



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

**Διερεύνηση μετατροπής πλοίων πορθμειακής γραμμής Δήλου –
Μυκόνου σε υβριδικής τεχνολογίας με μπαταρίες.**

Μπουρνιά Ίριδα Αναστασία

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης
Διευθυντής Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας

Page left intentionally blank

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθεί η βιωσιμότητά μιας μετατροπής ενός πορθμείου που χρησιμοποιεί ως αποκλειστική πηγή ενέργειας την ηλεκτρική, παραγόμενη από ένα σύστημα μπαταριών όπως αυτή παρουσιάζεται στη διπλωματική εργασία του Μπαρκιτζόγλου Χρήστου «Techno-economical feasibility study on the retrofit of double ended Ro/Pax ferries into battery-powered ones».

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της ηλεκτροπρόωσης καθώς επίσης γίνεται μια αναφορά και στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται μια αναφορά στην εξέλιξη των μπαταριών. Ακόμη, αναφέρονται οι αρχές λειτουργίας καθώς επίσης και κάποια σημαντικά στοιχεία τους όπως τα μέρη, τα μεγέθη και τα είδη των μπαταριών.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναφέρεται τι απαιτείται έτσι ώστε ένα πορθμείο να υποστεί μετατροπή και από πλοίο που λειτουργεί με ντίζελ να είναι πλέον ένα πλοίο που λειτουργεί εξ' ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια που πηγάζει από μπαταρίες.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός πλοίου. Αναφέρονται οι επιπτώσεις που έχουν οι αέριοι ρύποι τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον.

Στο **Κεφάλαιο 6** αναφέρεται η μεθοδολογία υπολογισμού αυτής της μετατροπής και στο **Κεφάλαιο 7** εφαρμόζεται αυτή η μεθοδολογία για τη διαδρομή Μύκονος – Δήλος.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Περιεχόμενα.....	3
1. Εισαγωγή.....	5
2. Ηλεκτροπρόωση.....	6
2.1. Ιστορία της Ηλεκτροπρόωσης.....	6
2.2. Τα Πλεονεκτήματα και τα Μειονεκτήματα της Ηλεκτροπρόωσης.....	10
3. Μπαταρίες.....	11
3.1. Ιστορία της Μπαταρίας.....	11
3.2. Μέρη της Μπαταρίας.....	14
3.3. Λειτουργία.....	15
3.3.1. Εκφόρτιση.....	15
3.3.2. Φόρτιση.....	15
3.4. Μεγέθη Μπαταρίας.....	16
3.5. Είδη Μπαταρίας.....	18
3.5.1. Πρωτογενείς μπαταρίες.....	18
3.5.1.1. Μπαταρίες ψευδαργύρου-άνθρακα / Batteries «Leclanche».....	18
3.5.1.2. Μπαταρίες ψευδαργύρου - χλωριδίου / Zinc-Chloride Batteries.....	19
3.5.1.3. Μπαταρίες Μαγνησίου – Αλουμινίου / Magnesium and Aluminum Batteries.....	19
3.5.1.4. Μπαταρίες αλκαλικές μαγγανίου / Alkaline- Manganese dioxide batteries.....	19
3.5.1.5. Μπαταρίες οξειδίου του Υδραργύρου / Mercuric Oxide Batteries.....	20
3.5.1.5.1. Ψευδάργυρος- Οξείδιο του υδραργύρου.....	20
3.5.1.5.2. Κάδμιο – Οξείδιο του υδραργύρου.....	20
3.5.1.6. Μπαταρίες λιθίου / Lithium Batteries.....	21
3.5.1.7. Μπαταρίες οξειδίου του Αργυρού / Silver Oxide Batteries.....	21
3.5.1.8. Ψευδαργύρου-Αέρα.....	21
3.5.1.9. Μπαταρίες στερεού ηλεκτρολύτη / Solid-Electrolyte Batteries.....	22
3.5.2. Δευτερογενείς μπαταρίες.....	22
3.5.2.1. Μπαταρίες Μόλυβδου – Οξέος / Lead-Acid Batteries.....	22
3.5.2.2. Μπαταρίες ηλεκτροδίου Σιδήρου / Iron Electrode Batteries.....	23
3.5.2.2.1. Σιδήρου – Νικελίου.....	23
3.5.2.2.2. Σιδήρου – Αέρα.....	23
3.5.2.3. Μπαταρίες Νικελίου – Καδμίου / Nickel-Cadmium Batteries.....	24
3.5.2.4. Μπαταρίες Νικελίου-Υδρογόνου / Nickel-Hydrogen Batteries.....	24
3.5.2.5. Μπαταρίες ιόντων λιθίου / Lithium-Ion Batteries.....	24
3.5.2.6. Μπαταρίες ψευδαργύρου-βρωμίου / Zinc-bromine Batteries.....	25
3.5.2.7. Μπαταρίες με βάση το Νάτριο / Sodium-beta Batteries.....	25
3.5.2.7.1. Μπαταρία νατρίου-θείου.....	25
4. Εξηλεκτρισμός Πλοίου.....	26
4.1. Διαδικασία εξηλεκτρισμού ενός πλοίου.....	26
4.2. Εθνικοί και Διεθνής Νομοθεσία και Κανονισμοί.....	27
4.3. Απαιτούμενος Εξοπλισμός.....	28
4.3.1. Battery Management System.....	28
4.3.2. Ηλεκτροκινητήρας / Electric Motor.....	29
4.3.2.1. Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος / DC Motor.....	29
4.3.2.2. Κινητήρας Εναλλασσόμενου Ρεύματος / AC Motor.....	30

4.3.3. Μετατροπείς.....	31
4.3.3.1. Μετατροπή DC/AC / Αντιστροφέας / Inverter.....	32
4.3.3.2. Μετατροπή AC/DC / Ανορθωτής / Rectifier.....	33
4.4. Τοπικές Ρυθμίσεις.....	34
5. Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα του Πλοίου.....	35
5.1. Εισαγωγή.....	35
5.2. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι.....	36
5.3. Ρύποι και ανθρώπινη υγεία.....	38
5.4. Ρύποι και περιβάλλον.....	40
5.5. Τα εξωτερικά κόστη, Externalities.....	41
5.6. Νομοθεσία.....	43
6. Δεδομένα και Υπολογισμοί.....	44
7. Case Study: Μύκονος – Δήλος.....	47
7.1. Εισαγωγή.....	47
7.2. Ανάλυση Δεδομένων.....	48
7.3. Υπολογισμοί.....	51
7.4. Κόστος Εγκατάστασης Πορθμείων.....	52
7.5. Σύγκριση Κόστους Συντήρησης και Λειτουργίας για ένα χρόνο.....	53
7.6. Cost Benefit Analysis.....	55
7.6.1. Σύγκριση Λειτουργίας Πλοίων με Μπαταρίες και Χωρίς Μπαταρίες.....	56
7.6.2. Προσθήκη ενός επιπλέον ταξιδιού όταν το πλοίο λειτουργεί με Μπαταρίες.....	57
7.6.3. Αύξηση τιμής εισιτηρίου.....	58
7.6.4. Επιχορήγηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση.....	59
7.7. Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	60
8. Συμπεράσματα και Προτάσεις	61
9. Βιβλιογραφία.....	63
Παράρτημα Ι.....	66

1. Εισαγωγή

Η περιβαλλοντική κρίση που υπάρχει επηρεάζει κάθε τομέα της ζωής. Οι κλιματικές αλλαγές έχουν ήδη κάνει εμφανή τα σημάδια τους και αν δεν γίνουν μεγάλα βήματα για την πρόληψη και την αντιμετώπιση της τότε οι συνέπειες αυτής της κρίσης θα γίνουν πιο ορατές και σοβαρές.

Η ναυτιλία, η οποία αποτελεί μια κινητήριο δύναμη για το εμπόριο και είναι υπεύθυνη για περίπου το 80% της μετακίνησης των αγαθών, πρέπει να προσαρμοστεί στους νέους κανόνες. Αυτό, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στην αναθεώρηση της ηλεκτροκίνησης των πλοίων, η οποία είχε κάνει την εμφάνιση της πριν δύο αιώνες.

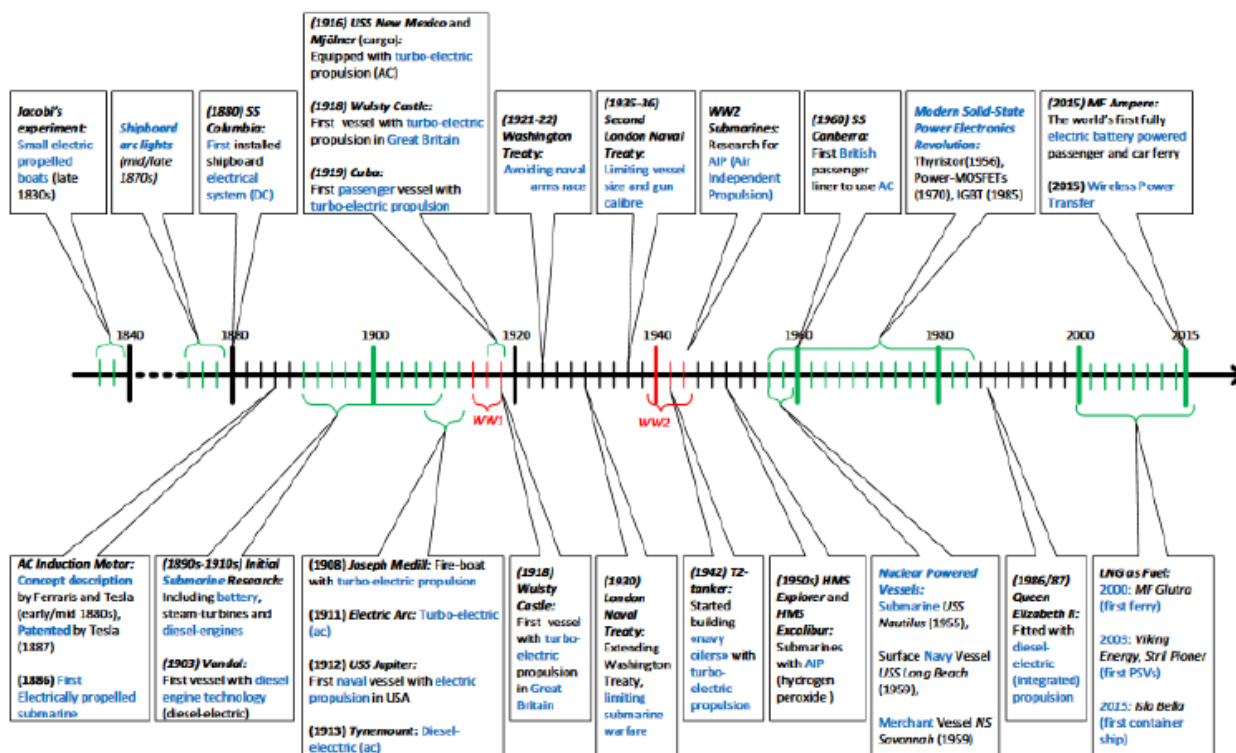
Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης, στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντίζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι.

Το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο ή All Electric Ship στοχεύει να εκμηδενίσει τις εκπομπές αέριων ρύπων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να συμβάλει όσο μπορεί στη μείωση της ρύπανσης.

Όσον αφορά την εισαγωγή του πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου στον ελλαδικό χώρο, αυτή κρίνεται επιτακτική. Αυτό συμβαίνει γιατί περίπου το 98% του πληθυσμού ζει σε απόσταση μικρότερη των 100 χιλιομέτρων από τη θάλασσα και το 33% σε παράκτιες πόλεις και χωριά με απόσταση μικρότερη των 2 χιλιομέτρων. Επίσης δεν υπάρχει μέρος στη χώρα που να απέχει περισσότερο από 150 χιλιόμετρα από τη θάλασσα. Όλα τα παραπάνω δεδομένα καθιστούν ξεκάθαρη την επίδραση που θα έχει μια στροφή της ναυτιλίας σε πράσινη ενέργεια.

2. Ηλεκτροπρόωση

2.1 Ιστορία της Ηλεκτροπρόωσης



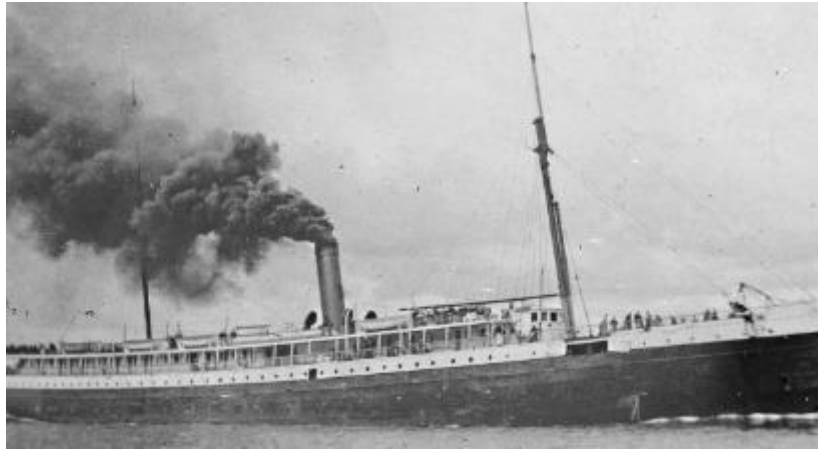
Εικόνα 2.1: Η Ιστορία της Ηλεκτροπρόωσης

Προς τα τέλη του 1830 ο Γερμανός εφευρέτης Moritz Herman von Jacobi εφηύρε έναν πολύ απλό dc ηλεκτροκινητήρα και διεξήγαγε πολλαπλά πειράματα με ένα πλοίο μήκους 7,3 m και τη δυνατότητα να μεταφέρει 14 επιβάτες. Δυστυχώς, εξαιτίας της σχεδίασής του, ο ηλεκτροκινητήρας αυτός είχε πολλές ατέλειες και αστοχίες για αυτό και δε κατάφερε να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και σύντομα ξεχάστηκε. Ύστερα, στις αρχές της δεκαετίας του 1870 έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα ηλεκτρονικά συστήματα πάνω στο πλοίο με τη μορφή σπλοσυστημάτων τα οποία τροφοδοτούνταν με μπαταρίες. Επίσης εκείνη την περίοδο σε πολυτελή πλοία γραμμής εμφανίστηκαν τα ηλεκτρονικά κουδούνια.



Εικόνα 2.2: Το πρώτο ηλεκτρικό πλοίο το Moritz Herman von Jacobi

Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1870, παράλληλα με τις ηλεκτρικές λάμπες που άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε δρόμους και δημόσιους χώρους, εμφανίστηκαν και οι πρώτοι προβολείς στα πλοία.



Εικόνα 2.3: SS Columbia

Το 1878 ο Thomas Edison εισήγαγε στην αγορά μια ηλεκτρονική λάμπα κοινής χρήσης η οποία θα χρησιμοποιούσε συνεχές ρεύμα. Ο Henry Villard βλέποντας τα πλεονεκτήματα αυτής της εφεύρεσης πρόσταξε την εγκατάσταση ενός συστήματος φωτισμού στο ατμόπλοιο SS Columbia.



Εικόνα 2.4: USS Trenton

Το 1883, το αμερικάνικο πλοίο USS Trenton ακολούθησε το επιτυχημένο παράδειγμα εγκατάστασης του συστήματος φωτισμού που έθεσε το 1880 το SS Columbia.

Ένα χρόνο μετά το Bureau of Navigation στις Ηνωμένες Πολιτείες, αποφάσισε να εξοπλιστούν με σύστημα ηλεκτρικού φωτισμού τα ακόλουθα πλοία : Atlanta, Boston και Omaha.

Τη δεκαετία του 1880 πολλοί ασχολήθηκαν με τον σχεδιασμό ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Ο Nikola Tesla, ο Galileo Ferraris και ο Micheal Osipowitch von Dilvio-Dobrowolsky έκαναν μερικές παρατηρήσεις οι οποίες οδήγησαν στη γέννηση του επαγωγικού κινητήρα. Το 1888 ο Charles Bradley παρουσίασε έναν επαγωγικό κινητήρα.

Από το 1890 μέχρι το 1920 τα ηλεκτρικά σκάφη γνώρισαν μεγάλη δημοτικότητα. Όμως, αυτό άλλαξε ολοκληρωτικά όταν έκαναν την εμφάνιση τους οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι εκτόπισαν τους ηλεκτροκινητήρες από τις περισσότερες εφαρμογές.

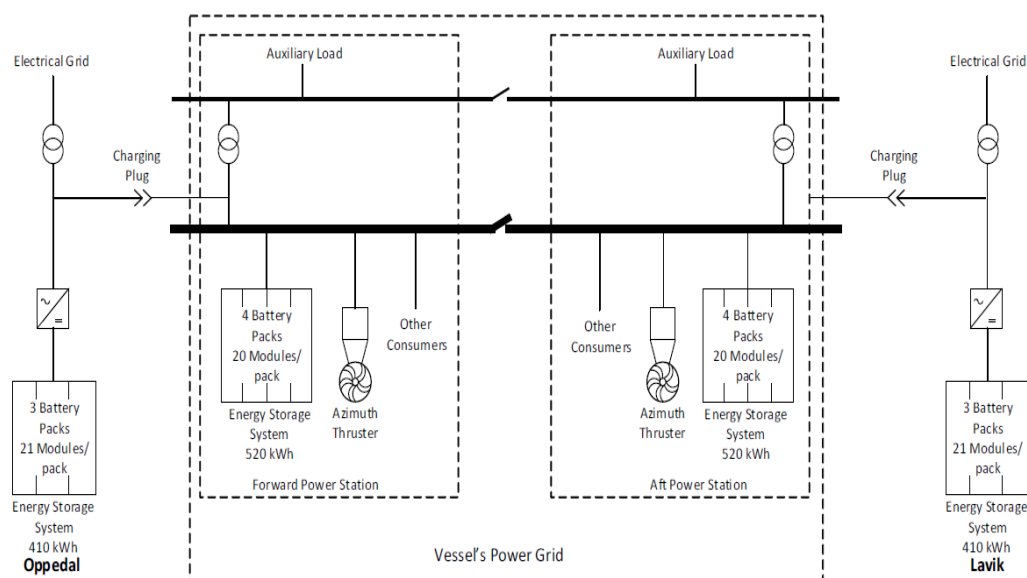
Κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου παρατηρήθηκε αύξηση της κατασκευής που χρησιμοποιούν diesel-electric συστήματα. Το σύστημα πρόωσης αποτελείται κυρίως από ένα σύστημα diesel-electric προκειμένου να φορτίζει τις μπαταρίες όταν αυτά βρίσκονται στην επιφάνεια χρησιμοποιώντας τους κινητήρες ώθησης σαν γεννήτρια. Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται μόνο όταν το πλοίο ήταν βυθισμένο τόσο για ανάγκες πρόωσης όσο και για service loads όπως φωτισμό κ.α..

