



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Διπλωματικής:

Τεχνικό-οικονομική διερεύνηση μετατροπής επιβατηγών-οχηματαγωγών πλοίων μικρών αποστάσεων της ελληνικής επικράτειας σε υβριδικά

Σωκράτης Σαλλής

Επιβλέπων Καθηγητής : Προυσαλίδης Ιωάννης
Καθηγητής της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2024

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνο-οικονομική μελέτη εφικτότητας για τη μετασκευή επιβατηγού οχηματαγωγού πλοίου κλειστού τύπου σε υβριδικό. Πιο συγκεκριμένα, τα μετασκευασμένα πλοία θα διαθέτουν μπαταρίες και θα έχουν την ικανότητα να κινηθούν μόνο με αυτές ως μέσο πρόωσης, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μέσω της ανάλυσης αυτής, μελετώνται οι θαλάσσιες γραμμές Πειραιάς-Αίγινα, Ζάκυνθος-Κυλλήνη, Κεφαλονιά-Κυλλήνη, Κέρκυρα-Ηγουμενίτσα και Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη, χρησιμοποιώντας κάποια από τα αντίστοιχα πλοία που τις διενεργούν. Οι εν λόγω γραμμές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς τα πλοία που εκτελούν αυτές τις γραμμές πραγματοποιούν πολλά ταξίδια ημερησίως, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικά οφέλη τόσο από την άποψη της μείωσης του λειτουργικού κόστους για τους πλοιοκτήτες όσο και της μείωσης των εκπομπών καυσαερίων.

Η έρευνα ξεκινά εξετάζοντας την σημερινή θέση των υβριδικών τεχνολογιών γενικότερα στον πλανήτη μας, αφού πέρα από τις ηλεκτρικές λύσεις, υπάρχουν πολλές ακόμη. Θέτει τα θεμέλια έτσι να κατανοήσουμε τις δυνατότητες και την ευελιξία που μπορεί να εμφανίζει το προς μελέτη υβριδικό σύστημα στα πλοία.

Στο επόμενο κεφάλαιο, η μελέτη εμβαθύνει στις ιδιαιτερότητες των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων, παρουσιάζοντας τις αρχές λειτουργίας τους και τη στρατηγική λειτουργίας των ηλεκτρικών εξαρτημάτων παράλληλα με τις παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης. Χρησιμοποιώντας τα υβριδικά οχήματα, μετατοπίζει το ενδιαφέρον της στον κύριο τομέα μελέτης τη ναυτιλία, παρουσιάζοντας όλα τα υπάρχοντα σύγχρονα συστήματα πρόωσής, δίνοντας εφαρμογές μαζί με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για το καθένα. Τελευταίο θεωρητικό κεφάλαιο αποτελεί η ανάδειξη της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων, όπου επισημαίνεται η σημασία της και οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε να μελετηθεί στην παρούσα έρευνα.

Στη συνέχεια, η διπλωματική επικεντρώνεται στο επιλεγμένο υβριδικό σύστημα, παρουσιάζοντας τη μέθοδο μετασκευής και όλο το βασικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί στο πλοίο μετά τη μετασκευή. Αναλύονται έτσι οι μπαταρίες και το BMS, επιλέγοντας τον τύπο και το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί στην μελέτη περίπτωσης. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι ηλεκτρικοί κινητήρες και το ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοσίας που θα χρησιμοποιηθεί. Έπειτα, δίνεται όλη η μεθοδολογία υπολογισμού όλων των επιμέρους ηλεκτρικών στοιχείων του υβριδικού συστήματος και της εκτίμησης κόστους της μετασκευής, παρουσιάζοντας αναλυτικά τον τρόπο αλλά και τις θεωρήσεις που έγιναν ώστε να καταλήξουμε στους τελικούς υπολογισμούς.

Στο έβδομο κεφάλαιο, εφαρμόζεται η μεθοδολογία αυτή σε εννέα συνολικά πλοία. Χρησιμοποιώντας κυρίως πραγματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις ναυτιλιακές εταιρίες, παρουσιάζεται η επιλεγμένη χωρητικότητα των μπαταριών καθώς και όλα τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού συστήματος. Για το κάθε πλοίο εκπονείται και η αντίστοιχη οικονομική μελέτη σε βάθος πενταετίας, δίνοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα για την κάθε μελέτη περίπτωσης. Η συγκεκριμένη έρευνα ολοκληρώνεται δίνοντας συμπεράσματα για τα στοιχεία που μελετήθηκαν και προτείνοντας πιθανές μελλοντικές μελέτες που μπορούν να διευρύνουν τη παρούσα έρευνα.

Abstract

The purpose of this thesis is the techno-economic feasibility study for the conversion of a closed-type passenger ferry to a hybrid one. More specifically, the retrofitted ships will be equipped with batteries and will have the ability to move only with them as a means of propulsion for a certain period of time. Through this analysis, the Piraeus-Aegina, Zakyntos-Kyllini, Kefalonia-Kyllini, Corfu-Igoumenitsa and Alexandroupoli-Samothraki sea routes are being studied using some of the respective ships carrying out the routes. These routes are of particular interest as the vessels operating these routes make many voyages per day, which leads to significant benefits both in terms of reduced operating costs for shipowners and reduction of exhaust emissions.

The research starts by examining the current status of hybrid technologies in general on our planet, as there are many more than just electric solutions. It lays the foundations thus to understand the potential and flexibility that the hybrid system, using in this study, can display in vessels.

In the next chapter, the study delves into the specifics of hybrid electric vehicles, presenting their operating principles and the strategy of operating the electric components alongside traditional internal combustion engines. Using hybrid vehicles, it shifts its focus to the main area of study shipping, presenting all existing modern propulsion systems, giving applications along with advantages and disadvantages for each. The last theoretical chapter is the highlight of Short Sea Shipping, noting its importance and the reasons why it was chosen to be studied in this research.

