ενδιάμεσης φάσης ηλεκτρολύτη (SEI) στο μέταλλο ασβεστίου της ανόδου.

Παράλληλα, οι ερευνητές αναζητούν κατάλληλα υλικά καθόδου που επιτρέπουν αρκετά γρήγορη εισαγωγή και αφαίρεση ιόντων ασβεστίου. Το οξειδίο του βαναδίου (V) (V_2O_5) και το μπλε Prussian ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) είναι από τα περισσότερα μελετημένα υλικά ηλεκτροδίων. Οι μπαταρίες ιόντων ασβεστίου έχουν επίσης μικρό κόστος και αφθονία στα υλικά αλλά παρέχουν μικρή ενεργειακή πυκνότητα.

5. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΟΣ ΚΑΛΙΟΥ (POTASSIUM-ION)

Οι μπαταρίες ιόντων καλίου χρησιμοποιούν ιόντα (K^+) για μεταφορά φορτίου. Το κάλιο είναι το τρίτο στη σειρά αλκαλικό μέταλλο, μετά το λίθιο και το νάτριο, και έχει δυνατότητα οξειδοαναγωγής $-2,93 \text{ V}$ έναντι $-3,04 \text{ V}$ που έχει το λίθιο. Δεδομένου ότι έχει παρόμοιες ιδιότητες, και βρίσκεται σε άφθονη ποσότητα οπότε είναι και φθηνότερο, δύναται να υποκαταστήσει το λίθιο. Η ατομική μάζα είναι $39,1 \text{ g/mol}$ έναντι $6,9 \text{ g/mol}$ για το λίθιο. Εξ ου και αυτές οι μπαταρίες, όπως του νατρίου, θα έχουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις Li-ion. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το βάρος του τύπου στα ηλεκτρόδια και το συνολικό σύστημα της μπαταρίας, η αύξηση βάρους δεν θα είναι τόσο δραματική όσο υποδεικνύεται από την διαφορά ατομικής μάζας. Αναμένεται ότι αυτές οι μπαταρίες να παίξουν ρόλο σε εφαρμογές όπου η ενεργειακή πυκνότητα δεν είναι κρίσιμη. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλα τα άλατα ηλεκτρολυτών, όπως KPF_6 ή KOH .

6. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ

Οι μπαταρίες με βάση το μαγνήσιο έχουν πλεονέκτημα κόστους έναντι του λιθίου λόγω της αφθονίας του μαγνησίου. Μόνο μη επαναφορτιζόμενες εκδόσεις αυτής της τεχνολογίας διατίθενται στο εμπόριο. Το στοιχείο της μπαταρίας δεν έχει ακόμη αναφερθεί ως διαθέσιμο και αυτοί οι τύποι κελιών εξακολουθούν να αποτελούν ερευνητικό θέμα. Έχουν διερευνηθεί αρκετά υλικά καθόδου. Κάθοδοι με βάση το κοβάλτιο, το βανάδιο, το μολυβδαίνιο και το μαγγάνιο αποτελούν τα κύρια αντικείμενα έρευνας. Η βραδεία διάχυση Mg^{2+} και η αντίσταση μεταφοράς φορτίου στην κάθοδο συμβάλλουν στην ανεπαρκή ενεργειακή πυκνότητα. Για την άνοδο, ακολουθούνται δύο αρχές, και οι δύο οδηγούν σε χαμηλή αγωγιμότητα και χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Αφενός το μέταλλο μαγνησίου ως άνοδος και αφετέρου η άνοδος εισαγωγής ιόντων μαγνησίου.

7. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΟΣ ΦΘΟΡΙΟΥ (FLUORIDE-ION)

Τα ανιόντα F^- μπορεί να χρησιμοποιούνται ως φορέας ενέργειας μεταξύ των ηλεκτροδίων σε αντίθεση με τα κατιόντα. Αυτή η ιδέα έχει απασχολήσει πρόσφατα το ενδιαφέρον των ερευνητών, λόγω της αφθονίας του φθορίου και της δυνατότητας να έχει τόσο πυκνή όσο και ογκομετρική ενέργεια. Ένα παράδειγμα τέτοιας μπαταρίας αποτελεί η χρήση μαγνησίου (Mg) στην άνοδο και βισμούθιο (Bi) στην κάθοδο. Μέχρι στιγμής, οι μπαταρίες ιόντων φθορίου διαφοροποιούνται σε δύο ομάδες, και οι δύο χρησιμοποιούν μαγνήσιο ως άνοδο. Τη μπαταρία ιόντων φθορίου υψηλής θερμοκρασίας (HTFIB), η οποία χρησιμοποιεί έναν συμπαγή ηλεκτρολύτη και απαιτεί υψηλή θερμοκρασία εργασίας και τη μπαταρία ιόντων φθορίου θερμοκρασίας δωματίου (RTFIB), η οποία χρησιμοποιεί υγρό ηλεκτρολύτη και λειτουργεί σε συνθήκες περιβάλλοντος. Τα ζητήματα ασφάλειας και για

τους δύο τύπους πρέπει να γίνουν καλύτερα κατανοητά, καθώς αυτή η τεχνολογία είναι νέα.

8. ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ – ΑΕΡΑ

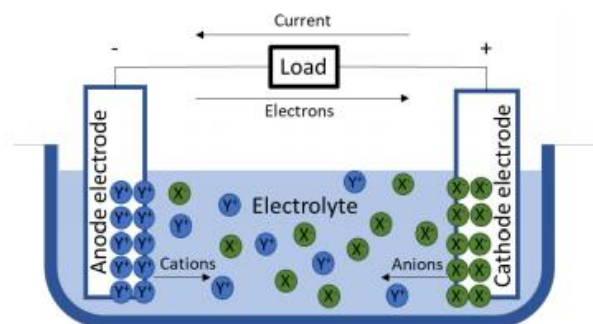
Οι μπαταρίες μετάλλου - αέρα χρησιμοποιούν μεταλλική άνοδο και αέρα ως κάθοδο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι τέτοιων μπαταριών, αλλά μόνο οι Li-air, Na-air, K-air και Zn-air θεωρούνται επαναφορτιζόμενες. Υπάρχουν και οι επαναφορτιζόμενες Al-air και Mg-air μπαταρίες, αλλά με πολύ περιορισμένη κυκλική ικανότητα. Οι μπαταρίες μετάλλου - αέρα αποτελούνται από τέσσερα μέρη: τη μεταλλική άνοδο, τον ηλεκτρολύτη, τον διαχωριστή και την κάθοδο αέρα. Όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, η μεταλλική άνοδος οξειδώνεται και διαλύεται στον ηλεκτρολύτη. Τα μεταλλικά ιόντα μεταφέρονται ως φορείς ενέργειας μέσω του ηλεκτρολύτη και του διαχωριστή στην κάθοδο αέρα. Εδώ εμφανίζεται οξειδοαναγωγή με τον αέρα. Οι περισσότερες περιπτώσεις αφορούν οξυγόνο που αντιδρά με το ιόν μετάλλου, αλλά έχουν επίσης αναφερθεί αντιδράσεις με λίθιο και CO₂. Οι μπαταρίες με υγρό και στερεό κατάσταση ηλεκτρολύτη είναι ένα θέμα έρευνας. Υπάρχουν ακόμα πολλά εμπόδια να ξεπεραστούν πριν από την εφαρμογή αυτών των μπαταριών, μιας και οι έρευνες βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο. Ιδιαίτερο πλεονέκτημα των συγκεκριμένων μπαταριών αποτελεί η υψηλή ειδική ενέργεια, ενώ στην περίπτωση στερεού ηλεκτρολύτη προκύπτουν αυξημένο δυναμικό και ενεργειακή πυκνότητα.

9. ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ – ΘΕΙΟΥ

Χαρακτηριστικό αυτών των μπαταριών είναι ότι χρησιμοποιούν θείο στην κάθοδο και ένα μέταλλο στην άνοδο. Τα μέταλλα είναι το λίθιο, το μαγνήσιο, το αλουμίνιο και το νάτριο. Η αντίδραση μετάλλου-νατρίου έχει υψηλότερη θεωρητική τιμή για ειδική ενέργεια και πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων λιθίου. Το νάτριο, το μαγνήσιο και το αλουμίνιο είναι περισσότερο επαρκή παγκοσμίως σε σύγκριση με το λίθιο. Ως εκ τούτου, εάν αυτές οι μπαταρίες διατεθούν στο εμπόριο, μπορούν να ξεπεράσουν τις ιόντες λιθίου σε κόστος, ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα.

10. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΙΟΝΤΟΣ (DUAL – ION)

Στις μπαταρίες διπλού ιόντος τόσο τα θετικά (κατιόντα) όσο και τα αρνητικά (ανιόντα) φορτισμένα ιόντα ενεργούν ως φορείς ενέργειας. Όταν οι μπαταρίες φορτιστούν πλήρως, τα ανιόντα αποθηκεύονται στην άνοδο και τα κατιόντα αποθηκεύονται στην κάθοδο. Όταν εκφορτίζονται, τόσο τα ανιόντα όσο και τα κατιόντα διαλύονται στον ηλεκτρολύτη. Λόγω του ευρείας τάσης δυναμικού, της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και της αναζήτησης υποκατάστατων των μπαταριών λιθίου, αυτοί οι τύποι μπαταριών είναι υπό έρευνα.



Εικόνα 24: Λειτουργία Των Μπαταριών Διπλού Ιόντος

Καταληκτικά, προκύπτει ότι οι τεχνολογίες μπαταρίας που χρησιμοποιούνται ευρύτερα στην ναυτιλία σήμερα είναι οι NMC, LFP και NCA λόγω της ευελιξίας στη σχεδίαση και τις δυνατότητες παροχής ισχύος και ενέργειας, υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και ασφάλειας, οι μπαταρίες LTO, που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε γρήγορη φόρτιση και ενέργεια, ενώ οι υπόλοιπες είτε είναι ακατάλληλες, είτε χρησιμοποιούνται σε ελάχιστες εφαρμογές (LCO, LMO). Οι πιο ενδιαφέρουσες από τις μελλοντικές τεχνολογίες θεωρούνται οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης, κατά προτίμηση σε συνδυασμό με τεχνολογία μετάλλου αέρα. Αυτός ο συνδυασμός βελτιώνει την ειδική ενέργεια, την ενεργειακή πυκνότητα και την ασφάλεια. Όταν αυτές οι τεχνολογίες εξελιχθούν επαρκώς, τα σκάφη θα μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις με τη χρήση μπαταριών, με τον κίνδυνο θερμικής διαφυγής να είναι μειωμένος. Ωστόσο, πριν χρησιμοποιηθεί αυτή η τεχνολογία θα πρέπει να έχουν επιλυθεί ζητήματα αγωγιμότητας και διάρκειας ζωής.

PROJECTS ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Δεδομένου ότι τα ηλεκτρονικοί καταναλωτές και η αυτοκινητοβιομηχανία αντιπροσωπεύουν την μεγαλύτερη αγορά μπαταριών, η πλειονότητα της λεπτομερούς ανάπτυξης και έρευνας της εν λόγω τεχνολογίας πραγματοποιείται σε αυτές βιομηχανίες. Το καθήκον της ναυτιλιακής βιομηχανίας είναι να αξιολογήσει την τεχνολογία και την απόδοσή της και να την ενσωματώσει στο θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό φαίνεται στα 15 ερευνητικά έργα που είναι εξετάζονται παρακάτω - όπου η πλειονότητα τους είναι πιλοτικά, projects επίδειξης και projects που εστιάζουν στην ασφάλεια.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΠΙΛΟΤΙΚΩΝ PROJECTS

Τα πιλοτικά projects, συνοδευμένα με το αντικείμενο τους, τις εταιρίες που ασχολήθηκαν και την εγκατεστημένη ισχύ μπαταριών, που επιλέχθηκαν είναι τα εξής:

- Το FellowSHIP (2003 – 2018), το οποίο αποτέλεσε ερευνητική συνεργασία των Eidesvik, DNV GL και Wärtsilä Norway και παρείχε πληροφορίες για την πραγματική λειτουργία του συστήματος μπαταριών σε θαλάσσιο περιβάλλον. Η εγκατεστημένη ισχύς της μπαταρίας ήταν 450kWh.
- Το MF Ampere (2012 – 2025), με ισχύ 1040kWh, από τις Norled AS, Fjellstrand Shipyard, Siemens AS και Corvus Energy AS που ήταν το πρώτο ηλεκτρικό ferry αυτοκινήτων στον κόσμο σε εμπορική λειτουργία.
- Το Sustainable Traffic Machines I (2012 – 2015) , με ενέργεια 17600kW και 15200kW, από τις Scandlines Danmark A/S και Scandlines Deutschland GmbH που αφορούσε την εγκατάσταση υβριδικής πρόωσης και συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων σε δύο πλοία RoPax.
- Το Sustainable Traffic Machines II (2013 – 2015) από τις ίδιες εταιρίες με το μέρος 1 του project με αντίστοιχες επιδιώξεις και εγκατεστημένες μπαταρίες ισχύος 17600kW και 19860kW.
- Το Zero Emission Ferries (2014 – 2017), από τις HH Ferries Helsingør ApS, HH-Ferries Helsingborg AB και ABB, με εγκατεστημένη ισχύ 4160kWh και στόχο την μετασκευή δύο σκαφών ROPAX σε ηλεκτροκίνητα με μπαταρίες.
- Το Motorway of the Sea link RodstockGedser (2014 – 2017), από τις εταιρίες Scandlines Gedser-Rodstock ApS και Rodstock Port GmbH, με ισχύ 1600kW και

αντικείμενο την μετασκευή δύο πλοίων RoPax σε υβριδικής πρόωσης και την αναβάθμιση των λιμένων Gedser και Rodstock

- Το E-ferry (2015 – 2019), από την σύμπραξη των Dansk Brand og Sikringsteknisk Institut, Hellenic Institute of Transport, Leclanché, Rådgivende Skipsingeniører Jens Kristensen, Søby Verft, Søfartsbestyrelsen, TUCO yacht yard, Danfoss και Ærø Kommune, εγκατεστημένη αποθηκευτική ικανότητα 4300kWh και στόχο τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού ferry.
- Το ELEMED (2016 – 2018), από τις Hellenic Centre for Marine Research, Cyprus Ports Authority, Killini Port Authority, Protasis S.A., Spanopoulos Group, Piraeus Port Authority, National Tech. University of Athens, Hydrus Group, Port of Koper, Lloyd's Register, που αποτέλεσε την πρώτη πιλοτική εφαρμογή cold ironing στην Μεσόγειο.
- Το Yara Birkeland (2012 – 2020), από τις Kongsberg Group, Marin Teknisk, Enova, Norwegian Maritime Authority, Kystverket, Ports of Grenland and Larvik, Herøya Industripark, Yara και SINTEF, με εγκατεστημένη ισχύ μπαταριών 7-9000kWh και αντικείμενο τη δημιουργία του πρώτου αυτόνομου και εξ' ολοκλήρου ηλεκτρικού πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.
- Το Port-Liner (2017-2019), από τις GVP Group of Logistics, Werkina Wekendam, Willemsen Interieurbouw, H2-Industries, Tesvolt και Van Oossanen Naval Architects, με αντικείμενο τη δημιουργία των πρώτων φορηγίδων εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο από ευρωπαϊκά λιμάνια με πλήρη ηλεκτρική πρόωση και ενέργεια 1600kW.
- Το SuperGreen (2019 – 2021), από τις Ocean Finance Ltd, Public Gas Corporation S.A., S.G.V.L Supergreen Venture Ltd, για την ανάπτυξη υποδομής εναλλακτικών καυσίμων.
- Το BB-Green (2011 – 2014) από τις Lloyd's Register EMEA, DIAB AS, Aqualiner, Amerjac Projects Ltd, Carbonia Composites AB, και SSPA Sweden AB, με μπαταρίες ισχύος 200kWh, και σκοπό την ανάπτυξη την κατέλκυση μιας καινοτόμου πλωτής κατασκευής μεταφορών.

ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ PROJECTS ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

- SafeLiLife (2010 – 2016) , από τους φορείς ABB, DNV GL, Rolls Royce, FMC Subsea, ZEM, IFE (Institute for Energy Technology), FFI (Norwegian Defense Research Establishment), NTNU (Norwegian University of Science and Technology, Dep. Of Chemistry) και HiST (Sør-Trøndelag University College) με αντικείμενο την

αξιολόγηση των ιδιοτήτων ασφάλειας της μπαταρίας και τη συσχέτιση με την υποβάθμιση και την γήρανση.

- Maritime Battery Safety JDP (2017 – 2019) , από τις DNV GL, FFI, NMA, DMA, MARAD, Corvus, Leclanche, Super B, Scandlines, Stena, Damen, ABB, Kongsberg, FIFI4MARINE, Nexceris και Marioff, με στόχο τις δοκιμές και την ανάλυση ιδιοτήτων ασφάλειας της μπαταρίας για την ανάπτυξη γνώσεων που απαιτούνται για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των ρυθμίσεων.
- MoZEEES (2017 – 2024), από τις IFE, SINTEF, NTNU, UiO, TØI, FFI, HSN, Akershus County Council, Sør Trøndelag fylkeskommune, Statens Vegvesen, Enova, Jernebanedirektoratet, Port of Oslo, Kystverket, ABB, AGA, ASKO, Baldur, BASF, Bellona, REEC, Dynatec, Hexagon Composites, Johnson Matthey Fuel Cells, VerPoTech, Maritim Forening Sogn og Fjordane, Elkem, Miba, Nel, Graphene Batteries, ZEM, Saft, ZEG Power, DNV GL, Selfa Arctic, Lloyd’s Register, Grenland Energy, Unibuss και PBES, για την ανάπτυξη υλικών, φιλικών προς το περιβάλλον, για ενεργειακές τεχνολογίες που απευθύνονται στις μεταφορές.

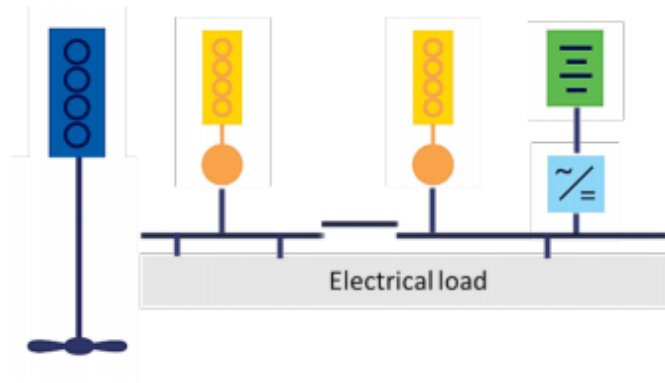
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Αυτή η ενότητα περιγράφει βασικές πτυχές σχετικά με την χρησιμοποίηση της τεχνολογίας μπαταριών σε ναυτιλιακές εφαρμογές. Αρχικά γίνεται μια ανασκόπηση των διαφορετικών αρχιτεκτονικών συστημάτων ισχύος ή τοπολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλοία με μπαταρίες στο ηλεκτρικό τους σύστημα. Ακολουθεί μια ανασκόπηση του στόλου των πλοίων που λειτουργούν σήμερα με μπαταρίες. Παρέχεται επίσης μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση διαφορετικών εφαρμογών για χρήση σε συστήματα υβριδικά ή μπαταρίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για αξιολόγηση της σκοπιμότητας ή του κατά πόσον τα συστήματα μπαταριών χρειάζεται να εξεταστούν με περισσότερες λεπτομέρειες.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΜΠΑΤΑΡΙΑ

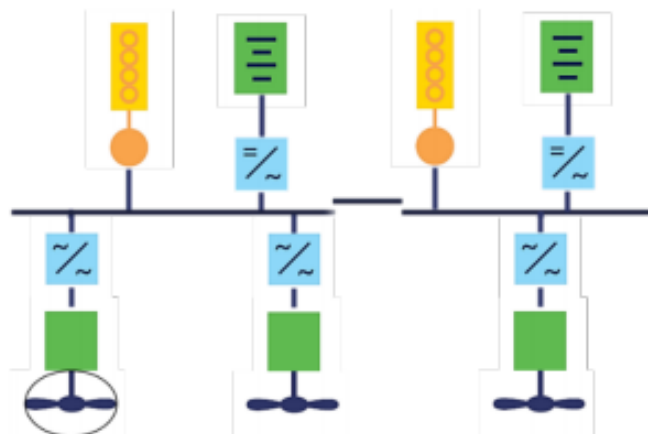
Η μπαταρία σε μια τέτοια εφαρμογή είναι αποτελεσματική για την εξομάλυνση των βηματικών αλλαγών και αιχμών στην ενεργειακή ζήτηση των συνδεδεμένων ηλεκτρικών φορτίων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φορτία μπορεί να λειτουργήσει σε αναγεννητική πέδηση, π.χ. λειτουργίες γερανών. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μπαταρία μπορεί να είναι χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει την παραγόμενη ενέργεια.