Από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο μέχρι και σήμερα οι εξελίξεις στην τεχνολογία, στην κοινωνία καθώς επίσης και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες οδήγησαν στα σημερινά δεδομένα της πρόωσης των πλοίων. Με τις αυξανόμενες απαιτήσεις για ηλεκτρικά φορτία πάνω στο πλοίο άρχισε σιγά σιγά να δημιουργείται το All Electric Ship.

Τα τελευταία δέκα χρόνια, παρατηρείται μια αύξηση στην παραγωγή πλοίων που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για πρόωση. Αυτό συμβαίνει γιατί πλέον ο International Maritime Organization (IMO) έχει θεσπίσει πιο αυστηρά όρια όσον αφορά τις εκπομπές αέριων ρύπων.

Το 2004 κατασκευάστηκε στην Γαλλία το πρώτο πλοίο LNG που κινούταν με ηλεκτρική ενέργεια. Ύστερα, το 2010 ακολούθησε η κατασκευή του Turanor Planetsolar το οποίο ήταν το πρώτο πλοίο που χρησιμοποιούσε την ηλιακή ενέργεια για να φορτίσει τις μπαταρίες Li-Ion, οι οποίες χρησιμοποιούνταν για να τροφοδοτήσουν με ενέργεια ολόκληρο το πλοίο.

Το 2015 εγκαινιάστηκε το πρώτο εξ' ολοκλήρου επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο στην Νορβηγία, το MF Ampere. Το πλοίο αυτό, μήκους 80m με ικανότητα μεταφοράς 120 οχημάτων και 360 επιβατών, πιστοποιήθηκε από τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV-GL και οι μπαταρίες που υπάρχουν μέσα στο πλοίο έχουν ενεργειακή ισχύς 1MW.



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα του Norled's MF Ampere

Από τότε στην Σκανδιναβία εγκαινιάστηκαν αρκετά πλοία τα οποία λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- Το σουηδικό πλοίο Moritz, το οποίο κάνει μια διαδρομή στη Στοκχόλμη. Χρησιμοποιώντας ηλεκτροπρόωση και όχι μηχανές diesel κατάφερε να εξοικονομήσει 130 τόνους CO₂, 1,5 τόνους NO_x και 80 kg σωματιδίων.
- Τα πλοία Tychno Brahe και Aurora τα οποία μετατράπηκαν από πλοία diesel σε ηλεκτρικά πλοία, αφαιρώντας τις 2 από τις 4 μηχανές και αφήνοντας τις άλλες 2 για μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Τα πλοία αυτά καλύπτουν μια απόσταση 5 χιλιομέτρων ανάμεσα στο Helsingor της Δανίας και το Helsingborg στη Σουηδία.

Το παράδειγμα ακολούθησε και η Κίνα η οποία εγκαινίασε το πρώτο εξ' ολοκλήρου ηλεκτρικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Το πλοίο αυτό διαθέτει 1000 μπαταρίες ιόντων λιθίου βάρους 26 τόνων, ενεργειακή χωρητικότητα έως και 2400Wh και τη δυνατότητα να καλύπτει αποστάσεις έως και 80 χιλιομέτρων.



Εικόνα 2.6: Πρώτο Ηλεκτρικό Containership της Κίνας

Τέλος, όσον αφορά την Ελλάδα, ο δήμος Αιγίου και Αγίου Νικολάου Δωρίδος σε συνεργασία με διάφορα πανεπιστήμια και τον DNV-GL ετοιμάζονται να εγκαινιάσουν το πρώτο ηλεκτρικό πορθμείο στον ελλαδικό χώρο. Πρόκειται για ένα πλοίο το οποίο θα σαλπάρει στα νερά του Κορινθιακού Κόλπου και είναι ένα πρώην ντιζελοκίνητο πλοίο.

2.2 Τα Πλεονεκτήματα και τα Μειονεκτήματα της Ηλεκτροπρόωσης

Για να γίνει αντιληπτή η έννοια της ηλεκτροκίνησης και η διαφορά της από την κίνηση με diesel παρουσιάζονται παρακάτω κάποια ενδεικτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Ακριβής έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και του πλοίου, όπως και της θέσης
- ✓ Υψηλή δυνατότητα ελιγμών
- ✓ Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών
- ✓ Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών
- ✓ Οικονομία καυσίμου, εφόσον είναι εφικτή η φόρτιση των μηχανών κοντά στο βέλτιστο σημείο
- ✓ Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- ✓ Εξοικονόμηση χώρου, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους
- ✓ Ευκολία αυτοματισμού
- ✓ Αυξημένη αξιοπιστία και αυξημένη ασφάλεια
- ✓ Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων
- ✓ Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενόπλοιων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλό κόστος επένδυσης
- ✗ Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα.
- ✗ Προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της εγκατάστασης διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος
- ✗ Υψηλό βάρος μπαταριών άρα ελάττωση του φορτίου

3. Μπαταρίες

3.1. Ιστορία της Μπαταρίας

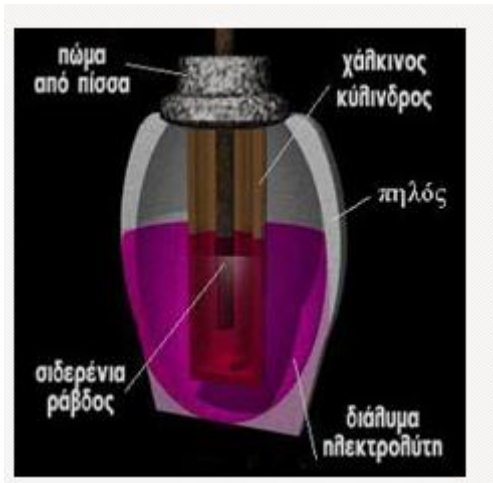
Η μπαταρία αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες πηγές και αποθήκες ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Ουσιαστικά πρόκειται για μια χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια αφού τη μετατρέψει σε χημική.

Ορισμένα αρχαιολογικά ευρήματα, θέτουν την πρώτη κατασκευή μπαταρίας μέχρι και 2250 έτη πριν. Πιο συγκεκριμένα, το 1938 ο Γερμανός αρχαιολόγος Wilhelm König, ενώ βρισκόταν σε ανασκαφές στην περιοχή Κουτζουτ Ραμπού, λίγο έξω από τη Βαγδάτη, ανακάλυψε ένα πήλινο δοχείο ύψους 13,50 cm και διαμέτρου 8 cm. Το κυκλικό άνοιγμα στην κορυφή είχε διάμετρο 3,3 cm, ενώ μέσα σε αυτό υπήρχε ένας χάλκινος κύλινδρος στερεωμένος με ύψος 10 cm και διάμετρο 2,6 cm. Επίσης, μέσα στον κύλινδρο υπήρχε μια σιδερένια ράβδος σφηνωμένη σε καπάκι από στερεή πίσσα, που στο κέντρο του είχε ένα στερεό κομμάτι σιδήρου με ύψος 7,5 cm και διάμετρο περίπου 1 cm. Τέλος, η κατασκευή αυτή χρονολογείται περίπου στο διάστημα από το 250 π.Χ έως το 600 μ.Χ και είναι πλέον γνωστή ως η μπαταρία της Βαγδάτης.



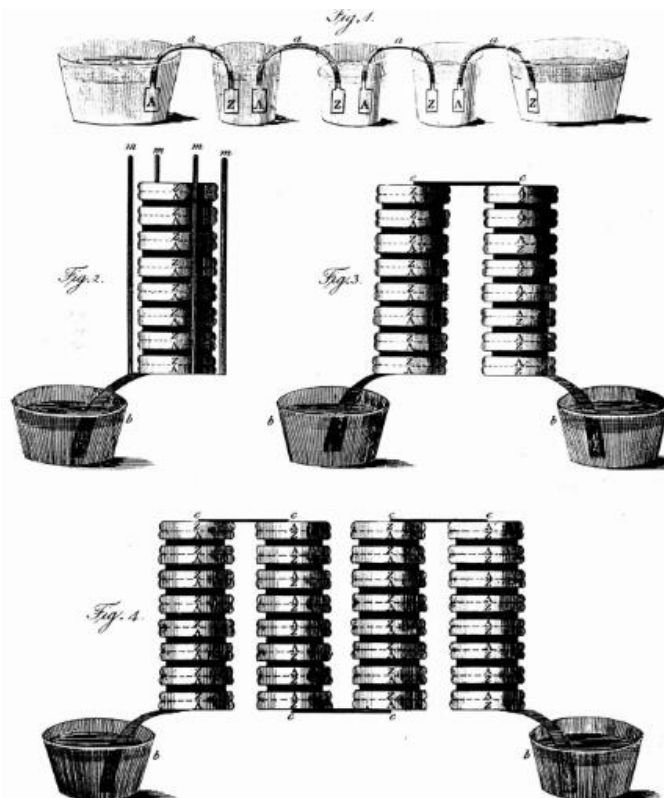
Εικόνα 3.2: Η Μπαταρία της Βαγδάτης

Ο Wilhelm König μετά από διετή έρευνα δημοσίευσε μια εργασία στην οποία ανέφερε το παραπάνω πήλινο δοχείο ως μια αρχαία μπαταρία. Τεκμηρίωνε την άποψή του αναφέροντας ότι στο εσωτερικό του δοχείου υπήρχε κάποιο οξειδωτικό διάλυμα, πιθανότατα κρασί ή ξύδι το οποίο αλληλεπιδρούσε με το μέταλλο και παρήγαγε ηλεκτρικό φορτίο.



Εικόνα 3.3: Εσωτερικό της Μπαταρίας της Βαγδάτης

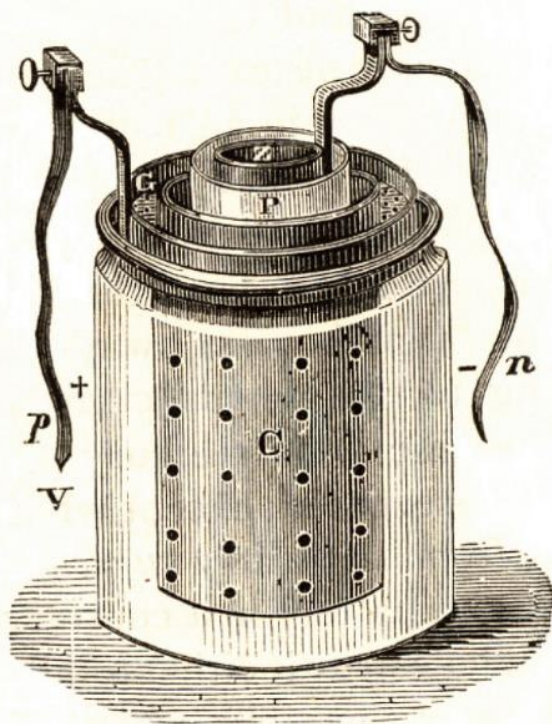
Περίπου το 1790 ο Alessandro Volta και ο Luigi Galvani πραγματοποίησαν μια σειρά από πειράματα στα ηλεκτροχημικά φαινόμενα. Γύρω στο 1800, ο Volta κατασκεύασε μια απλή μπαταρία η οποία έγινε γνωστή ως «βολταϊκή στήλη», η οποία αποτελείτο από μια στοιβάζε ζευγαρωμένων δίσκων χαλκού-ψευδαργύρου, που διαχωρίζονταν μεταξύ τους με χαρτονένιους δίσκους υγραμένους με διάλυμα άλατος ή οξέος.



Εικόνα 3.4: Βολταϊκή Στήλη

Το 1834, πραγματοποιώντας πειράματα στις «βολταϊκές στήλες» ο Michael Faraday κατέληξε σε σχέσεις οι οποίες καθόριζαν την ποσότητα μεταξύ του ηλεκτροδίου και της επιθυμητής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι σχέσεις αποτελούν τη βάση της τεχνολογίας της μοντέρνας μπαταρίας.

Το 1836 ο βρετανός χημικός John Frederic Daniell κατασκεύασε μια βελτιωμένη έκδοση του ηλεκτρικού κελιού το οποίο ήταν κατασκευασμένο από χαλκό και ψευδάργυρο σε θειικό οξύ. Σε σύγκριση με τη «βολταϊκή στήλη», το κελί του Daniell μπορούσε να παράγει πιο σταθερό ρεύμα.



Εικόνα 3.5: Κελί του Daniell

Το 1839 ο βρετανός φυσικός William Robert Grove δημοσίευσε την περιγραφή μιας συστοιχίας με χρήση ηλεκτροδίων από λευκόχρυσο, τοποθετημένων σε σωλήνες ανεστραμμένους μέσα σε διάλυμα θειικού οξέος και ύδατος. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα περνούσε μέσα από τη συσκευή, το νερό διασπώνταν στα συστατικά του, τα οποία και συγκεντρώνονταν χωριστά στους δυο σωλήνες. Από αυτή τη μπαταρία μπορούσε να παραληφθεί υπολογίσιμο ρεύμα και σχεδόν διπλάσια τάση από αυτή που παρήγαγε το στοιχείο του Daniell.

Το 1859 ο Gaston Planté κατασκεύασε ένα κελί μολύβδου και οξέος. Πρόκειται ουσιαστικά για την πρώτη μπαταρία με αποθηκευτική ικανότητα και αποτελεί τον πρόγονο της σύγχρονης μπαταρίας. Αυτή η εφεύρεση μπορούσε να παράγει μεγάλη τάση ρεύματος και καθιερώθηκε η χρήση της για τουλάχιστον δυο δεκαετίες.

Ύστερα ο Γάλλος μηχανικός George Leclanche σχεδίασε ένα «υγρό» στοιχείο, το οποίο περιείχε ένα διαφορετικό είδος κυψελών. Αντί του μολύβδου, χρησιμοποίησε ψευδάργυρο και μίγμα διοξειδίου του άνθρακα-διοξειδίου του μαγγανίου για τα ηλεκτρόδια του. Αντικατέστησε επίσης το θειικό οξύ που χρησιμοποιούνταν ως ηλεκτρολύτης με χλωριούχο αμμώνιο. Όλα αυτά καθιστούσαν τη μπαταρία του Leclanche λιγότερο τοξική.

Από το 1895 έως και το 1905, εφευρέθηκαν αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες μπορούσαν να παρέχουν συστήματα με καλύτερη αποδοτικότητα σε εμπορικές εφαρμογές.

Στις δεκαετίες του 30 και 40 αναπτύχθηκε πολύ η χρήση αλκαλικών μπαταριών ψευδαργύρου-οξειδίου του αργύρου καθώς επίσης και ψευδαργύρου-οξειδίου του υδραργύρου. Τα συστήματα αυτά παρείχαν την μέχρι τότε υψηλότερη ενέργεια ανά μονάδα βάρους και όγκου.

Μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, οι νέες τεχνολογίες καθώς επίσης και η διαθεσιμότητα νέων υλικών έδωσε χώρο να αναπτυχθούν μικρότερες αλλά πιο δυνατές μπαταρίες. Οι πιο διαδεδομένες ίσως είναι οι μπαταρίες του λιθίου.

3.2. Μέρη της Μπαταρίας

Η μπαταρία είναι μια μικροσκοπική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας χημικής αντίδρασης. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα κελιά τα οποία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, παράλληλα ή συνδυαστικά ανάλογα με την επιθυμητή τάση και χωρητικότητα. Ένα κελί αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

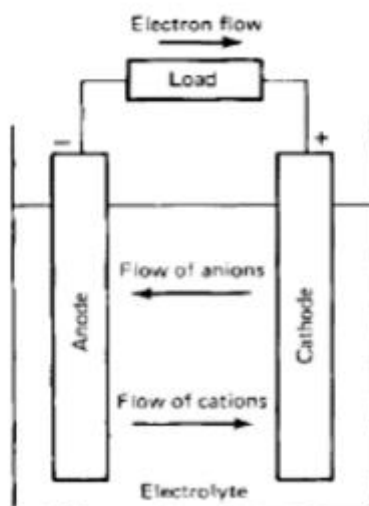
- Την άνοδο ή το αρνητικό ηλεκτρόδιο το οποίο αφήνει ηλεκτρόνια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Την κάθοδο ή το θετικό ηλεκτρόδιο το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από ένα εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη ο οποίος μέσω ιόντων επιτρέπει τη μετακίνηση φορέων μεταξύ της ανόδου και της καθόδου μέσα σε ένα κελί. Ο ηλεκτρολύτης κυρίως χρησιμοποιείται σε υγρή μορφή. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μπαταρίες χρησιμοποιούν ηλεκτρολύτες σε στερεά μορφή, καθώς αυτή προσφέρει την ιδιότητα της ιοντικής αγωγιμότητας στη θερμοκρασία λειτουργίας του κελιού.

Η άνοδος και η κάθοδος πρέπει να βρίσκονται σε ηλεκτρική απομόνωση γιατί σε αντίθετη περίπτωση είναι πολύ πιθανό να υπάρξει βραχυκύκλωμα. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται ένα διαχωριστικό. Το διαχωριστικό πρέπει να είναι διαπερατό από τον ηλεκτρολύτη για να διατηρεί την επιθυμητή ιοντική αγωγιμότητα.

3.3. Λειτουργία

3.3.1. Εκφόρτιση

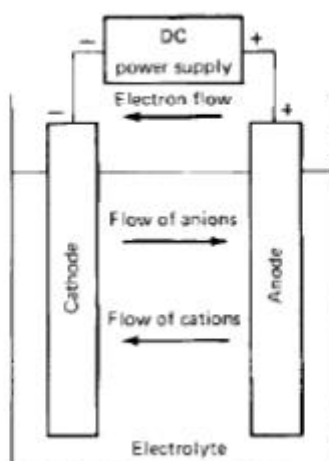
Όταν ένα κελί συνδεθεί σε ένα φορτίο υπάρχει μεταφορά ηλεκτρονίων από την άνοδο, η οποία οξειδώνεται, στην κάθοδο. Το ηλεκτρικό κύκλωμα κλείνει με τον ηλεκτρολύτη μέσω της ροής των αρνητικών ιόντων προς την άνοδο και των θετικών ιόντων προς την κάθοδο. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφει τη λειτουργία εκφόρτισης.



Εικόνα 3.6: Ηλεκτροχημική λειτουργία ενός κελιού κατά την εκφόρτιση

3.3.2. Φόρτιση

Στη διάρκεια της επαναφόρτισης ενός δευτερεύοντος κελιού, η ροή του ρεύματος ακολουθεί την αντίστροφη φορά και η οξείδωση παίρνει μέρος στο θετικό ηλεκτρόδιο ενώ η αγωγή στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Επομένως τώρα το θετικό ηλεκτρόδιο είναι η άνοδος και το αρνητικό η κάθοδος.