The thesis then focuses on the chosen hybrid system, presenting the retrofit method and all the basic equipment that will be used on board after the retrofit. The batteries and the BMS are thus analysed, selecting the type and model to be used in the case study. In addition, the electric motors and the electric power supply network that will be used are presented. Then, the whole methodology of calculating all the individual electrical components of the hybrid system and the cost estimation of the retrofit is given, detailing the way and the considerations made to arrive at the final calculations.

In chapter seven, this methodology is applied to a total of nine ships. Using mainly real data collected from the shipping companies, the selected battery capacity and all other technical characteristics of the electrical system are presented. For each ship, the corresponding economic study is also carried out over a five-year period, giving a complete picture of each case study. This research is completed by giving conclusions on the elements studied and suggesting possible future studies that can extend this research.

Ευχαριστίες

Είμαι βαθιά ευγνώμων στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου, κ. Ι. Προυσαλίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτή τη διπλωματική, και για την αφοσίωσή του να με καθοδηγήσει και να με υποστηρίξει σε όλες τις προκλήσεις που αντιμετώπισα κατά την εκπόνησή της. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους τους οικείους μου και ειδικά προς την οικογένεια μου, για την αδιάκοπη υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ναυτιλιακή εταιρία 2wayferries και συγκεκριμένα τον κ. Συρίγο, την κα Κιουράνα και για την ένθερμη βοήθεια που μου παρείχαν, προτείνοντας εθελοντικά και δίνοντας μου, τελικά, την εύκαιρα να ταξιδέψω δίπλα στο πλήρωμα (τους κύριους Διακάκη, Τσάβαρη, Παχωπός και Βακόνδιος) με τα πλοία που μελετήθηκαν στην συνέχεια στην διπλωματική αυτή, συνομιλώντας μαζί τους για τη συλλογή όλων των αναγκαίων δεδομένων. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ναυτιλιακή εταιρία Kerkyra Lines και συγκεκριμένα τον κύριο Κοτινά, που ανταποκρίθηκε άμεσα στο αίτημα μου για την κοινοποίηση δεδομένων των πλοίων τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ Χριστόπουλο και την εταιρία Wartsila Hellas που μοιράστηκαν δεδομένα από τις έρευνες τους και με βοήθησαν στην κατανόηση στην πράξη διάφορων στοιχείων της διπλωματικής.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	5
Λίστα Εικόνων.....	7
Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα Μετάδοσης Κίνησης	9
1.1 Ορισμός Υβριδικής Τεχνολογίας Συστημάτων Μετάδοσης Κίνησης	9
1.2 Τύποι Υβριδικών Τεχνολογιών Μετάδοσης Κίνησης.....	9
1.3 Ιστορικό Πλαίσιο και Εξέλιξη Υβριδικών Τεχνολογιών	10
1.4 Δομή και Τομείς Εμβάθυνσης Εργασίας.....	11
Κεφάλαιο 2 ^ο Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (ΥΗΑ).....	12
2.1 Γενικά Στοιχεία	12
2.2 Διατάξεις ΥΗΑ - Ανάλυση Συστήματος Μετάδοσης	13
2.2.1 Σε σειρά ΥΗΑ	13
2.2.2 Σε παραλληλία ΥΗΑ	15
2.2.3 Σε σειρά και παραλληλία ΥΗΑ	16
2.2.4 Σύνθετα ΥΗΑ.....	16
2.3 Έλεγχος Συστήματος Μετάδοσης Κίνησης (ΣΜΚ)	17
2.4 ΥΗΑ και Ύπαρξη της Τεχνολογίας σε Μονοθέσια Αυτοκίνητα Formula 1	19
Κεφάλαιο 3 ^ο Σύγχρονα Συστήματα Πρόωσης Πλοίων	21
3.1 Γενική Παρουσίαση Συστημάτων Πρόωσης.....	21
3.2 Μηχανικό Σύστημα Πρόωσης.....	21
3.3 Ηλεκτρικό Σύστημα Πρόωσης	23
3.4 Σύστημα Υβριδικής Πρόωσης.....	26
3.5 Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Παροχής Ισχύος.....	29
3.6 Υβριδική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος	31
3.7 Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Συνεχούς Ρεύματος (DC)	33
3.8 Συμπεράσματα Συστημάτων Πρόωσης.....	35
Κεφάλαιο 4 ^ο Ναυτιλία Μικρών Αποστάσεων.....	36
4.1 Εισαγωγή στη Ναυτιλία Μικρών Αποστάσεων	36
4.2 Η Σημασία της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων.....	36
4.3 Τα Πλεονεκτήματα της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων	37
4.4 Λειτουργικές Πτυχές της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων.....	38
4.5 Προκλήσεις και Μελλοντικές Προοπτικές της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων.....	40
Κεφάλαιο 5 ^ο Μελέτη Υβριδικού Ηλεκτρικού Πλοίου	41
5.1 Γενική Επισκόπηση της Μετασκευής	41
5.2 Μελέτη τύπου Μπαταριών και Διάταξη	43