Εικόνα 25: Μηχανική Πρόωση Με Υβριδική Μονάδα Ενέργειας Από Μπαταρία

2. ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΑ

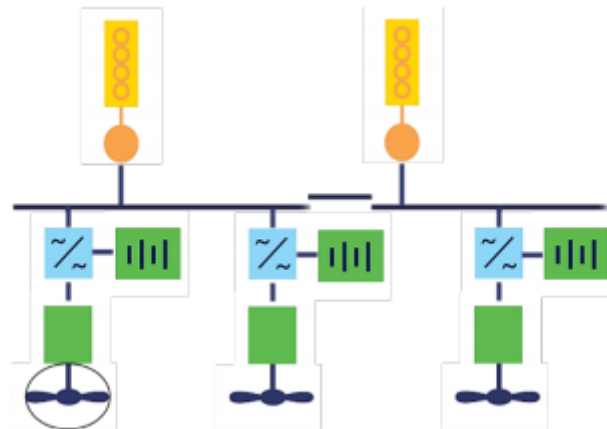
Η μπαταρία, σε μια τέτοια εφαρμογή, παρέχει ισχύ στους μεγάλους κινητήρες πρόωσης. Αυτή είναι μια ευέλικτη λύση όπου το σκάφος μπορεί να λειτουργεί μόνο με τις γεννήτριες, μόνο με μπαταρίες ή σε παράλληλη λειτουργία χρησιμοποιώντας τόσο τις γεννήτριες όσο και τις μπαταρίες. Η υβριδική λύση μειώνει το επίπεδο θορύβου και κραδασμών στο πλοίο. Συμπληρωματικά, οι μπαταρίες θα εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις φορτίου στις γεννήτριες. Αυτή η εφαρμογή μπορεί για παράδειγμα να διευκολύνει τη λειτουργία με μηδενικές εκπομπές κατά την είσοδο σε λιμάνι.



Εικόνα 26: Υβριδική Πρόωση Με Μπαταρία

3. ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Η προηγούμενη λύση δείχνει ότι το σύστημα έχει αρκετούς μετατροπείς ισχύος και καθένας από αυτούς αντιπροσωπεύει μια απώλεια ισχύος (συνήθως 2%). Για να μειωθούν αυτές τις απώλειες, οι μπαταρίες θα μπορούσαν να διανεμηθούν απευθείας στους μετατροπείς πρόωσης. Σε μια τέτοια εφαρμογή, η κάθε μονάδα πρόωσης έχει τη δική της ανεξάρτητη πηγή ενέργειας, αυξάνοντας τους δείκτες αξιοπιστίας του συνολικού συστήματος πρόωσης του σκάφους.



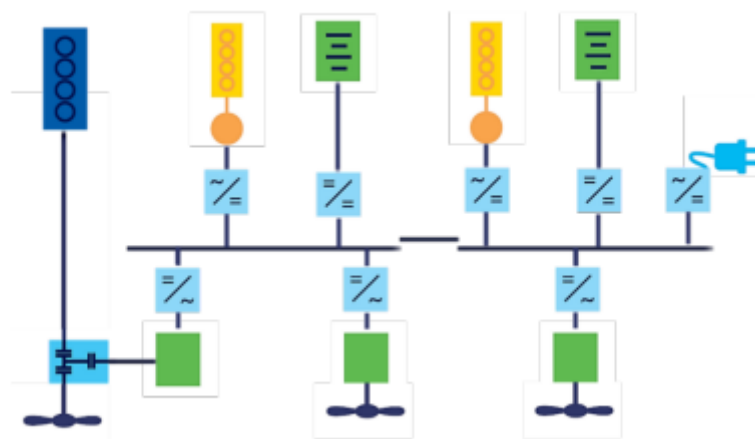
Εικόνα 11: Υβριδική Πρόωση Με Κατανεμημένες Μπαταρίες

4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ/ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΔΙΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ DC

Μια εφαρμογή που περιλαμβάνει ένα σύστημα διανομής DC μπορεί να προσαρμόσει την ταχύτητα των κυρίων κινητήρων για τις γεννήτριες στη βέλτιστη στάθμη καυσίμου η οποία εξαρτάται από το φορτίο. Αυτό θα μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και θα ελαχιστοποιήσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Οι δύο δυνατές διαμορφώσεις για τέτοιου είδους πρόωση είναι οι εξής:

A) διαμόρφωση γεννήτριας άξονα ή PTO (Power Take Out) όπου η ηλεκτρική / μηχανική υβριδική λύση επιτρέπει στην ηλεκτρική ενέργεια να παραχθεί από τον κύριο κινητήρα πρόωσης.

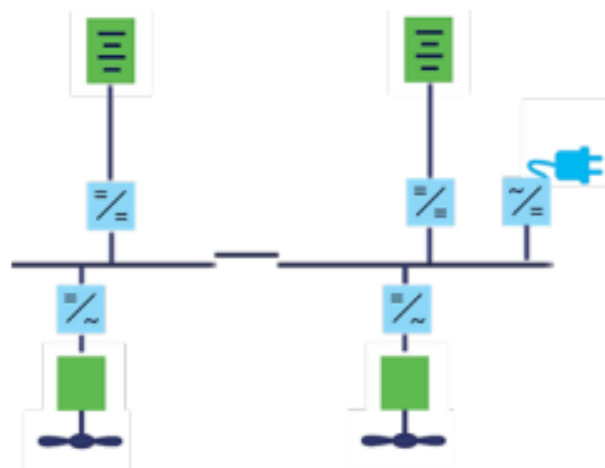
B) διαμόρφωση ηλεκτρο-κινητήρα άξονα ή PTI (Power Take In), όπου η ηλεκτρική / μηχανική υβριδική λύση επιτρέπει την πρόωση με ισχύ που παράγεται από τις πηγές ηλεκτρικής ενέργειας (γεννήτριες και μπαταρίες). Σε αυτήτη διαμόρφωση είναι δυνατή η λειτουργία ενισχυτικής πρόωσης, όπου ο κύριος κινητήρας (κύρια μηχανή πρόωσης) και ο κινητήρας PTI λειτουργούν παράλληλα.



Εικόνα 28: Ηλεκτρική / Μηχανική Υβριδική Πρόωση Με Διανομή Ισχύος DC

5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ

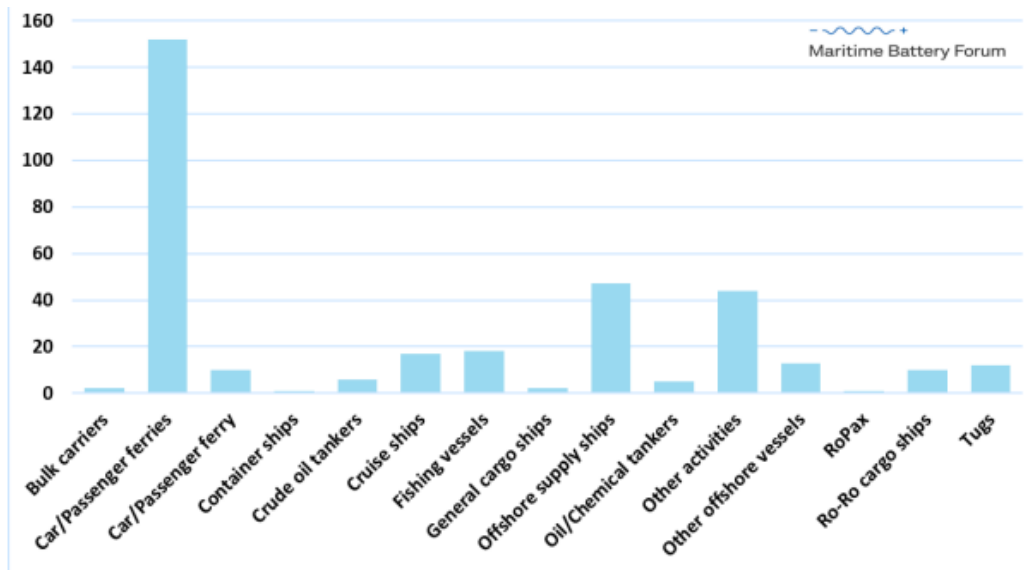
Σε αυτές τις εφαρμογές οι μπαταρίες φορτίζονται μέσω μετατροπέα AC / DC. Ο μετατροπέας μπορεί είτε να βρίσκεται επί του σκάφους ή στην ακτή. Η απεικονιζόμενη ιδέα δείχνει δύο ανεξάρτητα συστήματα μπαταριών που παρέχουν ισχύ στο προωθητή. Αυτό ισχύει σύμφωνα με τους κανόνες της κατηγορίας, οι οποίοι απαιτούν την εγκατάσταση δύο ανεξάρτητων συστημάτων μπαταρίας παροχής ισχύς πρόωσης σε περίπτωση αποτυχίας.



Εικόνα 29: Ηλεκτρική Πρόωση

Τύπος Πλοίου	Εξοικονόμηση Ενέργειας(%)	Χρόνος Αποπληρωμής (Χρόνια)	Κύρια Λειτουργία Μπαταρίας	Παράγοντες Που Μειοδοποιούν Το Κέρδος	Τεχνολογία Μπαταρίας
Ferry	Εώς και 100	Λιγότερο από 5	Όλα ηλεκτρικά όπου είναι εφικτό	Χαμηλό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, Μεγάλη παραμονή στο λιμάνι, Μικρή απόσταση ταξιδιού	NMC, LFP, LTO
OSV	5 – 20	2 – 5	Δυναμική Θεσιθέτηση – Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	Χαμηλές ανάγκες σε ενέργεια και ισχύ εφεδρείας (backup)	NMC, LFP, LTO
Cruise	< 5	Ποικίλλει	Υβριδική λειτουργία	Δυνατότητα πλήρους ηλεκτρικής λειτουργίας για παρατεταμένο διάστημα	NMC, LFP
Offshore Drilling Unit	10 – 15	1 – 3	Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος and peak shaving	Μεγάλο μέγεθος μπαταρίας	NMC, LFP, LTO, Υπερπυκνωτές
Fishing Vessel	3 – 30 +	3 – 7	Υβριδικός διαμοιρασμός φορτίου και Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	Μέγεθος Diesel σε σχέση με τα φορτία	NMC, LFP, LTO
Fish Farm Vessel	5 – 15	3 – 7	Υβριδικός διαμοιρασμός φορτίου και Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	Μέγεθος Diesel σε σχέση με τα φορτία	NMC, LFP, LTO
Shuttle Tanker	5 – 20	2 – 5	Δυναμική Θεσιθέτηση – Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	Χαμηλές ανάγκες σε ενέργεια και ισχύ εφεδρείας (backup)	NMC, LTO
Short Sea Shipping	Ποικίλλει	Ποικίλλει	Πλήρης ηλεκτρική ή υβριδική λειτουργία	Εξαρτώμενοι από το σκάφος και τον κύκλο λειτουργίας	NMC, LFP, LTO
Deep Sea Vessels Ποντοπόρα	0 – 14	Ποικίλλει	Συμπλήρωμα στο PTO	Ποικίλουν, Λεπτομερής ανάλυση κύκλου	NMC, LFP, LTO
Bulk Vessels with Cranes	0 – 30	0 – 3	Συστήματα γερανών	Ενσωμάτωση στο μέγεθος του συστήματος των γεννητριών	NMC, LFP, LTO
Tug Boats ρυμουλκά	5 – 15	2 – 8	Πλήρης ηλεκτρική ή υβριδική λειτουργία	Λεπτομερής ανάλυση κύκλου	NMC, LFP, LTO
Yachts	5 – 10	Ποικίλλει	Σιωπηλή λειτουργία, Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	Λεπτομερής ανάλυση κύκλου	NMC, LFP, LTO
High Speed Ferry	Εώς και 100	3 – 6	Πλήρης ηλεκτρική ή υβριδική λειτουργία	Λεπτομερής ανάλυση κύκλου	NMC, LFP, LTO

Wind Farm Supports Vessels	5 – 20	2 – 5	Δυναμική Θεσιθέτηση – Στρεφόμενη εφεδρεία ισχύος	Χαμηλές ανάγκες σε ενέργεια και ισχύ εφεδρειας (backup)	NMC, LFP, LTO
----------------------------	--------	-------	---	--	---------------

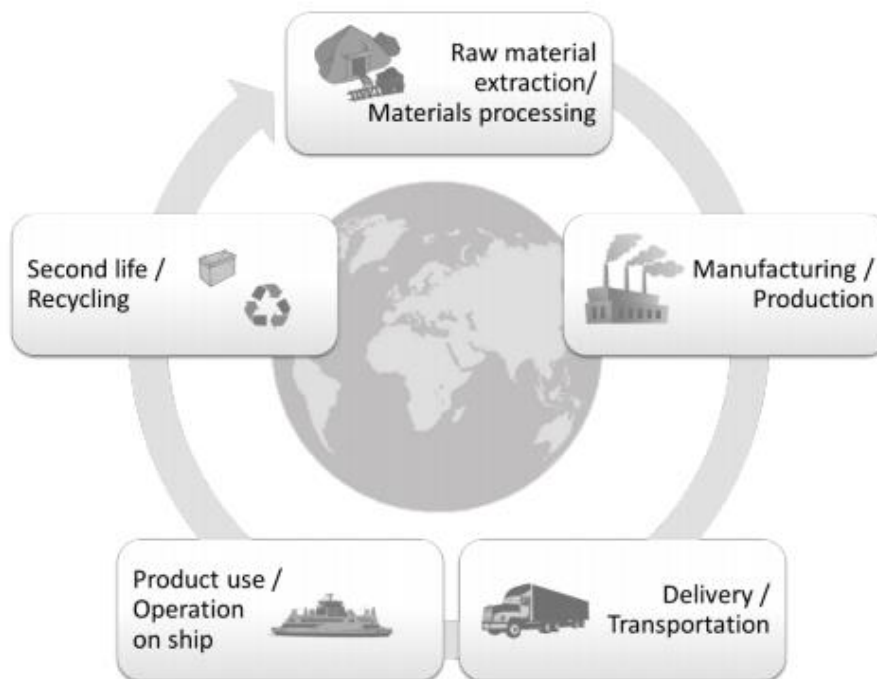


Εικόνα 30: Αριθμός Πλοίων Που Χρησιμοποιούν Μπαταρίες

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές αναλύσεις κύκλου ζωής (Life-Cycle Assessment=LCA) για τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μπαταριών, κυρίως για την αυτοκινητοβιομηχανία. Μια LCA ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μπαταρίας δεδομένων όλων των πτυχών της χρονικής της αλυσίδας, από την παραγωγή έως τις διαδικασίες στο τέλος του κύκλου ζωής, όπως η ανακύκλωση.



Εικόνα 31: Ο Κύκλος Ζωής Μιας Μπαταρίας Κατά Την LCA

Τα πέντε στάδια της ζωής μιας μπαταρίας αποτελούνται, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, από την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών, την κατασκευή και την παραγωγή τους, την μεταφορά και την παράδοσή τους, τη χρήση τους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και το τέλος της, με πιθανή ανακύκλωση. Το κύριο περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα προέρχεται από την ενέργεια που χρησιμοποιείται στη διαδικασία παραγωγής. Το τμήμα της εξόρυξης και διύλισης έχει σχετικά χαμηλή συμβολή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και υπάρχουν σχετικά μικρές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χημικών διαδικασιών. Ωστόσο, όταν κατασκευάζονται τα ηλεκτρόδια και οι ηλεκτρολύτες, η επιλογή υλικού είναι πολύ σημαντική μιας και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξαρτώνται κυρίως από το υλικό που χρησιμοποιείται. Τα διάφορα εξαρτήματα πρέπει να συναρμολογηθούν και η μπαταρία να παραχθεί. Η κατασκευή και η συναρμολόγηση των μπαταριών έχει σημαντική επίδραση στο περιβάλλον, καθώς η παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου είναι πολύ απαιτητική σε ενέργεια. Προτού χρησιμοποιηθεί η μπαταρία, θα πρέπει να μεταφερθεί και να εγκατασταθεί στο πλοίο. Η διαδικασία μεταφοράς απαιτεί ενέργεια, η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εξέταση ενός κύκλου ζωής. Ο αντίκτυπος αυτής της φάσης εξαρτάται από την απόσταση που πρέπει να διανύσει η μπαταρία πριν την εγκατάσταση της. Όταν η μπαταρία πρόκειται να εγκατασταθεί σε ένα πλοίο, συνήθως διαστασιολογείται με βάση την προγραμματισμένη λειτουργία του σκάφους. Όπως περιγράφεται, ο δείκτης C – rate, η κατάσταση SOC και ο αριθμός κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης είναι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της μπαταρίας, και άρα το αντίστοιχο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Μετά την υποβάθμιση της μπαταρίας σε σημείο που δεν ταιριάζει πλέον με το προφίλ λειτουργίας του σκάφους, θα έχει απομείνει κάποια αποθηκευτική ικανότητα και θα μπορεί να ανακαινιστεί για επαναχρησιμοποίηση και να αποκτήσει δεύτερη ζωή. Σε γενικές γραμμές, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου θεωρούνται ότι βρίσκονται στο τέλος της ζωής τους όταν η χρησιμοποιούμενη ενεργειακή τους ικανότητα φτάνει το 80% της αρχικής της αξίας. Μετά από ένα σημείο η μπαταρία δεν είναι πλέον κατάλληλη και με συνεχιζόμενη χρήση το ποσοστό απώλειας κατά την αποθήκευση μπορεί να αυξηθεί μη γραμμικά. Έτσι, η μπαταρία φτάνει στο «τέλος της ζωής» για την εκάστοτε εφαρμογή. Σε κάποιο σημείο η μπαταρία δεν μπορεί πλέον να επαναχρησιμοποιηθεί οπότε οδηγείται για ανακύκλωση.

ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

Η ηλεκτροπρόωση ενός σκάφους μπορεί να μηδενίσει εντελώς τις εκπομπές CO₂, NO_x, σωματιδίων (PM), SO_x και θορύβου (θόρυβος ανάλογα με τη διάταξη πρόωσης). Για ένα υβριδικό σκάφος, το αποτέλεσμα της μείωσης των εκπομπών θα εξαρτηθεί από το επίπεδο λειτουργίας μόνο με μπαταρία. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, η εξοικονόμηση ενέργειας για το περιβάλλον εξαρτάται από τις εκπομπές που δημιουργούνται κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Για να μηδενίσουν αυτές τις εκπομπές, τα σκάφη με μπαταρία πρέπει να φορτίζονται με ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η περιβαλλοντική απόδοση των σκαφών εκτιμάται με βάση την ετήσια κατανάλωση καυσίμου, την ετήσια εξοικονόμηση καυσίμων, την χωρητικότητα μπαταρίας και την GWP ανά χωρητικότητα μπαταρίας (kWh).

Ο Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) στοχεύει στην προώθηση της χρήσης του πιο ενεργειακά αποδοτικού (λιγότερο ρυπογόνου) εξοπλισμού και κινητήρα. Είναι προς το παρόν ο πρωταρχικός τρόπος ενεργειακής αξιολόγησης ενός σκάφους και ως εκ τούτου είναι ένα σημαντικό τεχνικό μέτρο το οποίο καθορίζει τις απαιτήσεις όσον αφορά το ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης ανά μίλι για διαφορετικού τύπου και μεγέθους

πλοία. Βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση του σκάφους, τόσο η κατανάλωση καυσίμου όσο και το EEDI μπορούν να μειωθούν. Το EEDI για ένα σκάφος υπολογίζεται με έναν μαθηματικό τύπο που λαμβάνει υπόψη τη θεωρητική κατανάλωση ενέργειας του σκάφους με βάση τους εγκατεστημένους κινητήρες, μέτρα για τη βελτίωση της απόδοσης καθώς και το μέγεθος και χωρητικότητα του σκάφους. Μέχρι στιγμής, οι παράγοντες της αγοράς έχουν εκφράσει ότι οι ισχύουσες διατάξεις του EEDI δεν επαρκούν, ώστε να μπορούν να προσφέρουν οι μπαταρίες στην εξοικονόμηση ενέργειας.

ΚΟΣΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Οι μπαταρίες έχουν μεγάλο εύρος τιμών ανάλογα με τις εφαρμογές και τη χημεία τους. Για παράδειγμα, ενώ οι μπαταρίες NCM και LFP συνήθως κυμαίνονται από 500 - 1000 USD / kWh, οι LTO έχουν συνήθως το διπλάσιο κόστος. Θα γίνει αναφορά σε δύο διαφορετικά μεγέθη, το κόστος κτήσης (CAPEX) και το λειτουργικό (OPEX).