Εικόνα 3.7: Ηλεκτροχημική λειτουργία κατά τη φόρτιση

3.4. Μεγέθη Μπαταρίας

- C-rate

Συνήθως το ηλεκτρικό ρεύμα αποφόρτισης της μπαταρίας εκφράζεται σε C-rate, για να μη γίνεται σύγχυση με τη χωρητικότητα της. Το C-rate είναι το μέγεθος που δείχνει το ρυθμό με τον οποίο αποφορτίζεται μια μπαταρία σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά της. Μια μπαταρία με 1C σημαίνει ότι το ρεύμα αποφόρτισης την αποφορτίζει σε μια ώρα. Για μια μπαταρία χωρητικότητας 100 Amps-hrs σημαίνει ότι το ρεύμα αποφόρτισης είναι 100 Amps. Αν η ίδια μπαταρία ήταν 5C τότε το ρεύμα αποφόρτισης θα ήταν 500 Amps κτλ.

- E-rate

Περιγράφει την ενέργεια αποφόρτισης. 1 E-rate είναι η ενέργεια αποφόρτισης που χρειάζεται για να αποφορτιστεί η μπαταρία.

- Ονομαστική Τάση [V]

Πρόκειται για την θεωρητική τάση της μπαταρίας.

- Ονομαστική Χωρητικότητα [Ah σε συγκεκριμένο C-rate]

Είναι, ουσιαστικά, οι συνολικές αμπερώρες όταν η μπαταρία αποφορτίζεται από μια συγκεκριμένη τάση ρεύματος.

- Ονομαστική Ενέργεια [Wh]

Πρόκειται για την «χωρητικότητα ενέργειας» όταν η μπαταρία αποφορτίζεται από μια συγκεκριμένη τάση ρεύματος.

- Κύκλος ζωής [αριθμός συγκεκριμένων DOD]

Είναι ο αριθμός συγκεκριμένων εκφορτίσεων-φορτίσεων που η μπαταρία μπορεί να υποστεί πριν αρχίσει να αποτυγχάνει να επανέρχεται στην επιθυμητή αρχική κατάσταση. Το συγκεκριμένο μέγεθος υπολογίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης- εκφόρτισης και αποτελεί μια εκτίμηση του κύκλου ζωής, καθώς οι παράμετροι που επηρεάζουν τον εν λόγω κύκλο είναι αδύνατον να προβλεφθούν κατά την καθημερινή χρήση.

- Ειδική Ενέργεια [Wh/Kg]

Πρόκειται για την ονομαστική ενέργεια της μπαταρίας ανά μονάδα μάζας. Αυτό το μέγεθος είναι χαρακτηριστικό της χημικής σύστασης της μπαταρίας. Προσδιορίζει το βάρος της μπαταρίας ικανό για να φτάσει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια.

- Ενεργειακή Πυκνότητα [Wh/L]

Είναι η ονομαστική ενέργεια της μπαταρίας ανά μονάδα όγκου.

- Ειδική Ισχύς [W/Kg]

Πρόκειται για τη ροή της ισχύος ανά μονάδα μάζας.

- Πυκνότητα Ισχύος [W/L]

Πρόκειται για τη ροή της ισχύος ανά μονάδα μάζας.

- Μέγιστο Συνεχόμενο Ρεύμα Αποφόρτισης [A]

Το όριο αυτό καθορίζεται από τον κατασκευαστή για να αποφευχθεί βλάβη στην μπαταρία μειώνοντας τη χωρητικότητα της αλλά και τον κύκλο ζωής της.

- Τάσης Φόρτισης [V]

Πρόκειται για την τάση υπό την οποία φορτίζεται η μπαταρία.

- Εσωτερική Αντίσταση [Ohm]

Συνήθως διαφέρει μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης.

- Κατάσταση Φόρτισης [SoC]

Εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό και δείχνει σε τι βάθος είναι φορτισμένη η μπαταρία σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά της.

- Βάθος Αποφόρτισης [DOD]

Εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό και δείχνει σε ποιο ποσοστό έχει αποφορτιστεί η μπαταρία σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά της.

3.5. Είδη μπαταρίας

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο είδη:

- Τις πρωτογενείς, που είναι ουσιαστικά οι μπαταρίες που δεν είναι επαναφορτιζόμενες
- Και τις δευτερογενείς, που είναι ουσιαστικά οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

3.5.1. Πρωτογενείς μπαταρίες

3.5.1.1. Μπαταρίες ψευδαργύρου-άνθρακα / Batteries «Leclanche»

Πρόκειται ουσιαστικά για τις κοινές φθηνές μπαταρίες πολλαπλών χρήσεων. Η κατασκευή τους δεν έχει αλλάξει πολύ από το 1866 που επινοήθηκαν από τον Leclanche.

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Χαμηλό κόστος κυττάρων
- ✓ Χαμηλό κόστος ανά Watt-ωρών
- ✓ Μεγάλη ποικιλία σε σχήματα, μεγέθη, τάσεις και χωρητικότητες
- ✓ Ευρεία διανομή και διαθεσιμότητα
- ✓ Μακροχρόνια παράδοση αξιοπιστίας

Μειονεκτήματα

- ✗ Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
- ✗ Φτωχή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες
- ✗ Φτωχή αντίσταση διαρροής κάτω από καταχρηστικές συνθήκες
- ✗ Χαμηλή απόδοση κάτω από υψηλά ρεύματα διαρροής
- ✗ Συγκριτικά μικρή διάρκεια ζωής
- ✗ Η τάση πέφτει σταθερά κατά την αποφόρτιση

3.5.1.2. Μπαταρίες ψευδαργύρου - χλωριδίου / Zinc-Chloride Batteries

Η χρήση αυτού του είδους μπαταρίας είναι αρκετά διαδεδομένη

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας
- ✓ Καλύτερη συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες
- ✓ Καλή αντίσταση διαρροής
- ✓ Υψηλή απόδοση κάτω από ιδιαίτερα αυξημένες εκφορτίσεις

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλό κόστος αεριοποίησης
- ✗ Απαιτεί άριστο σύστημα σφράγισης λόγω της αυξημένης ευαισθησίας στο οξυγόνο

3.5.1.3. Μπαταρίες Μαγνησίου – Αλουμινίου / Magnesium and Aluminum Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Καλή διατήρηση της παραγωγικής ικανότητας ακόμα και κάτω από υψηλή θερμοκρασία αποθήκευσης
- ✓ Διπλάσια χωρητικότητα των αντίστοιχων μπαταριών «Leclanche»
- ✓ Ανταγωνιστικό κόστος

Μειονεκτήματα

- ✗ Θερμότητα που παράγεται κατά τη χρήση
- ✗ Η φτωχή αποθήκευση μετά από μερική εκφόρτιση

3.5.1.4. Μπαταρίες αλκαλικές μαγγανίου / Alkaline- Manganese dioxide batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας
- ✓ Καλύτερη απόδοση λειτουργίας, συνεχής και διακοπτόμενη
- ✓ Χαμηλή εσωτερική αντίσταση
- ✓ Μεγαλύτερη αντοχή σε διαρροή

Μειονεκτήματα

- ✗ Αρκετά υψηλό αρχικό κόστος
- ✗

3.5.1.5. Μπαταρίες οξειδίου του Υδραργύρου / Mercuric Oxide Batteries

Κατά τα τελευταία χρόνια, στην αγορά οι μπαταρίες του οξειδίου του υδραργύρου έχουν σχεδόν εξαλειφθεί, κυρίως λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με τον υδράργυρο και το κάδμιο.

3.5.1.5.1. Ψευδάργυρος- Οξείδιο του υδραργύρου

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή αναλογία ενέργειας ανά όγκο
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής κάτω από αντίξοες συνθήκες αποθήκευσης
- ✓ Υψηλή ηλεκτροχημική απόδοση

Μειονεκτήματα

- ✗ Ακριβές
- ✗ Μέτρια αναλογία ενέργεια προς το βάρος
- ✗ Κακές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες
- ✗ Η διάθεση των ποσοτήτων των χρησιμοποιημένων ηλεκτρικών στηλών δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα

3.5.1.5.2. Κάδμιο – Οξείδιο του υδραργύρου

Πλεονεκτήματα

- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής κάτω από αντίξοες συνθήκες αποθήκευσης
- ✓ Δυνατότητα να λειτουργεί αποτελεσματικά σε ένα φάσμα από μεγάλες θερμοκρασιακές ακόμα και σε ακραίες υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες

Μειονεκτήματα

- ✗ Μέτρια αναλογία ενέργειας προς τον όγκο
- ✗ Χαμηλή αναλογία ενέργειας ανά βάρος
- ✗ Η διάθεση των χρησιμοποιημένων ηλεκτρικών στηλών δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα τόσο με το κάδμιο όσο με τον υδράργυρο που είναι τοξικά

3.5.1.6. Μπαταρίες λιθίου / Lithium Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή τάση
- ✓ Υψηλή πυκνότητα ενέργειας
- ✓ Λειτουργία σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών
- ✓ Καλή πυκνότητα ισχύος
- ✓ Ανώτερη διάρκεια ζωής

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλό κόστος

3.5.1.7. Μπαταρίες οξειδίου του Αργυρού / Silver Oxide Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα
- ✓ Καλή ρύθμιση τάσης, υψηλό ποσοστό χωρητικότητας
- ✓ Συγκριτικά καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες
- ✓ Καλή διάρκεια ζωής

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλό κόστος

3.5.1.8. Ψευδαργύρου-Αέρα

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα
- ✓ Σταθερή τάση αποφόρτισης
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής
- ✓ Χωρίς οικολογικά προβλήματα
- ✓ Χαμηλό κόστος
- ✓ Η χωρητικότητα είναι ανεξάρτητη του φορτίου και της θερμοκρασίας όταν εντός του εύρους λειτουργίας

Μειονεκτήματα

- ✗ Περιορισμένη απόδοση ισχύος

3.5.1.9. Μπαταρίες στερεού ηλεκτρολύτη / Solid-Electrolyte Batteries

Στις περισσότερες γνωστές μπαταρίες ο ηλεκτρολύτης είναι ένα υγρό. Σε αυτού του τύπου τις μπαταρίες, ο ηλεκτρολύτης έχει αντικατασταθεί από στερεή ύλη.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Εξαιρετική σταθερότητα αποθήκευσης, διάρκειας ζωής 10 ετών ή περισσότερο
- ✓ Υψηλή πυκνότητα ενέργειας
- ✓ Ερμητικά κλειστή σφράγιση, δεν παρουσιάζουν αεριοποίηση ή διαρροή
- ✓ Ευρύ φάσμα θερμοκρασίας λειτουργίας μέχρι και 200° C
- ✓ Είναι ανθεκτικά σε κραδασμούς και δονήσεις

Μειονεκτήματα

- ✗ Χαμηλή ροή ρεύματος [μΑ]
- ✗ Η ισχύς εξόδου μειώνεται στις χαμηλές θερμοκρασίες

3.5.2. Δευτερογενείς μπαταρίες

3.5.2.1. Μπαταρίες Μόλυβδου – Οξέος / Lead-Acid Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Χαμηλό κόστος
- ✓ Διατίθενται σε μεγάλες ποσότητες και σε μια ποικιλία μεγεθών και σχεδίων
- ✓ Μέτρια έως καλή επίδραση σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες
- ✓ Καλή κατάσταση φόρτισης για εφαρμογές διακοπτόμενης φόρτισης
- ✓ Τα συστατικά των στοιχείων ανακυκλώνονται εύκολα

Μειονεκτήματα

- ✗ Σχετικά λίγοι κύκλοι ζωής
- ✗ Περιορισμένη πυκνότητα ενέργειας
- ✗ Δύσκολο στην κατασκευή πολύ μικρών μεγεθών

3.5.2.2. Μπαταρίες ηλεκτροδίου Σιδήρου / Iron Electrode Batteries

3.5.2.2.1. Σιδήρου – Νικελίου

Πλεονεκτήματα

- ✓ Φυσικά σχεδόν άφθαρτα
- ✓ Δεν καταστρέφονται από επίμονη αποφόρτιση
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής κύκλων λειτουργίας
- ✓ Αντέχουν ηλεκτρικές καταχρήσεις

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλή αυτοεκφόρτιση
- ✗ Δημιουργία αερίων στην φόρτιση και αποφόρτιση
- ✗ Χαμηλή πυκνότητα ισχύος
- ✗ Κακή επίδραση σε χαμηλές θερμοκρασίες
- ✗ Καταστρέφονται από τις υψηλές θερμοκρασίες
- ✗ Χαμηλή τάση των στοιχείων

3.5.2.2.2. Σιδήρου – Αέρα

Πλεονεκτήματα

- ✓ Καλή ενεργειακή πυκνότητα
- ✓ Χρησιμοποιεί άμεσα τα διαθέσιμα υλικά
- ✓ Χαμηλή αυτοεκφόρτιση

Μειονεκτήματα

- ✗ Χαμηλή απόδοση
- ✗ Δημιουργία αερίων στην φόρτιση
- ✗ Κακή επίδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες
- ✗ Χαμηλή τάση των στοιχείων

3.5.2.2.3. Αργυρού – Σιδήρου

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα
- ✓ Υψηλοί κύκλοι ζωής

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλό κόστος
- ✗ Δημιουργία αερίων στην φόρτιση

3.5.2.3. Μπαταρίες Νικελίου – Καδμίου / Nickel-Cadmium Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής κύκλων λειτουργίας
- ✓ Ανθεκτικές σε μηχανικές και ηλεκτρικές καταπονήσεις
- ✓ Άριστη μακροπρόθεσμη αποθήκευση
- ✓ Χαμηλή συντήρηση, αξιοπιστία

Μειονεκτήματα

- ✗ Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
- ✗ Περιέχουν κάδμιο

3.5.2.4. Μπαταρίες Νικελίου-Υδρογόνου / Nickel-Hydrogen Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή ειδική ενέργεια
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής

Μειονεκτήματα

- ✗ Υψηλό αρχικό κόστος
- ✗ Αυτοεκφόρτιση με μεγάλη ανάλογη πίεση του υδρογόνου
- ✗ Χαμηλή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας

3.5.2.5. Μπαταρίες ιόντων λιθίου / Lithium-Ion Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Μεγάλη διάρκεια κύκλων ζωής
- ✓ Ευρύ φάσμα θερμοκρασίας λειτουργίας
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής
- ✓ Ικανότητα ταχείας φόρτισης
- ✓ Υψηλός ρυθμός και υψηλή ικανότητα εκκένωσης ρεύματος
- ✓ Υψηλό φορτίο και απόδοση ενέργειας
- ✓ Υψηλή ειδική ενέργεια και πυκνότητα ενέργειας
- ✓ Κανένα φαινόμενο μνήμης

Μειονεκτήματα

- ✗ Μέτριο αρχικό κόστος
- ✗ Υποβιβασμός στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες

3.5.2.6. Μπαταρίες ψευδαργύρου-βρωμίου / Zinc-bromine Batteries

Πλεονεκτήματα

- ✓ Καλή ειδική ενέργεια
- ✓ Καλή ενεργειακή απόδοση
- ✓ Κατασκευάζονται με χαμηλό κόστος και με εύκολα διαθέσιμα υλικά
- ✓ Έχουν χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα εξαρτήματά τους είναι ανακυκλώσιμα
- ✓ Μπορούν να λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ✓ Δυνατότητα ταχείας φόρτισης
- ✓ Δυνατότητα 100% βάθους εκφόρτισης χωρίς καταστροφή της μπαταρίας

Μειονεκτήματα

- ✗ Απαιτούνται βοηθητικά συστήματα για την κυκλοφορία και τον έλεγχο της θερμοκρασίας
- ✗ Ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να εξασφαλίζει την ασφάλεια για όλες τις μπαταρίες
- ✗ Αρχικά υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης την στιγμή που θα σταματήσει η λειτουργία ενώ φορτίζεται

3.5.2.7. Μπαταρίες με βάση το Νάτριο / Sodium-beta Batteries

3.5.2.7.1. Μπαταρία νατρίου-θείου

Πλεονεκτήματα

- ✓ Δυναμικό χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλες προηγμένες μπαταρίες
- ✓ Υψηλοί κύκλοι λειτουργίας
- ✓ Υψηλή ενέργεια και καλή πυκνότητα ισχύος
- ✓ Ευέλικτη λειτουργία
- ✓ Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- ✓ Ευαισθησία ως προς τις συνθήκες περιβάλλοντος
- ✓ Αναγνώριση της κατάστασης φόρτισης

Μειονεκτήματα

- ✗ Διαχείριση της θερμικής ενέργειας
- ✗ Ασφάλεια
- ✗ Ανθεκτική στεγανότητα

4. Εξηλεκτρισμός Πλοίου

4.1. Διαδικασία εξηλεκτρισμού ενός πλοίου

Προκειμένου ένα πλοίο να λειτουργεί εξ ολοκλήρου με μπαταρίες πρέπει να ακολουθηθούν κάποια βήματα και να γίνουν κάποιες απαραίτητες διαδικασίες, τόσο πάνω στο πλοίο όσο και στη ξηρά. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα:

- Συμμόρφωση στους εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς και νομοθεσίες που αναφέρονται στην εγκατάσταση μπαταριών στο πλοίο
- Αντικατάσταση των δεξαμενών καυσίμου με τον απαιτούμενο αριθμό μπαταριών έτσι ώστε να μπορούν να προσδώσουν την απαιτούμενη ενέργεια
- Εγκατάσταση Battery Management System
- Αντικατάσταση των μηχανών diesel με ηλεκτροκινητήρες κατάλληλης ισχύος
- Τροποποίηση του άξονα και του έλικα έτσι ώστε να επιτευχθεί η σύζευξη μεταξύ των ηλεκτροκινητήρων και των υπαρχόντων thrusters
- Τροποποίηση του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτροδότησης
- Εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού για τη σύνδεση του πλοίου με την ξηρά για την επαναφόρτιση του συστήματος

4.2. Εθνικοί και Διεθνής Νομοθεσία και Κανονισμοί

Για να έχει ένα πλοίο το πιστοποιητικό και να μπορεί να λειτουργεί πρέπει να συμμορφώνεται σε ένα πλαίσιο κανονισμών. Στην προκειμένη περίπτωση, για τον εξηλεκτρισμό δηλαδή ενός πλοίου, οι κανόνες και οι κανονισμοί δεν είναι πολύ ξεκάθαροι τόσο από το ελληνικό κράτος όσο και από τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας (IMO). Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να ικανοποιούνται οι κανονισμοί του SOLAS που έχουν σχέση με τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και τις διαδικασίες πυρόσβεσης, μετά την ανακατασκευή.