5.3 Σύστημα Ηλεκτρικής Τροφοδοσίας Πλοίου	46
5.4 Παρουσίαση και Επιλογή Ηλεκτρικών Κινητήρων	48
Κεφάλαιο 6 ^ο Μεθοδολογία Υπολογισμού Ηλεκτρικών Στοιχείων Υβριδικού Συστήματος και Εκτίμησης Κόστους Μετασκευής	51
6.1 Υπολογισμός παρούσας ενέργειας λειτουργίας πλοίων υπό μελέτη	51
6.2 Υπολογισμός Χωρητικότητας Μπαταριών	53
6.3 Υπολογισμός Ισχύος Φορτιστών, Ηλεκτρικού Μοτέρ και Αντιστροφέα	56
6.4 Εκτίμηση Βάρους ηλεκτρικής εγκατάστασης	57
6.5 Εκτίμηση Κόστους Μετασκευής	58
6.6 Μελέτη Εφικτότητας Μετασκευής σε Υβριδικό Πλοίο.....	59
6.7 Υπολογισμός ετήσιου εισοδήματος από τη Μετασκευή	61
6.8 Προσεγγιστικός προσδιορισμός φορτίου λειτουργίας κύριων μηχανών	63
6.9 Προσδιορισμός ειδικής κατανάλωσης καυσίμου	66
Κεφάλαιο 7 ^ο Μελέτη Περίπτωσης Μετασκευής	68
7.1 Μελέτη διαδρομής Πειραιάς-Αίγινα	68
7.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου.....	68
7.1.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Ποσειδών Ελλάς»	70
7.1.3 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Απόλλων Ελλάς»	76
7.1.4 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Αχαιός»	82
7.2 Μελέτη διαδρομής Ζάκυνθος-Κυλλήνη	88
7.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου.....	88
7.2.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Μάρε ντι Λεβάντε».....	90
7.3 Μελέτη διαδρομής Κεφαλονιά(Πόρος)-Κυλλήνη	96
7.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου.....	96
7.3.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Φιορε ντι Λεβάντε»	98
7.4 Μελέτη διαδρομής Κέρκυρα-Ηγουμενίτσα	104
7.4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου.....	104
7.4.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Αγία Θεοδώρα»	106
7.4.3 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Κέρκυρα Εξπρές»	112
7.5 Μελέτη διαδρομής Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη	118
7.5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου.....	118
7.5.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Αδαμάντιος Κοραής».....	120
7.5.3 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Άρτεμις»	126
Κεφάλαιο 8 ^ο Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	132
Βιβλιογραφία.....	135

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Σε Σειρά ΥΗΑ	14
Εικόνα 2. Σε παραλληλία ΥΗΑ	15
Εικόνα 3. Σε σειρά και παραλληλία ΥΗΑ	16
Εικόνα 4. Σύνθετα ΥΗΑ	17
Εικόνα 5. Τυπικό Διάγραμμα Στρατηγικής Ελέγχου ΥΗΑ	18
Εικόνα 6. Μηχανικό Σύστημα Πρόωσης.....	23
Εικόνα 7. Ηλεκτρικό Σύστημα Πρόωσης	26
Εικόνα 8. Εναλλακτικό	26
Εικόνα 9. Σύστημα Υβριδικής Πρόωσης	28
Εικόνα 10. Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Παροχής Ισχύος	31
Εικόνα 11. Υβριδική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος.....	33
Εικόνα 12. Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Συνεχούς Ρεύματος	34
Εικόνα 13. Αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων τύπων της ναυτιλιακής δραστηριότητας	36
Εικόνα 14. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος μπαταρίας & επιμέρους εξαρτημάτων .	44
Εικόνα 15. Μπαταρία U27-24XP	45
Εικόνα 16. Δίκτυο Συνεχούς Ρεύματος.....	47
Εικόνα 17. Δίκτυο Εναλλασσόμενου Ρεύματος	48
Εικόνα 18. Διάγραμμα αντίστασης/ταχύτητας για διάφορους τύπους πλοίων	64
Εικόνα 19. Ειδική κατανάλωση καυσίμου/φορτίο λειτουργίας για Κύριες μηχανές.....	66
Εικόνα 20. Ειδική κατανάλωση καυσίμου/φορτίο λειτουργίας για Γεννήτριες.....	66
Εικόνα 21. Χάρτης Θέσης Αίγινας.....	69
Εικόνα 22. Χάρτης Αίγινας.....	69
Εικόνα 23. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Ποσειδών Ελλάς»	71
Εικόνα 24. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Ποσειδών Ελλάς»	72
Εικόνα 25. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Ποσειδών Ελλάς»	74
Εικόνα 26. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Ποσειδών Ελλάς»	75
Εικόνα 27. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Απόλλων Ελλάς»	77
Εικόνα 28. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Απόλλων Ελλάς».....	78
Εικόνα 29. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Απόλλων Ελλάς».....	80
Εικόνα 30. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Απόλλων Ελλάς».....	81
Εικόνα 31. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Αχαιός».....	83
Εικόνα 32. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Αχαιός»	84
Εικόνα 33. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Αχαιός».....	86
Εικόνα 34. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Αχαιός»	87
Εικόνα 35. Χάρτης Θέσης Ζακύνθου	88
Εικόνα 36. Χάρτης Ζακύνθου	88
Εικόνα 37. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Μάρε ντι Λεβάντε»	91
Εικόνα 38. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Μάρε ντι Λεβάντε»	92
Εικόνα 39. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Μάρε ντι Λεβάντε»	94
Εικόνα 40. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Μάρε ντι Λεβάντε»	95
Εικόνα 41. Χάρτης Θέσης Κεφαλονιάς	96
Εικόνα 42. Χάρτης Κεφαλονιάς	96
Εικόνα 43. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Φιορε ντι Λεβάντε».....	99
Εικόνα 44. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Φιορε ντι Λεβάντε»	100
Εικόνα 45. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Φιορε ντι Λεβάντε»	102