CAPEX

Το επιχειρησιακό κόστος κτήσης για ένα σύστημα μπαταριών είναι συχνά σημαντικό και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε πρώιμο στάδιο. Δεδομένης της τιμής αγοράς του συστήματος αποθήκευσης ο υπολογισμός του συνολικού κόστους της μπαταρίας περιλαμβάνει τα εξής : αλλαγές στην αγορά (PMS / IAS / DP), εγκατάσταση στο ναυπηγείο, FMEA, τροποποιήσεις πίνακα, θέση σε λειτουργία και δοκιμές. Η διάρκεια ζωής των μπαταριών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον κύκλο λειτουργίας για τον οποίο χρησιμοποιούνται, σε σχέση με το μέγεθος της μπαταρίας. Οι τιμές των συστημάτων με βάση το λίθιο έχουν μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να συνεχιστούν τα επόμενα χρόνια. Οι ναυτιλιακές απαιτήσεις επηρεάζουν επίσης το κόστος των μπαταριών που προορίζονται για θαλάσσια χρήση. Οι κύριοι οδηγοί κόστους σε σύγκριση με τις μπαταρίες που προορίζονται για ηλεκτρονικά είδη και ηλεκτρικά οχήματα σχετίζονται με βελτιωμένες απαιτήσεις ασφάλειας και επιδόσεων και αυστηρότερες απαιτήσεις χρόνου ζωής.

OPEX

Εκτός από την αποδοτικότητα, το κόστος λειτουργίας καθορίζεται από τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες ποικίλλουν σημαντικά από την περιοχή στην περιοχή. Για παράδειγμα, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στη Νορβηγία είναι συνήθως περίπου 0,12 USD / kWh, ενώ οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ κυμαίνονται από 0,09 έως 0,30 USD / kWh. Το OPEX ενός ηλεκτρικού πλοίου μπορεί να είναι χαμηλότερο από το συμβατικό του ισοδύναμο.

ΠΡΟΤΥΠΑ, ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - IMO - ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΡΑΤΩΝ/ΣΗΜΑΙΩΝ

Η ναυτιλία είναι μια διεθνής βιομηχανία και τα διεθνή πρότυπα περιβάλλοντος, προστασίας και ασφάλειας αναπτύσσονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο IMO είναι ο υπεύθυνος φορέας για τη σύνταξη, συζήτηση, έγκριση, δημοσίευση και τη διατήρηση ρυθμιστικών μέσων που παίζουν σημαντικό ρόλο στις εγκαταστάσεις μπαταριών σε πλοία. Σε πολλές περιπτώσεις, η ασφάλεια και οι τεχνικές απαιτήσεις για την εγκατάσταση της μπαταρίας καθορίζονται από το IMO 1455. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα εάν δεν υπάρχουν ισχύοντες ή σχετικοί κανόνες κλάσης ή απαιτήσεις για την κατάσταση της σημαίας. Κάποιοι από τους σημαντικότερους ισχύοντες διεθνείς κανονισμούς είναι ο MARPOL Annex VI (2005) ο οποίος αφορά την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία και θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίου του θείου (SOx) και οξειδίου του αζώτου (NOx) ενώ θεσπίζει υποχρεωτικά τεχνικά και λειτουργικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ο SOLAS ο οποίος ορίζει ως διεθνή συμφωνημένη ελάχιστη απαίτηση για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία πλοίων ενώ στο Κεφάλαιο II-1 προσδιορίζει μεταξύ άλλων απαιτήσεις για μπαταρίες και γεννήτριες. Επίσης υπάρχουν ο MSC.1Circ.1455, ο οποίος χρησιμεύει για να περιγράψει τη μεθοδολογία για την ανάλυση και διαδικασία έγκρισης ενός εναλλακτικού και ισοδύναμου σχεδίου και ο IMDG Code. Η χρήση μπαταριών σε πλοία δεν φαίνεται να περιλαμβάνεται ακόμη στην διάταξη του IMO ή των υποεπιτροπών του. Ωστόσο, υπάρχει κάποια πιθανότητα να αλλάξει καθώς ο IMO θα αρχίσει να συνεργάζεται με μέτρα GHG ως μέρος της παρακολούθησης των νέων στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μέχρι στιγμής, εμφανίζεται ως το μεγαλύτερο μέρος των αναπτυξιακών εργασιών να γίνεται από τα μεμονωμένα κράτη. Με την εμφάνιση της τεχνολογίας μπαταρίας ιόντων λιθίου, οι χώρες/σημαίες υποχρεώθηκαν να σχεδιάσουν απαιτήσεις σχετικά με το εν λόγω ζήτημα. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε και η ωριμότητα των απαιτήσεων για τα διαφορετικά κράτη/σημαίες διαφέρουν σημαντικά με την συντριπτική πλειονότητα των εθνών να μην έχει δηλωμένες απαιτήσεις. Για παράδειγμα, ορισμένες οδηγίες από τα έθνη με δηλωμένες απαιτήσεις προέρχονται από τη Norwegian Maritime Authority (2016) με απαιτήσεις για την αποθήκευση χημικής ενέργειας σε θαλάσσια συστήματα μπαταριών, τη Danish Maritime Authority, τη US Coast Guard και τη UK Maritime and Coastguard Agency.

ΚΩΔΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ

Υπάρχουν πολλοί οργανισμοί που αναπτύσσουν κανόνες και πρότυπα για την κάλυψη απαιτήσεων ασφάλειας και δοκιμών, ηλεκτρικών συστημάτων και στατικών συστημάτων ισχύος, όπως η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC), το Underwriter's Laboratory (UL) και ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO).

Cell Level Tests		System Level Tests	
Test Number	Description	Test Number	Description
7.2.1	External short-circuit	7.3.3	Propagation test
7.2.2	Impact test	8.2.2	Overcharge control of voltage
7.2.3	Drop Test	8.2.3	Overcharge control of current
7.2.4	Thermal abuse test	8.2.4	Overheating control
7.2.5	Overcharge test		
7.2.6	Forced discharge test		

Εικόνα 32: Απαραίτητες Δοκιμές Για Συστήματα Μπαταρίας

Standards / Rule	Year of publication	Short description
EN 50110 Edition 2.N (2013-06-01)	2013	Operation of electrical installations -- Part 1: General requirements - Supporting documentation for batteries and electrical testing
IEC 61508 Edition: 1.0 (2005-01-20)	2005	Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Supporting documentation for batteries and electrical testing
IEC 61511 Edition: 1.0 (2003-12-19)	2003	Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Supporting documentation for batteries and electrical testing
ISO 26262 Edition: 1 (2011-11-14)	2001	Road vehicles -- Functional safety - Supporting documentation for batteries and electrical testing
IEEE 45-2002	2002	Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard

Standards	Year of publication	Short description
UN Manual of Tests and Criteria, UN DOT 38.3	2015	Transport of Dangerous Goods
IEC 62281 Edition: 2.0 (2014-02-01)	2014	Safety of primary and secondary lithium cells and batteries during transport
UL1642 Edition 5 (2012-03-13)	2012	Standard for Lithium Batteries,
UL1973		Standard for Batteries for Use in Light Electric Rail (LER) Applications and Stationary Applications
UL 9540	2016	Standard for Energy Storage Systems and Equipment
IEC 60529 Edition: 2.2 (2013-10-01)	2013	Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
IEC 61508 Edition: 1.0 (2010)	2010	Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 0: Functional safety - Relevant for BMS
IEC 60092-504 Edition: 3.0 (2001-03-22)	2001	Electrical installations in ships - Part 504: Special features - Control and instrumentation - Relevant for BMS
IEC 62061 Edition: 1.0 (2010-08-01)	2010	Guidance on the application of ISO 13849-1 and IEC 62061 in the design of safety-related control systems for machinery - Relevant for BMS

Εικόνα 33: Παραδείγματα Προτύπων Για Εγκαταστάσεις Μπαταριών

ΚΑΝΟΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ DNV GL

Οι κανόνες κατηγορίας DNV GL αφορούν τη χρήση μπαταριών για την παροχή ισχύος πρόωσης σε υβριδικά σκάφη ή σε αμιγώς ηλεκτρικά σκάφη με μπαταρία. Η DNV GL δημοσίευσε δοκιμαστικούς κανονισμούς για τη χρήση μπαταρίας ιόντων λιθίου το 2012. Αυτοί οι κανόνες ενημερώθηκαν και δημοσιεύθηκαν τον Οκτώβριο του 2015 κάτω από το κοινό σύνολο κανόνων του DNV GL. Η τελευταία έκδοση των κανόνων DNV GL είναι από τον Ιανουάριο του 2018, με τροποποιήσεις τον Ιούλιο του 2018 (DNV GL, 2018). Οι απαιτήσεις στους Κανόνες Τάξης DNV GL βασίζονται στη λειτουργία και ισχύουν για όλα τα πλοία ταξινόμησης DNV GL. Το επίκεντρο των κανόνων είναι η ασφάλεια της ολοκληρωμένης εγκατάστασης μπαταρίας και οι ειδικές απαιτήσεις δοκιμής για ένα τέτοιο σύστημα. Οι δύο συμβολισμοί στους κανόνες μπαταρίας DNV GL είναι α) Μπαταρία – Πηγή Ανάγκης και β) Μπαταρία- Πηγή Ισχύος. Ο πρώτος είναι υποχρεωτικός για όλα τα DNV GL κατηγορίας σκάφη όπου η εγκατάσταση χρησιμοποιείται ως πρόσθετη πηγή ισχύος και έχει συνολική χωρητικότητα άνω των 20 kWh, με κανονισμούς για την αποφυγή θερμικών συμβάντων και τον περιβαλλοντικό έλεγχο συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας και του εξαερισμού στον χώρο της μπαταρίας ενώ ο δεύτερος είναι υποχρεωτικός για σκάφη όπου η ισχύς της μπαταρίας χρησιμοποιείται ως προωστική ισχύς κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ή όταν η μπαταρία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως πλεονάζουσα πηγή ισχύος για κύριους ή και πρόσθετους λόγους. Οι κανονισμοί DNV GL εμπλουτίστηκαν από το Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems του οποίου κύριος στόχος του ήταν να βελτιώσει τα συστήματα, τα εργαλεία και τα κριτήρια για ασφαλή και αποτελεσματική εισαγωγή τεχνολογίας μπαταριών ιόντων λιθίου σε υβριδικά και ηλεκτρικά επιβατηγά πλοία.

ΚΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ευρύς όγκος συστημάτων μπαταρίας στον ναυτιλιακό τομέα με τους κανονισμούς να υπάρχουν μόνο ως μέρος των κοινών κανόνων που δημοσιεύτηκαν από το 2015 και μετά. Έτσι, η συντριπτική πλειονότητα των ρυθμιστικών αρχών για τα συστήματα μπαταριών έχουν ήδη αυξημένες απαιτήσεις σε εμπλουτισμό. Επομένως, τα κενά που δημιουργούνται αντιπροσωπεύουν περισσότερο προσθήκες και βελτιώσεις στους υπάρχοντες κανονισμούς. Τα κενά έχουν ταξινομηθεί σε τρεις κατηγορίες. Τα κενά στην νομοθεσία ,που αφορούν κανονισμούς και πρότυπα, τα κενά εναρμόνισης μεταξύ κανονισμών, διατάξεων, κατευθυντήριων γραμμών και προτύπων και τα γνωσιακά κενά. Τα παραπάνω εντοπίζονται συνδυαστικά ή μεμονωμένα σε διάφορα ζητήματα. Το σύστημα Battery Management Systems (BMS) έχει κενά εναρμόνισης, η πιστοποίηση ασφάλειας και χρόνου ζωής της ποιότητας του κελιού μπαταρίας έχουν κενά γνώσης, οι δοκιμασίες θερμικής διαφυγής έχουν κενά γνώσης και εναρμόνισης, οι άδειες της backup χρήσης της μπαταρίας συναντούν νομικά κενά και κενά εναρμόνισης, ενώ η πιστοποίηση για διαφορετικά συστήματα κατάσβεσης μπαταρίας συναντά κενά και στα τρία σημεία.

ΑΣΦΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ

Η μπαταρία όπως και οποιαδήποτε πηγή ισχύος, εξ ορισμού, αποθηκεύει ενέργεια. Σε ένα οποιοδήποτε τέτοιο σύστημα, υπάρχει ο κίνδυνος να απελευθερωθεί αυτή η ενέργεια με τρόπο διαφορετικό από αυτόν που προορίζεται, συχνά με πιθανές συνέπειες για την ασφάλεια του συστήματος. Σε αυτό το σημείο, γίνεται αναφορά σε ένα υπόβαθρο θεμάτων ασφάλειας και απαιτήσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη όσον αφορά συστήματα μπαταρίας ιόντων λιθίου, συνοδευόμενα από συγκεκριμένες συστάσεις που πρέπει να ακολουθηθούν όσον αφορά την εγκατάστασή τους σε πλοίο.

ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Οι ανησυχίες για την ασφάλεια των μπαταριών ιόντων λιθίου προέρχονται από δύο πηγές - η μία είναι η παρουσία εύφλεκτου, ασταθούς ηλεκτρολύτη και η δεύτερη είναι η παρουσία μεταλλικών ηλεκτροδίων που μπορούν να καούν και συχνά να απελευθερώσουν οξυγόνο. Η ανάφλεξη και η πιθανότητα ύπαρξης ζητήματος ασφαλείας συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τον εύφλεκτο ηλεκτρολύτη, ενώ η υψηλή θερμοκρασία και η δύσκολη κατάσβεση της πυρκαγιάς συνδέεται με τα ηλεκτρόδια. Με βάση αυτά τα στοιχεία, υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι αποτυχίας που μπορεί να προκύψουν από την κακή λειτουργία μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου. Η υπερχέλιση θερμικής διαφυγής και η απελευθέρωση τοξικών και εύφλεκτων αερίων. Η θερμική διαφυγή είναι η εξώθερμη αντίδραση που συμβαίνει όταν μια μπαταρία ιόντων λιθίου αρχίζει να καίγεται. Το θερμικό συμβάν ξεκινά συχνά από έναν μηχανισμό που προκαλεί επαρκή εσωτερική αύξηση της θερμοκρασίας, μέσα σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο, ώστε να αναφλεγεί ο ηλεκτρολύτης. Αυτή η επικείμενη φλόγα, εν συνεχεία, ενέχει σημαντικό κίνδυνο ανάφλεξης και των μεταλλικών ηλεκτροδίων που περιέχονται στο στοιχείο της μπαταρίας, παράγοντας υψηλής θερμοκρασίας φωτιά. Επιπλέον, αυτά τα μέταλλα μπορεί να περιέχουν οξυγόνο, το οποίο θα απελευθερώνεται καθώς αυτά καίγονται. Ένα ναυτικό σύστημα μπαταρίας αποτελείται συνήθως από χιλιάδες στοιχεία. Έτσι, η αστοχία που θα την ακολουθήσει απελευθέρωση θερμότητας μόνο από ένα στοιχείο είναι μια σχετικά μικρή απειλή. Η μεγαλύτερη απειλή προέρχεται όταν αυτό το θερμικό συμβάν παράγει επαρκή θερμότητα που διαδίδεται και σε άλλα στοιχεία, οδηγώντας τα σε θερμική διαφυγή. Έτσι, υπάρχει ο κίνδυνος πυρκαγιάς ολόκληρης της μπαταρίας. Για αυτόν τον λόγο, οι μονάδες και τα συστήματα μπαταριών πρέπει να κατασκευάζονται με αρχή την προστασία έναντι της μετάδοσης θερμότητας που διαφεύγει από στοιχείο σε στοιχείο. Ταυτόχρονα, ο ηλεκτρολύτης που περιέχεται εντός ενός κελιού αποτελείται από έναν οργανικό διαλύτη, εύφλεκτο, με τα αέρια που παράγονται κατά τη διάρκεια ενός σεναρίου αστοχίας να είναι επίσης εύφλεκτα και να παρουσιάσουν κίνδυνο έκρηξης. Αυτά τα αέρια μπορεί να είναι επίσης τοξικά. Επομένως, απαιτείται επιπλέον προσοχή όσον αφορά τις πηγές ανάφλεξης και τον εξαερισμό στον χώρο της μπαταρίας.

Επιπλέον ζητήματα ασφαλείας για μια μπαταρία ιόντων λιθίου αποτελούν τα εξής: η υπερφόρτιση, δηλαδή η φόρτισή της σε σημείο όπου η τάση της ξεπερνάει την ονομαστική της, η υπερβολική εκφόρτισή της, δηλαδή η εκφόρτισή της σε σημείο όπου η τάση ξεπερνάει τα κατώτατα όρια, το υπερβολικό ρεύμα, που προέρχεται από την εκφόρτιση σε πολύ υψηλό επίπεδο ισχύος και μπορεί να οδηγήσει στην ανάφλεξη των ηλεκτρολυτών, η υπερ-θέρμανση, η υπο-θέρμανση, το εξωτερικό βραχυκύκλωμα, η μηχανική βλάβη, η εξωτερική ανάφλεξη και το εσωτερικό σφάλμα που μπορεί να οδηγήσει σε εσωτερικό βραχυκύκλωμα με την πιθανότητα ανίχνευσής του να είναι σχεδόν μηδενική. Σχεδόν όλα τα

παραπάνω ζητήματα, προβλέπονται και υπολογίζονται από το BMS, το οποίο αναφέρεται στη συνέχεια.

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM – BMS

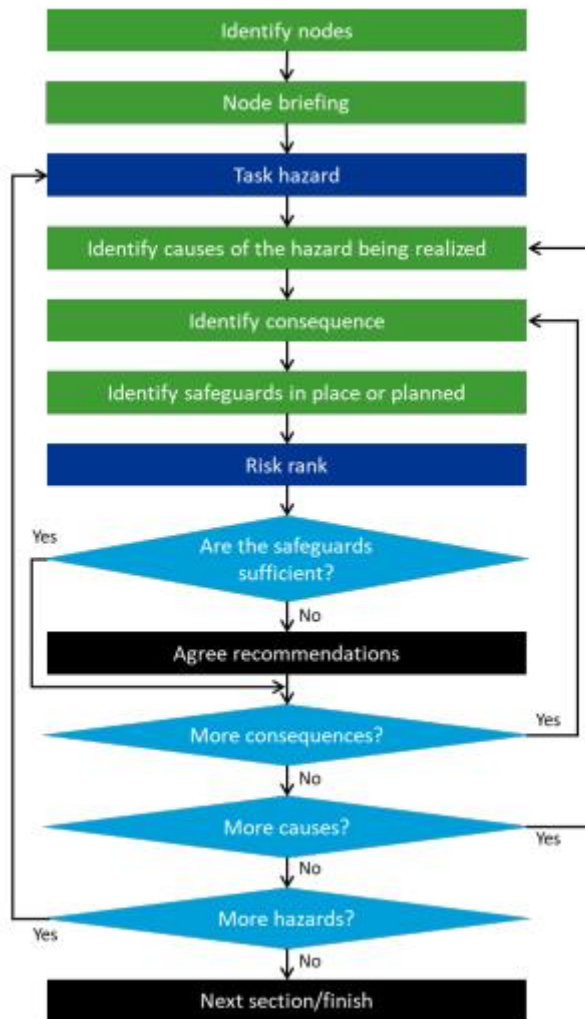
Η μπαταρία είναι τόσο ισχυρή όσο το πιο αδύναμο στοιχείο της. Το σύστημα BMS θα είναι σε θέση να ελαχιστοποιεί αυτές τις παραλλαγές, διατηρώντας τις μπαταρίες σε ισορροπία. Το BMS είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό των τρεχόντων ορίων, SOC και State of Health (SOH) της μπαταρίας. Ένα υψηλής ποιότητας σύστημα BMS αποτελεί βασικό συστατικό ενός ασφαλούς και πλήρως αποτελεσματικού συστήματος μπαταρίας. Το BMS είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την αποτροπή της υπερφόρτισης του μετατροπέα φόρτισης στο σύστημα μπαταρίας. Τέτοιες αστοχίες μπορεί να οδηγήσουν σε περισσότερα από ένα στοιχεία ή λειτουργικές μονάδες να αστοχήσουν ταυτόχρονα. Σημειώνεται ότι το πιο πιθανό σενάριο για τέτοιες αστοχίες προκύπτει από οποιαδήποτε πυρκαγιά ή εκκένωση αερίου ξεκινήσει στο πιο αδύναμο στοιχείο ή μονάδα, πριν εξαπλωθεί στο υπόλοιπο σύστημα. Επιπλέον για την ασφάλεια μιας μπαταρίας παίζουν σημαντικό ρόλο πέρα από το BMS, η χημική σύσταση των κελιών και ο σχεδιασμός της.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Ο στόχος της αξιολόγησης ασφάλειας, με τη μεθοδολογία HAZID, είναι να εντοπιστούν οι βασικοί κίνδυνοι που υπάρχουν στο σύστημα μπαταριών ως αυτοί που αφορούν διάφορες ρυθμίσεις και τεχνολογίες εγκατάστασης. Η προσέγγιση είναι να αξιολογηθεί πώς πιθανές παραλλαγές σχεδιασμού στο σύστημα μπαταριών ναυτικού τύπου επηρεάζουν την ασφάλεια στο πλοίο. Έχουν γίνει οι ακόλουθες αξιολογήσεις:

- I. Παροχή μιας ανάλυσης διακινδύνευσης ενός συμβατικού συστήματος μπαταρίας ναυτικού τύπου που χρησιμοποιείται μαζί με το diesel ηλεκτρική πρόωση.
- II. Παροχή μιας ανάλυσης διακινδύνευσης ενός συμβατικού συστήματος μπαταρίας ναυτικού τύπου που χρησιμοποιείται μαζί με την κυψέλη καυσίμου.
- III. Αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο θα επηρεαστούν οι διαφορετικές παραλλαγές σχεδιασμού του συμβατικού συστήματος μπαταρίας ναυτικού τύπου την εικόνα κινδύνου.