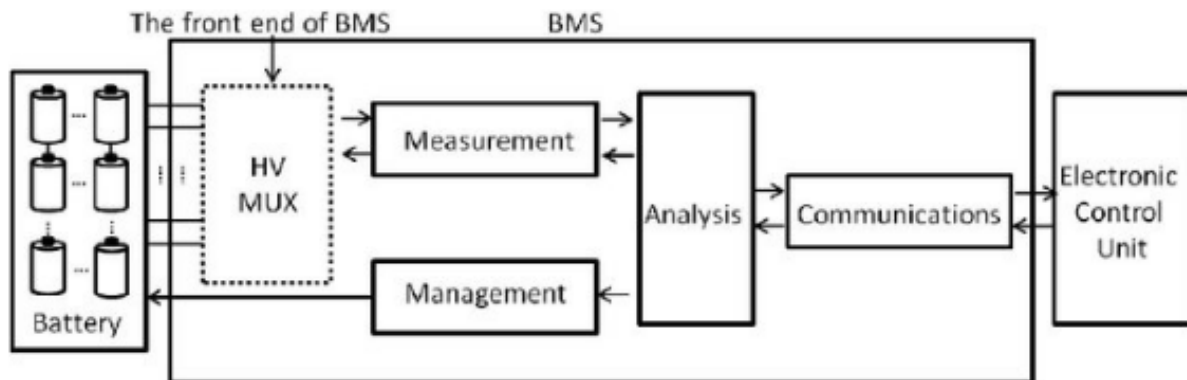
Πέρα από τη συμμόρφωση των κανονισμών, το πλοίο πρέπει να πιστοποιηθεί και από έναν Νηογνώμονα. Η επιλογή του Νηογνώμονα έχει να κάνει με την κάθε εταιρεία. Παρακάτω αναφέρονται τα πιο σημαντικά στοιχεία που έχουν αναπτυχθεί από διάφορους νηογνώμονες και έχει στηριχθεί η μεθοδολογία αυτής της μελέτης:

- 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)
- IEC 61508: Functional Safety
- SOLAS: ChII-1: Electrical Installation
- SOLAS: ChII-2: Fire Protection
- IEC 62619
- IEC 62619 9.2.3
- IEC 62620
- IEC/ISO/IEEE 80005: Utility Connections Reports (-Shore Connection High Voltage)
- IEC/ISO/IEEE 80005-1: The Onshore Power Supply Standard High Voltage
- IEC/ISO/IEEE 80005-2: Communication Protocol

4.3. Απαιτούμενος Εξοπλισμός

4.3.1. Battery Management System

Το Battery Management System (BMS) είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Το σύστημα αυτό είναι καταλυτικό για την ασφάλεια, την απόδοση, το βαθμό φόρτισης και τη μακροβιότητα.



Εικόνα 4.1: Τυπικό Διάγραμμα ενός Battery Management System

4.3.2. Ηλεκτροκινητήρες / Electric Motor



Εικόνα 4.2: Ηλεκτροκινητήρας

Ο ηλεκτροκινητήρας είναι μια μηχανή η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες

- Τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος
- Τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

4.3.2.1. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος / DC motor

Χρησιμοποιήθηκαν για πολλά χρόνια στη βιομηχανία καθώς προσφέρουν εξαιρετικές δυνατότητες ρύθμισης στροφών και πολύ καλή ροπή κατά την εκκίνηση, ακόμη και σε πολύ χαμηλές ταχύτητες. Στους DC κινητήρες ο στάτης και ο δρομέας φέρουν τυλίγματα, τα οποία συνδέονται με συνεχή τάση. Για την τροφοδοσία των τυλιγμάτων αυτών υπάρχει στον άξονα του κινητήρα ειδικός δακτύλιος χαλκού, που ονομάζεται συλλέκτης, στον οποίο εφάπτονται οι ψήκτρες. Ανάλογα με τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του στάτη διακρίνονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος

- Παράλληλης Διέγερσης (shunt)
- Διέγερσης Σειράς (series)
- Σύνθετης Διέγερσης (compound)

4.3.2.2. Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος / AC motor

Οι κινητήρες αυτής της κατηγορίας έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι τα τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση, μονοφασική ή τριφασική. Διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες

- Τους σύγχρονους κινητήρες

Σε αυτούς τους κινητήρες το τύλιγμα του δρομέα τροφοδοτείται με συνεχή τάση από ανεξάρτητη πηγή συνεχούς τάσης. Η ονομασία σύγχρονοι κινητήρες προέρχεται από τη βασική ιδιότητα τους να περιστρέφεται ο άξονας τους με γωνιακή ταχύτητα ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του πεδίου στο διάκενο, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φορτίου στον άξονά τους.

- Τους ασύγχρονους κινητήρες ή αλλιώς επαγωγικούς κινητήρες

Η ονομασία τους, επαγωγικοί κινητήρες προέρχεται από το γεγονός ότι στο βραχυκυκλωμένο τύλιγμα του δρομέα δεν επιβάλλεται εξωτερική τάση, αλλά επάγεται τάση από το τύλιγμα του στάτη. Ονομάζονται και ασύγχρονοι κινητήρες λόγω της ιδιότητας τους να περιστρέφονται με ταχύτητα λίγο διαφορετική από τη σύγχρονη ταχύτητα του πεδίου στο διάκενο. Είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες σε εφαρμογές ηλεκτροκίνησης. Συγκριτικά με τους σύγχρονους κινητήρες έχει μια πιο απλή δομή, είναι πιο εύκολος στη χρήση και τη συντήρηση. Έχει επίσης υψηλότερη λειτουργική απόδοση.

4.3.3. Μετατροπείς

Υπάρχουν τεσσάρων ειδών μετατροπές που μπορούν να γίνουν σε ένα σύστημα και είναι οι παρακάτω:

- Μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε συνεχές, διαφορετικής τάσης και έντασης (Μετατροπείς DC-DC)
- Μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές (Μετατροπείς AC-DC ή ανορθωτικές διατάξεις)
- Μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους (Ρυθμιστές AC-AC ή Μετασχηματιστές)
- Μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (Μετατροπείς DC-AC ή Αντιστροφείς)

Τα είδη των μετατροπών που είναι απαραίτητα σε αυτό το σύστημα είναι η μετατροπή DC/AC και μετατροπή AC/DC.

4.3.3.1. Μετατροπή DC/AC / Αντιστροφέας / Inverter



Εικόνα 4.3: Αντιστροφέας

Το ρεύμα πριν τον ηλεκτροκινητήρα είναι συνεχόμενο, όμως ο ηλεκτροκινητήρας είναι κινητήρας που λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα, για αυτό κρίνεται απαραίτητο να πριν την είσοδο στον κινητήρα το ρεύμα να μετατρέπεται σε AC. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αντιστροφέα ή αλλιώς ενός inverter. Ουσιαστικά, ο αντιστροφέας πρόκειται για έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα που παρέχει την δυνατότητα μεταβολής τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας της κυματομορφής εξόδου είτε αυτή είναι τάση είτε ρεύμα. Ανάλογα με το είδος της πηγής εισόδου, οι αντιστροφεείς μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- Αντιστροφεείς που τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης
- Αντιστροφεείς που τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος

4.3.3.2. Μετατροπή AC/DC / Ανορθωτής / Rectifier



Εικόνα 4.4: Ανορθωτής

Για να φορτίσει μια μπαταρία χρειάζεται να της παρέχεται συνεχές ρεύμα. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας το πλοίο με μια πηγή ενέργειας στην ξηρά. Το ρεύμα όμως που παρέχεται από την ξηρά είναι εναλλασσόμενο, για αυτό κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός ανορθωτή.

Ο ανορθωτής είναι ουσιαστικά μια διάταξη ισχύος, η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Ανάλογα με τη μορφή της εναλλασσόμενης εισόδου, οι ανορθωτές διακρίνονται σε:

- Μονοφασικούς
- Πολυφασικούς (διφασικούς, τριφασικούς, εξαφασικούς)

Ακόμη ανάλογα με τους ημιαγωγούς που χρησιμοποιούνται σαν ηλεκτρονικούς διακόπτες διακρίνονται σε:

- Ελεγχόμενους
- Μη ελεγχόμενους

4.4. Τοπικές ρυθμίσεις

Όσον αφορά τον χώρο στον οποίο θα εγκατασταθούν οι μπαταρίες πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω προδιαγραφές:

- Το σύστημα θα πρέπει να τοποθετηθεί πρόωραθεν της φρακτής σύγκρουσης. Τα όρια των χώρων που τοποθετείται το σύστημα θα πρέπει να είναι κομμάτι της κατασκευής του πλοίου.
- Στο βαθμό που το σύστημα των μπαταριών αντικαθιστά τις μηχανές εσωτερικής καύσης θα πρέπει να τοποθετείται στο μηχανοστάσιο.
- Η διαρρύθμιση του χώρου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ενδεχόμενη αστοχία του συστήματος με μολυσματικές συνέπειες να μην επηρεάζει τη λειτουργία του πληρώματος σε σχέση με την πρόωση του πλοίου.
- Ο χώρος των μπαταριών θα πρέπει να έχει επαρκή ασφάλεια από φαινόμενα όπως ο καιρός, πηγές διαρροών νερού ή πετρελαίου. Αν είναι εφικτό, ο χώρος των μπαταριών θα πρέπει να είναι ένας εντελώς ξεχωριστός χώρος.
- Στο χώρο των μπαταριών δε θα πρέπει να συνυπάρχουν άλλα στοιχεία κρίσιμα για την πλοήγηση του πλοίου για την αποφυγή πολλαπλών βλαβών στο σύστημα, όπως καλώδια για την πηδαλιουχία ή άλλα στοιχεία που έχουν να κάνουν με την πρόωση του πλοίου.
- Ο χώρος δε θα πρέπει να έχει άλλες πηγές υπερθέρμανσης και εύφλεκτα υλικά.
- Η πρόσβαση στο χώρο για ενδεχόμενες επισκευές ή συντηρήσεις θα πρέπει να είναι καθορισμένος με βάση την ανθρωποκεντρική σχεδίαση
- Ο χώρος θα πρέπει να δείχνει ανθεκτικότητα σε καιρικά φαινόμενα μακράς διάρκειας όπως υγρασία, ζέστη και θα πρέπει να υπάρχει προστασία απέναντι σε εξωτερικά φαινόμενα πυρκαγιάς και εισροή υγρών και διαρροή σωληνώσεων

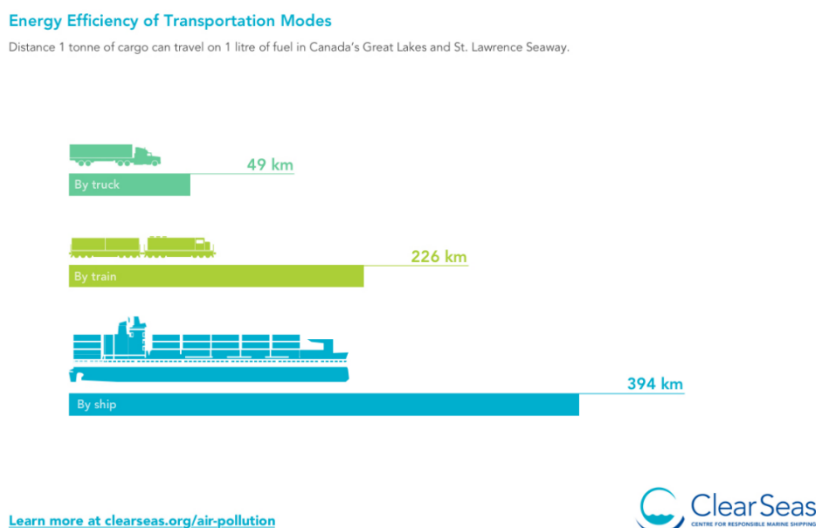
Το σύστημα φόρτισης πάνω στο πλοίο πρέπει να ακολουθεί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Ο φορτιστής θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε να καλύπτει την απαιτούμενη χωρητικότητα του συστήματος.
- Το σύστημα φόρτισης και η διασύνδεση με τον σταθμό φόρτισης θα πρέπει να έχει δικούς του αισθητήρες θερμοκρασίας, για να μπορεί να προλάβει τυχούσα αύξηση της θερμοκρασίας στη διαδικασία φόρτισης στα αρχικά στάδια.
- Η διαδικασία σύνδεσης με τον σταθμό φόρτισης θα πρέπει να γίνεται με αυτοματοποιημένο τρόπο για την αποφυγή ανθρώπινων λαθών.
- Όπου χρειάζονται αλλαγές στις ρυθμίσεις του συστήματος για να συνδεθεί σε ένα σταθμό εναλλασσόμενου ρεύματος, αυτές θα πρέπει να μπορούν να γίνονται εύκολα και γρήγορα από το πλήρωμα.
- Ένας ξεχωριστός πίνακας ελέγχου για τη διαδικασία της φόρτισης θα πρέπει να είναι εγκατεστημένος στο πλοίο, κατά προτίμηση σε τοποθεσία κοντά στο σημείο σύνδεσης
- Η απόσταση μεταξύ του σημείου παροχής του σταθμού και του σημείου εισόδου του πλοίου θα πρέπει να είναι όσο μικρότερη γίνεται.
- Ο πίνακας ελέγχου θα πρέπει να διαθέτει διακόπτη διακοπής του κυκλώματος για να προστατέψει τον εξοπλισμό σε περίπτωση υπερφόρτωσης του συστήματος φόρτισης.
- Το σύστημα προστασίας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ένα εφεδρικό σύστημα μπαταριών αρκετό για τουλάχιστον 30 λεπτά, όπως περιγράφεται στο IEC 60092-504:2001, 9.6.2.5. Σε περίπτωση αστοχίας της φόρτισης των μπαταριών και ενεργοποίησης του εφεδρικού συστήματος, θα πρέπει να ενεργοποιείται ένας συναγερμός στο σταθμό ελέγχου.
- Ο γαλβανικός διαχωρισμός μεταξύ του σταθμού φόρτισης και του πλοίου πρέπει να παρέχεται από τον σταθμό.
- Σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει να υπάρχουν εύφλεκτα υλικά κοντά στο σημείο σύνδεσης

5. Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα του Πλοίου

5.1. Εισαγωγή

Τα πλοία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά περίπου του 80% των αγαθών και συγκριτικά με τις άλλες μορφές μεταφοράς αποτελεί τον πιο αποδοτικό τρόπο μεταφοράς μεγάλων φορτίων.



Εικόνα 5.1: Σύγκριση Ενεργειακής Απόδοσης σε Διάφορα Μέσα Μεταφοράς

Όμως όπως όλες οι μηχανές που καίνε υδρογονάνθρακα, έτσι και τα πλοία δημιουργούν αέρια ρύπανση, η οποία όχι μόνο υποβαθμίζει την ποιότητα του αέρα αλλά επιβαρύνει την ανθρώπινη υγεία καθώς επίσης συμβάλει και στην κλιματική αλλαγή.

Παρόλο που η ναυτιλία παράγει μικρότερο όγκο αερίων του θερμοκηπίου ανά τονο-χιλιόμετρο συγκριτικά με άλλες δραστηριότητες, είναι υπεύθυνη για το 2,2% της παγκόσμιας παραγωγής του CO₂ το 2012.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.) «Ambient Air Pollution: Health Impact. Health risks, 2018», «Τα εμπορικά πλοία καίνε καύσιμο για ενέργεια και εκπέμπουν διάφορα υποπροϊόντα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ναυτικοί ρύποι οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην κλιματική αλλαγή και στην δημόσια υγεία είναι

- Το διοξείδιο του άνθρακα, CO₂
- Τα οξείδια του αζώτου, NO_x
- Τα οξείδια του θείου, SO_x
- Τα αιωρούμενα σωματίδια, PM

Σε σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, η ναυτιλία παράγει τα παρακάτω ποσοστά παραγωγής ατμοσφαιρικών ρυπών σε παγκόσμια κλίμακα:

Πίνακας 5.1 Ποσοστά Παραγωγής Ατμοσφαιρικών Ρυπών ανά χρόνο της Ναυτιλίας σε Παγκόσμια Κλίμακα

CO ₂	NO _x	SO _x
2.2%	15%	13%

5.2. Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε 2 κατηγορίες:

• Τους πρωτογενείς: οι οποίοι εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή καύσεως στην ατμόσφαιρα (CO_2 , SO_2 , χλώριο, φθόριο, καπνός, σκόνη, σωματίδια βαρέων μετάλλων),

• Τους δευτερογενείς: οι οποίοι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους με χημικές αντιδράσεις είτε μεταξύ τους είτε με φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας και με καταλυτική δράση της ακτινοβολίας ή της υγρασίας ή της θερμοκρασίας (όζον, θειικά, άλατα, οξειδούμενοι υδρογονάνθρακες, κ.λπ.).

Πιο συγκεκριμένα:

- Αιωρούμενα σωματίδια, Particulate Matter PM

Είναι μικρού μεγέθους στερεά ή υγρά σωματίδια που βρίσκονται διασκορπισμένα στην ατμόσφαιρα. Πρόκειται για έναν πολύπλοκο ρύπο με μεγάλη ποικιλία σε σχήμα, μέγεθος και σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια διαχωρίζονται με βάση τη διάμετρο τους, π.χ.

- ✓ PM_{2.5}, αφορά τα σωματίδια με διάμετρο έως και 2.5μm
- ✓ PM₁, αφορά τα σωματίδια με διάμετρο έως και 1μm
- ✓ PM₁₀, αφορά τα σωματίδια με διάμετρο έως και 2.5μm

- Μονοξείδιο του άνθρακα, CO

Πρόκειται για μια ανόργανη διατομική χημική ένωση που περιέχει άνθρακα και οξυγόνο. Είναι ένα άχρωμα, άοσμο και άγευστο υγρό αρκετά τοξικό για τους ανθρώπους. Στην ατμόσφαιρα απελευθερώνεται από την ατελή καύση των καυσίμων και αποτελεί ένα βραχύβιο αέριο του θερμοκηπίου.

- Διοξείδιο του άνθρακα, CO_2

Πρόκειται για μια χημική ένωση που αποτελείται από δυο άτομα οξυγόνου και ένα άτομο άνθρακα. Είναι ένα αέριο άχρωμο και άγευστο σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων, όπως του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, της βενζίνης, κτλ. Εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (όπως η καύση ορυκτών καυσίμων καθώς και η αποψίλωση των δασών) η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα έχει αυξηθεί κατά περίπου 35% από την αρχή της εποχής της εκβιομηχάνισης.