Εικόνα 46. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Φιορε ντι Λεβάντε»	103
Εικόνα 47. Χάρτης Θέσης Κέρκυρας.....	104
Εικόνα 48. Χάρτης Κέρκυρας.....	104
Εικόνα 49. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Αγία Θεοδώρα».....	107
Εικόνα 50. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Αγία Θεοδώρα».....	108
Εικόνα 51. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Αγία Θεοδώρα».....	110
Εικόνα 52. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Αγία Θεοδώρα»	111
Εικόνα 53. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Κέρκυρα Εξπρές»	113
Εικόνα 54. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Κέρκυρα Εξπρές».....	114
Εικόνα 55. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Κέρκυρα Εξπρές».....	116
Εικόνα 56. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Κέρκυρα Εξπρές»	117
Εικόνα 57. Χάρτης Θέσης Σαμοθράκης	118
Εικόνα 58. Χάρτης Σαμοθράκης	118
Εικόνα 59. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Αδαμάντιος Κοραής»	121
Εικόνα 60. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Αδαμάντιος Κοραής».....	122
Εικόνα 61. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Αδαμάντιος Κοραής»	124
Εικόνα 62. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Αδαμάντιος Κοραής».....	125
Εικόνα 63. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Άρτεμις»	127
Εικόνα 64. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Άρτεμις»	128
Εικόνα 65. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Άρτεμις»	130
Εικόνα 66. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Άρτεμις»	131
Εικόνα 67. Πίνακας Αποτελεσμάτων	133

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα Μετάδοσης Κίνησης

1.1 Ορισμός Υβριδικής Τεχνολογίας Συστημάτων Μετάδοσης Κίνησης

Η τεχνολογία υβριδικών συστημάτων μετάδοσης κίνησης σηματοδοτεί μια καίρια πρόοδο στις μεταφορές, ενσωματώνοντας δύο ή περισσότερους τύπους πηγών ενέργειας για την κίνηση των οχημάτων. Η ενσωμάτωση αυτή αποσκοπεί στην αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων κάθε πηγής ενέργειας, αντισταθμίζοντας παράλληλα τους περιορισμούς τους, βελτιστοποιώντας την αποδοτικότητα και τις επιδόσεις. Αν και συνήθως συνδέεται με τα ηλεκτρικά υβριδικά - συνδυάζοντας κινητήρες εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) με ηλεκτροκινητήρες και μπαταρίες - η έννοια περιλαμβάνει ένα ευρύτερο φάσμα συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα, μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, ακόμη και φυσικές δυνάμεις.

Η βασική φιλοσοφία της υβριδικής τεχνολογίας επικεντρώνεται στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της λειτουργικής αποδοτικότητας. Καθώς η παγκόσμια τάση στρέφεται προς τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, τα υβριδικά συστήματα κίνησης προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη οδό για τη συμφιλίωση της αυξανόμενης ζήτησης για κινητικότητα με την επιτακτική ανάγκη για περιβαλλοντική διαχείριση. Η ευελιξία των υβριδικών συστημάτων, ικανή να προσαρμόζεται σε διαφορετικά ενεργειακά τοπία και λειτουργικές απαιτήσεις, υπογραμμίζει τη δυνατότητά τους να μετατρέψουν τις μεταφορές σε μια πιο βιώσιμη επιχείρηση.

1.2 Τύποι Υβριδικών Τεχνολογιών Μετάδοσης Κίνησης

Το πεδίο των υβριδικών τεχνολογιών συστημάτων μετάδοσης κίνησης είναι πλούσιο και ποικίλο, περιλαμβάνοντας διάφορες διαμορφώσεις που η καθεμία είναι κατάλληλη για διαφορετικές εφαρμογές στο πεδίο των βιώσιμων μεταφορών. Η κατανόηση αυτών των τύπων προσφέρει εικόνα της ευελιξίας και της καινοτομίας που ενυπάρχουν στα υβριδικά συστήματα:

Υβριδικά συστήματα διπλού καυσίμου: Τα οχήματα που μπορούν να λειτουργούν με δύο τύπους καυσίμων, όπως βενζίνη και ντίζελ ή βενζίνη και συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), ενσωματώνουν την έννοια των υβριδικών οχημάτων διπλού καυσίμου. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την ανταπόκριση στις διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων, της διαθεσιμότητας και των περιβαλλοντικών πολιτικών, αναδεικνύοντας την προσαρμοστικότητα του υβριδικού συστήματος σε διαφορά καύσιμα. Τα υβριδικά συστήματα διπλού καυσίμου αποτελούν παράδειγμα της δέσμευσης για μείωση της εξάρτησης από τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, συμβάλλοντας στη σημαντική μείωση των εκπομπών και προσφέροντας μια μεταβατική τεχνολογία προς τις πλήρως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Υβριδικά με ηλιακή υποβοήθηση: Ενσωματώνοντας φωτοβολταϊκά πάνελ, τα υβριδικά με ηλιακή υποβοήθηση αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να συμπληρώσουν την κύρια πηγή

ενέργειας του οχήματος. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση επεκτείνει την επιχειρησιακή εμβέλεια και την αποδοτικότητα παρέχοντας βοηθητική ενέργεια και υποστηρίζοντας τη φόρτιση της μπαταρίας. Τα υβριδικά συστήματα με ηλιακή υποβοήθηση αποτελούν ένα βήμα προς την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις μεταφορές, υπογραμμίζοντας τη δυνατότητα της ηλιακής ενέργειας να ενισχύσει τη βιωσιμότητα των υβριδικών συστημάτων.

Συστήματα με υποβοήθηση από τον άνεμο: Στον τομέα της ναυτιλίας, τα συστήματα υποβοηθούμενα από τον άνεμο χρησιμοποιούν πανιά για τη σύλληψη της αιολικής ενέργειας, προσφέροντας ένα αξιόπιστο συμπλήρωμα στην παραδοσιακή ισχύ του κινητήρα. Αυτή η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αντικατοπτρίζει μια αρχαία αλλά καινοτόμο προσέγγιση για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, αναδεικνύοντας τις προσπάθειες της ναυτιλιακής βιομηχανίας να υιοθετήσει βιώσιμες μεθόδους πρόωσης. Η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε υβριδικά συστήματα όχι μόνο μειώνει σημαντικά την κατανάλωση, αλλά συνδυάζεται επίσης με τους ευρύτερους στόχους της μείωσης των καυσαερίων και της ενίσχυσης της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στις θαλάσσιες μεταφορές.