Η προσέγγιση της ανάλυσης διακινδύνευσης εφαρμόζεται με τη μεθοδολογία της Αναγνώρισης Κινδύνου (HAZID) και την Αξιολόγηση του Ρίσκου. Η μέθοδος HAZID στοχεύει στον εντοπισμό κινδύνων και επικίνδυνων συμβάντων που μπορεί να προκαλέσουν σοβαρό και άμεσο κίνδυνο σε προσωπικό, περιβαλλοντικό και ιδιοκτησιακό επίπεδο, στον εντοπισμό αιτιών και συνεπειών επικίνδυνων συμβάντων, στον εντοπισμό προληπτικών μέτρων, στην εκτίμηση των κινδύνων ημι-ποσοτικά χρησιμοποιώντας μια μήτρα κινδύνου και στην πρόταση πιθανών νέων μέτρων που θα εφαρμοστούν στο σχεδιασμό ή / και κατά τη λειτουργία.



Εικόνα 34: Η Διαδικασία HAZID

Η διαδικασία αξιολόγησης του ρίσκου περιλαμβάνει την αξιολόγηση δύο παραμέτρων: Της πιθανότητας να συμβεί το ανεπιθύμητο συμβάν και των συνεπειών του. Ανάλογα τα αποτελέσματα προκύπτουν τρεις κατηγορίες οι οποίες μας υποδεικνύουν και τη σοβαρότητα της κατάστασης:

- Η κατηγορία υψηλού ρίσκου, όπου το συμβάν κρίνεται άκρως επικίνδυνο και πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα,
- η κατηγορία ALARP (As Low As Reasonably Practicable), η οποία αποτελεί οριακή κατάσταση και απαιτεί κάποια περαιτέρω μέτρα για την προστασία του συστήματος
- η κατηγορία χαμηλού ρίσκου, όπου επικυρώνεται η ασφάλεια.

Η δομή της διαδικασίας αξιολόγησης ρίσκου παρουσιάζεται συνοπτικά στο κάτω σχήμα.

Likelihood Consequence		1	2	3	4	5
		Not expected	Very unlikely	Unlikely	Likely	Very likely
1	No effect	low				
2	Minor effect					
3	Moderate effect		ALARP			
4	Major effect					
5	Hazardous effect			high		

Εικόνα 35: Πίνακας Αξιολόγησης Ρίσκου

ΟΡΙΟΘΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας μελέτης, είναι η δημιουργία μια γενικής μεθοδολογίας, η οποία εξετάζει την τεχνική σχεδίαση της ανακατασκευής ενός Επιβατηγού/Οχηματαγωγού πλοίου, από συμβατικό σε πλήρως ηλεκτρικό. Θα προσφερθούν τόσο η τεχνική, όσο και η οικονομική πλευρά αυτής της ανακατασκευής, συμπεριλαμβανομένης και της αναγκαίας προσαρμογής της στεριάς (λιμάνια). Έχει αναπτυχθεί μια μεθοδολογία σχεδίασης εξηλεκτρισμού, προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιλογές της ανακατασκευής. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι έχει ληφθεί υπόψη το οικολογικό και περιβαλλοντικό όφελος.

Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε, ο εξηλεκτρισμός τέτοιων τόσο ευρέως χρησιμοποιούμενων πλοίων, ίσως είναι απαιτητικός ως προς το κόστος, όμως μπορεί να προσφέρει μεγάλο πλεονέκτημα στις τοπικές κοινωνίες, συμβάλλοντας σημαντικά προς ένα καθαρότερο περιβάλλον και προς μια πιο βιώσιμη ναυτιλία. Το σύστημα των μπαταριών, θα αποτελεί τη μοναδική πηγή ισχύος του πλοίου. Η πρόωση και η λειτουργία του πλοίου θα παρέχονται αποκλειστικά από τις μπαταρίες, επομένως θα πρέπει να δοθεί πολύ μεγάλη προσοχή κατά τον υπολογισμό εγκατάστασης αυτών.

Για την σύνταξη της οριοθέτησης της μεθοδολογίας, συλλέχθηκαν επίσης στοιχεία από την διπλωματική εργασία του Χρίστου Μπακιρτζόγλου (Bakirtzoglou, 2017).

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στην παρούσα τους κατάσταση, το μεγαλύτερο ποσοστό των Ε/Γ Ο/Γ πλοίων που εξυπηρετούν προκαθορισμένες γραμμές δρομολογίων μεγαλύτερα των 10-15 μιλίων, είναι κλειστού τύπου και φτιαγμένα με μία πλήρη, δηλαδή έχουν μια τυπική σχεδίαση πλοίου. Τα Ε/Γ Ο/Γ εξυπηρετούν κατά κύριο λόγο δρομολόγια από/προς τα νησιά, και ανάλογα με το μέγεθος και την μεταφορική τους ικανότητα, προσδιορίζεται και η απόσταση και τα δρομολόγια τα οποία πραγματοποιούν. Τέτοιου είδους, μεγέθους και κατηγορίας πλοία φαίνονται σε φωτογραφίες παρακάτω.



Εικόνα 36: Φωτογραφία Τυπικών Ε/Γ Ο/Γ Πλοίων, Τα Οποία Εξυπηρετούν Ελληνικές Ακτογραμμές

Όπως προκύπτει από την μορφή της γάστρας τους, το σύστημα πρόωσης τους αποτελείται συνήθως από μία ή δύο προπέλες, εγκατεστημένες στην πρύμνη του σκάφους, και κατάλληλα συνδεδεμένες με τις κύριες μηχανές (diesel engines), σε αντίστοιχο αριθμό, οι οποίες είναι ικανές να παράγουν την ζητούμενη ισχύ που χρειάζεται το σκάφος. Η τυπική σχεδίαση των Ε/Γ Ο/Γ περιλαμβάνει ένα μηχανοστάσιο, στην πρύμνη, και τις δεξαμενές καυσίμου κοντά ή μέσα σε αυτό.

Τα κύρια μηχανήματα των τωρινών Ε/Γ Ο/Γ πλοίων που καλύπτουν τις ανάγκες των δρομολογίων, αναλυτικότερα είναι:

- Ένας ή δυο μεσόστροφοι κινητήρες ντίζελ, εγκατεστημένοι στο μηχανοστάσιο, για την παροχή της απαραίτητης ισχύος σε αντίστοιχο αριθμό προπελών, εγκατεστημένων στην πρύμνη του πλοίου.
- Δύο ή τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (ηλεκτρογεννήτριες), για την παροχή της απαραίτητης ισχύος των λειτουργικών αναγκών (hoteling) του πλοίου, εγκατεστημένα στο μηχανοστάσιο.
- Μία ηλεκτρογεννήτριας έκτακτης ανάγκης (emergency generator), για την παροχή της απαραίτητης ισχύος για τα άκρως αναγκαία συστήματα του πλοίου, εγκατεστημένη τουλάχιστον πάνω από το κύριο κατάστρωμα.

Τα πλοία αυτά, κατά κύριο λόγο, είναι σχεδιασμένα να χρησιμοποιούν όλους τους εγκατεστημένους κύριους κινητήρες, και φυσικά και τις προπέλες στις οποίες είναι ζευγοποιημένοι (σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από έναν κινητήρα συνδεδεμένο με μία προπέλα), προκειμένου να επιτύχουν την ταχύτητα υπηρεσίας τους (ή αλλιώς την VSERVICE). Σαφώς, σε μερικά δρομολόγια όπου η συχνότητα είναι υψηλή, και όπου τα λιμάνια είναι σχετικά σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, είναι αποδεκτή η πλεύση σε μικρότερες ταχύτητες, χρησιμοποιώντας μερικές φορές έως και σχεδόν τη μισή από την Μέγιστη Συνεχόμενη Ισχύ (Maximum Continuous Rating, ή MCR) που είναι εγκατεστημένη στο πλοίο. Σε δρομολόγια με μικρό έως μεσαίο χρόνο διαδρομής, 30-100 λεπτά, μια μικρή καθυστέρηση των 2-5 λεπτών, είναι σχεδόν μη παρατηρήσιμη για τους επιβάτες, αλλά μπορεί να αποτελεί τεράστιο οικονομικό συμφέρον για τους πλοιοκτήτες. Είναι προφανές, ότι σε οποιαδήποτε περίπτωση ανάγκης, όλη η υπόλοιπη ισχύς των κύριων κινητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εφόσον χρειαστεί. Φυσικά, θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στο μέγεθος του συστήματος μπαταριών που θα εγκατασταθεί, προκειμένου αυτό να διατηρηθεί ταυτόχρονα αρκετό σε ισχύ αλλά και οικονομικό.

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ Ε/Γ Ο/Γ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ		
Διακύμανση κυρίων διαστάσεων		Κύρια μηχανήματα
L (Μήκος)	70 – 140 (m)	1 ή 2 μεσόστροφη Κύρια Μηχανή, 3000-7000 kW συνολικά
B (Πλάτος)	14 – 22 (m)	2 ή 3 ηλεκτρογεννήτριες, 150-450 ekW η κάθε μία
T (Βύθισμα)	2.3 – 4.7 (m)	1 ηλεκτρογεννήτρια έκτακτης ανάγκης, 50-90 kW
V _s (Ταχύτητα)	15 – 28 (knots)	
Επιβάτες	600 – 1915	
Αυτοκίνητα Ι.Χ.	50 – 400	
Φορτηγά	10 – 40	Έτος κατασκευής : 1980-2013

Εικόνα 37: Κύρια Χαρακτηριστικά Πλοίων Ε/Γ Ο/Γ Που Εξυπηρετούν Ελληνικούς Πλόες

Το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής των πλοίων αυτών δουλεύει με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) στα 60 Hz.

Για την παρούσα μελέτη του εξηλεκτρισμού συμβατικών πλοίων, θα χρειαστεί να εγκατασταθούν μπαταρίες, σε κατάλληλο αριθμό, οι οποίες θα παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για τις ανάγκες του πλοίου σε πρόωση (propulsion) αλλά και λειτουργία (hoteling). Οι μπαταρίες αυτές θα επαναφορτίζονται μόλις το πλοίο πιάνει λιμάνι, μέσω κατάλληλης σύνδεσης με την ξηρά. Είναι ευνόητο λοιπόν, ότι θα χρειαστούν μετατροπές όχι μόνο πάνω στα καράβια, αλλά και στην περιοχή της ξηράς των λιμανιών.

Πιο αναλυτικά, η μετασκευή ή ο εξηλεκτρισμός, των πλοίων θα πρέπει να αποτελείται από:

- Εγκατάσταση απαραίτητου αριθμού μονάδων μπαταριών, οι οποίες θα σχηματίζουν με τη σειρά τους ομάδες μπαταριών, στη θέση των τωρινών δεξαμενών καυσίμου.

- Κατάλληλη διάταξη των ομάδων μπαταριών σε συστοιχίες, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η απαραίτητη τάση (Voltage) και χωρητικότητα (Ah), με βάση το επιλεγμένο επιχειρησιακό προφίλ και το ρυθμιστικό πλαίσιο.

- Η τοποθέτηση του συστήματος των μπαταριών πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την εθνική και διεθνή νομοθεσία.

- Εγκατάσταση συστήματος διαχείρισης των μπαταριών (Battery Management System).

- Αντικατάσταση των υφιστάμενων κύριων κινητήρων ντίζελ εσωτερικής καύσης, με ηλεκτροκινητήρες της ίδιας ισχύος και στροφών, που θα είναι υπεύθυνοι για την παροχή ισχύς στις έλικες (εάν είναι περισσότερες από μία).

- Τροποποιήσεις στον άξονα και την προπέλα για την σύνδεση τους με τους νέους ηλεκτρικούς κινητήρες.

- Κατάλληλη τροποποίηση του δικτύου διανομής του πλοίου.

- Απεγκατάσταση των υφιστάμενων ηλεκτρικών γεννητριών, εφόσον πλέον η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς θα παρέχεται κατευθείαν από το σύστημα μπαταριών.

- Εγκατάσταση ενός σημείου σύνδεσης με την πλευρά της ξηράς, για την επαναφόρτιση των μπαταριών.

Κατάλληλες μετατροπές και εγκαταστάσεις θα χρειασθούν και από την πλευρά της ξηράς, στα λιμάνια, οι οποίες θα πρέπει να αποτελούνται από:

- Υπόγεια καλώδια.

- Τουλάχιστον ένα υποσταθμό που θα περιέχει: α) μετατροπείς συχνότητας ή/και ανορθωτές (converters, rectifiers), β) μετασχηματιστές ισχύος, γ) όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό προστασίας και ασφάλειας.

- Εξοπλισμό διασύνδεσης που θα περιέχει: α) βύσματα και πρίζες, β) καλώδια και ρολά καλωδίων, γ) στροφάλους, δ) σύστημα πρόσδεσης (mooring system).

Το έργο της εύρεσης της βέλτιστης διάταξης, του μεγέθους και των τροποποιήσεων, τόσο στην ξηρά όσο και πάνω στο πλοίο, είναι ένα πρόβλημα με πολλούς παράγοντες. Πολλές παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο από την τεχνική/σχεδιαστική πλευρά, όσο και από τις επιχειρησιακές απαιτήσεις της διαδρομής και της ασφάλειας, ώστε να βελτιστοποιηθεί το έργο. Οι κύριες προτεραιότητες ενός συστήματος μπαταριών για θαλάσσιες εφαρμογές, είναι η ασφάλεια και η αξιοπιστία των επιβατών και του σκάφους, καθώς επίσης και η επαρκής ζωή προκειμένου να είναι οικονομικά εφικτό το σύστημα.

ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Προκειμένου να προχωρήσουμε στην τεχνική σχεδίαση, της μετασκευής του πλοίου με μπαταρίες και το σύστημα φόρτισης από πλευράς ξηράς, χρειάζεται πρώτα να έχουμε μια εικόνα και να διασφαλίσουμε την συμμόρφωση με τις ισχύουσες νομοθεσίες, οι οποίες θέτουν τις προϋποθέσεις για το ξεκίνημα της πιστοποίησης ενός πλοίου με μπαταρίες και οι οποίες δημοσιεύονται από τις αρχές της σημαίας (flag state authorities), τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας (International Maritime Organization, ή I.M.O.) και από τους διάφορους νηογνώμονες, είτε με τη μορφή υποχρεωτικών κανόνων είτε με τη μορφή κατευθυντήριων γραμμών.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του I.M.O. (EUROSOLAS – οδηγία 98/18/EK), με τους οποίους συμμορφώνεται η Ελλάδα ως κράτος-μέλος και ως αρχή σημαίας, αναφέρονται τα ακόλουθα για τα Ε/Γ Ο/Γ πλοία υπό ανακατασκευή, που ανήκουν στην «Κατηγορία Γ»:

- Επιβατηγά πλοία που εκτελούν εσωτερικά δρομολόγια σε θαλάσσιες περιοχές όπου η πιθανότητα υπέρβασης των 2,5 μέτρων σημαντικού ύψους κύματος είναι μικρότερη από 10% σε περίοδο ενός έτους, προκειμένου για εκτέλεση δρομολογίων καθ' όλη την διάρκεια του έτους.
- Κατά τη διάρκεια των δρομολογίων, ουδέποτε απομακρύνονται περισσότερο από 15 μίλια από καταφύγιο ούτε περισσότερο από 5 μίλια από την ακτογραμμή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι νομοθεσία από τον I.M.O. ή από την Ελληνική πολιτεία σχετικά με σκάφη με μπαταρίες ως μοναδική πηγή ισχύος, δεν υπάρχει και βρίσκεται υπό εξέλιξη. Το σκάφος μετά τη μετασκευή πρέπει να εξασφαλίζει την ίδια ασφάλεια και το ίδιο επίπεδο ακεραιότητας όπως και πριν, όταν δηλαδή τροφοδοτούνταν από συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσεως. Τα κεφάλαια της SOLAS (I.M.O. International Convention for Safety of Life at Sea), για την ηλεκτρολογική εγκατάσταση και την πυροπροστασία, είναι τα πλέον κατάλληλα για την ανακατασκευή αυτής της συγκεκριμένης μελέτης.

Σε ότι αφορά στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης που σχετίζονται με τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και τις πυροσβεστικές της ικανότητες, δεν θα προβούμε σε καμία παρέμβαση. Η απόφαση μας είναι να διατηρήσουμε τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης ως έχει, αφού έχει ήδη διαστασιοποιηθεί και εγκριθεί. Είναι σημαντικό επίσης να αναφέρουμε ότι το φάσμα της διαθέσιμης χημείας των στοιχείων, καθιστά ανέφικτη την ύπαρξη ενός κανονιστικού πλαισίου κανονισμών για όλες τις διαθέσιμες μπαταρίες στην αγορά.

Το επόμενο βήμα στην μελέτη, είναι η επιλογή ενός νηογνώμονα για την κατηγοριοποίηση (classification) του σκάφους με μπαταρίες, ώστε να πιστοποιηθεί ως “battery – ready”, δηλαδή έτοιμο για πλεύση με χρήση μπαταριών. Δεδομένου ότι αυτή η επιλογή είναι ένα

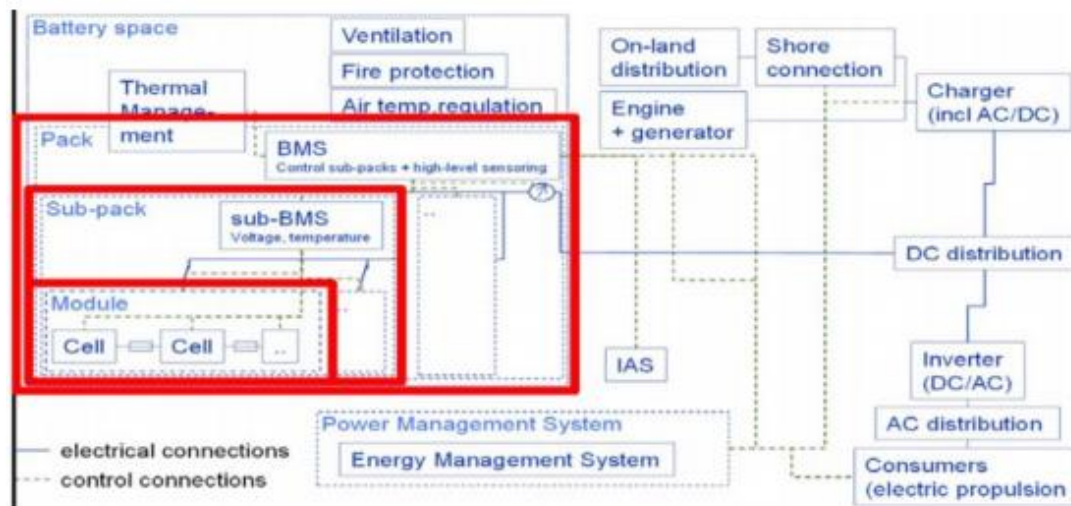
πολύ λεπτό ζήτημα, προτιμήσαμε να κοιτάξουμε σε περισσότερους από έναν νηογνώμονα, και να παρουσιάσουμε τα πιο σημαντικά σημεία που προέκυψαν και σχετίζονται με το σχεδιασμό μας.

Η τεχνική σχεδίαση του συστήματος μπαταριών και η διάταξη του στο σκάφος, γίνεται με βάση τις ακόλουθες δημοσιεύσεις:

- 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

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Το σύστημα μπαταριών είναι η καρδιά του σκάφους μας. Ο ρόλος του είναι να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για κάθε λειτουργία του πλοίου. Τα κύρια συστατικά ενός γενικού συστήματος μπαταριών είναι τα στοιχεία (cells), το υλικό (hardware) που απαιτείται για την κατασκευή των μονάδων μπαταριών, των υπο-συστοιχιών και των συστοιχιών, τα απαιτούμενα εξαρτήματα για τη θερμική διαχείριση, τα χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως είναι οι επαφές και οι ασφάλειες, οι καλωδιώσεις και τα καλώδια υψηλής τάσης, τα ηλεκτρονικά, οι αισθητήρες τάσης και θερμοκρασίας και τα καλώδια και οι υποδοχές χαμηλής τάσης.



Εικόνα 38: Σύστημα Μπαταριών Και Τα Συσχετιζόμενα Υπο-συστήματα

Το στοιχείο (cell) είναι η μικρότερη ηλεκτροχημική μονάδα. Μια συνδεσμολογία από στοιχεία, συμπεριλαμβάνοντας και κάποιο επίπεδο ηλεκτρονικού ελέγχου, αποτελεί την μονάδα (module). Οι μονάδες συνδέονται σε σειρά και παράλληλα, ώστε να σχηματίσουν μια υπο-συστοιχία (sub-pack). Ανάλογα με την αρχιτεκτονική του συστήματος, κάθε υπο-συστοιχία μπορεί να έχει εσωτερικά ρελέ/διακόπτες που μπορούν να διακόψουν την κύρια σύνδεση ισχύος.