- Διοξείδιο του Θείου, SO_2

Πρόκειται για ένα αέριο άχρωμα, άοσμο σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Είναι ένας από τους χαρακτηριστικούς ρύπους που εμφανίζονται σε αστικές περιοχές. Διαλύεται στην υγρασία που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και σχηματίζει θειώδες οξύ (H_2SO_3). Στον ξηρό αέρα οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO_3) το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4) που είναι κύριο συστατικό της όξινης βροχής. Το αέριο αυτό απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από την καύση γαιανθράκων και πετρελαίων που περιέχουν ενώσεις του θείου.

- Οξείδια του αζώτου, NO_x

Το άζωτο αποτελεί το 78% περίπου του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά την καύση σχηματίζει οξείδια. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσης τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα σχηματιζόμενων οξειδίου του αζώτου.

Όταν τα οξείδια του αζώτου, με την επίδραση του ηλιακού φωτός συνδυαστούν με πτητικές οργανικές ενώσεις δημιουργούν το επιφανειακό όζον, το οποίο είναι το κύριο συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

- Υδρογονάνθρακες, H_xC_x

Πρόκειται για τις οργανικές ενώσεις που περιέχουν μόνο υδρογόνο (H) και άνθρακα (C). Παράγονται από την καύση στερεών και υγρών καυσίμων στη βιομηχανία καθώς και από τις καύσεις για τη θέρμανση και την κίνηση των οχημάτων.

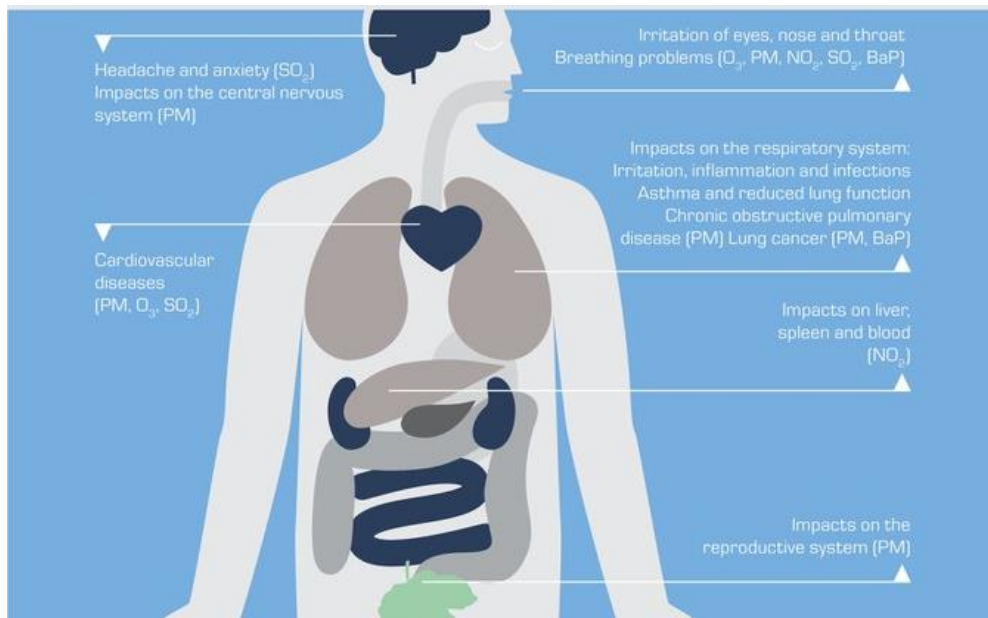
- Πτητικές Οργανικές Ενώσεις, Volatile Organic Compounds, VOCs

Οι VOCs είναι πολυάριθμες, ποικίλες και πανταχού παρούσες. Περιλαμβάνουν χημικές ενώσεις που παρασκευάστηκαν από τον άνθρωπο ή εμφανίζονται στη φύση. Οι επιβλαβείς VOCs δεν είναι συνήθως πολύ τοξικές αλλά έχουν σύνθετες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία.

Οι παραπάνω ρύποι έχουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στην κλιματική αλλαγή και στο οικοσύστημα.

5.3. Ρύποι και ανθρώπινη υγεία

« Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι επιβλαβής για την υγεία μας και τα οικοσυστήματα. Μεγάλο τμήμα του πληθυσμού δε ζει σε υγιές περιβάλλον, σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα. Για μια βιώσιμη πορεία, η Ευρώπη πρέπει να είναι φιλόδοξη και να μην περιορίζεται στις τρέχουσες νομοθετικές ρυθμίσεις»,
Hans Bruyninckx, εκτελεστικός διευθυντής του Π.Ο.Υ



Εικόνα 5.2: Επιδράσεις Αέριας Ρύπανσης στην Ανθρώπινη Υγεία

Η ποιότητα του αέρα σχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο του σε ατμοσφαιρικούς ρύπους που είναι επιβλαβείς τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστικά προβλήματα, να επιδεινώσει την κατάσταση ατόμων που πάσχουν από καρδιαναπνευστικές παθήσεις και αλλεργίες και να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό σε νευρολογικό, αναπαραγωγικό και αναπτυξιακό επίπεδο.

Πιο συγκεκριμένα:

- Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στο αίμα, το ήπαρ, τους πνεύμονες και τον σπλήνα. Επίσης, η υπερβολική έκθεση σε αυτά μπορεί να επιβαρύνει την αναπνοή και το αναπνευστικό σύστημα, προκαλεί βλάβες στον ιστό των πνευμόνων και μειώνει το προσδόκιμο ζωής. Τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν εύκολα με τις κοινές οργανικές χημικές ουσίες και το όζον, για να διαμορφώσουν ένα ευρύ σύνολο ουσιών που είναι τοξικές και μπορούν να προκαλέσουν βιολογικές μεταλλαγές.

- Μονοξείδιο του άνθρακα, CO

Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει σοβαρές επιπτώσεις στο αίμα, τον εγκέφαλο και την καρδιά. Η υπερβολική έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα. Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκέφαλο και κόπωση. Υγιή άτομα εκτεθειμένα σε υψηλά επίπεδα, μπορεί να υποστούν προσωρινή μείωση της πνευματικής διαύγειας καθώς και της όρασης τους.

- Αιωρούμενα σωματίδια, Particulate Matter PM

Οι άνθρωποι που ζουν για μακροπρόθεσμες περιόδους σε περιοχές με υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων χαρακτηρίζονται από αυξημένη συχνότητα εμφάνισης προβλημάτων υγείας, όπως μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων και η ανάπτυξη χρόνιας βρογχίτιδας. Επίσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις PM έχουν συνδεθεί με αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου των πνευμόνων, ακόμη και πρόωρο θάνατο. Σύμφωνα με μελέτη (Corbett et al., 2007) τα αιωρούμενα σωματίδια από τη ναυτιλία είναι υπεύθυνα για περίπου 60000 πρόωρους θανάτους ετησίως σε όλο τον πλανήτη από καρδιαναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο του πνεύμονα, με τους περισσότερους να λαμβάνουν χώρα κοντά στις ακτές της Ευρώπης, της Ανατολική Ασίας και της Νότιας Ασίας, όπου συμπίπτει έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού.

- Διοξείδιο του Θείου, SO₂

Η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει συστολή των αναπνευστικών αγγείων στους ασθματικούς αλλά και σε όσους έχουν ευαισθησία. Επίσης, η χρόνια έκθεση σε αυτό μπορεί να προκαλέσει στένωση στην ταχεία. Από έρευνες σε παιδιά από περιοχές με περισσότερους ρύπους, προκύπτει ότι σε αυτές τις περιοχές τα παιδιά έχουν περισσότερο βήχα, βρογχίτιδα και λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού σε σχέση με παιδιά από περιοχές με λιγότερους ρύπους.

- Πτητικές Οργανικές Ενώσεις, Volatile Organic Compounds, VOCs

Οι πτητικές ενώσεις μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά, αλλεργικά ή άλλα προβλήματα σε νεογνά ή παιδιά. Επίσης, η έκθεση σε αυτά μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς στα μάτια, τη μύτη και το λαιμό, πονοκεφάλους, έλλειψη συντονισμού, ναυτία, βλάβη στα νεφρά ή το κεντρικό νευρικό σύστημα, ζαλάδα, τάσεις για εμετό, κ.α. Μερικές από τις πτητικές οργανικές ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο τόσο στους ανθρώπους όσο και στα ζώα.

5.4. Ρύποι και περιβάλλον

Μελέτες σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή της ναυτιλιακής κίνησης έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνουν χώρα στο βόρειο ημισφαίριο, εντός ενός καλά προσδιορισμένου συστήματος θαλάσσιων οδών (Enderson et al., 2003). Οι Corbett et al (1999) εκτιμούν ότι το 85% των αέριων εκπομπών της ναυτιλίας γίνεται στο βόρειο ημισφαίριο και μάλιστα το 52% επιδρά στον Βόρειο Ατλαντικό και το 27% στο Βόρειο Ειρηνικό. Επίσης εκτιμάται ότι περίπου το 70% των εκπομπών από τη ναυτιλία συμβαίνουν εντός 200 ν.μ., με το 44% αυτών σε απόσταση 50ν.μ. από την ξηρά (IMO,2009).

Με τους παρόντες ρυθμούς ανάπτυξης, μέχρι το 2050, η ναυτιλία θα μπορούσε να καταλαμβάνει το 10% της παγκόσμιας εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με το Third IMO GHG Study (2014), για την περίοδο 2007-2012, η ναυτιλία είναι υπεύθυνη για την εκπομπή περίπου 1000Mt CO₂ ανά χρόνο που ισούται με περίπου με το 3,1% της ετήσιας εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Η τελευταία ενημέρωση της μελέτης από το CE Delft, επισημάνει την αύξηση των ρύπων της ναυτιλίας κατά 120% μέχρι το 2050 αν οι υπόλοιποι τομείς καταφέρουν να μειώσουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

Πιο συγκεκριμένα:

- CO₂

Το CO₂ είναι το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται από τη ναυτιλία τόσο σε όρους ποσοτήτων όσο και σε ποσοστό συνεισφοράς στην παγκόσμια θέρμανση. Πιο ειδικά, τα υψηλά επίπεδα αυτού του αερίου στην ατμόσφαιρα μπορούν να οδηγήσουν σε παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές εμποδίζοντας τη θερμότητα να διαφύγει από το πλανήτη. Ο εγκλωβισμός αυτής της θερμότητας με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της στάθμης της θάλασσας, αλλαγές στις κλιματικές ζώνες, καταστρεπτικές επιδράσεις στις πηγές του νερού και προβλήματα προσαρμογής της αγροτικής παραγωγή.

- SO₂

Το SO₂ προκαλεί μείωση του pH της βροχής δημιουργώντας έτσι την όξινη βροχή. Η όξινη βροχή με τη σειρά της, ανάλογα με το pH και τον χρόνο έκθεσης, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα φυτά, να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στο δομικά υλικά. Επιπλέον, τα οξείδια του θείου στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν σωματίδια θεικών, τα οποία έχουν την ιδιότητα να σκεδάζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, περιορίζοντας το ποσοστό που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Συνεπώς μειώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου ψύχοντας την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, έχουν και μια έμμεση επίδραση, που και αυτή προκαλεί ψύξη στην ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μιας ρυπασμένης περιοχής γίνονται πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών και συντελούν στη δημιουργία νεφών. Στα νέφη αυτά, οι σταγόνες της υγρασίας έχουν μικρότερο διάμετρο σε σχέση με μια μη ρυπασμένη περιοχή. Κατ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τα σύννεφα, δηλαδή αυξάνεται η ανακλαστικότητα των σύννεφων.

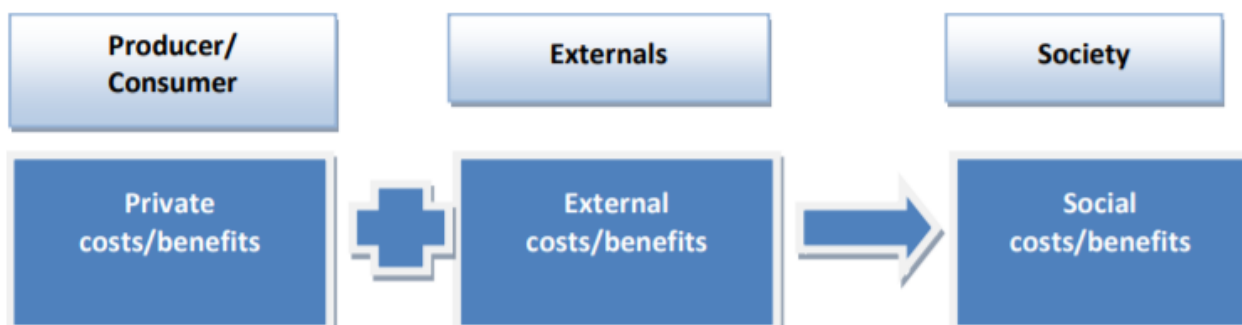
- NO_x

Ο σχηματισμός των NO_x συνεισφέρει στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα των πόλεων. Σε συνδυασμό με τα θειικά οξέα συμβάλλουν στον σχηματισμό της όξινης βροχής.

- Αιωρούμενα Σωματίδια

Η ναυτιλία εκπέμπει αιθάλη ως μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων. Όταν αυτή βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξάνοντας την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ παράλληλα σκιάζει και ψύχει την επιφάνεια της γης που βρίσκεται από κάτω.

5.5. Τα εξωτερικά κόστη, Externalities



Εικόνα 5.3: Ιδιωτικά, εξωτερικά και κοινωνικά κόστη και πλεονεκτήματα

Τα εξωτερικά κόστη δημιουργούνται από τους χρήστες της μεταφορικής υπηρεσίας και επιβάλλονται σε αυτούς που δεν χρησιμοποιούν τη μεταφορική υπηρεσία. Τυπικά εξωτερικές επιδράσεις υπάρχουν όταν οι δραστηριότητες μιας ομάδας (είτε καταναλωτών, είτε παραγωγών) επηρεάζουν την ευημερία μιας άλλης ομάδας, χωρίς την καταβολή καμιάς αποζημίωσης. Η διαδικασία της παραγωγής μεταφορικών υπηρεσιών έχει γενικότερες επιπτώσεις ή «εξωτερικές επιδράσεις». Μερικές απ' αυτές έχουν αρνητικά αποτελέσματα όσον αφορά στο κοινωνικό σύνολο. Οι αρνητικές αυτές επιδράσεις που αναλαμβάνονται από το κοινωνικό σύνολο και δεν καταβάλλονται από το μεμονωμένο χρήστη αποτελούν το κοινωνικό κόστος παραγωγής μεταφορικών υπηρεσιών. Το κοινωνικό κόστος περιλαμβάνει:

- Τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον
- Το κόστος ατυχημάτων
- Το κόστος κυκλοφοριακής συμφόρησης

Γενικά, οι αποφάσεις των παραγωγών και των χρηστών των μεταφορικών υπηρεσιών λαμβάνονται συνήθως με γνώμονα το ιδιωτικό κόστος. Το ιδιωτικό κόστος αφορά τα προσωπικά κόστη των χρηστών, όπως για παράδειγμα τα κόστη μετακινήσεων, οι φόροι μεταφοράς, ο προσωπικός χρόνος κ.α.. Αντίθετα, το κοινωνικό κόστος αγνοείται, με συνέπεια τη στρεβλή ανάπτυξη του μεταφορικού τομέα και την επιδείνωση των περιβαλλοντικών και άλλων αρνητικών επιπτώσεων.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως η συμβολή των μεταφορών, και ειδικότερα της ναυτιλίας, στα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα είναι φανερή. Πολλές περιβαλλοντικές ομάδες συζητούν για ουσιαστική μείωση ή συνολική εξάλειψη αυτών των δυσμενών περιβαλλοντικών επιδράσεων, αλλά αγνοούνε το κόστος που συνεπάγεται η μετακίνηση ή η διακοπή των μεταφορικών υπηρεσιών.

Παρόλα αυτά, καθώς κάποια άτομα υποφέρουν από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών, κάποια άλλα άτομα ωφελούνται από αυτά. Συνεπώς, οι οικονομολόγοι τείνουν προς την αριστοποίηση του επιπέδου ρύπανσης παρά προς την εξάγνιση του περιβάλλοντος.

Για τον υπολογισμό των εξωτερικών κοστών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Βήμα πρώτο

Σύμφωνα με το EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, οι συντελεστές των εκπομπών των αέριων ρύπων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Συντελεστές των εκπομπών των αέριων ρύπων

Engine	Phase	Engine Type	Fuel Type	NO _x FE 2010 [g/kWh]	NMVOC EF [g/kWh]	TSP PM ₁₀ PM _{2.5} EF [g/kWh]	CO* [g/kWh]	SO _x * [g/kWh]
Main	Cruise	Medium Speed Diesel	MDO/MGO	12,3	0,5	0,3	7,4	20xs
	Maneuvering Hoteling			9,9	1,5	0,9		

*Οι συντελεστές των εκπομπών των CO, SO_x λαμβάνονται από το TIER-1

**s: το ποσοστό θείου του καυσίμου [%]

Υστερα, σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο υπολογίζονται οι ρύποι σε ένα ταξίδι

$$EM_{TRIP} = EM_{AT\ SEA} + EM_{AT\ PORT} \quad [ton] \quad \text{Εξίσωση 5.1}$$

Πιο ειδικά, ο όγκος του αέριου ρύπου j για ένα ταξίδι δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση

$$EM_{TRIP,j} = EF_j \times FC \quad [ton] \quad \text{Εξίσωση 5.2}$$

Όπου:

- EF: ο συντελεστής του ρύπου που λαμβάνεται από τον πίνακα 5.2.
- j: ο αέριος ρύπος
- FC: η κατανάλωση του καυσίμου σε ton

Βήμα δεύτερο

Οι τιμές λαμβάνονται με βάση το “Handbook on the external costs of transport, Version 2019”

Πίνακας 5.3: Τιμές Αερίων Ρύπων €/kg

PM _{2.5} [€/kg]	PM ₁₀ [€/kg]	NO _x [€/kg]	SO ₂ [€/kg]	NMVOC [€/kg]
33	24,8	3,1	5,9	0,3

5.6. Νομοθεσία

Τον Απρίλιο του 2018 ο ΙΜΟ συμφώνησε σε ένα σχέδιο κατά το οποίο απαιτείται η ναυτιλία το 2050 να έχει μειώσει τις εκπομπές της τουλάχιστον κατά 50% από ότι αυτές ήταν το 2008. Επίσης σε αυτό το νομοσχέδιο τονίζεται η αναγκαιότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί όσο το δυνατόν πιο σύντομα. Ειδικότερα, αναφέρεται ότι συμφωνήθηκε ο δείκτης του άνθρακα της παγκόσμιας ναυτιλίας να μειωθεί, πιο συγκεκριμένα να επιτευχθεί μείωση του μέσου όρου του διοξειδίου του άνθρακα ανά ταξίδι, τουλάχιστον κατά 40% μέχρι το 2030, προσπαθώντας για την επίτευξη του 70% το 2050, συγκριτικά με το 2008.

Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω, κρίνεται να θεσμοθετηθεί μια σειρά από βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μέτρα, τα οποία βρίσκονται αυτή τη στιγμή. Μερικά από τα βραχυπρόθεσμα μέτρα είναι η ενίσχυση των απαιτήσεων της ενεργειακής αποδοτικότητας των υπάρχοντων πλοίων (EEDI), την ταχύτητα αλλά και άλλα τεχνικά και λειτουργικά μέτρα. Ο CE Delft ανέλυσε την αποτελεσματικότητα των βραχυπρόθεσμων μέτρων όσον αφορά τις εκπομπές αερίων ρύπων και κατέληξε ότι μόνο με μέσα που αλλάζουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος του 2030. Χωρίς τα μέτρα που αφορούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, τα μέτρα που εκπίπτουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά δε μπορούν να πετύχουν αυτόν τον στόχο.

6. Δεδομένα και Υπολογισμοί

Για τους υπολογισμούς χρειάζεται να είναι γνωστά τα παρακάτω:

- Υπάρχοντα χαρακτηριστικά των πορθμείων
 - Ο αριθμός των κύριων μηχανών και τα ονομαστικά χαρακτηριστικά τους
 - Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων κύριων μηχανών για την πρόωση του πλοίου
 - Ο βαθμός φόρτισης των κύριων μηχανών
 - Ο αριθμός των ηλεκτρογεννητριών και τα ονομαστικά τους χαρακτηριστικά
 - Ο βαθμός φόρτισης των ηλεκτρογεννητριών
 - Ο ηλεκτρολογικό ισολογισμός εν πλω
 - Ο ηλεκτρικός ισολογισμός στο λιμάνι
 - Ο ηλεκτρικός ισολογισμός στους ελιγμούς
 - Ο παράγοντας διαφορετικότητας των ηλεκτρικών μοτέρ (diversity factor)
 - Ο βαθμός απόδοσης των ηλεκτρικών μοτέρ
 - Η τάση του συστήματος
- Χαρακτηριστικά του ταξιδιού
 - Η απόσταση που διανύει σε ένα ταξίδι
 - Ο χρόνος ενός ταξιδιού
 - Ο χρόνος στο λιμάνι
 - Ο χρόνος ελιγμών
 - Ο μέγιστος αριθμός ταξιδιών ανά βάρδια
- Χαρακτηριστικά μπαταριών
 - Η ονομαστική τάση
 - Οι διαστάσεις
 - Η χωρητικότητα
 - Ο όγκος
 - Το βάρος
 - Ονομαστικά μεγέθη φόρτισης και αποφόρτισης
 - C-rate
 - Ονομαστικό DOD

Ακολούθως παρουσιάζονται οι εξισώσεις που θα χρειαστούν για τους υπολογισμούς

- Η απαιτούμενη ενέργεια ανά ταξίδι

$$E_{pr/voyage} = P_{Thrust} \cdot N_{Thrust} \cdot L_f \cdot \frac{T_{cruising} \cdot \eta_{el.motor}}{60} \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.1}$$

Όπου:

- P_{Thrust} : Η ονομαστική ισχύς των thruster [kW]
- N_{Thrust} : Ο αριθμός των thruster
- L_f : Ο βαθμός φόρτισης των κύριων μηχανών [%]
- $T_{cruising}$: Ο χρόνος ταξιδιού [min]
- $\eta_{el.motor}$: Ο βαθμός απόδοσης των ηλεκτροκινητήρων

- Η απαιτούμενη ενέργεια για την εξυπηρέτηση του ηλεκτρικού φορτίου ανά ταξίδι

$$E_{hot/voyage} = \left[P_{\frac{hot}{sea}} \cdot D_f \cdot \frac{T_{cruising}}{60} \right] + \left[P_{\frac{hot}{port}} \cdot D_f \cdot \frac{T_{port}}{60} \right] + \left[P_{\frac{hot}{man}} \cdot D_f \cdot \frac{T_{man}}{60} \right] \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση}$$

Όπου:

- $P_{hot/sea}$: Το ηλεκτρικό φορτίο στη θάλασσα [kW]
- $P_{hot/port}$: Το ηλεκτρικό φορτίο στο λιμάνι [kW]
- $P_{hot/man}$: Το ηλεκτρικό φορτίο κατά τους ελιγμούς [kW]
- D_f : Diversity Factor [%]
- $T_{cruising}$: Ο χρόνος ταξιδιού [min]
- T_{port} : Ο χρόνος παραμονής στο λιμάνι [min]
- T_{man} : Ο χρόνος των ελιγμών [min]

- Η συνολική ενέργεια ενός ταξιδιού

$$E_{trip} = 2 \cdot \left[E_{\frac{pr}{voyage}} + E_{\frac{hot}{voyage}} \right] \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.2}$$

- Η συνολική ενέργεια ανά βάρδια

$$E_{total/day} = N_{trips} \cdot E_{trips} \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.3}$$

Όπου

- N_{trips} : Ο αριθμός των ταξιδιών κατά τη μια βάρδια

- Η ελάχιστη εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω

$$E_{min.installed} = \frac{E_{total/day}}{(N_{trips}-1) \cdot f + DOD} \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.4}$$

Όπου

- DOD: Depth of discharge για τους μέγιστους κύκλους της μπαταρίας [%]
- f: μια παράμετρο με την οποία εκτιμάται το αποτέλεσμα του διαφορετικού ρεύματος αποφόρτισης και του χρόνου που χρειάζεται για να συνδεθεί. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται με την εξίσωση 6.5.

$$f = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{T_{port} - T_{plug}}{T_{100}} \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.5}$$

- C_1 : Ρεύμα φόρτισης [A]
- C_2 : Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης [A]
- T_{100} : Χρόνος που απαιτείται για να φορτισθεί πλήρως η μπαταρία με ρεύμα στην ονομαστική του τιμή [min]

- T_{plug} : Χρόνος που απαιτείται για τη σύνδεση και την αποσύνδεση [min]

- Ο αριθμός των μπαταριών συνδεδεμένων σε σειρά

$$N_{Bt.series} = \frac{V_{sys}}{V_{Bt}} \quad \text{Εξίσωση 6.6}$$

Όπου

- V_{sys} : Η τάση του ζυγού[V]
- V_{Bt} : Η ονομαστική τάση της μπαταρίας [V]

- Ο αριθμός των μπαταριών που είναι συνδεδεμένες παράλληλα

$$N_{Bt.parallel} = \frac{E_{min.installed}}{N_{Bt.series} \cdot V_{Bt} \cdot Ah_{Bt}} \quad \text{Εξίσωση 6.7}$$

Όπου

- Ah_{Bt} : Η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας [Ah]

Σύμφωνα με τους κανονισμούς που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.2 το σύστημα θα διαιρεθεί σε 2 ή περισσότερες συστοιχίες και για αυτό ο αριθμός των μπαταριών σε παράλληλη σύνδεση θα πρέπει να διορθωθεί για να είναι ζυγός αριθμός σε συστοιχία.

$$N_{Bt.total} = N_{packs} \cdot N_{Bt.pack} \cdot N_{Bt.series} \quad \text{Εξίσωση 6.8}$$

$$E_{installed} = N_{Bt.total} \cdot V_{Bt} \cdot Ah_{Bt} \quad [kW] \quad \text{Εξίσωση 6.9}$$

Σύμφωνα με τους κανονισμούς ασφαλείας θα πρέπει η υπολειπόμενη ενέργεια μετά την αστοχία μια σειράς να μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις ενέργειας για μια διαδρομή

$$E_{remain} = \frac{(1-DOD) \cdot E_{installed}}{N_{packs}} \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.10}$$

$$E_{voyage} = \frac{E_{trip}}{2} \quad [kWh] \quad \text{Εξίσωση 6.11}$$

Το συνολικό βάρος των μπαταριών δίνεται από την εξίσωση 6.12 και ο συνολικός όγκος από την εξίσωση 6.13.

$$W_{total} = N_{Bt.total} \cdot W_{Bt} \quad [ton] \quad \text{Εξίσωση 6.12}$$

$$V_{total} = N_{Bt.total} \cdot V_{Bt} \quad [m^3] \quad \text{Εξίσωση 6.13}$$

Όπου

- W_{Bt} : Το βάρος μιας μπαταρίας [ton]
- V_{Bt} : Ο όγκος μιας μπαταρίας[m³]

Τέλος οι ημερήσιοι κύκλοι των μπαταριών υπολογίζονται σύμφωνα με την εξίσωση 6.14 και η διάρκεια

$$Cycles_{daily} = \frac{T_{charging} \cdot (N_{trips} - 1)}{DOD \cdot T_{charg(0-100)}} + 1 \quad \text{Εξίσωση 6.14}$$

$$Life_{expectancy} = \frac{cycles_{nominal}}{cycles_{daily}} \quad \text{Εξίσωση 6.15}$$

Όπου:

- $Cycles_{nominal}$: Οι κύκλοι αν το σύστημα λειτουργούσε στα ονομαστικά του χαρακτηριστικά
- $T_{charging}$: $T_{port} - T_{plug}$ [min]
- $T_{charg(0-100)}$: Ο χρόνος που χρειάζεται να φορτίσει η μπαταρία από το 0%-100% [min]

7. Case Study: Μύκονος – Δήλος

7.1. Εισαγωγή

Η μελέτη η οποία πραγματοποιείται στα παραπάνω κεφάλαια βρίσκει εφαρμογή σε πραγματικό πεδίο. Κατά την ελληνική επικράτεια υπάρχουν αρκετά σημεία που εξυπηρετούνται με πορθμεία. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής επιλέχθηκε η διαδρομή Μύκονος – Δήλος η οποία εξυπηρετεί κυρίως τις ανάγκες για τουριστικούς σκοπούς. Η συγκεκριμένη μελέτη γίνεται σύμφωνα με τις νέες οδηγίες και τους νέους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Εικόνα 7.18: Χάρτης Μύκονος-Δήλος

7.2. Ανάλυση Δεδομένων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μεγέθη των πλοίων που εξυπηρετούν τη διαδρομή αυτή. Τα πλοία αυτά είναι τα ακόλουθα: Delos Express και Orca Express. Για την διεκπεραίωση της εργασίας χρειάζονται κυρίως τα μηχανολογικά στοιχεία.

Πίνακας 7.1: Μηχανολογικά Στοιχεία Πλοίων

Delos Express		
L _{oa} [m]	40,15	Machinery Overview
B [m]	6,9	1xZvezda M401A-1, 4-stroke, Mcr: 740 kW
Year Of Build	1992	2xBarnaultransmash 3D6C, 4-stroke, Mcr: 110 kW
IMO	9075864	
Orca Express		
L _{oa} [m]	43,35	Machinery Overview
B [m]	11,32	2xCaterpillar 3412, 4-stroke, Mcr: 562 kW
Year Of Build	1997	
IMO	9075864	

Τα χαρακτηριστικά της διαδρομής Μύκονος – Δήλος είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 7.2: Χαρακτηριστικά Διαδρομής Μυκόνου-Δήλο

Distance [nm]	1,5
T _{cruising} [min]	30
T _{at berth} [min]	30

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία λειτουργίας των δυο πλοίων.

Πίνακας 7.3: Βασικά Στοιχεία Λειτουργίας των 2 Πλοίων

Delos Express	
Electric Load At Balance [kW]	76,56
Electric Load At Sea [kW]	96,6
Diversity Factor	0,9
No Of Operating Main Engines At Sea	3
Main Engine Load Factor	0,75
Electric Motors Efficiency	0,97
Propulsion Load [kW]	720
Electric Propulsion Load [kW]	742,27
Load At Port [kWh]	29,42
Load At Sea [kWh]	37,13
Energy/Trip [kWh]	947,3
E _{TOTAL} /Day [kWh]	3789,19
Max trips/day	4
DOD [%]	80
System DC Voltage	500
Time to Plug-in/off [min]	4
Orca Express	
Electric Load At Balance [kW]	76,56
Electric Load At Sea [kW]	96,6
Diversity Factor	0,9
No Of Operating Main Engines At Sea	2
Main Engine Load Factor	0,75
Electric Motors Efficiency	0,97
Propulsion Load [kW]	843
Electric Propulsion Load [kW]	869
Load At Port [kWh]	34,452
Load At Sea [kWh]	43,47
Energy/Trip [kWh]	1109,13
E _{TOTAL} /Day [kWh]	4436,53
Max trips/day	4
DOD [%]	80
System DC Voltage	500
Time to Plug-in/off [min]	4

Ύστερα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των μπαταριών που επιλέχθηκαν να εγκατασταθούν στα δυο αυτά πορθμεία:

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά Μπαταριών

Nominal Module Voltage [V]	51,2
Nominal Capacity [Ah]	105
Stored Energy [kWh]	5,38
Dimension [LxWxH] [mm]	500x239x217
Weight [Kg]	37,5
Environment	
Charge Temperature Range	0 °C to +60°C
Discharge Temperature Range	-20 °C to +60 °C
Standard Charge	
Charge Voltage [V]	57,6 ± 0,8
Continuous charge current [A]	50
Maximum Charge Current [A]	100
Standard Discharge	
Instant Peak Discharge Current [A]	500±50
Continuous Discharge Current [A]	120
Maximum Discharge Current [A]	200
BMS Discharge Cut-Off Voltage [V]	40

7.3. Υπολογισμοί

Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί για 4 διαφορετικά σενάρια χρόνου αναμονής στο λιμάνι.

Πίνακας 7.5: Υπολογισμοί

Delos Express							
Scenario	Time at Port [min]	E _{MIN.INSTALLED} [kWh]	N _{Bt.Series}	N _{Bt.Paral}		N _{Bt.Total}	
				2 Packs	4 Packs	2 Packs	4 Packs
1	20	4087,65	10	78	80	780	800
2	25	3919,85	10	74	76	740	760
3	30	3765,28	10	72	72	720	72
4	35	3622,44	10	68	68	680	680

Scenario	E _{INSTALLED} [kWh]		E _{REMAIN} [kWh]		W _{Total} [Kg]		Cycles/Day	Optimal Life Expectancy [years]
	2 Packs	4 Packs	2 Packs	4 Packs	2 Packs	4 Packs		
1	4193,28	4300,8	419,33	215,04	29250	30000	1,00	12,27
2	3978,24	4085,76	397,82	204,29	27750	28500	1,01	12,25
3	3870,72	3870,72	387,07	193,54	27000	27000	1,01	12,23
4	3655,68	3655,68	365,57	182,78	25500	25500	1,01	12,22

Orca Express							
Scenario	Time at Port [min]	E _{MIN.INSTALLED} [kWh]	N _{Bt.Series}	N _{Bt.Paral}		N _{Bt.Total}	
				2 Packs	4 Packs	2 Packs	4 Packs
1	20	4785,98	10	90	92	900	920
2	25	4589,51	10	86	88	860	880
3	30	4408,53	10	84	84	840	840
4	35	4241,29	10	80	80	800	800

Scenario	E _{INSTALLED} [kWh]		E _{REMAIN} [kWh]		W _{Total} [Kg]		Cycles/Day	Optimal Life Expectancy [years]
	2 Packs	4 Packs	2 Packs	4 Packs	2 Packs	4 Packs		
1	4838,40	4954,92	483,84	247,30	33750	34500	1,00	12,27
2	4623,36	4730,88	462,34	236,54	32250	33000	1,01	12,25
3	4515,84	4515,84	451,58	225,79	31500	31500	1,01	12,23
4	4300,80	4300,80	430,08	215,04	30000	30000	1,01	12,22

7.4. Κόστος Εγκατάστασης Πορθμείων

Πίνακας 7.6: Κόστος Εγκατάστασης Πορθμείων

Delos Express	
Initial Cost Per Battery [\$]	3116
Number of Batteries	780
Installation Cost	
Battery Cost [\$]	2430480
BMS-50% of Batteries' Cost [\$]	1215240
2xElectric Motor [\$]	22822,88
2xInverter [\$]	51222,62
2xInverter [\$]	1494,00
SUM [\$]	3720959,50
Sales Of Existing Machinery	
Used Diesel Engines	
1x Zvezda M401A-1 [\$]	12442,31
2x Barnaul 3D6C [\$]	11804,00
SUM [\$]	26186,02
Final Cost of Delos Express [\$]	3694773,48
Orca Express	
Initial Cost Per Battery [€]	3116
Number of Batteries	900
Installation Cost	
Battery Cost [\$]	2804400
BMS-50% of Batteries' Cost [\$]	1402200
2xElectric Motor [\$]	33991,82
2xInverter [\$]	51222,62
2xInverter [\$]	1494
SUM [\$]	3895275,79
Sales of Existing Machinery	
Used Diesel Engines	
2x Barnaul 3D6C [\$]	82991,70
Final Cost of Orca Express [\$]	4210316,74
Total Final Cost [\$]	7905090,22

7.5. Σύγκριση Κόστους Συντήρησης και Λειτουργίας για ένα χρόνο

Πίνακας 7.7: Κόστος Λειτουργίας για ένα χρόνο

Days Working	214
Trips Per Day	4
Delos Express	
With Batteries	
Required Energy Per Trip [kWh]	947,30
Total Required Energy for 1 Year Operation [kWh]	810888,80
Price of kWh from Utility Grid [\$/kWh]	0,06
Total Cost [\$]	48653,33
With Existing Machinery	
Main Engine Efficiency	0,65
Main Engines Annual Cruising	1247521,23
SFOC according to TIER-II protocol [gr/kWh]/ Zvezda	219
SFOC according to TIER-II protocol [gr/kWh]/ Barnaul	225
Price of Marine Diesel Oil per ton	550
Total Cost	153433,88
Benefit from Fuel Saving in 1 Year Operation-Delos Express [€]	104780,56
Orca Express	
With Batteries	
Required Energy Per Trip [kWh]	1109,1
Total Required Energy for 1 Year Operation [kWh]	949389,6
Total Cost [\$]	56963,38
With Existing Machinery	
Main Engine Efficiency	0,65
Main Engines Annual Cruising	1460599,39
SFOC according to TIER-II protocol [gr/kWh]	221,2
Total Cost [€]	177696,52
Benefit from Fuel Saving in 1 Year Operation-Orca Express [€]	120733,15

Πίνακας 7.8: Κόστος Συντήρησης για ένα χρόνο λειτουργίας

Delos Express	
With Batteries	
Fixed O&M Cost [\$]-2% of the PCS Cost	48609,60
Variable O&M is [\$/kWh]	1
Variable O&M is [\$]	4196,40
BMS system maintenance Cost [\$]- 2,5\$/kWh per 7 years	10491
Total O&M Cost Per Year [\$]	52806,00
With Existing Machinery	
Maintenance Cost [\$/HP]	12,6
Total Installed Power [kWh]	960
Total O&M Cost Per Year [\$]	16208,64
Total Benefit from O&M Expenses for Delos Express [€]	
	-36597,36
Orca Express	
With Batteries	
Fixed O&M Cost [\$]-2% of the PCS Cost	56088
Variable O&M [\$]	4842,00
BMS system maintenance Cost [\$]- 2,5\$/kWh per 7 years	12105
Total O&M Cost Per Year [€]	60930,00
With Existing Machinery	
Maintenance Cost [\$/HP]	12,6
Total Installed Power [kWh]	1124
Total O&M Cost Per Year [\$]	18977,62
Total Benefit from O&M Expenses for Orca Express [\$]	
	-41952,384

7.6. Cost Benefit Analysis

Για να είναι μια επένδυση αποδοτική πρέπει να γίνει μια ανάλυση κόστους οφέλους για μια χρονική περίοδο. Στην ανάλυση κόστους οφέλους λαμβάνονται υπόψιν τα εξής:

- Έσοδα από τα εισιτήρια (για τον υπολογισμό των εσόδων από τα εισιτήρια θεωρείται ότι το πορθμείο έχει το 50% της πληρότητας του)
- Έξοδα συντήρησης και λειτουργίας
- Στην περίπτωση λειτουργίας του πλοίου με πετρέλαιο λαμβάνονται υπόψιν τα εξωτερικά κόστη.