Ηλεκτρομηχανικά υβριδικά συστήματα: Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν μηχανικές διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας, όπως σφόνδυλοι, με ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης. Τα ηλεκτρομηχανικά υβριδικά συστήματα υπερέχουν σε σενάρια που χαρακτηρίζονται από συχνές στάσεις και εκκινήσεις, όπου μπορούν να ανακτήσουν και να επαναχρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά την κινητική ενέργεια. Αυτή η ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης ενέργειας που διαφορετικά θα χανόταν ως θερμότητα κατά την πέδηση αποτελεί παράδειγμα της αποδοτικότητας και της καινοτομίας που βρίσκεται στην καρδιά της υβριδικής τεχνολογίας, προσφέροντας σημαντικές βελτιώσεις στην οικονομία καυσίμου και στη μείωση των εκπομπών τόσο σε εφαρμογές αυτοκινήτων όσο και σε εφαρμογές θαλάσσιων μεταφορών.

1.3 Ιστορικό Πλαίσιο και Εξέλιξη Υβριδικών Τεχνολογιών

Η εξέλιξη των υβριδικών τεχνολογιών συστημάτων μετάδοσης κίνησης από τις πρώτες ιδέες μέχρι τα εξελιγμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα αφηγείται μια ιστορία συνεχούς καινοτομίας που επηρεάζεται από τη συμβολή οικονομικών, τεχνολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Η σύλληψη των υβριδικών οχημάτων ανάγεται στις αρχές της δεκαετίας του 1900, με το όχημα Lohner-Porsche Mixte Vehicle να πρωτοπορεί στην ενσωμάτωση ηλεκτρικών κινητήρων με βενζινοκινητήρα. Αυτό το πρώιμο πείραμα έθεσε τις θεμελιώδεις αρχές για τα μελλοντικά υβριδικά συστήματα, καταδεικνύοντας τη δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών πηγών ενέργειας για την πρόωση οχημάτων. Στη συνέχεια, οι πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 προκάλεσαν την αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για τις υβριδικές τεχνολογίες, καθώς ο κόσμος αντιμετώπιζε την έλλειψη καυσίμων και την εκτίναξη των τιμών του πετρελαίου. Την περίοδο αυτή παρατηρήθηκαν σημαντικές έρευνες και πειραματισμοί με στόχο την ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων αποδοτικής χρήσης καυσίμου για τα συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για τις

εξελίξεις της υβριδικής τεχνολογίας που θα ακολουθούσαν. Στα τέλη του 20ου αιώνα παρατηρήθηκε η εμπορική αξιοποίηση της υβριδικής τεχνολογίας με την παρουσίαση του Toyota Prius το 1997. Ως το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα μαζικής παραγωγής, το Prius αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο, αποδεικνύοντας την εμπορική βιωσιμότητα των υβριδικών συστημάτων. Η επιτυχία του Prius και οι επακόλουθες εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και στις μεθόδους πρόωσης διέυρυναν σημαντικά το πεδίο εφαρμογής των υβριδικών συστημάτων. Σήμερα, τα ηλεκτρικά υβριδικά συστήματα, ειδικότερα, αποτελούν απόδειξη της προόδου που έχει σημειωθεί στην ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων για τις μεταφορές, προσφέροντας μια συναρπαστική εναλλακτική λύση σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα εσωτερικής καύσης όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών και την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης.

1.4 Δομή και Τομείς Εμβάθυνσης Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα επικεντρωθεί ειδικά με την ηλεκτρική υβριδική τεχνολογία, η οποία αποτελεί την επιτομή της εναρμόνισης των ΜΕΚ με ηλεκτροκινητήρες και προηγμένα συστήματα μπαταριών. Τα ηλεκτρικά υβριδικά αντιπροσωπεύουν μια κρίσιμη εξέλιξη στις προσπάθειες του τομέα των μεταφορών για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, προσφέροντας μια πρακτική πορεία προς τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, αρχικά, θα γίνει εμβάθυνση και παρουσίαση των υβριδικών αυτοκινήτων καθώς και θα αναλυθούν αυτά ως προς τις αρχές λειτουργίας τους και στον τρόπο χρήσης των ηλεκτρικών εξαρτημάτων. Σε επόμενο κεφάλαιο, θα περάσουμε πλέον στον τομέα της ναυτιλίας και θα γίνει προσπάθεια να ενσωματώσουμε όλα όσα παρουσιάστηκαν νωρίτερα από την αυτοκινοβιομηχανία στον ναυτιλιακό τομέα, αφού τελικός στόχος της μελέτης είναι η μετασκευή πλοίων σε υβριδικά. Έτσι, θα αναπτυχθούν και θα συγκριθούν σε πρώτο στάδιο, όλα τα σύγχρονα συστήματα πρόωσης πλοίων, βοηθώντας στην κατανόηση της μελέτης αλλά και την ευκολότερη παρουσίαση των επόμενων στοιχείων που θα ακολουθήσουν. Έπειτα θα γίνει μια μικρή αναφορά στην Ναυτιλία μικρών αποστάσεων, καθώς όλες οι περιπτώσεις μελέτης που θα εφαρμοστούν αφορούν επιβατηγά πλοία στην ελληνική επικράτεια που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία ναυτιλίας. Με αυτόν τον τρόπο θα κατανοήσουμε σε βάθος τις συνθήκες λειτουργίας των πλοίων και θα αναλύσουμε τις προκλήσεις που θα παρουσιαστούν στα επίπεδα της μελέτης περίπτωσης.