Μια συστοιχία μπαταριών (battery pack) αποτελείται από μερικές, παράλληλα συνδεδεμένες, υπο-συστοιχίες. Το σύστημα μπαταριών μπορεί να αποτελείται από μερικές συστοιχίες μπαταριών. Οι ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων του συστήματος μπαταριών γίνονται συνήθως με καλώδια, ρευματοφόρους αγωγούς ή με συνδυασμό αυτών. Το σύστημα μπαταριών αποτελείται από μία ή περισσότερες συστοιχίες μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων όλων των απαιτούμενων συστημάτων, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν για τον επιθυμητό σκοπό και ως αυτόνομες μονάδες.

Όλα τα εξαρτήματα του συστήματος μπαταριών πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένα, διασυνδεδεμένα και υπό επιτήρηση, καθώς είναι πολλοί οι κίνδυνοι που μπορούν να προκύψουν στα διάφορα επίπεδα του συστήματος, και οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους πιο σημαντικούς κινδύνους, ανά τα διάφορα επίπεδα ενός συστήματος μπαταριών:

Κίνδυνοι στοιχείων

- Υψηλή αντίσταση
- Εσωτερικό βραχυκύκλωμα
- Σφάλμα μόνωσης
- Διαρροή ηλεκτρολύτη

Κίνδυνοι μονάδας

- Βραχυκυκλώματα

- Βλάβη συστήματος ελέγχου
- Βλάβη αισθητήρων θερμοκρασίας, τάσης
- Εσωτερικό ανοιχτό κύκλωμα, υψηλή αντίσταση
- Εσωτερικό βραχυκύκλωμα
- Σφάλμα μόνωσης
- Διαρροή συστήματος ψύξης
- Απώλεια ψύξης

Κίνδυνοι υπο-συστοιχίας

- Η επαφή (contactor) δεν ανοίγει/κλείνει όταν απαιτείται
- Σφάλμα μέτρησης του αισθητήρα ρεύματος
- Υψηλή αντίσταση σύνδεσης
- Διαρροή της διασύνδεσης ψύξης
- Διαρροή/ζημιά στο περίβλημα υπο-συστοιχίας
- Κακομεταχείριση του συστήματος μπαταριών

Κίνδυνοι συστοιχίας

- Σφάλμα αισθητήρων υψηλού επιπέδου
- Ανισορροπία τάσης και θερμοκρασίας
- Μικρή διάρκεια ζωής μπαταρίας
- Η επαφή δεν ανοίγει/κλείνει όταν απαιτείται
- Αναστροφή της προστασίας πολικότητας
- Απενεργοποίηση έκτακτης ανάγκης

Μερικές συστάσεις για την ποιοτική και ασφαλή λειτουργία του συστήματος μπαταριών, παρατίθενται παρακάτω:

- Εάν η ηλεκτρική αρχιτεκτονική μιας υπο-συστοιχίας περιέχει ανεξάρτητα ελεγχόμενες παράλληλες σειρές, η κάθε μια από αυτές πρέπει να περιλαμβάνει ανεξάρτητη μέτρηση ρεύματος.
- Η χαμηλή αντίσταση επαφής για τις ηλεκτρικές συνδέσεις, είναι ζωτικής σημασίας, ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση και να ελέγχεται ο κίνδυνος φωτιάς. Χρησιμοποιώντας πολλές παράλληλες σειρές, μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο υπερθέρμανσης από αυξημένη αντίσταση επαφής. Μπορεί επίσης να διευκολύνει την ανίχνευση υψηλών επιπέδων αντίστασης επαφής μέσα στις ηλεκτρικές συνδέσεις, με αποτέλεσμα την αυξημένη ασφάλεια του συστήματος.
- Το περίβλημα της μπαταρίας, το οποίο καλύπτει τις μονάδες και τα στοιχεία, θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο από υλικό το οποίο να επιβραδύνει την εξάπλωση της φωτιάς.

- Οι απαιτήσεις για τον Βαθμό Προστασίας IP (Ingress Protection) των μπαταριών, εξαρτάται από την τοποθεσία. Ως ελάχιστο, απαιτείται η πιστοποίηση IP44. Η πιστοποίηση IP44 απαιτείται ως ελάχιστο, υπό τη χρήση συστήματος πυρόσβεσης με νερό, στον χώρο των μπαταριών. Εάν χρησιμοποιείται διαφορετικό σύστημα πυρόσβεσης, τότε η ελάχιστη απαιτούμενη πιστοποίηση IP μπορεί να μειωθεί, όχι όμως χαμηλότερη από IP2X για εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (< 1500 VDC) ή IP32 για εγκαταστάσεις υψηλής τάσης (> 1500 VDC).
- Τα εξερχόμενα κυκλώματα σε ένα σύστημα μπαταριών θα πρέπει, επιπλέον της προστασίας από βραχυκύκλωμα και υπέρταση, να είναι εφοδιασμένα με διακόπτη αποσύνδεσης για λόγους απομόνωσης, έτσι ώστε η απομόνωση για λόγους συντήρησης να είναι εφικτή.
- Συνίσταται να είναι εφικτή η αποσύνδεση του συστήματος μπαταριών σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Αυτό θα πρέπει να γίνει με την εφαρμογή ενός κυκλώματος απενεργοποίησης έκτακτης ανάγκης το οποίο να αποσυνδέει την επαφή ή τον διακόπτη της μπαταρίας. Αυτή η απενεργοποίηση έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να διευθετηθεί ως ξεχωριστό ενσύρματο κύκλωμα. Θα πρέπει επίσης να είναι δυνατή η απενεργοποίηση της μπαταρίας τοπικά, αλλά και από τη γέφυρα του πλοίου.

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς (AmpereHour, Ah) εξαρτάται από το λειτουργικό προφίλ καθώς επίσης και από τους κανόνες ασφαλείας, οι οποίοι παρουσιάζονται ακολούθως:

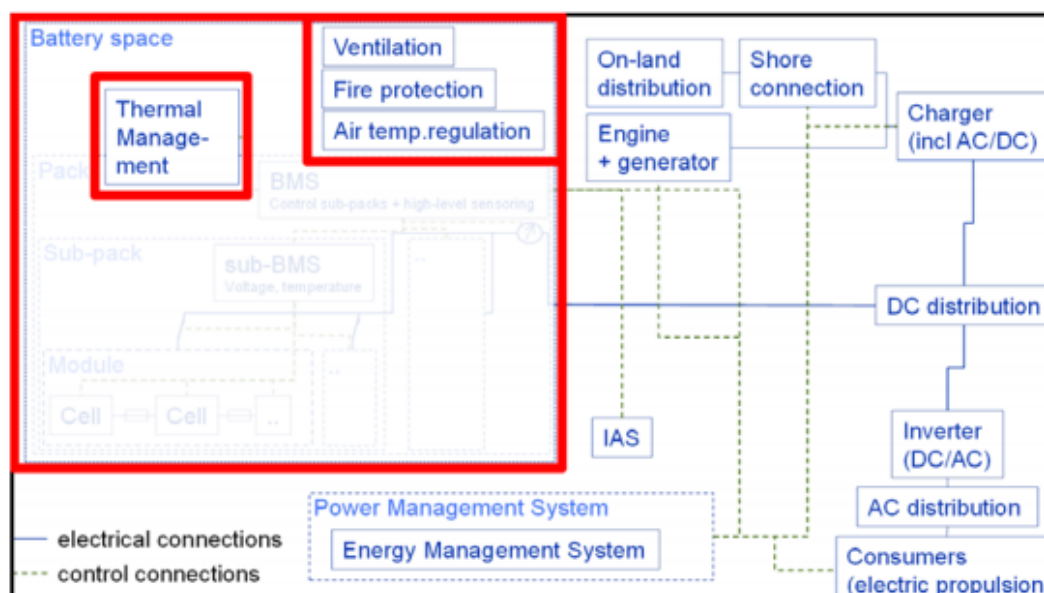
- Το μέγεθος των μπαταριών πρέπει να εξασφαλίζει περίσσεια ισχύος. Η αξιοπιστία και η ασφάλεια ολόκληρου του συστήματος, πρέπει να είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο με τα συμβατικά πλοία που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Πρέπει να εγκατασταθούν τουλάχιστον δύο εντελώς ανεξάρτητες συστοιχίες/συστήματα μπαταριών. Η διαθέσιμη ενέργεια προς χρήση πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να καθίσταται δυνατή η ασφαλής επιστροφή στο λιμάνι, με την μία συστοιχία μπαταριών εκτός λειτουργίας.
- Η χωρητικότητα του συστήματος μπαταριών πρέπει να είναι επαρκής για την προβλεπόμενη λειτουργία του σκάφους. Η φόρτιση θα είναι εφικτή κατά τη διάρκεια της αναμονής στο λιμάνι, ώστε να διατηρείται ένα αποδεκτό ποσοστό φόρτισης και να εγκρίνεται αυτό το ποσοστό επαρκώς για το προγραμματισμένο ταξίδι πριν την αναχώρηση.
- Η εγκατεστημένη χωρητικότητα των μπαταριών θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη με περιθώριο ασφαλείας τουλάχιστον 10% ή και υψηλότερο, για προσαρμογές της κατανάλωσης ενέργειας σε πρόωση λόγω καιρικών συνθηκών. Η εγκατεστημένη χωρητικότητα των μπαταριών δεν είναι σχεδιασμένη να ανταπεξέλθει σε ακραίες επιχειρησιακές καταστάσεις που συναντώνται μόνο μία ή δύο φορές τον χρόνο, όπως για παράδειγμα η μετακίνηση του σκάφους σε ναυπηγείο για συντήρηση. Αντί αυτού, οι κινητές συστοιχίες ισχύος θα πρέπει να είναι μια επιλογή για τέτοιου είδους προγραμματισμένες περιπτώσεις.
- Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης μπορεί να παραληφθεί εάν οι εθνικές αρχές της σημαίας συμφωνήσουν.

- Η αστοχία κρίσιμων μονάδων δεν θα πρέπει να θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του σκάφους, και για περιπτώσεις χωρίς πρόωση η απώλεια ισχύος των μπαταριών δεν θα πρέπει να επηρεάζει τις κρίσιμες λειτουργίες του πλοίου.
- Το εγκατεστημένο σύστημα μπαταριών, κατά την κανονική καθημερινή χρήση, δεν πρέπει να αποφορτίζεται σε υψηλό ποσοστό, αλλά ούτε και κατά την απαιτητικότερη εποχή της περιόδου, εξασφαλίζοντας έτσι ότι ο αριθμός ημερήσιων κύκλων των μπαταριών διατηρείται εντός των υπολογισμένων ορίων και επιτρέποντας έτσι τη μακρά διάρκεια ζωής των μπαταριών.
- Το ποσοστό αλλοίωσης (ageing, degradation) της χωρητικότητας των μπαταριών θα πρέπει να καταγράφεται, λαμβάνοντας υπόψη τους πραγματικούς τρόπους λειτουργίας.
- Η συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα των μπαταριών να είναι επαρκής ώστε να απορροφά την ισχύ φόρτισης και αποφόρτισης σύμφωνα με τον ηλεκτρικό ισολογισμό του σκάφους, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος λειτουργίας (hoteling loads), χωρίς να υπερβαίνει τις συνιστώμενες θερμοκρασίες που παράγονται μέσα στις μπαταρίες εξαιτίας των ηλεκτρικών φορτίων, καθώς αποκλίσεις στην θερμοκρασία θα οδηγήσουν σε χαμηλότερη διάρκεια ζωής των μπαταριών.
- Η εγκατεστημένη χωρητικότητα των μπαταριών πρέπει να είναι φυσιολογικά ισορροπημένη σε σχέση με την επιλεγμένη μέγιστη ισχύ φόρτισης στο λιμάνι, καθώς υψηλότερη ισχύς φόρτισης θα εξοικονομήσει βάρος μπαταρίας, αλλά το αντίστροφο θα οδηγήσει σε υψηλές επενδύσεις κόστους του σταθμού φόρτισης στην ξηρά διότι η τιμή του εξαρτάται κυρίως από τη μέγιστη χωρητικότητα ισχύος.
- Η εγκατεστημένη συστοιχία μπαταριών θα πρέπει να είναι αυξημένη, ώστε να εκμεταλλευτεί τις χαμηλότερες τιμές νυκτερινής χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά για μη προγραμματισμένες περιπτώσεις αυτό δεν είναι εφικτή επιλογή.
- Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, ο κανονισμός της ΕΕ σχετικά με τη λειτουργία των πλοίων κατηγορίας Γ στις επιχειρησιακές περιοχές, απαιτεί μόνο την ικανότητα του πλοίου να πολεμήσει τη φωτιά για τουλάχιστον τρεις ώρες αποκλειστικά με δικά του μέσα, δηλαδή τις πυροσβεστικές αντλίες έκτακτης ανάγκης.
- Δεδομένου ότι το θέμα της μελέτης αυτής είναι η ανακατασκευή, το βάρος και ο όγκος του συστήματος των μπαταριών πρέπει να είναι επαρκείς από πλευράς ευστάθειας.
- Η διάρκεια ζωής των μπαταριών πρέπει να είναι τέτοια ώστε το επιχειρηματικό ζήτημα να είναι οικονομικά εφικτό.

ΧΩΡΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Ο χώρος των μπαταριών, είναι ο φυσικός χώρος εγκατάστασης ή ο χώρος που περιλαμβάνει τοίχους, δάπεδο, οροφή, και όλα τα στοιχεία που συμβάλλουν στην διατήρηση του συστήματος μπαταριών εντός προκαθορισμένου χώρου με προκαθορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, στάθμη υγρασίας κλπ.). Στην προσπάθεια μας να εξασφαλίσουμε τη βέλτιστη απόδοση, θα πρέπει να εγκατασταθούν κατάλληλοι έλεγχοι και συναγερμοί. Είναι υποχρεωτικό να εκτιμήσουμε τους κινδύνους που μπορεί να

προκύψουν από τη λειτουργία των μπαταριών, ήδη από τη φάση του σχεδιασμού, και να αναπτύξουμε τρόπους για την εξάλειψη αυτών των κινδύνων, με στόχο την ασφάλεια των επιβατών και του πλοίου. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος, φυσικά, είναι η υπερθέρμανση, η οποία μπορεί να προκαλέσει φωτιά ή διαρροή αερίου. Ως εκ τούτου, οι κατευθυντήριες γραμμές που παρουσιάζονται παρακάτω, σχετικά με το χειρισμό του χώρου μπαταριών και με τους ελέγχους και συναγερούς του περιβάλλοντος λειτουργίας, θα πρέπει να ακολουθούνται προσεκτικά.



Εικόνα 39: Απεικόνιση Του Συστήματος Διαχείρισης Θερμοκρασίας Μπαταριών

ΔΙΑΤΑΞΗ ΧΩΡΩΝ

Η διάταξη των χώρων των μπαταριών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των επιβατών, του πληρώματος και του πλοίου συνολικά. Για να γίνεται αυτό, πρέπει να εφαρμοστούν τα σημεία που παρουσιάζονται ακολούθως :

- Οι χώροι μπαταριών θα πρέπει να τοποθετούνται πρύμνηθεν της εγκάρσιας φρακτής σύγκρουσης. Τα όρια των χώρων των μπαταριών θα πρέπει να αποτελούν μέρος της δοκιμής κατασκευής ή περιφράξεων με ισοδύναμη δομική ακεραιότητα.
- Δεδομένου ότι το σύστημα μπαταριών είναι η κύρια πηγή ισχύος (αντικαθιστά τις προηγούμενες πηγές ισχύος), θα πρέπει να βρίσκεται στο χώρο του μηχανοστασίου. Ένας χώρος μπαταριών συνεχόμενος από τον χώρο του μηχανοστασίου μπορεί επίσης να εξεταστεί.
- Η διάταξη των χώρων των μπαταριών πρέπει να είναι τέτοια ώστε μια επικίνδυνη κατάσταση, η οποία μπορεί να προκληθεί από βλάβη των μπαταριών (π.χ. αέρια, έκρηξη, πυρκαγιά κλπ.), να μην μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της ισχύος πρόωσης ή της βοηθητικής ισχύος για βασικές ή κρίσιμες λειτουργίες.

- Ο χώρος μπαταριών δεν πρέπει διαμορφώνεται χωρίς επαρκή προστασία από τη θερμότητα, τις πηγές ανάφλεξης, τη σκόνη, τη ρύπανση από λάδια/πετρέλαιο ή άλλη πιθανή περιβαλλοντική επίδραση, στο σύστημα και τα εξαρτήματα του.
- Οι χώροι μπαταριών πρέπει, σύμφωνα με SOLAS Reg. II-2/3.30, να ορίζονται ως χώροι μηχανών. Με προσοχή στη δομική πυροπροστασία, όπως αυτή αναφέρεται στον κανονισμό SOLAS Reg. II-2/9.2.2.4, το δωμάτιο μπαταριών θα πρέπει να ορίζεται ως άλλος χώρος μηχανοστασίου.
- Η αντιπυρική ακεραιότητα των χώρων μπαταριών πρέπει να συνοδεύεται από πιστοποίηση A-0, και να έχει επιπλέον πιστοποίηση A-60 ως προς: Α) χώρους μηχανοστασίου κατηγορίας Α, όπως ορίζονται στον SOLAS Reg. 11- 2/3 Β) κλειστούς χώρους φορτίου για τη μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων Γ) σταθμοί συγκέντρωσης και σταθμοί εκκένωσης
- Τα συστήματα μπαταριών εντός του χώρου μπαταριών πρέπει να είναι διατεταγμένα με επαρκή προστασία (πλάκες διαχωρισμού ή επαρκής απόσταση σύμφωνα με τη σύσταση του κατασκευαστή) ώστε να αποφευχθεί η κλιμάκωση μεταξύ των μονάδων μπαταριών στην περίπτωση θερμικής διαφυγής (thermal runaway).
- Ο χώρος των μπαταριών δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει άλλα συστήματα που υποστηρίζουν βασικές υπηρεσίες του σκάφους, συμπεριλαμβανομένων των αγωγών και των καλωδίων που εξυπηρετούν τέτοια συστήματα, προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια της πρόωσης ή της πηδαλιουχίας, σε πιθανά περιστατικά (π.χ. υπερθέρμανση) στο σύστημα μπαταριών.
- Ο χώρος των μπαταριών δεν πρέπει να περιέχει πηγές θερμότητας ή αντικείμενα υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς. Τα αντικείμενα υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς είναι αντικείμενα παρόμοια με εκείνα που απαριθμούνται στον κανονισμό SOLAS II-2/3.31 (οι πηγές θερμότητας είναι πηγές με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 220οC όπως ορίζεται στον SOLAS Reg. II-2/4.2.2.6.1).
- Ο χώρος των μπαταριών πρέπει να είναι κατάλληλα ρυθμισμένος έτσι ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση για επισκευές και αντικατάσταση των ελαττωματικών τμημάτων.
- Ο χώρος των μπαταριών πρέπει να επιδεικνύει στιβαρότητα για μακροχρόνια έκθεση σε θαλάσσιο περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία, κλίση, διαγωγή, διατοίχιση, προνευτασμό κλπ.) και να παρέχει προστασία από εξωτερικούς κινδύνους (π.χ. πυρκαγιά, μηχανική πρόσκρουση, εισροή νερού, διαρροή σωλήνων).