Για να υπολογιστεί αν μια επένδυση είναι αποδοτική πρέπει να ακολουθηθούν τα εξής βήματα:

- Υπολογισμός του net cash flow στην περίπτωση που το πλοίο λειτουργεί με μπαταρίες
- Υπολογισμός του net cash flow στην περίπτωση που το πλοίο δε λειτουργεί με μπαταρίες
- Υπολογισμός του κέρδους ανάμεσα στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις
- Υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) και του Εσωτερικού Βαθμού Επένδυσης (IRR), θεωρώντας σαν net cash flow το κέρδος
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Στο Παράρτημα Ι υπάρχουν οι πιο λεπτομερές υπολογισμοί για τις παρακάτω περιπτώσεις

7.6.1 Σύγκριση Λειτουργίας Πλοίων με Μπαταρίες και Χωρίς Μπαταρίες

Πίνακας 7.9: Σύγκριση Λειτουργίας Πλοίων με Μπαταρίες και Χωρίς Μπαταρίες

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-3694773,483	1497334,67	1496848,14	1496356,74	1495860,43	-84452,85	1494852,86	1483850,51	1493825,05	1493303,42	1864872,52
No Batteries	0	1331601,43	1326231,25	1320673,1	1314920,43	1308966,41	1302803,99	1296425,9	1289824,57	1282992,19	1302106,7
Net Cash Flow	-3694773,483	165733,24	170616,89	175683,64	180940	-1393419,26	192048,87	187424,61	204000,48	210311,23	562765,82
NPV			-3310232,32			IRR			-15%		
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-4210316,74	2202936,62	2202366,99	2201791,66	2201210,58	377763,68	2200030,92	2187327,23	2198827,55	2198216,83	2632202,50
No Batteries	0,00	1990299,23	1984079,85	1977642,79	1970980,44	1964084,90	1956948,02	1949561,35	1941916,15	1934003,36	2008805,33
Net Cash Flow	-4210316,7	212637,4	218287,1	224148,87	230230,1	-1586321	243082,9	237765,9	256911,4	264213,5	623397,2
NPV			-3635098,20			IRR			-15%		
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-7905090,223	3700271,29	3699215,13	3698148,4	3697071,01	293310,83	3694883,78	3671177,74	3692652,6	3691520,25	4497075,02
No Batteries	0	3321900,66	3310311,1	3298315,89	3285900,87	3273051,31	3259752,01	3245987,25	3231740,72	3216995,55	3310912,03
Net Cash Flow	-7905090,223	378370,63	388904,03	399832,51	411170,14	-2979740,48	435131,77	425190,49	460911,88	474524,7	1186162,99
NPV			-6945330,5			IRR			-15%		

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι η NPV και το IRR είναι αρνητικά. Οπότε, γίνεται φανερό ότι η επένδυση δεν είναι τόσο αποδοτική. Για να γίνει πιο αποδοτική υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

- Προσθήκη ενός επιπλέον ταξιδιού όταν το πλοίο λειτουργεί με μπαταρίες
- Αύξηση τιμής εισιτηρίου όταν το πλοίο λειτουργεί με μπαταρίες
- Χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση

7.6.2 Προσθήκη ενός επιπλέον ταξιδιού όταν το πλοίο λειτουργεί με μπαταρίες

Πίνακας 7.10: Σύγκριση Λειτουργίας με Μπαταρίες και ένα επιπλέον ταξίδι με τη λειτουργία χωρίς μπαταρίες

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-3694773,48	2272405,01	2271675,21	2270938,11	2270193,64	446581,73	2268682,29	2257424,27	2267140,57	2266358,13	2265567,86
No Batteries	0	1331601,43	1326231,25	1320673,1	1314920,43	1308966,41	1302803,99	1296425,9	1289824,57	1282992,19	1302106,7
Net Cash Flow	-3694773,483	940803,58	945443,9581	950265,0102	955273,2113	-862384,6823	965878,305	960998,3679	977316,0006	983365,9363	963461,1575
NPV			1997571,01			IRR			16%		
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-4210316,74	3334869,936	3334015,485	3333152,49	3332280,865	1508540,524	3330511,379	3317508,343	3328706,326	3327790,239	3761467,498
No Batteries	0	1990299,23	1984079,85	1977642,79	1970980,44	1964084,9	1956948,02	1949561,35	1941916,15	1934003,36	2008805,33
Net Cash Flow	-4210316,74	1344570,706	1349935,635	1355509,7	1361300,425	-455544,3762	1373563,359	1367946,993	1386790,176	1393786,879	1752662,168
NPV			4687382,24			IRR			26%		
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-7905090,223	5607274,944	5605690,693	5604090,6	5602474,506	1955122,251	5599193,674	5574932,611	5595846,897	5594148,366	6027035,355
No Batteries	0	3321900,66	3310311,1	3298315,89	3285900,87	3273051,31	3259752,01	3245987,25	3231740,72	3216995,55	3310912,03
Net Cash Flow	-7905090,223	2285374,284	2295379,593	2305774,71	2316573,636	-1317929,059	2339441,664	2328945,361	2364106,177	2377152,816	2716123,325
NPV			6684953,24			IRR			22%		

7.6.3 Αύξηση τιμής εισιτηρίου

Η τιμή του εισιτηρίου αυξάνεται από 12,05\$ σε 15,5\$. Δηλαδή η τελική τιμή του εισιτηρίου προτείνεται να είναι 13€.

Πίνακας 7.11: Σύγκριση Λειτουργίας Πλοίων με Μπαταρίες και αυξημένο εισιτήριο και Πλοίων χωρίς Μπαταρίες

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-3694773,483	1955080,672	1954594,139	1954102,74	1953606,428	373293,1518	1952598,863	1941596,512	1951571,047	1951049,418	2322618,522
No Batteries	0	1331601,43	1326231,25	1320673,1	1314920,43	1308966,41	1302803,99	1296425,9	1289824,57	1282992,19	1302106,7
Net Cash Flow	-3694773,483	623479,242	628362,8887	633429,6401	638685,9975	-935673,2582	649794,8733	645170,6119	661746,4771	668057,2275	1020511,822
NPV		58818,09101				IRR			6%		
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-4210316,74	2867406,624	2866836,99	2866261,66	2865680,577	1042233,683	2864500,919	2851797,229	2863297,551	2862686,826	3296672,501
No Batteries	0	1990299,23	1984079,85	1977642,79	1970980,44	1964084,9	1956948,02	1949561,35	1941916,15	1934003,36	2008805,33
Net Cash Flow	-4210316,74	877107,394	882757,1402	888618,8701	894700,1367	-921851,2175	907552,8993	902235,8785	921381,4008	928683,4663	1287867,171
NPV		1255458,848				IRR			12%		
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batteries	-7905090,223	4822487,296	4821431,129	4820364,4	4819287,004	1415526,834	4817099,783	4793393,74	4814868,598	4813736,244	5619291,022
No Batteries	0	3321900,66	3310311,1	3298315,89	3285900,87	3273051,31	3259752,01	3245987,25	3231740,72	3216995,55	3310912,03
Net Cash Flow	-7905090,223	1500586,636	1511120,029	1522048,51	1533386,134	-1857524,476	1557347,773	1547406,49	1583127,878	1596740,694	2308378,992
NPV		1314276,939				IRR			9%		

7.6.4 Επιχορήγηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση

Η επιχορήγηση που λαμβάνεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπολογίζεται σύμφωνα με το «Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects»

Πίνακας 7.12 : Σύγκριση Λειτουργίας Πλοίων με Μπαταρίες και επιχορήγηση και πλοίο χωρίς μπαταρίες

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Net Cash Flow	-724475,5492	165733,24	170616,89	175683,64	180940	-1393419,26	192048,87	187424,61	204000,48	210311,23	562765,82
NPV	-339934,384					IRR			-1%		
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Net Cash Flow	-998287,321	212637,39	218287,14	224148,87	230230,14	-1586321,22	243082,9	237765,88	256911,4	264213,47	623397,17
NPV	-423068,776					IRR			-0,8%		
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Net Cash Flow	-1722762,87	378370,63	388904,03	399832,51	411170,14	-2979740,48	435131,77	425190,49	460911,88	474524,7	1186162,99
NPV	-763003,16					IRR			-1%		

7.7. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στη παραπάνω διπλωματική πραγματοποιήθηκε μελέτη για τη μετατροπή πλοίων πορθμειακής γραμμής Δήλου-Μυκόνου σε υβριδική τεχνολογίας με μπαταρίες. Αρχικά έγινε μια αναφορά στον λόγο για τον οποίο αυτή η μετατροπή είναι επιθυμητή καθώς και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει έναντι των πλοίων που λειτουργούν με καύσιμο.

Στην ανάλυση του κόστους οφέλους παρατηρήθηκε ότι παρόλο που υπάρχουν αρκετά οικονομικά οφέλη κατά τη λειτουργία των πλοίων με μπαταρίες, εξαιτίας του υψηλού κόστους της αρχικής επένδυσης (δηλαδή το κόστος των μπαταριών), η επένδυση δεν είναι αποδοτική. Για το λόγο αυτό, διερευνήθηκαν κάποιοι εναλλακτικοί τρόποι έτσι ώστε είτε να αυξηθεί το net cash flow κατά τη λειτουργία με τις μπαταρίες είτε να μειωθεί το αρχικό κόστος των μπαταριών.

Ο πρώτος τρόπος που προτάθηκε είναι η προσθήκη ενός επιπλέον ταξιδιού κατά τη λειτουργία με μπαταρίες. Από αυτόν τον τρόπο αντλήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα.

Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα από τον υπολογισμό για πλοία με μπαταρία και ένα επιπλέον ταξίδι

	Delos Express	Orca Express	Total
IRR [%]	16	26	22
NPV [\$]	1997571,01	4687382,24	6684953,24

Ο δεύτερος τρόπος που προτάθηκε είναι η αύξηση του εισιτηρίου όταν το πλοίο λειτουργεί με μπαταρίες από 10€ σε 13€. Στον πίνακα 8.2 καταγράφονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα από τον υπολογισμό για πλοία με μπαταρία και αυξημένο εισιτήριο

	Delos Express	Orca Express	Total
IRR [%]	6	12	9
NPV [\$]	58818,09	1255458,85	1314276,94

Ο τρίτος και τελευταίος τρόπος που διερευνήθηκε είναι η επιχορήγηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα από τον υπολογισμό για πλοία και επιχορήγηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση

	Delos Express	Orca Express	Total
IRR [%]	-1	-0,8	-1
NPV [\$]	-339934,38	-423068,78	-763003,16

Κατά τη σύγκριση των παραπάνω τρόπων γίνεται φανερό ότι με την επιχορήγηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την υπάρχουσα λειτουργία η επένδυση δεν είναι αποδοτική. Από τις υπόλοιπες επιλογές η πιο αποδοτική είναι η εισαγωγή ενός επιπλέον ταξιδιού καθώς τόσο ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και η καθαρή παρούσα αξία είναι μεγαλύτερη από ότι αυτές που προκύπτουν από την λειτουργία πλοίων με μπαταρίες και αυξημένο εισιτήριο.

8. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στην παραπάνω διπλωματική μελετήθηκε το μοντέλο που προτάθηκε από τον Χρήστο Μπαρκιτζόγλου «Techno-economical feasibility study on the retrofit of double-ended Ro/Pax ferries into battery-powered ones» για τη γραμμή Μύκονος-Δήλος για τα πλοία Delos Express και Orca Express.

Πίνακας 9.1: Χαρακτηριστικά Διαδρομής Μύκονος-Δήλος

Distance [nm]	1,5
T _{cruising} [min]	30
T _{at berth} [min]	30

Πίνακας 9.2: Χαρακτηριστικά Πλοίων

Delos Express	
L _{oa} [m]	40,15
B [m]	6,9
Year Of Build	1992
IMO	9075864
Orca Express	
L _{oa} [m]	43,35
B [m]	11,32
Year Of Build	1997
IMO	9075864

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται αυτά τα πορθμεία επιλέχθηκαν οι παρακάτω μπαταρίες.

Πίνακας 9.3: Χαρακτηριστικά Μπαταριών

Lithium-Ion Battery 48V-105Ah-5,38 kWh-PowerBrick+	
Nominal Module Voltage [V]	51,2
Nominal Capacity [Ah]	105
Stored Energy [kWh]	5,38
Dimension [LxWxH] [mm]	500x239x217
Weight [Kg]	37,5
Environment	
Charge Temperature Range	0 °C to +60 °C
Discharge Temperature Range	-20 °C to +60 °C
Standard Charge	
Charge Voltage [V]	57,6 ± 0,8
Continuous charge current [A]	50
Maximum Charge Current [A]	100
Standard Discharge	
Instant Peak Discharge Current [A]	500±50
Continuous Discharge Current [A]	120
Maximum Discharge Current [A]	200
BMS Discharge Cut-Off Voltage [V]	40

Για να ελεγχθεί η αποδοτικότητα αυτού του προτύπου πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση κόστους-οφέλους. Μέσα από αυτή την ανάλυση έγινε φανερό ότι το υψηλό αρχικό κόστος των μπαταριών δεν καθιστά την επένδυση αποδοτική. Για τον λόγο αυτό, διερευνήθηκαν εναλλακτικοί τρόποι έτσι ώστε να αυξηθούν τα έσοδα. Οι τρόποι αυτοί ήταν να αυξηθεί το εισιτήριο, να πραγματοποιηθεί ένα επιπλέον ταξίδι ή να καλύψει η Ευρωπαϊκή Ένωση ένα μέρος του αρχικού κόστους.

Μέσω της ανάλυσης κόστους-οφέλους παρατηρήθηκε ότι ακόμα και αν η Ευρωπαϊκή Ένωση καλύψει ένα μέρος του αρχικού κόστους, η επένδυση δεν είναι εφικτή. Παράλληλα, όμως, έγινε φανερό ότι η επένδυση είναι αποδοτική στις άλλες δύο περιπτώσεις, με πιο επικερδή αυτή με ένα επιπλέον ταξίδι.

Πίνακας 9.4: Αποτελέσματα από τον υπολογισμό για πλοία με μπαταρία και ένα επιπλέον ταξίδι

	Delos Express	Orca Express	Total
IRR [%]	16	26	22
NPV [\$]	1997571,01	4687382,24	6684953,24

Παρόλο που γίνεται σαφές ότι η ηλεκτροπρόωση φέρει πολλά πλεονεκτήματα τόσο για το περιβάλλον όσο και για την υγεία, το μεγάλο αρχικό κόστος αποτρέπει πολλούς από το να την επιλέξουν. Προκειμένου, να αλλάξει αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη πρέπει να προσφέρουν περισσότερες και μεγαλύτερες επιδοτήσεις έτσι ώστε να μειωθεί το αρχικό κόστος της επένδυσης. Επίσης, πρέπει να παρέχονται φορολογικά κίνητρα για την στήριξη της πράσινης ναυτιλίας, προκειμένου περισσότεροι να ωθούνται προς αυτή την κατεύθυνση.

Πέραν όμως από την κρατική μέριμνα, επιτακτική κρίνεται η ανάγκη διεξαγωγής περισσότερων ερευνών και μελετών. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι έρευνες θα έχουν σκοπό τη βελτίωση και την αξιοπιστία της τεχνολογίας της μετατροπής των ντιζελοκίνητων πλοίων σε ηλεκτροκίνητα πλοία με μπαταρίες. Επιπλέον, θα αποσκοπούν στη βελτίωση και τον εκσυγχρονισμό των μπαταριών. Με αυτόν τον τρόπο θα μειωθεί το αρχικό τους κόστος, αυξάνοντας συγχρόνως την απόδοσή τους. Ένα ακόμα πεδίο στο οποίο πρέπει να επικεντρωθούν αυτές μελέτες είναι αυτό των κανονισμών. Με τη θέσπιση ενός πιο εμπεριστατωμένου νομοθετικού πλαισίου εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η εμπιστοσύνη σε αυτού του είδους τα πλοία, εξαλείφοντας παράλληλα κάθε αμφιβολία για την αξιοπιστία τους.

Τέλος, η στροφή στη πράσινη ναυτιλία θα είναι μια ανάσα για τον πλανήτη. Όλες οι χώρες, και ειδικά η Ελλάδα που φημίζεται για την ναυτιλία, θα πρέπει να ακολουθήσουν αυτή την τάση και να προσπαθήσουν να ελαττώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα έτσι ώστε να προστατέψουν τη φύση, το οικοσύστημα και τους ίδιους τους ανθρώπους.