Στο κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος πρόωσης που πρόκειται να εγκατασταθεί στα υπό μελέτη πλοία, συγκρίνοντας τις διάφορες πιθανές επιλογές και καταλήγοντας στη βέλτιστή. Όλοι οι μέθοδοι υπολογισμού μαζί με την αντίστοιχη θεωρία, θα καλυφθούν στο 6^ο κεφάλαιο, δίνοντας αναλυτικά στοιχεία για το πως προέκυψαν τα νούμερα και τα συμπεράσματα του 7^{ου} κεφαλαίου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική παρουσίαση όλων των περιπτώσεων μελέτης μετασκευής πλοίων σε υβριδικά. Συνολικά μελετήθηκαν 5 γραμμές τις ελληνικής επικράτειας και 9 πλοία που διενεργούν δρομολόγια σε αυτές σε τεχνικό αλλά και οικονομικό επίπεδο. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μια σύντομη συλλογή όλων των συμπερασμάτων της έρευνας σε συνδυασμό με μια παρουσίαση πιθανών εξελεγκτικών και μελλοντικών σχετικών ερευνών.

Κεφάλαιο 2^ο Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (ΥΗΑ)

2.1 Γενικά Στοιχεία

Ένα υβριδικό αυτοκίνητο λειτουργεί συνδυάζοντας δύο (ή περισσότερων) διαφορετικών ειδών πηγών ενέργειας με σκοπό την παραγωγή κινητικής ενέργειας (και συνεπώς κίνησης του οχήματος). Τα κοινώς διαδομένα υβριδικά αυτοκίνητα είναι εκείνα που συνδυάζουν ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης (ΚΕΚ) και έναν (ή περισσότερους) ηλεκτροκινητήρα και ονομάζονται Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (ΥΗΑ). Στη γενική περίπτωση λειτουργίας του ΥΗΑ, ο ηλεκτρικός κινητήρας τροφοδοτείται από ένα κουτί μπαταριών, το οποίο έχει τη δυνατότητα να επαναφορτίζεται με διάφορους τρόπους. Αυτό υλοποιείται είτε κατά τη διάρκεια κίνησης του οχήματος μέσω αναγεννητικής πέδησης ή μέσω του ΚΕΚ ή σε πιο εξιδεικευμένες περιπτώσεις από τα καυσαέρια του ΚΕΚ. Τέλος, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις αυτό συμβαίνει όταν το όχημα είναι σταθμευμένο και η μπαταρία φορτίζεται από μια εξωτερική πηγή.

Οι αρχές λειτουργίας των ΥΗΑ σε κάποιες περιπτώσεις είναι περίπλοκες καθώς υπάρχουν διάφορα είδη συστημάτων μετάδοσης της ενέργειας ώστε να καταλήξει τελικά το όχημα να κινείται. Έτσι ανάλογα με τη χρησιμότητα που προσφέρει το κάθε όχημα, έχει γίνει και μια αντίστοιχη βελτιστοποίηση του συστήματος αυτού μετάδοσης. Επιπλέον τα οχήματα αυτά διαθέτουν συνήθως πολύπλοκο σύστημα εσωτερικού υπολογιστή το οποίο κάθε στιγμή «αποφασίζει» με ποιον τρόπο θα αποδώσει την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται το όχημα ώστε να επιτευχθούν οι ανάγκες/εντολές του οδηγού κάθε χρονική στιγμή. Έτσι, η μετάδοση κίνησης του οχήματος εναλλάσσεται συνεχώς ανάλογα με την ταχύτητα που έχει το όχημα, την επιτάχυνση καθώς και τις εξωτερικές συνθήκες όπως η πρόσφυση και η κλίση του εδάφους. Οι στόχοι της συνολικής αυτής βελτιστοποίησης εξαρτάται από τη χρήση του οχήματος και συνήθως περιλαμβάνουν την οικονομία για τα συμβατικά οχήματα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις αγωνιστικών ή σπορ αυτοκινήτων την μέγιστη απόδοση ταχύτητας.

Συνήθως, κατά την εκκίνηση του οχήματος και στις χαμηλές ταχύτατες γίνεται χρήση κυρίως του ηλεκτροκινητήρα αφού αυτός έχει μεγαλύτερη απόδοση και επιτάχυνση σε αυτές τις συνθήκες και στη συνέχεια γίνεται και χρήση του ΚΕΚ για να πλαισιώσει την απαιτούμενη ισχύ που χρειάζεται. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να υπογραμμίσουμε ότι συνήθως ο ηλεκτροκινητήρας έχει μικρότερη υποδύναμη σε σχέση με τον ΚΕΚ (στα συμβατικά αυτοκίνητα, που πωλούνται αυτή την περίοδο στην αγορά, είναι περίπου το ένα τρίτο).

Τρόποι που το ηλεκτρικό σύστημα βοηθά αποτελεσματικά στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης:

- Η υψηλότερη απόδοση λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών σε όλο το φάσμα της ροπής στροφών τους παρέχει ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα στη βελτίωση της απόδοσης καυσίμου στα ΥΗΑ. Γενικά, η απόδοση των ΚΕΚ είναι μικρότερη από το ήμισυ της ηλεκτρικής μηχανής. Άλλωστε, οι ΚΕΚ έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας ταχύτητας-ροπής για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης και η απόδοσή του ποικίλλει σημαντικά σε όλη το φάσμα ταχύτητας-ροπή του κινητήρα. Ανεξάρτητα από αυτό το ζήτημα, η πραγματική οδήγηση έχει διακυμάνσεις ισχύς και ροπής οι οποίες πρέπει να επιτυγχάνονται με

κάποιο αποδοτικό τρόπο για την οδήγηση. Στα ΥΗΑ γίνεται αποτελεσματική εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων των ηλεκτροκινητήρων με τη συμμετοχή ενός λιγότερο περίπλοκου μηχανικού συστήματος μετάδοσης. Ωστόσο, για να μεγιστοποιηθεί το πλήρες δυναμικό του ηλεκτρομηχανολογικού συστήματος των ΥΗΑ, η συμμετοχή προηγμένων συστημάτων ελέγχου είναι υποχρεωτική.