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος μπαταριών για βέλτιστη απόδοση, ο χώρος των μπαταριών πρέπει να έχει τις καθορισμένες κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος. Μέσα στο χώρο των μπαταριών μπορεί να προκύψουν διάφοροι κίνδυνοι και πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιες απαιτήσεις, προκειμένου να εξαλειφθούν αυτοί οι κίνδυνοι, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το σύστημα μπαταριών δεν θα πρέπει να τοποθετείται χωρίς επαρκή προστασία από τη θερμότητα, τις πηγές ανάφλεξης, τη σκόνη, τη ρύπανση από λάδια/πετρέλαια, ή άλλη πιθανή επιβλαβή περιβαλλοντική επίδραση σε αυτό και τα εξαρτήματά του.
- Για τη βέλτιστη απόδοση των μπαταριών, ο χώρος τους πρέπει να εξασφαλίζει κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος, οι οποίες σχετίζονται με: Α) Ρύθμιση θερμοκρασίας αέρα Β) Εξαερισμός Γ) Πυροπροστασία Δ) Θερμική διαχείριση
- Τα ακόλουθα πρέπει να παρακολουθούνται και να παρουσιάζονται σε επανδρωμένο σταθμό ελέγχου: Α) Θερμοκρασία περιβάλλοντος χώρου μπαταριών Β) Ένδειξη λειτουργίας εξαερισμού
- Κατά συνέπεια, πρέπει να ενεργοποιείται συναγερμός στο σταθμό ελέγχου του μηχανοστασίου αλλά και στη γέφυρα, σε περιπτώσεις : Α) Υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο χώρο μπαταριών Β) Βλάβη/ανεπάρκεια εξαερισμού
- Οποιαδήποτε ασυνήθιστη κατάσταση στο σύστημα μπαταριών θα πρέπει να ενεργοποιεί ένδειξη στον κύριο συναγερμό του πλοίου με ατομική ή ομαδική ένδειξη. Για σκάφη χωρίς κεντρικό σύστημα συναγερμού, οι συναγερμοί των μπαταριών θα πρέπει να παρουσιάζονται στη γέφυρα.
- Τα συστήματα μπαταριών πρέπει να είναι διατεταγμένα μέσα σε χώρο με εξαερισμό ο οποίος θα μπορεί να παρέχει αέρα με σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου. Το σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας (ελάχιστη/μέγιστη θερμοκρασία) θα πρέπει να ακολουθεί τις συστάσεις που δίνονται από τον κατασκευαστή. Για συστήματα μπαταριών με υδρόψυξη, τέτοια συστήματα εξαερισμού δεν είναι απαραίτητα.
- Το σύστημα εξαερισμού για τους χώρους μπαταριών, θα πρέπει να είναι σύστημα αγωγών ανεξάρτητο από οποιοδήποτε άλλο σύστημα κλιματισμού που εξυπηρετεί άλλους χώρους, και να είναι διαρρυθμισμένο με μηχανική παροχή αέρα.
- Εάν οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι διατεταγμένοι σε κοντινή απόσταση, εντός της μονάδας μπαταριών, έτσι ώστε η απώλεια λειτουργίας ενός σπασμένου στοιχείου/κυκλώματος του αισθητήρα να μετριαστεί από έναν άλλο κοντινό αισθητήρα, τότε το στοιχείο/κύκλωμα του αισθητήρα μπορεί να είναι κοινό για λειτουργίες ένδειξης, συναγερμού, ελέγχου και ασφάλειας. Τέτοιες διατάξεις θα πρέπει να σχεδιάζονται με μικρή ανοχή σφάλματος στους επεξεργαστές (CPUs) και σε άλλα ηλεκτρονικά μέρη του συστήματος. Ο στόχος είναι ότι καμία απλή αστοχία/βλάβη δεν θα πρέπει να προκαλεί ταυτόχρονα απώλεια λειτουργιών ασφάλειας και συναγερμού.
- Ανάλογα με τη χημική σύσταση των μπαταριών, όπως ορίζεται από την περιγραφή ασφαλείας, μπορεί να χρειαστεί η πιστοποίηση του χώρου μπαταριών, στον οποίο μπορεί να υπάρξουν εύφλεκτα αέρια, σύμφωνα με τους ορισμούς των ζωνών που ορίζονται στο IEC 60079-10-1. Αυτή η πιστοποίηση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη διευκόλυνση στη σωστή επιλογή και εγκατάσταση του εξοπλισμού προς χρήση στην επικίνδυνη περιοχή. Το σχέδιο επικίνδυνων περιοχών του χώρου μπαταριών, θα πρέπει να αποτελεί μέρος του πλήρους σχεδίου επικίνδυνων περιοχών του σκάφους.
- Εάν χρησιμοποιείται υδρόψυκτο σύστημα ψύξης για τις μπαταρίες, τότε απαιτείται ανεξάρτητο σύστημα εξαερισμού για την εξαγωγή πιθανών ατμών σε κάποια μη φυσιολογική κατάσταση.
- Εάν η αστοχία/βλάβη των μπαταριών μπορεί να οδηγήσει σε απελευθέρωση εύφλεκτων αερίων, τότε θα πρέπει να διευθετηθεί σύστημα ανίχνευσης αερίων. Επίσης, θα πρέπει να

διευθετηθεί ένας επιπλέον μηχανικός ανεμιστήρας έκτακτης ανάγκης, και η είσοδος αέρα έκτακτης ανάγκης να τροφοδοτείται κατευθείαν από έξω.

- Είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί η σωστή ανίχνευση των αερίων που μπορεί να εκπέμπονται από το σύστημα μπαταριών. Στην περίπτωση σοβαρής βλάβης του κλιματισμού, είναι υποχρεωτική η χρήση βαλβίδας ανακούφισης πίεσης και ο εξαερισμός του χώρου μπαταριών, ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός εκρηκτικής ατμόσφαιρας. Ο αέρας στην εξαγωγή θα πρέπει να παρακολουθείται και να ενεργοποιεί συναγερμό στο 30% LEL (Lower Explosive Limit), ο οποίος θα διασφαλίζει την αυτόματη αποσύνδεση των μπαταριών. Ο συναγερμός θα πρέπει να απενεργοποιεί οποιοδήποτε ηλεκτρικό κύκλωμα εντός του χώρου κατά την ανίχνευση που υπερβαίνει το κατώτατο όριο έκρηξης (L.E.L.). Οι συνθήκες L.E.L. θα πρέπει να ενεργοποιούν συναγερμό στη γέφυρα του πλοίου. Μια βλάβη στο σύστημα ανίχνευσης αερίων δεν πρέπει να οδηγήσει σε αποσύνδεση ή απενεργοποίηση των μπαταριών.

- Οι χώροι των μπαταριών θεωρούνται ότι δεν είναι κανονικά επανδρωμένοι θάλαμοι και η πρόσβαση στους χώρους αυτούς θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσα από κλειστές πόρτες με συναγερμό, ή μέσα από αυτόματες πόρτες.

- Οι χώροι των μπαταριών πρέπει να προστατεύονται από σταθερό σύστημα πυρόσβεσης, με χρήση νερού, εγκεκριμένο για χρήση στους χώρους μηχανοστασίου κατηγορίας A όπως αναφέρονται στον κανονισμό SOLAS και τον κώδικα FSS. Παρόλα αυτά, η χημική σύσταση των στοιχείων παίζει το σημαντικότερο ρόλο όταν επιλέγεται σύστημα καταστολής πυρκαγιάς. Χρησιμοποιώντας νερό σε μια μπαταρία λιθίου θα προκαλέσει την δημιουργία 67 υδρογόνου. Εντούτοις, μια φωτιά θα μπορούσε να καταπολεμηθεί με ασφάλεια χρησιμοποιώντας αλάτι. Πάντως, ο κατασκευαστής της μπαταρίας είναι αυτός που μπορεί να προσδιορίσει βέλτιστα τέτοιες απαιτήσεις.

- Ως γενικό μέσο πυρόσβεσης θα μπορούσε επίσης να ληφθεί υπόψη ο αφρός. Τα πλεονεκτήματα του είναι τα ακόλουθα: Α) μεγαλύτερη διάρκεια ψύξης, καθώς ο αφρός μπορεί να σχηματίσει ένα «τοιχώμα» γύρω και μεταξύ των υπό-συστοιχιών, με καλό αποτέλεσμα ψύξης (ανάλογα με τη διάταξη). Β) πιθανό αέριο από διαρροή που είναι θερμότερο από τον αέρα μπορεί να εξαεριστεί από υψηλή θέση στο χώρο μπαταριών, ενώ ο αφρός μπορεί να εγχυθεί από την κορυφή και να εξαπλωθεί αργά προς τα κάτω. Γ) ο αφρός μπορεί να δεσμεύσει πιθανώς εύφλεκτα στερεά ή υγρά προϊόντα, ενώ τα αέρια μπορούν εξαεριστούν.

- Οι χώροι μπαταριών θα πρέπει να παρακολουθούνται με συμβατικό σύστημα εντοπισμού καπνού, εντός των χώρων. Το σύστημα εντοπισμού καπνού θα πρέπει να είναι συμμορφωμένο με τον διεθνή κώδικα συστημάτων πυρασφάλειας (κώδικας FFS) και οι συναγερμοί φωτιάς θα πρέπει να εμφανίζονται στην γέφυρα.

- Η αποσύνδεση έκτακτης ανάγκης του συστήματος μπαταριών θα πρέπει να είναι διατεταγμένη στις ακόλουθες θέσεις: Α) δίπλα στο χώρο (εκτός αυτού) των μπαταριών Β) στη γέφυρα πλοήγησης.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΙ

Η λειτουργία του σκάφους πρέπει να είναι τόσο απλή, όσο και παρόμοια, με το συμβατικό σύστημα λειτουργίας, όσο το δυνατόν περισσότερο, απαιτώντας ένα (αυτοματοποιημένο) σύστημα διαχείρισης ενέργειας, εκτός από αυτό της διαχείρισης ισχύος. Αυτός είναι ο

ρόλος του Συστήματος Διαχείρισης Μπαταριών (Battery Management System, BMS). Το σύστημα διαχείρισης μπαταριών είναι ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής που παρακολουθεί και ελέγχει όλες τις λειτουργίες και λειτουργικές παραμέτρους του συστήματος μπαταριών. Είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με το Σύστημα Διαχείρισης Γενικής Ισχύος και παρέχει όλες τις βασικές πληροφορίες των μπαταριών προκειμένου να διασφαλιστεί η αποδοτική λειτουργία τους. Πρέπει να είναι σχεδιασμένο για την παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος μπαταριών και τη διατήρηση αυτού μέσα στα επιτρεπόμενα όρια, τον υπολογισμό δευτερευόντων δεδομένων, την αναφορά των δεδομένων αυτών, τον έλεγχο του περιβάλλοντος λειτουργίας, την επικύρωση του εξοπλισμού ή/και την εξισορρόπηση αυτού. Θα πρέπει επίσης να έχει μια λειτουργία υπερίσχυσης (override), η οποία να εμποδίζει το σύστημα διαχείρισης ενέργειας από το να εκτελεί εργασίες εκτός των ορίων ασφαλείας του, κατά 68 τρόπο τέτοιο ώστε οι βλάβες/αστοχίες στο προστατευτικό σύστημα ασφαλείας, να ανιχνεύονται, να σημαίνουν συναγερμό, αλλά να μην προκαλούν διακοπή λειτουργίας του συστήματος μπαταριών.

Τα παραπάνω συστήματα διαχείρισης και ελέγχου μπαταριών, παρατίθενται αναλυτικότερα ως ακολούθως:

Ικανότητα Συστήματος Διαχείρισης Μπαταριών (BMS):

- Να παρέχει όρια φόρτισης και αποφόρτισης στον φορτιστή
- Προστατεύει από υπερένταση, υπερβολική τάση και χαμηλή τάση
- Προστατεύει από την υπερθέρμανση
- Να ελέγχει την εξισορρόπηση των στοιχείων
- Προστατεύει από υπερπίεση (μπαταρίες NiMH)

Παράμετροι που πρέπει να μετρούνται:

- Τάση των στοιχείων
- Θερμοκρασία των στοιχείων
- Ρεύμα συστοιχίας μπαταριών

Παράμετροι όπου θα πρέπει να παρακολουθούνται και να υποδεικνύονται, για τον διαχειριστή, στους τοπικούς πίνακες ελέγχου ή στους απομακρυσμένους σταθμούς εργασίας:

- Τάση του συστήματος
- Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τάση των στοιχείων
- Ρεύμα συστοιχίας μπαταριών
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος λειτουργίας
- Ηλεκτρική αντίσταση μόνωσης

Παράμετροι όπου θα πρέπει να υπολογίζονται και να διατίθενται για το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management System, EMS):

- Κατάσταση φόρτισης μπαταριών (State Of Charge, SOC)

- Κατάσταση υγείας των μπαταριών

Τέλος, σημαντικοί παράμετροι της μπαταρίας θα πρέπει να καταγράφονται και να αποθηκεύονται σε μη πτητική μνήμη (δεν χάνει τα δεδομένα της με τη διακοπή της τροφοδοσίας ρεύματος).

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΞΗΡΑΣ – ΠΛΟΙΟΥ

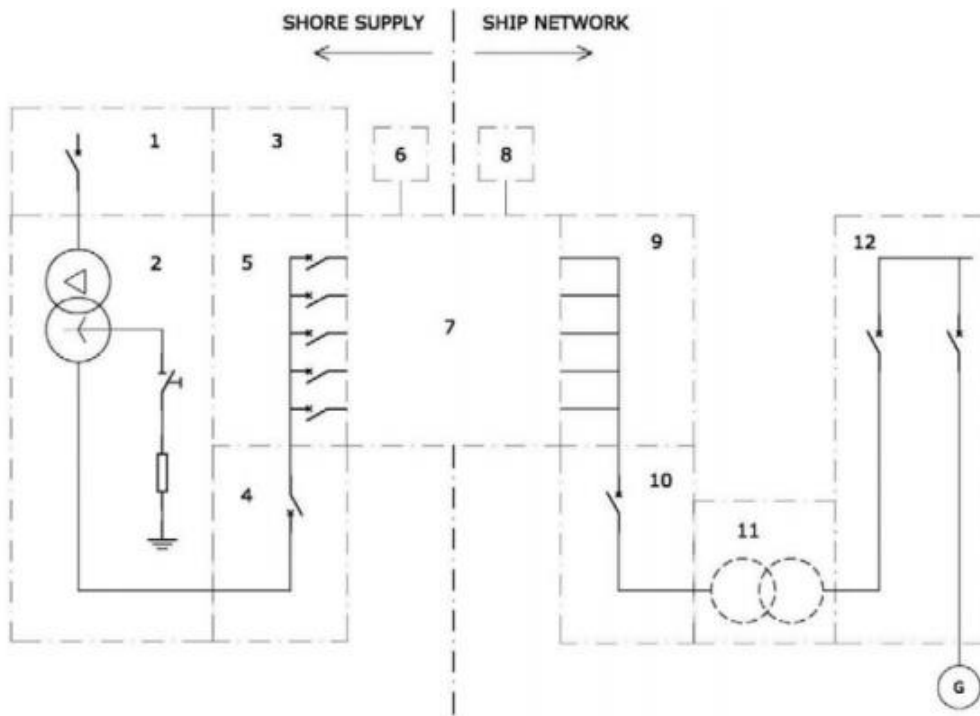
Κατά κύριο λόγο, υπάρχουν δύο πιθανά συστήματα διασύνδεσης:

- Σύστημα διασύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος (Alternating Current, AC)
- Σύστημα διασύνδεσης συνεχούς ρεύματος (Direct Current, DC)

Ο κανονισμός IEC 80005-1 καλύπτει τα συστήματα διασύνδεσης στεριάς εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης, ενώ ο IEC 80005-3 καλύπτει τα συστήματα διασύνδεσης στεριάς εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής τάσης. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει πρότυπο ή σύσταση που να καλύπτει συστήματα διασύνδεσης στεριάς με συνεχές ρεύμα, συνεπώς επιλέγεται το σύστημα φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος, αν και το σύστημα φόρτισης συνεχούς ρεύματος μπορεί να παρουσιάζει μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα. Οι επόμενες δύο παράγραφοι συνοψίζουν τις απαιτήσεις/πρότυπα ενός συστήματος διασύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως περιγράφεται στο IEC 80005.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΞΗΡΑΣ

Αυτά τα πρότυπα αποσκοπούν στην θέσπιση των απαιτήσεων για τη διασφάλιση συμβατότητας μεταξύ πλοίου και εξοπλισμού διασύνδεσης ξηράς υψηλής τάσης, κατάλληλων διαδικασιών λειτουργίας, καθώς και στο να ενθαρρύνουν τη συμμόρφωση με αυτά ώστε ένας μέγιστος αριθμός πλοίων να μπορεί να χρησιμοποιεί τον εξοπλισμό διασύνδεσης ξηράς, σε όσο το δυνατόν περισσότερα λιμάνια. Τα πρότυπα εγγυώνται μια απλή, άμεση σύνδεση, εξαλείφοντας την ανάγκη για τα πλοία να κάνουν προσαρμογές στον εξοπλισμό τους ανά τα διάφορα λιμάνια. Πλοία τα οποία δεν συμμορφώνονται με τα πρότυπα, ίσως συναντήσουν σημαντικές δυσκολίες στη διασύνδεση τους με συμβατούς σταθμούς ξηράς. Τα πρότυπα επίσης καλύπτουν την ποιότητα τροφοδοσίας, τις ηλεκτρικές απαιτήσεις, περιβαλλοντικές και μηχανολογικές απαιτήσεις, ασφάλεια, απαιτήσεις ηλεκτρικού εξοπλισμού, απαιτήσεις πλοίου, συμβατότητα μεταξύ εξοπλισμού σύνδεσης ξηράς και πλοίου, σύνδεση πλοίου με την ξηρά, βύσματα και πρίζες, επαλήθευση και δοκιμές.



Εικόνα 40: Διαμόρφωση Από Πλευράς Λιμανιού Ενός Συστήματος LVSC

Τα πρότυπα προτείνουν παρόμοιες διαμορφώσεις τόσο για τα συστήματα HVSC (High Voltage Shore Connection) όσο και για τα συστήματα LVSC. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο διαμορφώσεων, αποτελείται από τον εξοπλισμό γείωσης και τις σχετικές συναρμογές του, που χρησιμοποιούνται στα συστήματα υψηλής τάσης, για την αποφυγή υπολειπόμενων φορτίων. Τα κύρια εξαρτήματα του συστήματος LVSC της παραπάνω εικόνας αναγράφονται παρακάτω:

1. Σύστημα παροχής από την ξηρά
2. Μετασχηματιστής από την ξηρά και ουδέτερη αντίσταση ή/και πληροφοριακό σύστημα (IT system)
3. Ρελέ προστασίας από την ξηρά
4. Διακόπτης προστασίας από την ξηρά
5. Ηλεκτρικοί διακόπτες τροφοδοσίας από την ξηρά
6. Σύστημα ελέγχου από την ξηρά
7. Σύνδεση και εξοπλισμός διασύνδεσης από ξηρά προς πλοίο
8. Συστήματα ελέγχου από το πλοίο
9. Ρελέ προστασίας από το πλοίο
10. Πίνακας διασύνδεσης επί ξηράς
11. Μετασχηματιστής επί του σκάφους (κατά περίπτωση)

12. Πίνακας διανομής επί του σκάφους

Ένα σημείο που έχουν από κοινού, τόσο το σύστημα HVSC όσο και το σύστημα LVSC, είναι η χρήση ενός αποκλειστικού μετασχηματιστή απομόνωσης ως το τελευταίο εξάρτημα ισχύος, πριν από τη διασύνδεση μεταξύ πλοίου και ξηράς (λιμανιού). Ο όρος «αποκλειστικός μετασχηματιστής» σημαίνει μόνο μια σύνδεση πλοίου με έναν μετασχηματιστή, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της γαλβανικής απομόνωσης, προκειμένου να προστατευτεί το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου από ανωμαλίες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της ξηράς.

Πολλά προβλήματα γείωσης του συστήματος τροφοδοσίας, καθώς και το ασταθές ρεύμα που είναι σχετιζόμενο με άλλες λιμενικές εγκαταστάσεις, είναι δυνατό να επηρεάσουν την προστασία σφάλματος τροφοδοσίας του πλοίου, εκτός αν το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της ξηράς έχει τη δική του ζώνη γείωσης παρεχόμενη από έναν αποκλειστικό μετασχηματιστή με ουδέτερη γείωση.

Για αυτό το λόγο, υπάρχουν μερικές προτάσεις από το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005-3, οι οποίες αναγράφονται παρακάτω:

- Ο μετασχηματιστής απομόνωσης θα πρέπει να είναι τύπου DYN (το D σημαίνει κατάληξη διαμόρφωσης δέλτα, το Y σημαίνει κατάληξη διαμόρφωσης αστέρα, το N σημαίνει ότι ο ουδέτερος αγωγός είναι προσβάσιμος στην κατάληξη αστέρα) με την κατάληξη διαμόρφωσης αστέρα συνδεδεμένη στην πλευρά του πλοίου.
- Ο ουδέτερος αγωγός του μετασχηματιστή απομόνωσης, που τροφοδοτεί τις υποδοχές ισχύος από την ξηρά προς το πλοίο, θα πρέπει να είναι γειωμένος μέσω μιας ουδέτερης αντίστασης γείωσης. Η ουδέτερη αντίσταση γείωσης μπορεί να παραλειφθεί εάν το σύστημα LVSC της ξηράς χρησιμοποιεί πληροφοριακό σύστημα (IT system).
- Όταν απαιτείται μετατροπή συχνότητας της τροφοδοσίας από την ξηρά, τότε επιτρέπεται, εφόσον πληρούνται οι λοιπές απαιτήσεις που ισχύουν, μια δευτερεύουσα κατάληξη δέλτα του μετασχηματιστή, σε συνδυασμό με έναν μετασχηματιστή γείωσης με αντίσταση στην πρωτεύουσα πλευρά, κατάλληλος να αντισταθμίσει τα πιθανά κυκλοφοριακά ρεύματα.
- Η συνέχεια (continuity) της ουδέτερης αντιστάσεως γείωσης πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς. Σε περίπτωση απώλειας συνέχειας θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ο διακόπτης προστασίας από την ξηρά.
- Οι αγωγοί γείωσης του εξοπλισμού που τερματίζουν στο κιβώτιο υποδοχών της εξόδου ισχύος ξηράς, θα πρέπει να είναι συνδεδεμένοι με το πλοίο ώστε να δημιουργούν ένα ισοδύναμο δεσμό μεταξύ ξηράς και πλοίου. Αυτό μπορεί να απαιτεί τη σύνδεση με το δίαυλο γείωσης του πλοίου ή/και τη σύνδεση στη γάστρα του πλοίου.