9. Βιβλιογραφία

- [1] “IEC Everywhere for a Safer and More Efficient World.” *IEC*, 25 Mar. 2021, www.iec.ch/homepage.
- [2] Amperorio. “Ιστορία Της Μπαταρίας.” *Amperorio*, www.amperorio.gr/index.php/el/istoria-tis-mpatarias.html.
- [3] Anwar, Sedia, et al. *Towards Ferry Electrification in the Maritime Sector*.
- [4] Bakirtzoglou, Christos. “Techno-Economical Feasibility Study on the Retrofit of Double Ended Ro/Pax Ferries into Battery-Powered Ones.” *National Technical University Of Athens*, 2017.
- [5] *Circuit Explanation for Battery Charger*, www.piclist.com/images/www/hobby_elec/e_car2_3.htm.
- [6] “Development of Batteries.” *Encyclopædia Britannica*, Encyclopædia Britannica, Inc., www.britannica.com/technology/battery-electronics/Development-of-batteries.
- [7] “DNV-GL .” *DNV*, www.dnv.com/.
- [8] “Economic Appraisal Tool for Cohension Policy 2014-2020.” *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*.
- [9] *Electrical Energy Storage for Ships* .
- [10] “Electricity and USS Trenton.” *Naval History and Heritage Command*, www.history.navy.mil/browse-by-topic/exploration-and-innovation/electricity-and-uss-trenton.html.
- [11] Gilltae, Roh, et al. *Fuel Consumption and CO2 Emission Reductions of Ships Powered by a Fuel-Cell-Based Hybrid Power Source* .
- [12] Grigoriou-Aftias, Alexandros. “Economic Feasibility Study on the Retrofit of Ro/Pax Diesel-Powered Ferry into the Battery-Powered One .” *National Technical University of Athens, School of Naval Architecture and Marine Engineering* , 2019.
- [13] *Handbook on the External Costs of Transport, Version 2019*.
- [14] Holland, Mike, and Paul Watkiss. *Benefits Table Database: Estimates of the Marginal External Costs of Air Pollution in Europe*.
- [15] “International Maritime Orgnization.” *International Maritime Orgnization Home Page*, www.imo.org/.
- [16] Jiang, Liping, and Jacob Kronbak. 2012, *The Model of Maritime External Costs*.

- [17] Key Issues at Stake at the 72nd Session of the IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC 72), *IMO's Challenges on the Route to Decarbonising International Shipping*.
- [18] Lesniewski, Wojciech, et al. *Small Vessel with Inboard Engine Retrofitting Concepts; Real Boat Tests, Laboratory Hybrid Drive Tests and Theoretical Studies*.
- [19] “Lithium Battery Management Systems (BMS).” *LiTHIUM BALANCE*, lithiumbalance.com/.
- [20] “Lloyd's Register .” *Lloyd's Register*, www.lr.org/en/.
- [21] Maibach, M., et al. Produced within the Study Internalisation Measures and Policies for All External Cost of Transport, *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector*.
- [22] Makariou, Evangelos. “Electrification of Vessels Covering Small Distances.” *National Technical University of Athens, School of Naval Architecture and Marine Engineering* , 2020.
- [23] “Rectifiers / Battery Chargers.” *JEMA Energy*, 16 Feb. 2021, www.jemaenergy.com/en/producto/rectifiers-battery-chargers/.
- [24] Skjong, Espen, et al. *The Marine Vessel's Electrical Power System: From Its Birth to Present Day*.
- [25] “SOLAS.” *International Maritime Organization*, www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Pages/SOLAS.aspx.
- [26] “SS Columbia (1880).” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 9 Jan. 2021, en.wikipedia.org/wiki/SS_Columbia_(1880).
- [27] *Update of the Handbook on External Costs of Transport*.
- [28] “The First Electric Boat.” *LiveJournal*, 8 July 2012, electric-cars.livejournal.com/6150.html.
- [29] Βάσσου , Μαρία Ρόζα. “Διαχείριση Των Αέριων Ρύπων Από Τη Ναυτιλία .” *Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Επιστημών της Διοίκησης*.
- [30] Δέντορας, Αργύριος. “Το Εξωτερικό Κόστος Των Εκπομπών Αέριων Ρύπων Στο Λιμάνι Της Ηγουμενίτσας.” *Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Επιστημών Διοίκησης* , 2019.
- [31] “Διοξείδιο Του Άνθρακα.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 3 Jan. 2021, el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1.
- [32] “Εξωτερικές Οικονομίες .” *Οικονομική Περιβάλλοντος* .
- [33] *Επιπτώσεις Στην Υγεία*, www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/el/health-effects.
- [34] “Η Μπαταρία Της Βαγδάτης .” *ΜΗΧΑΝΕΣ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ - ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΒΑΓΔΑΤΗΣ*, users.sch.gr/mfanarioti/MHXANES/electricity/batarial.html.

- [35] Κοτρίκλα, Άννα Μαρία. *Ναυτιλία Και Περιβάλλον* . Τμήμα Ναυτιλίας Και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- [36] Μαργιώλος, Γιώργος. “Τί Είναι Οι Οργανικές Πτητικές Ενώσεις (VOC's)?" *Τι Είναι Οι Οργανικές Πτητικές Ενώσεις (VOC's)*, ΦΙΛΤΡΑ ΝΕΡΟΥ, 9 June 2020, www.filtranerou.gr/87-organikes-ptitikes-enoseis-volatile-organic-compounds/.
- [37] “Μονοξείδιο Του Άνθρακα.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 28 Sept. 2019, el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1.
- [38] Μουστρής , Κ. Π. “Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων .” Οι βασικότεροι ρύποι - Οξείδια του Αζώτου (NOx). Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά , Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ.
- [39] Μπάσμπας, Σωκράτης. “Εξωτερικό ή Κοινωνικό Κόστος Παραγωγής Μεταφορικών Υπηρεσιών .” *Οικονομική των Μεταφορών* . Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών .
- [40] Μπεκατώρος, Σταμάτιος. “Τεχνολογίες Μετατροπών Ισχύος Για Την Ενσωμάτωση ΑΠΕ Σε Συστήματα Ηλεκτρικής Ισχύος.” *Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης*, 2017.
- [41] “Ξεναγήσεις Και Εκδρομές Στη Δήλο.” *Αρχική - Delos Tours*, www.delostours.gr/gr/.
- [42] Παπαδημητρίου, Κωνσταντίνος. Πανεπιστήμιο Πειραιά, *Μορφές Ρύπανσης Από Την Ναυτιλία* .
- [43] Παπαζήσης, Αθανάσιος. “Σύστημα Εκπομπής Αέριων Ρύπων Στη Ναυτιλία.” *Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, "Νέες Τεχνολογίες στη ναυτιλία και τις μεταφορές"*, 2019.
- [44] Πελέτης , Κωνσταντίνος Φίλιππος. “Τεχνο-Οικονομική Μελέτη Βιωσιμότητας, Μετατροπής Πλοίου Ανοιχτού Τύπου Σε Αποκλειστική Χρήση Ενέργειας Από Το Σύστημα Μπαταριών.” *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, 2019.
- [45] “Ποιότητα Αέρα.” *ThermiAir*, www.thermi-air.gr/project/air-quality/.
- [46] “Ποια Είναι Τα Πλεονεκτήματα Και Τα Μειονεκτήματα Των Σύγχρονων Και Ασύγχρονων Κινητήρων;” *Zhejiang Shuyou Surgical Instrument Co., Ltd*, m.gr.shuyoumedical.com/info/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-s-24014345.html.
- [47] ΤΣΙΑΜΗΤΡΟΣ, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. “Σημειώσεις Στις Ηλεκτρικές Μηχανές ΙΙ.” ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Ηλεκτρολογίας .
- [48] Τσοπουρίδης , Ανέστης. “Αναδρομή, Σημερινή Τεχνολογία Και Προοπτική Της Μπαταρίας.” *Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης* , 2011.

Παράρτημα Ι

Υπολογισμοί

Υπολογισμός με μπαταρίες

Πίνακας Π.Ι.1: Κόστη για 10 χρόνια για λειτουργία με μπαταρίες

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-3694773,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Replacement Cost [\$]	0	0	0	0	0	-1822860	0	0	0	0	0
Ticket [\$]	0	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794
Fixed Operation & Maintenance [\$]	0	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60
Variable O&M [\$]	0	-4196,40	-4196,4	-4196,4	-4196,4	-4196,4	-4196,4	-4196,4	-4196,4	-4196,4	-4196,4
BMS System Maintenance [\$]	0	0	0	0	0	0	0	-10491	0	0	0
Residual Value [\$]	0	0	0	0	0	243048	0	0	0	0	372096
Electricity [\$/kWh]	0	0,06	0,0606	0,061206	0,061818	0,062436	0,063061	0,063691	0,064328	0,064971	0,065621
Operation [\$]	0	-48653,33	-49139,86	-49631,26	-50127,57	-50628,85	-51135,14	-51646,49	-52162,95	-52684,58	-53211,43
Net Cash [\$]	-3694773,483	1497334,67	1496848,14	1496356,74	1495860,43	-84452,85	1494852,86	1483850,51	1493825,05	1493303,42	1864872,52
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-4210316,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Replacement Cost [\$]	0	0	0	0	0	-2103300	0	0	0	0	0
Ticket [\$]	0	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830
Fixed Operation & Maintenance [\$]	0	-56088	-56088	-56088	-56088	-56088	-56088	-56088	-56088	-56088	-56088
Variable O&M [\$]	0	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00
BMS System Maintenance [\$]	0	0	0	0	0	0	0	-12105	0	0	0
Residual Value [\$]	0	0	0	0	0	280440	0	0	0	0	434602,506
Electricity [\$/kWh]	0	0,06	0,0606	0,061206	0,06181806	0,062436241	0,063060603	0,063691209	0,064328121	0,064971402	0,065621116
Operation [\$]	0	-56963,38	-57533,01	-58108,34	-58689,42	-59276,32	-59869,08	-60467,77	-61072,45	-61683,17	-62300,01
Net Cash [\$]	-4210316,74	2202936,62	2202366,99	2201791,66	2201210,58	377763,68	2200030,92	2187327,23	2198827,55	2198216,83	2632202,5
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-7905090,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Replacement Cost [\$]	0	0	0	0	0	-3926160	0	0	0	0	0
Ticket [\$]	0	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624
Fixed Operation & Maintenance [\$]	0	-	-	-104697,60	-	-	-	-104697,60	-	-	-104697,60
Variable O&M [\$]	0	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40
BMS System Maintenance [\$]	0	0	0	0	0	0	0	-22596	0	0	0
Residual Value [\$]	0	0	0	0	0	523488	0	0	0	0	806698,456
Electricity [\$/kWh]	0	0,06	0,0606	0,061206	0,06181806	0,062436241	0,063060603	0,063691209	0,064328121	0,064971402	0,065621116
Operation [\$]	0	-	-	-107739,60	-	-	-	-112114,26	-	-	-115511,43
Net Cash [\$]	-7905090,223	3700271,29	3699215,13	3698148,4	3697071,01	293310,83	3694883,78	3671177,74	3692652,6	3691520,25	4497075,02

Υπολογισμός Λειτουργίας Πλοίου με Υπάρχον Εξοπλισμό

Πίνακας Π.1.2: Κόστη για 10 χρόνια λειτουργίας με υπάρχον εξοπλισμό

Delos Express										
Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Social Cost [\$]	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04	-97550,04
Operation [\$]	-153433,88	-158804,07	-164362,21	-170114,89	-176068,91	-182231,32	-188609,42	-195210,75	-202043,12	-209114,63
Maintenance [\$]	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64	-16208,64
Ticket [\$]	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794	1598794
Residual Value [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	26186,02
Net Cash [\$]	1331601,43	1326231,25	1320673,1	1314920,43	1308966,41	1302803,99	1296425,9	1289824,57	1282992,19	1302106,7
Orca Express										
Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Social Cost [\$]	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64	-133856,64
Operation [\$]	-177696,52	-183915,90	-190352,96	-197015,31	-203910,85	-211047,72	-218434,40	-226079,60	-233992,38	-242182,12
Maintenance [\$]	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62	-18977,62
Ticket [\$]	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830	2320830
Residual Value [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82991,70
Net Cash [\$]	1990299,23	1984079,85	1977642,79	1970980,44	1964084,9	1956948,02	1949561,35	1941916,15	1934003,36	2008805,33
Total										
Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Social Cost [\$]	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68	-231406,68
Operation [\$]	-331130,40	-342719,97	-354715,17	-367130,20	-379979,76	-393279,05	-407043,81	-421290,35	-436035,51	-451296,75
Maintenance [\$]	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26	-35186,26
Ticket [\$]	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624	3919624
Residual Value [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109177,72
Net Cash [\$]	3321900,66	3310311,1	3298315,89	3285900,87	3273051,31	3259752,01	3245987,25	3231740,72	3216995,55	3310912,03

Υπολογισμός Λειτουργίας Πλοίου με Μπαταρίες και ένα επιπλέον ταξίδι

Πίνακας Π.1.3: Κόστη για 10 χρόνια λειτουργίας για τα πλοία με μπαταρίες και με ένα παραπάνω δρομολόγιο

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-3694773,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Replacement Cost [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1822860,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ticket [\$]	0,00	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80	4780909,80
Fixed Operation & Maintenance [\$]	0,00	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60	-48609,60
Variable O&M [\$]	0,00	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40	-4196,40
BMS System Maintenance	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-10491,00	0,00	0,00	0,00
Residual Value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	243048,00	0,00	0,00	0,00	0,00	372095,95
Operation [\$]	0,00	-72979,99	-73709,79	-74446,89	-75191,36	-75943,27	-76702,71	-77469,73	-78244,43	-79026,87	-79817,14
Net Cash [\$]	-3694773,48	2272405,01	2271675,21	2270938,11	2270193,64	446581,73	2268682,29	2257424,27	2267140,57	2266358,13	2265567,86
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-4210316,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Replacement Cost [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2103300,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ticket [\$]	0,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00	6962490,00
Fixed Operation & Maintenance [\$]	0,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00	-56088,00
Variable O&M [\$]	0,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00	-4842,00
BMS System Maintenance	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-12105,00	0,00	0,00	0,00
Residual Value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	280440,00	0,00	0,00	0,00	0,00	434602,51
Operation [\$]	0,00	-85445,06	-86299,51	-87162,51	-88034,13	-88914,48	-89803,62	-90701,66	-91608,67	-92524,76	-93450,01
Net Cash [\$]	-4210316,74	3334869,936	3334015,485	3333152,49	3332280,865	1508540,524	3330511,379	3317508,343	3328706,326	3327790,239	3761467,498
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-7905090,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Replacement Cost [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3926160,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ticket [\$]	0,00	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80	11743399,80
Fixed Operation & Maintenance [\$]	0,00	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60	-104697,60
Variable O&M [\$]	0,00	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40	-9038,40
BMS System Maintenance	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-22596,00	0,00	0,00	0,00
Residual Value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	523488,00	0,00	0,00	0,00	0,00	806698,46
Operation [\$]	0	-158425,06	-160009,31	-161609,40	-163225,49	-164857,75	-166506,33	-168171,39	-169853,10	-171551,63	-173267,15
Net Cash [\$]	-7905090,223	5607274,944	5605690,693	5604090,6	5602474,506	1955122,251	5599193,674	5574932,611	5595846,897	5594148,366	6027035,355

Υπολογισμός Λειτουργίας Πλοίου με Μπαταρίες και αυξημένο εισιτήριο

Πίνακας Π.1.4: Κόστη για 10 χρόνια λειτουργίας για τα πλοία με μπαταρίες και αυξημένο εισιτήριο

Delos Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-3694773,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Replacement Cost [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1822860,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ticket [\$]	0,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00	2056540,00
Maintenance [\$]	0,00	-52806,00	-52806,00	-52806,00	-52806,00	-52806,00	-52806,00	-63297,00	-52806,00	-52806,00	-52806,00
Residual Value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	243048,00	0,00	0,00	0,00	0,00	372095,95
Operation [\$]	0,00	-48653,33	-49139,86	-49631,26	-50127,57	-50628,85	-51135,14	-51646,49	-52162,95	-52684,58	-53211,43
Net Cash [\$]	-3694773,483	1955080,672	1954594,139	1954102,74	1953606,428	373293,1518	1952598,863	1941596,512	1951571,047	1951049,418	2322618,522
Orca Express											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-4210316,74										
Replacement Cost [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2103300,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ticket [\$]	0,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00	2985300,00
Maintenance [\$]	0,00	-60930,00	-60930,00	-60930,00	-60930,00	-60930,00	-60930,00	-73035,00	-60930,00	-60930,00	-60930,00
Residual Value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	280440,00	0,00	0,00	0,00	0,00	434602,51
Operation [\$]		-56963,38	-57533,01	-58108,34	-58689,42	-59276,32	-59869,08	-60467,77	-61072,45	-61683,17	-62300,01
Net Cash [\$]	-4210316,74	2867406,624	2866836,99	2866261,66	2865680,577	1042233,683	2864500,919	2851797,229	2863297,551	2862686,826	3296672,501
Total											
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Initial Cost [\$]	-7905090,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Replacement Cost [\$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-3926160,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ticket [\$]	0,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00	5041840,00
Maintenance [\$]	0,00	-113736,00	-113736,00	-113736,00	-113736,00	-113736,00	-113736,00	-136332,00	-113736,00	-113736,00	-113736,00
Residual Value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	523488,00	0,00	0,00	0,00	0,00	806698,46
Operation [\$]	0	-105616,70	-106672,87	-107739,60	-108817,00	-109905,17	-111004,22	-112114,26	-113235,40	-114367,76	-115511,43
Net Cash [\$]	-7905090,223	4822487,296	4821431,129	4820364,4	4819287,004	1415526,834	4817099,783	4793393,74	4814868,598	4813736,244	5619291,022

Υπολογισμός Επιχορήγησης

Πίνακας Π.1.5: Υπολογισμός επιχορήγησης από την Ευρωπαϊκή Ένωση

Delos Express											
DIC						3694773,48					
DNR						656105,52					
Eligible Cost						4248989,51					
Pro-Rata						0,82242334					
EU Grant						2970297,93					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Net Cash Flow	-724475,5492	165733,24	170616,89	175683,64	180940	-1393419,26	192048,87	187424,61	204000,48	210311,23	562765,82
Orca Express											
DIC						4210316,74					
DNR						924353,14					
Eligible Cost						4841864,25					
Pro-Rata						0,7804552					
EU Grant						3212029,42					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Net Cash Flow	-998287,321	212637,39	218287,14	224148,87	230230,14	-1586321,22	243082,9	237765,88	256911,4	264213,47	623397,17
Total											
DIC						7905090,22					
DNR						1580458,66					
Eligible Cost						9090853,76					
Pro-Rata						0,80007076					
EU Grant						6182327,35					
Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Net Cash Flow	-1722762,87	378370,63	388904,03	399832,51	411170,14	-2979740,48	435131,77	425190,49	460911,88	474524,7	1186162,99