- Η ανάκτηση κινητικής ενέργειας είναι ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των ΥΗΑ το οποίο δεν είναι διαθέσιμο στα κανονικά συμβατικά οχήματα. Η κινητική ενέργεια του οχήματος γενικά διαχέεται ως θερμότητα στα φρένα κατά τη φάση της πέδησης του οχήματος. Ωστόσο, στα ΥΗΑ, με την ικανότητα της διπλής λειτουργίας της ηλεκτρικής μηχανής (κινητήρας και γεννήτρια), παρέχεται μια εξαιρετική ευκαιρία να ανακτηθεί αυτή η σπατάλη ενέργειας και να αποθηκευτεί στην μπαταρία. Αυτή η ελεύθερη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να τροφοδοτήσει την επακόλουθη ζήτηση επιτάχυνσης του όχημα. Αυτή κατάσταση λειτουργίας είναι σημαντική κατά τη διάρκεια των συνθηκών οδήγησης στην πόλη με στάσεις και μεταβολές του οχήματος, σε σύγκριση με σταθερές και ομαλές συνθήκες οδήγησης στον αυτοκινητόδρομο.
- Μια αξιοσημείωτη ποσότητα ενέργειας σπαταλάται κατά τη λειτουργία του οχήματος στο ρελαντί, κάτι που συμβαίνει πολύ κατά τις ώρες αιχμής οδήγησης. Τα κανονικά συμβατικά οχήματα συνήθως αφήνουν αναμμένο τον κινητήρα στο ρελαντί. Τα υβριδικά οχήματα εκμεταλλεύονται αποτελεσματικά αυτήν την ευκαιρία, σβήνοντας τον ΚΕΚ κατά τη διάρκεια του ρελαντί του οχήματος και χρησιμοποιούν το αμιγώς ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης για ελιγμούς του οχήματος σε αργή κυκλοφορία. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αυξάνει σημαντικά την απόδοση καυσίμου μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές καυσαερίων.
- Μερικά είδη ΥΗΑ (plug-in hybrid) ενσωματώνουν μεγαλύτερες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας στους ηλεκτροκινητήρες. Αυτοί οι τύποι ΥΗΑ μπορούν να επιτύχουν σημαντική αυτονομία μόνο με ηλεκτρική ενέργεια χωρίς τη συμμετοχή του ΚΕΚ. Η μπαταρία του οχήματος επαναφορτίζεται από το δίκτυο όταν το όχημα είναι σταθμευμένο.

2.2 Διατάξεις ΥΗΑ- Ανάλυση Συστήματος Μετάδοσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα διαφορά συστήματα μετάδοσης που χρησιμοποιούν τα ΥΗΑ.

2.2.1 Σε σειρά ΥΗΑ

Σε αυτή την περίπτωση ο ηλεκτροκινητήρας είναι υπεύθυνος για την κύρια κινητήριο δύναμη του αυτοκινήτου. Ο ΚΕΚ χρησιμοποιείται για να φορτίζει τις μπαταρίες μέσω μιας γεννήτριας. Το σύστημα του ΚΕΚ με την γεννήτρια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να δώσει απευθείας ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα χωρίς να φορτίζει/αποφορτίζει τις μπαταρίες. Το θετικό της συγκεκριμένης διάταξης είναι πως υπάρχει η δυνατότητα απόζευξης του ΚΕΚ, μέσω ηλεκτρικών μεθόδων, από τον κινητήριο άξονα του οχήματος, όπως σε μια ηλεκτρονιζελοατμομηχανή τραίνου.

Οι διαδικασίες λειτουργίας της παραπάνω διάταξης μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

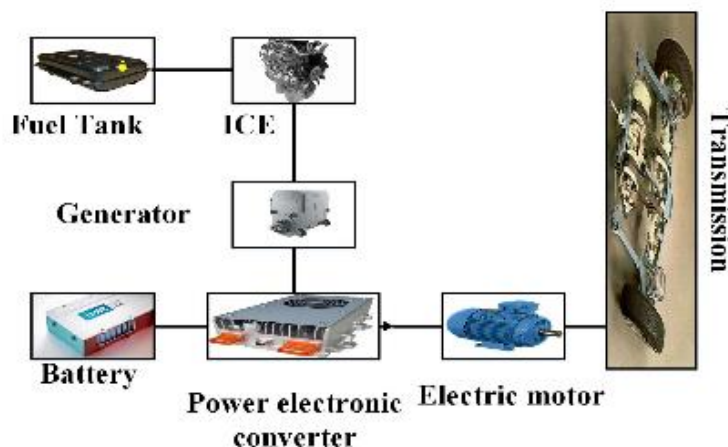
- Στην εκκίνηση ο ΚΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας δίνουν κινητήρια δύναμη στο άξονα.
- Σε ελαφρύ φορτίο, η δύναμη του ΚΕΚ είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για να κινηθεί το όχημα και έτσι αυτή η παραπάνω ενέργεια χρησιμοποιείται για να φορτίσουν τις μπαταρίες.
- Κατά της διάρκεια της επιβράδυνσης, ο ηλεκτροκινητήρας δρα ως γεννήτρια και έτσι φορτίζονται οι μπαταρίες.
- Στο ρελαντί, ο ΚΕΚ συνήθως φορτίζει τις μπαταρίες μέσω του συστήματος γεννήτριας που συνδέεται.