Ένα ακόμα σημαντικό θέμα το οποίο καλύπτει το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005-3 είναι ο αριθμός των καλωδίων που θα πρέπει να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα LVSC.

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

Εικόνα 41: : Αριθμός Καλωδίων Τροφοδοσίας Ως Συνάρτηση Της Μέγιστης Ζητούμενης Ισχύος Και Της Τάσης Της Σύνδεσης

kVA	Connection Voltage		
	400 V	440 V	690 V
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

Εικόνα 12: Μέγιστο Αντίστοιχο Ρεύμα Ανά Καλώδιο

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Για την διασφάλιση της καλής και ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος διασύνδεσης από την πλευρά του πλοίου, καθώς για την αποφυγή σφαλμάτων, το πρότυπο IEC/ISO/IEEE 80005-3 προτείνει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Για μια σύνδεση εναλλασσόμενου ρεύματος με την ξηρά, το σύστημα του πλοίου θα πρέπει να διαθέτει το δικό του σύστημα φόρτισης μπαταριών.
- Ο φορτιστής θα πρέπει να επικοινωνεί και να λειτουργεί εντός των ορίων που καθορίζονται από το σύστημα διαχείρισης μπαταριών.
- Το σύστημα φόρτισης και η σύνδεση ξηράς, θα πρέπει να περιλαμβάνουν αισθητήρες θερμοκρασίας, προκειμένου να ανιχνεύσουν περιστατικά αυξημένης αντίστασης και θερμοκρασίας όσο το δυνατόν στο αρχικό τους στάδιο.
- Η διαδικασία παραλληλισμού (ζευγοποίησης) κατά τη σύνδεση στην ξηρά, θα πρέπει να είναι κατά προτίμηση αυτόματη. Εάν όχι, τότε θα πρέπει να γίνει μια εκτίμηση κινδύνου για το προσωπικό που θα εμπλέκεται στη διαδικασία αυτή.

- Ο φορτιστής θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγονται πολύ υψηλά ρεύματα και τάσεις φόρτισης.
- Ο φορτιστής θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπέρβαση της καθορισμένης στάθμης ρεύματος (C – rate) και τάσης.
- Η αστοχία φόρτισης θα πρέπει να δίνει συναγερμό σε επανδρωμένο σταθμό ελέγχου.
- Το σύστημα φόρτισης, καθώς και άλλα συναφή συστήματα, θα πρέπει να ανιχνεύουν τη σύνδεση με την ξηρά και η ενεργοποίηση της πρόωσης θα πρέπει να παρεμποδίζεται στην περίπτωση αυτή. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ορισμένες εφαρμογές θα χρειαστούν ισχύ πρόωσης ακόμα και όταν υπάρχει σύνδεση με την ξηρά, επομένως στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας ώστε να αποφευχθεί η ακούσια αποσύνδεση της επαφής φόρτισης.

Επιπλέον, το σύστημα του σκάφους θα πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Όπου απαιτείται αλλαγή των ρυθμίσεων της συσκευής, όταν αυτή συνδέεται σε τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος, θα πρέπει να παρέχονται τα μέσα στο προσωπικό ώστε να αλλάζει εύκολα τις ρυθμίσεις. Θα πρέπει να αναφέρονται με σαφήνεια οι ρυθμίσεις προστασίας που χρησιμοποιούνται στο σταθμό ελέγχου.
- Θα πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένος πίνακας σύνδεσης ξηράς επί του πλοίου, σε κατάλληλη θέση, δηλαδή όσο το δυνατόν πλησιέστερη προς το σημείο παραλαβής/υποδοχής.
- Η απόσταση του σημείου παροχής και του σημείου υποδοχής θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Η πίνακας σύνδεσης ξηράς θα πρέπει να είναι διαμορφωμένος σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61439.
- Ο πίνακας θα πρέπει να περιλαμβάνει έναν διακόπτη προστασίας για της προστασία του ηλεκτρικού εξοπλισμού σκάφους. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να παραλειφθεί η προστασία στον πίνακα σύνδεσης της ξηράς.
- Για να απομονωθεί η εγκατάσταση πριν συνδεθεί, θα πρέπει να παρέχεται ένας διακόπτης με ενσωματωμένη λειτουργία αποσύνδεσης.
- Ο διακόπτης θα πρέπει να είναι διαμορφωμένος σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60947-2.74
- Η ονομαστική χωρητικότητα κατασκευής του διακόπτη δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από την ενδεικτική μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος και υπολογίζεται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61363-1.
- Η ονομαστική χωρητικότητα διακοπής βραχυκυκλώματος του διακόπτη δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το μέγιστο πιθανό συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώματος και υπολογίζεται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61363-1.
- Θα πρέπει να παρέχεται διακόπτης προστασίας μηχανισμού μηχανής (motoroperated circuit breaker).
- Ο πίνακας σύνδεσης της ξηράς θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με: Α) βολτόμετρο : και τις τρεις φάσεις Β) συσκευές βραχυκυκλώματος : ενεργοποίηση και συναγερμός Γ) συσκευές υπερέντασης (overcurrent) : ενεργοποίηση και συναγερμός Δ) ένδειξη σφάλματος γείωσης : συναγερμός Ε) προστασία ανισορροπίας για συστήματα με περισσότερα από ένα καλώδια

- Τα συστήματα προστασίας θα πρέπει να διαθέτουν εφεδρική μπαταρία με επαρκή διάρκεια για τουλάχιστον 30 λεπτά, όπως αναφέρεται IEC 60092-504: 2001, 9.6.2.5. Σε περίπτωση βλάβης της φόρτισης της μπαταρίας ή της ενεργοποίησης του εφεδρικού συστήματος, θα πρέπει να ενεργοποιείται συναγερμός που να προειδοποιεί το αρμόδιο προσωπικό.
- Τα κριτήρια ενεργοποίησης εφεδρικού συστήματος και ενεργοποίησης συναγερμού, για τον διακόπτη, θα πρέπει να είναι: Α) βραχυκύκλωμα : ενεργοποίηση με συναγερμό Β) υπερένταση, σε δύο στάδια: 1) συναγερμός και 2) ενεργοποίηση με συναγερμό Γ) βλάβη γείωσης, σε δύο στάδια: 1) συναγερμός και 2) ενεργοποίηση εάν απαιτείται από τον τύπο του συστήματος απομόνωσης που χρησιμοποιείται Δ) υπέρταση/υπόταση, σε δύο στάδια: 1) συναγερμός και 2) ενεργοποίηση με συναγερμό Ε) υπερβολική/ανεπαρκής συχνότητα, σε δύο στάδια: 1) συναγερμός και 2) ενεργοποίηση με συναγερμό
- Ο γαλβανικός διαχωρισμός μεταξύ ξηράς και των συστημάτων επί του πλοίου θα πρέπει να παρέχεται στην ξηρά.
- Μετασηματιστής επί του πλοίου μπορεί να μην απαιτείται, εάν το δίκτυο του πλοίου είναι σχεδιασμένο για την τάση της τροφοδοσίας από την ξηρά, η μορφοποίηση του ουδέτερου αγωγού είναι σύμφωνη με τα συστήματα του πλοίου και ο γαλβανικός διαχωρισμός γίνεται στην ξηρά.
- Όταν είναι απαραίτητο, θα πρέπει να παρέχονται τα μέσα για τη μείωση εισροής του ρεύματος στον μετασηματιστή, ή/και την παρεμπόδιση της 75 εκκίνησης μεγάλων κινητήρων, ή τη σύνδεση άλλων μεγάλων φορτίων, όταν υπάρχει συνδεδεμένο σύστημα τροφοδοσίας χαμηλής τάσης.
- Δεν θα πρέπει να υπάρχουν εύφλεκτα υλικά κοντά στο βύσμα τροφοδοσίας ξηράς, ώστε να αποφευχθεί η διάδοση πιθανής φωτιάς από το βύσμα στο περιβάλλον και στο σκάφος.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΠΟΡΘΜΕΙΟΥ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΟΥ – ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΟΡΘΜΕΙΟΥ

Στο παρόν εδάφιο θα διερευνηθεί η αναβάθμιση με μπαταρίες πορθμείου που εκτελεί την γραμμή Πάρος – Αντίπαρος. Η συγκεκριμένη γραμμή καλύπτεται από 4 όμοια επιβατηγά Ro-Ro πλοία, τα οποία χρειάζονται 7 λεπτά για να καλύψουν μια διαδρομή μήκους 1450 μέτρων. Τα πλοία έχουν ναυπηγηθεί το 1994, το 2014 και το 2017, ενώ ανήκουν σε 3 εταιρίες με ίδια σύνθεση που αποτελούν άτυπη κοινοπραξία. Η ταχύτητα τους κυμαίνεται στους 8-9 κόμβους ενώ εκτελούν δρομολόγια ανά 20 λεπτά. Τα πλοία κουβαλούν μέχρι και 22 αυτοκίνητα και 120 τόνους ωφέλιμο φορτίο, ενώ κόβουν 300000 εισιτήρια ετησίως. Στο συγκεκριμένο σημείο θα αναφερθούμε σε ένα από τα 4 πλοία, στο οποίο θα γίνει και η διερεύνηση αναβάθμισής του, το PANAGIA FANEROMENI με IMO No. 8745773.



Αγία Μαρίνα

Παναγία Κοίμησις

Εικόνα 43: Τα Πορθμεία Που Εκτελούν Τη Γραμμή Πάρος – Αντίπαρος

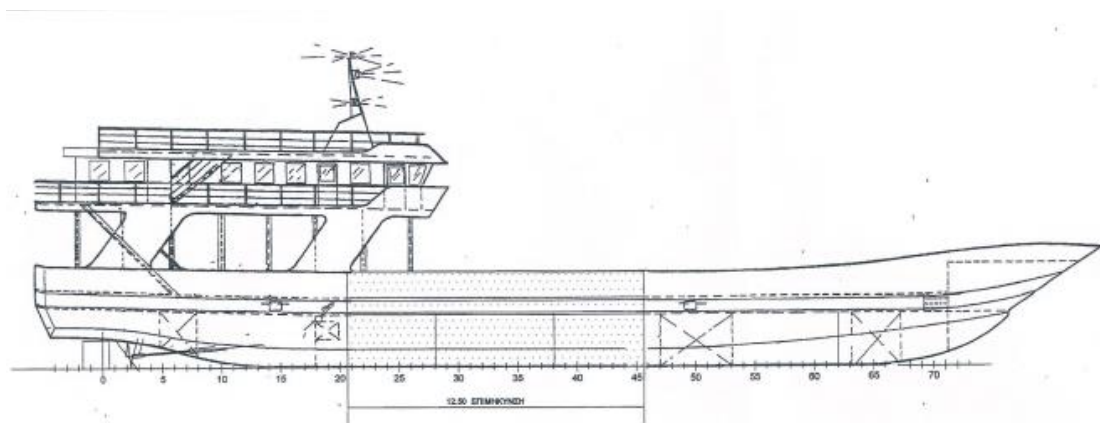


Αγιος Νικόλαος

Άγιοι Ανάργυροι

Εικόνα 44: Τα Πορθμεία Που Εκτελούν Τη Γραμμή Πάρος – Αντίπαρος

Το εν λόγω πορθμείο έχει μήκος $L = 32.5 \text{ m}$, πλάτος $B = 10.2 \text{ m}$ και βύθισμα $T = 2.02 \text{ m}$. Κινείται με δύο κινητήρες, κατασκευής Daewoo, οχτακύλινδρους και τετράχρονους. Το σημείο MCR για τον κάθε κινητήρα είναι 272 kW (370 HP). Επιπλέον έχει 2 γεννήτριες των 20-30 kVA η καθεμία.



Εικόνα 45: Το Προφίλ Του Εν Λόγω Πλοίου

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Για ένα ταξίδι πήγαινε – έλα, στο δρομολόγιο Πάρος – Αντίπαρος, με εφεδρεία 50% σε ενέργεια, το πορθμείο καταναλώνει 204 kWh. Αναζητούμε στο site της Lithion Battery την καταλληλότερη μπαταρία για να αναβαθμιστεί το πλοίο. Με δεδομένη την απαίτηση για τάση 500 V επιλέγουμε την μπαταρία P40 – 24 Power Module, με τα εξής χαρακτηριστικά.

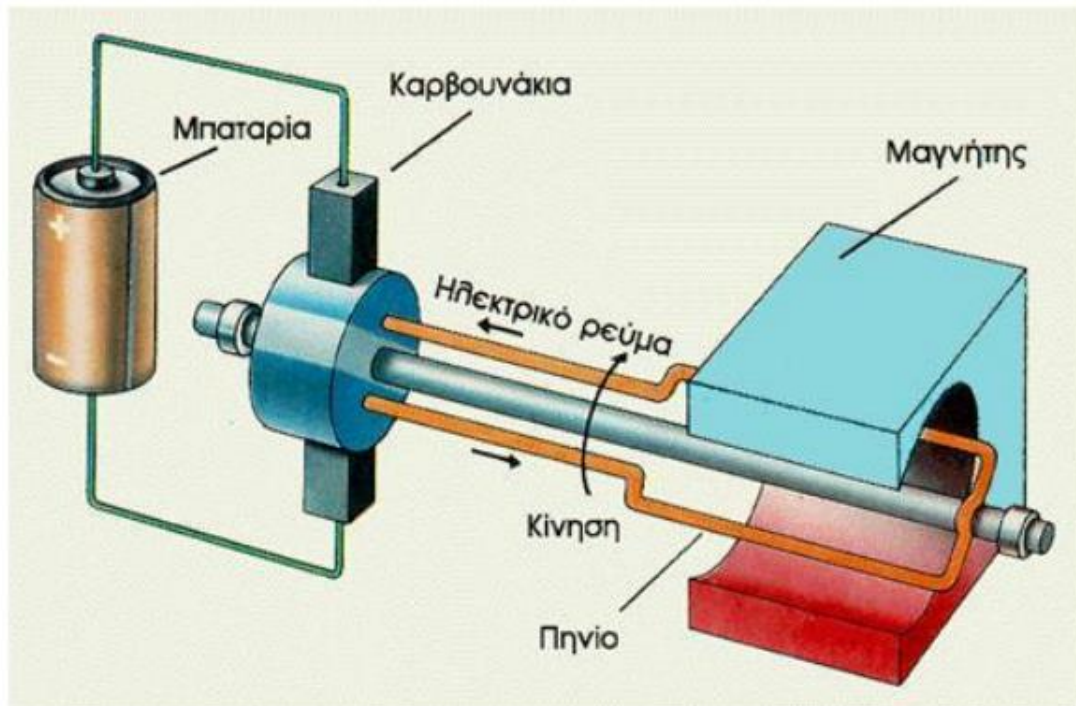
Nominal Voltage	25.6 V
Nominal Capacity	40 Ah
Charge Voltage for Cyclic Applications	29.2 V
Charge Voltage for Float Applications	27.6 – 29.2 V
Charge Current Recommended for Cyclic Applications	20-40 A*
Discharge Voltage Minimum	20 V
Discharge Current @ 90 sec Max	600 A*
Maximum Continuous Discharge Current	240 A*
Weight	16.5 kg
Terminals Female-Threaded	M8 x 1.25
Exterior Dimensions L x W x H	256 x 165 x 260 mm
Part Number	1008678

Εικόνα 46: Χαρακτηριστικά Της Μπαταρίας Που Επιλέχθηκε

Για να καλυφθεί η ανάγκη σε τάση 500V επιλέγουμε να συνδέσουμε 20 μπαταρίες σε σειρά ενώ με δεδομένο την χωρητικότητα των 40 Ah και της τάσης 25.6 V, καθώς και της απαίτησης για 204 kWh, για το κάθε ταξίδι πήγαινε – έλα, εξασφαλίζουμε ενεργειακή πληρότητα με σύνδεση 12 μπαταριών παράλληλα. Επομένως συνδέουμε συνολικά 240 μονάδες μπαταριών. Το συνολικό βάρος των μπαταριών ανέρχεται σε 3960 kg ενώ ο χώρος που καταλαμβάνουν σε 2.53 m³.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

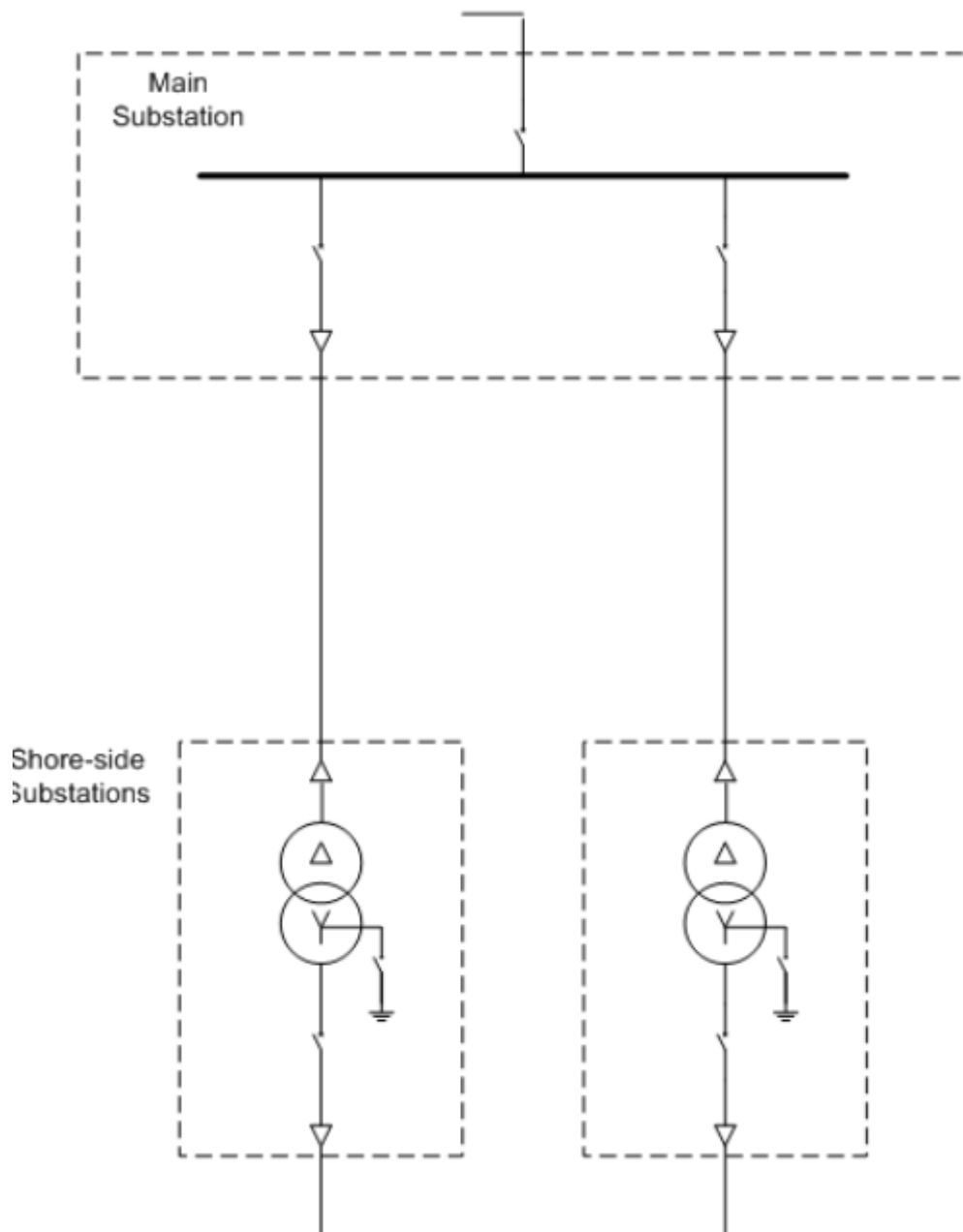
Επιπλέον θα τοποθετηθεί ηλεκτροκινητήρας. Ο ηλεκτροκινητήρας δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια μηχανή που δημιουργεί κίνηση, καταναλώνοντας ηλεκτρισμό. Σε έναν απλό ηλεκτρικό κινητήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μια συρμάτινη περιέλιξη, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. Είναι γεγονός ότι κάθε φορά που ρευματοφόρος αγωγός, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δέχεται κάποια δύναμη. Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στην περιέλιξη, σπρώχνουν την μία πλευρά της προς τα πάνω, και την άλλη προς τα κάτω, με αποτέλεσμα αυτή να περιστρέφεται. Για αυτό το λόγο το σύρμα ονομάζεται δρομέας ή ρότορας (rotor), ενώ ο ηλεκτρομαγνήτης στάτης ή στάτορας (stator). Ο στάτορας αντιστρέφει την φορά του ρεύματος δύο φορές σε κάθε περιστροφή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή φορά περιστροφής του ρότορα. Οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές είτε είναι γεννήτριες, είτε είναι κινητήρες, έχουν μια ανάλογη δομή, καθώς κατά κύριο λόγο συνιστούν στρεφόμενα πηνία ειδικής κατασκευής και ποικίλου μεγέθους. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες παρά την αρκετά εκτεταμένη διάκρισή τους σε διάφορες κατηγορίες και υποκατηγορίες, έχουν κάποια κοινά στοιχεία δομής. Παρακάτω παρουσιάζεται μια παραδοσιακή δομή των ηλεκτροκινητήρων. Επειδή θέλουμε να κρατήσουμε μειωμένη τη μαγνητική αντίσταση των δρόμων της μαγνητικής ροής, οι πυρήνες του στάτορα και του ρότορα κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικό υλικό, σε μορφή μονωμένων μεταξύ τους ελασμάτων. Αυτό αποσκοπεί στην ελάττωση των απωλειών δινορρευμάτων. Κάνοντας μια γενική περιγραφή, μπορούμε να πούμε πως ο ρότορας είναι βασικά ένας κύλινδρος και ο στάτορας είναι ένας κούφιος κύλινδρος. Ο ρότορας και ο στάτορας διαχωρίζονται από ένα μικρό διάκενο αέρα. Το μήκος του διακένου αυτού είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με τη διάμετρο του ρότορα. Το τύλιγμα τυμπάνου βρίσκεται είτε στο ρότορα, είτε στο στάτορα. Το μαγνητικό κύκλωμα συμπληρώνεται μέσα από το σιδηρομαγνητικό υλικό του άλλου κύριου μέλους της μηχανής. Στο μέλος αυτό τοποθετούνται τα πηνία διέγερσης ή τυλίγματα πεδίου που ενεργούν ως κύριες πηγές μαγνητικής ροής.



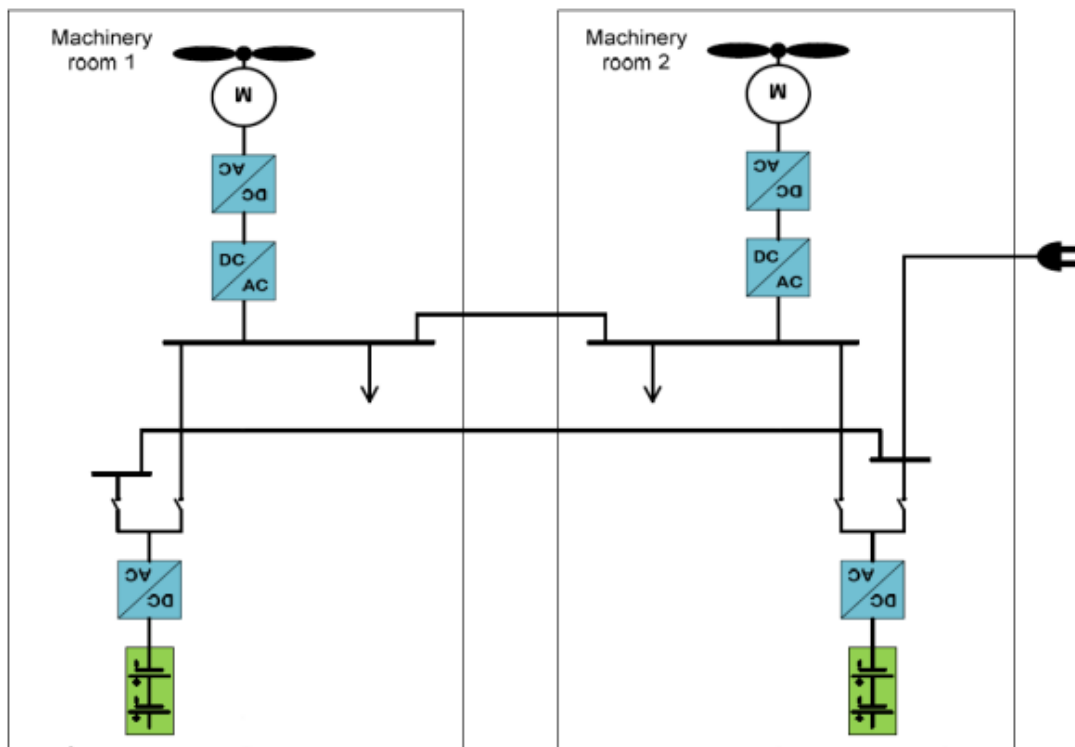
Εικόνα 47: Σχηματικό Διάγραμμα Ηλεκτροκινητήρα

Η λειτουργία τόσο των ηλεκτρικών γεννητριών όσο και των ηλεκτρικών κινητήρων στηρίζεται στη ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Με βάση λοιπόν το φαινόμενο της επαγωγής, όσον αφορά τις ηλεκτρογεννήτριες, όταν ένας αγωγός (δηλαδή ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό) κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε μέσα στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, δηλαδή ηλεκτρικό δυναμικό το οποίο καθίσταται και το αίτιο εμφάνισης ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό. Στους κινητήρες αντίστοιχα αξιοποιείται ένα άλλο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο μια δύναμη που τείνει να τον κινήσει. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την ένταση του μαγνητικού πεδίου, καθώς και το μήκος του αγωγού. Αξίζει να σημειωθεί πως η φορά της ασκούμενης δύναμης στον αγωγό αντιστρέφεται είτε αν αντιστραφεί η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου, είτε αν αλλάξει η φορά του ρεύματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε δυο ηλεκτροκινητήρες των 300 kW, ο καθένας.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΞΗΡΑΣ ΚΑΙ ΣΚΑΦΟΥΣ



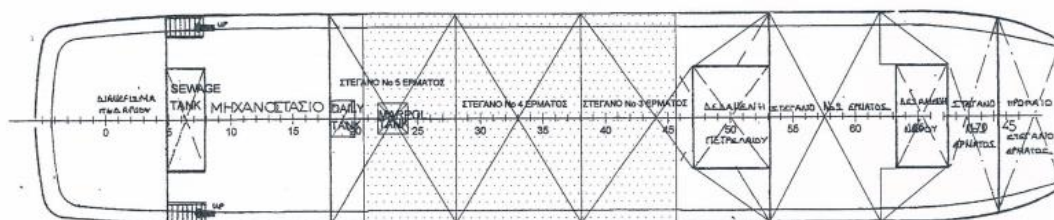
Εικόνα 48: Τοπολογία Δικτύου Ξηράς



Εικόνα 49: Τοπολογία Δικτύου Σκάφους

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Σύμφωνα με τα σχέδια του εν λόγω πλοίου αλλά και τα χαρακτηριστικά των μπαταριών , η τοποθέτηση τους μπορεί να γίνει είτε μέσα σε ένα φορτηγάκι το οποίο θα τοποθετηθεί εντός του πλοίου, κι ενώ παράλληλα ένα άλλο φορτηγάκι με μπαταρία θα φορτίζει στο λιμάνι, είτε σε ένα ενδιάμεσο κατάστρωμα μεταξύ του σαλονιού και του χώρου όπου θα τοποθετούνται τα αυτοκίνητα.



Εικόνα 50: Το Ενδιάμεσο Κατάστρωμα Στο Οποίο Μπορούν Να Τοποθετηθούν Οι Μπαταρίες

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους μετασκευής του πλοίου, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τα οποία συντάχθηκαν από το διαδίκτυο, τον κατασκευαστή των μπαταριών, τον κατασκευαστή των ηλεκτροκινητήρων, καθώς και έγινε αναδρομή, σχετικά με τις τιμές που επικρατούν στον εμπόριο, στην διπλωματική εργασία του Χρίστου Μπακιρτζόγλου . Επίσης, έγιναν και κάποιες προσαυξήσεις της τάξεως 50% στην συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα, ώστε να υπάρχει περίσσεια ισχύος στην περίπτωση βλάβης ή/και κακοκαιρίας, καθώς και εξαιτίας της πρόβλεψης ότι η μπαταρίες θα υποστούν μια μικρή μείωση στο ποσοστό της συνολικής τους χωρητικότητας έπειτα από κάποιο αριθμό κύκλων φορτίσεων. Ο αναλυτικός υπολογισμός του κόστους μετασκευής του εν λόγω πορθμείου, ο οποίος περιέχει την τιμή αγοράς και εγκατάστασης του νέου εξοπλισμού και την πώληση του μεταχειρισμένου μηχανολογικού εξοπλισμού, σύμφωνα με το σενάριο κανονικής λειτουργίας του πλοίου, συντάσσεται στον Πίνακα 8.6 παρακάτω:

ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΑΦΟΥΣ	
Κόστος Μετασκευής Σκάφους	
Αριθμός Μπαταριών	240
Συνολική Ενέργεια Ενός Ταξιδιού Πήγαινε - Έλα	204 kWh
Κόστος Εγκατάστασης	
Κόστος Μπαταριών (500\$/kWh) ανά μονάδα	\$ 24480000
Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (BMS) – 50% του κόστους των μπαταριών	\$ 12240000
Μετατροπείς Μπαταριών (200\$/kW)	
2 x Μετατροπείς 1400 kW	\$ 560000
Οδηγοί Ηλεκτροκινητήρα (250\$/kW)	
2 x Motor Drives 1400 kW	\$ 700000
Ηλεκτροκινητήρες (60/kW)	
2 x Ηλεκτροκινητήρες των 300 kW	\$ 18000
Απρόβλεπτα Κόστη 10%	\$ 144100

Σύνολο Κόστους Εγκατάστασης	\$ 41797800
Πώληση Των Υφιστάμενων Κινητήρων	
Μεταχειρισμένες Κύριες Μηχανές (40\$ / kW)	\$ 21760
Σύνολο Χρημάτων Πωλήσεων	\$ 21760
Τελικό Κόστος Μετασκευής	\$ 41776040

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Σε αυτό το σημείο υπολογισμών, αξίζει σημειωθεί ότι λήφθηκαν υπόψη όλα τα στοιχεία τα οποία συλλέχθηκαν από το πλοίο κατά την φυσιολογική λειτουργία του. Οι τιμές του πετρελαίου ανά μονάδα τόνου καθώς και οι τιμές συντήρησης των μπαταριών και του μηχανολογικού εξοπλισμού λήφθηκαν από το διαδίκτυο, τους κατασκευαστές του εξοπλισμού, καθώς επίσης συλλέχθηκαν στοιχεία και από την μελέτη του Χρίστου Μπακιρτζόγλου. Τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του πλοίου με τον συμβατικό μηχανολογικό εξοπλισμό, αλλά και αυτά με τις μπαταρίες, τα οποία υπολογίστηκαν σε ετήσια βάση για το σενάριο κανονικής λειτουργίας του πλοίου, συγκρίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	
Σύγκριση Κόστους Καυσίμου Σε 1 Έτος Λειτουργίας	
Ημέρες Λειτουργίας Ανά Έτος	365
Κυκλικό Πλόος Ανά Ημέρα	4
Με Μπαταρίες	
Ενέργεια Ανά Κυκλικό Πλου	204 kWh
Ενέργεια Ανά Έτος	297840 kWh
Τιμή Ανά kWh	\$ 0.05
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας	\$ 14892
Με Υφιστάμενους Κινητήρες Diesel	
Κατανάλωση Ανά Ώρα	140 lt/h
Κατανάλωση Ανά Κυκλικό Πλου	35 lt/Κύκλο
Κατανάλωση Ανά Έτος	51100 lt/Έτος
Τιμή Πετρελαίου	0.60 \$/lt
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας	\$ 30660
Κέρδη Ανά Έτος Λειτουργίας	\$ 15768

Σύγκριση Κόστους Συντήρησης Σε 1 Έτος Λειτουργίας	
Με Μπαταρίες	
Πάγιο Έξοδο 2% Του Κόστους Των Μπαταριών Ανά Έτος	\$ 2040
Μεταβλητά Έξοδα Συντήρησης \$/Kwh	\$ 1
Κόστος Μεταβλητών Εξόδων Συντήρησης	\$ 204
Συνολικό Κόστος Συντήρησης	\$ 2244
Με Υφιστάμενους Κινητήρες Diesel	
Κόστος Συντήρησης Κυρίων Μηχανών / HP	\$ 15
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς	740 HP
Συνολικό Κόστος Συντήρησης	\$ 11100
Κέρδη Ανά Έτος Συντήρησης	\$ 8856
Συνολικά Κέρδη Του Κόστους Συντήρησης Και Λειτουργίας Για Ένα Χρόνο	\$ 24624

Ετήσια Κέρδη Από Εισιτήρια	
Ετήσια Πώληση Εισιτηρίων	300000
Κόστος Ανά Εισιτήριο	\$ 5
Συνολικό Ετήσιο Κέρδος	\$ 1500000

NPV (ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ)

Έστω επιτόκιο $r = 6\%$

Για το πρώτο έτος λειτουργίας

Κόστος Μετασκευής	Κόστη Λειτουργίας	Κόστη Συντήρησης	Κέρδη Από Εισιτήρια
\$ 41776040	\$ 14892	\$ 2244	\$ 15000000

$$PV = C/(1+r)^t$$

Όπου PV η παρούσα αξία για το συγκεκριμένο έτος, r το επιτόκιο και t το έτος.

$$\text{Για το πρώτο έτος } PV = (-14892 - 2244 + 15000000)/(1+0,06)^1 = 14134777$$

$$NPV = -41776040 + 14134777 = -27641263 \$$$

Για το δεύτερο έτος:

$$PV = (-14892 - 2244 + 15000000)/(1+0,06)^2 = 14983111$$

$$NPV = -27641263 + 14983111 = -12658152 \$$$

Για το τρίτο έτος:

$$PV = (-14892 - 2244 + 15000000)/(1+0,06)^3 = 12579901$$

$$NPV = -12658152 + 12579901 = -78251 \$$$

Για το τέταρτο έτος:

$$PV = (-14892 - 2244 + 15000000)/(1+0,06)^4 = 11867832$$

$$NPV = -78251 + 11867832 = 11789581 \$$$

Παρατηρούμε ότι η καθαρά παρούσα αξία είναι θετική στο τέταρτο έτος επομένως η επένδυση μας συμφέρει και αποδίδει στα τέσσερα χρόνια λειτουργίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι εκπομπές από τα πλοία ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα, και μπορεί να είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, να προκαλέσουν όξινη βροχή, καθώς και να συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ναυτιλιακή βιομηχανία αναλαμβάνει δράση για την ουσιαστική αντιμετώπιση του θέματος αυτού εφαρμόζοντας αυστηρούς κανονισμούς. Με τη μετάβαση στην ηλεκτρική πρόωση, τα θαλάσσια σκάφη εξασφαλίζουν ενσωματωμένη ευελιξία η οποία όχι μόνο μπορεί να μειώσει τις εκπομπές και να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση καυσίμων, αλλά καθίσταται ταυτόχρονα ελαφρύτερη, καταλαμβάνει λιγότερο χώρο, με χαμηλότερα επίπεδα θορύβου και κραδασμών, και μειωμένο κόστος συντήρησης. Η βιομηχανία, τα τελευταία χρόνια, κινείται προς αυτήν την κατεύθυνση, και πρέπει να συμβάλουμε στην ενίσχυση και εγκαθίδρυση αυτής της τάσης. Σκοπός αυτής είναι αρχικά η διερεύνηση της τεchnοοικονομικής σκοπιμότητας της μετασκευής υφιστάμενων Ε/Γ Ο/Γ πλοίων σε πλήρως ηλεκτρικά. Παρατηρούμε πως υπάρχει πλήθος τεχνολογιών μπαταρίας με κάποιες από αυτές να είναι περισσότερο επωφελείς για την χρήση τους στην ναυτιλία. Επίσης, από τη συγκεκριμένη έρευνα προκύπτουν διαφορετικές τεχνολογίες, με άλλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για την κάθε περίπτωση, σύνδεσης της μπαταρίας με τον κινητήρα καθώς και διαφορετικές μέθοδοι σύνδεσης των μπαταριών με την ξηρά για φόρτιση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση μπαταριών σε επιβατηγό πλοίο μικρής διαδρομής - Πάρος – Αντίπαρος, στην προκειμένη περίπτωση- είναι επικερδής τόσο περιβαλλοντικά με λιγότερες εκπομπές, όπως φάνηκε και από το παράδειγμα του Κορεάτικου πλοίου, όσο και οικονομικά, με την συγκεκριμένη επένδυση να είναι επικερδής από την πρώτη κιόλας χρονιά. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο κόστος της επένδυσης συγκριτικά με τα ετήσια έσοδα από τα εισιτήρια. Καταληκτικά, παρατηρούμε πως η τάση της μετατροπής μικρών επιβατηγών πλοίων, σε πρώτο στάδιο, μπορεί να αποτελέσει μια πλήρως κερδοφόρα επένδυση σε πολλά επίπεδα και οφείλει να γίνει κυρίαρχη τάση στο χώρο της ναυτιλίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Christos Bakirtzoglou (2017). Techno-economical feasibility study on the retrofit of doubleended Ro/Pax ferries into battery-powered ones.
- [2] Giachountis Dimitrios (2017). Techno-economical Feasibility Study on The Retrofit Of Mid-size Ro-Pax into Hybrid Ones / Battery Thermal and Energy Behavior Prediction.
- [3] Corvus Energy (2016). AT6700 HIGH PERFORMANCE ENERGY STORAGE MODULE.
- [4] Z. Gary Yang (2018). Status and Future Perspectives of Redox Flow Batteries.
- [5] Esther Yang (2016). Tax Alert Φορολογία πλοίων με σημαία Ε.Ε / Ε.Ο.Χ.
- [6] European Commission (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects.
- [7] EUROSOLAS (1998), ΟΔΗΓΙΑ 98/18 ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 17ης Μαρτ. 1998 για τους κανόνες και τα πρότυπα ασφαλείας για τα επιβατηγά πλοία.
- [8] ABB (2016). Brochure Synchronous motors High performance in all applications.
- [9] https://w3.siemens.no/home/no/no/sector/industry/marine/pages/hybrid_propulsion_systems.aspx
- [10] <https://www.quora.com/What-is-the-future-of-battery-technology-Whats-afterlithium>
- [11] http://users.sch.gr/imarinakis/electric_engines.htm
- [12] <https://www.explainthatstuff.com/batteries.html>
- [13] <http://www.imo.org/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx180>
- [14] <http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/Default.aspx>
- [15] <http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- [16] <http://www.tunnel2funnel.com/2012/11/renewal-of-iapp-certificate.html>
- [17] <http://www.epa.gov/ozone/title6/phaseout/hcfcuses.html>
- [18] http://www.dnv.com/binaries/marpol%20brochure_tcm4-383718.pdf
- [19] http://www.gl-garradhassan.com/en/renewables_advisory.php
- [20] ICCT (2011). The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. (http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTpolicyupdate15_EEDI_final.pdf)
- [21] IMO (2017). REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS.
- [22] IEC/ISO/IEEE 80005-1, IEC/ISO/IEEE 80005-3.
- [23] www.Wikipedia.org

- [24] www.investopedia.com
- [25] Prof. GOHAR G STEPANYAN. Discounted Cash Flow Valuation CORPORATE FINANCE 1.
- [26] DNV. (2014). Guideline for large maritime system. DNV.
- [27] DNV-GL. (2014). Guidelines for large maritime systems.
- [28] [2] CE DELFT. (2008). Handbook on the estimation of external costs in the transport sector.
- [29] [3] DNV. (2014). Guideline for large maritime system. DNV.
- [30] DNV-GL. (2014). Guidelines for large maritime systems.181
- [31] E.E.A. . (2016). Air quality in Europe.
- [32] EERE. (2006).
- [33] Oikonomou. (2014).Estimation of annual external health cost of air pollution from ships in the port Peiraeus using the impact pathway analysis.
- [34] WEF. (2016). The global competitiveness report.
- [35] WHO. (2014). Climate change report.
- [36] ΑΔΜΗΕ. (2012).
- [37]Carlo Trozzi, R. D. (2016). Air pollutant emission from national navigation, inventory guidebook. EEA.
- [38] Tzanatos. (2010). Air emissions and their impacts, Piraeus port case study.
- [39] Skjong (2016). Past, present and future of electric vessel's power system.
- [40] ExternE (2005). Externalities of Energy, Methodology 2005 Update.
- [41] Buchanan, James, Wm, Craig. Stubbledine (1692). Externality.
- [42] Finos Aggelos, Τεχνικοοικονομική μελέτη μετασκευής επιβατηγών/οχηματαγωγών πλοίων κλειστού τύπου για λειτουργία με ηλεκτρική πρόωση»
- [43] MDPI-Comparative-analysis-of-marine-diesel-and-electricity-2020_08
- [44] ABS_hybrid-electric-power-systems-guide-oct20
- [45] EMSA-study-electrical-energy-storage-for-ships-2020_05(2)