Αυτή η διάταξη ΥΗΑ μπορεί να παρομοιαστεί και ως ένα ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο το οποίο όμως τροφοδοτείται με ένα ΚΕΚ σαν φορτιστή, το οποίο δίνει επιπλέον θετικά στοιχεία αξιοποίησης στη λειτουργία του. Στα αρνητικά αυτού του είδους διάταξης μπορούμε να συμπεριλάβουμε το ότι αυτό η ροή της ενέργειας κινείται από ΚΕΚ τη γεννήτρια και έπειτα στον ηλεκτρικό κινητήρα μέχρι να φτάσει στον κύριο άξονα, κάτι το οποίο έχει ως αναγκαίο τις πολλές μετατροπές ενέργειας από ηλεκτρική σε μηχανική και αντίστροφα δημιουργώντας (ειδικά στα υψηλά επίπεδα ισχύος) μεγάλες απώλειες.

Η συγκεκριμένη κατηγορία θεωρείται κατάλληλη για βαριά οχήματα μεγάλων αποστάσεων, όπως τα τρένα και τα βαριά οχήματα του στρατού, στα οποία είναι πολύ μεγάλες οι απαιτήσεις ισχύος. Καλή απόδοση έχει επίσης σε καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα, όπως τα αστικά λεωφορεία και τα μεγάλα αστικά οχήματα.

Οι καταστάσεις λειτουργίας μπορεί να είναι:

- Χρήση μόνο μπαταρίας
- Χρήση μόνο ΚΕΚ
- Συνδυαστική Κατάσταση: Μπαταρίας και ΚΕΚ μαζί
- Κατάσταση Διαχωρισμού της ισχύος: ο ΚΕΚ με την γεννήτρια δίνουν ενέργεια για να κινηθεί το όχημα αλλά και ταυτόχρονα να φορτίσουν οι μπαταρίες
- Σταθερό όχημα και φόρτισης της μπαταρίας
- Αναγεννητική Πέδηση



Εικόνα 1. Σε Σειρά ΥΗΑ

2.2.2 Σε παραλληλία ΥΗΑ

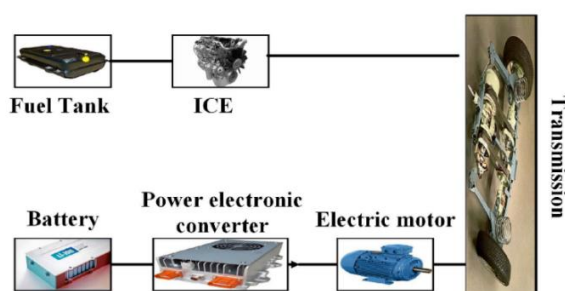
Σε αυτή την κατηγορία ο ΚΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας προσδίδουν ξεχωριστά ισχύ στον κινητήριο άξονα του οχήματος, όντας συνδεδεμένοι με αυτόν με δύο ξεχωριστούς συμπλέκτες. Η κινητήρια δύναμη προέρχεται είτε από τον ΚΕΚ είτε από τον ηλεκτροκινητήρα, είτε και από τους δύο ταυτόχρονα. Ο ηλεκτροκινητήρας, βέβαια, μπορεί να λειτουργήσει και ως γεννήτρια, έχοντας έτσι τη δυνατότητα να απορροφήσει ενέργεια όταν το όχημα επιβραδύνει ή όταν μόνο ο ΚΕΚ προσδίδει κινητήρια δύναμη και αυτή είναι περισσότερη από αυτή που χρειάζεται το όχημα (σε μια κατηφόρα για παράδειγμα). Θετικό της συγκεκριμένη διάταξης είναι πως μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε κινητήρες και εξαρτήματα με μικρότερη κλίμακα ισχύος (ειδικά για τον ηλεκτροκινητήρα) και επομένως θα υπάρχουν μικρότερες απώλειες στις μετατροπές ισχύος. Η συγκεκριμένη κατηγορία θεωρείται μη αποδοτική για καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα που είδαμε στα σε σειρά ΥΗΑ. Μια παραλλαγή της διάταξης αυτής είναι τα οχήματα στα οποία ο ΚΕΚ κινεί τους εμπρόσθιους δυο τροχούς και ο ηλεκτροκινητήρας του οπίσθιους.

Οι καταστάσεις λειτουργίας μπορεί να είναι:

- Κίνηση μόνο με Ηλεκτροκινητήρα
- Κίνηση μόνο με ΚΕΚ
- Συνδυαστική Κατάσταση: ΚΕΚ μαζί με Ηλεκτροκινητήρα
- Κατάσταση Διαχωρισμού της ισχύος: ο ΚΕΚ διασπά την ενεργεία για να κινήσει το όχημα αλλά και ταυτόχρονα να φορτίσουν οι μπαταρίες
- Σταθερό όχημα και φόρτιση της μπαταρίας
- Αναγεννητική Πέδηση

Οι καταστάσεις λειτουργίας λαμβάνουν χώρο στις παρακάτω συνθήκες:

- Στην εκκίνηση ή στην κατάσταση όπου ο οδηγός θέλει να επιταχύνει πολύ και πατάει όλο το γκάζι, χρησιμοποιούνται και οι δύο πηγές ενέργειας. Συνήθως μάλιστα ο ΚΕΚ δίνει το 80% της ισχύος.
- Στην κατάσταση ομαλής οδήγησης γίνεται χρήση μόνο του ΚΕΚ
- Κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης, ο ηλεκτροκινητήρας δρα σαν γεννήτρια και φορτίζει τις μπαταρίες
- Σε καταστάσεις χαμηλής ζήτησης δύναμης, ο ΚΕΚ είναι η κινητήρια δύναμη του οχήματος και ταυτόχρονα φορτίζει τις μπαταρίες μέσω του ηλεκτροκινητήρα που εναλλάσσεται σε γεννήτρια.



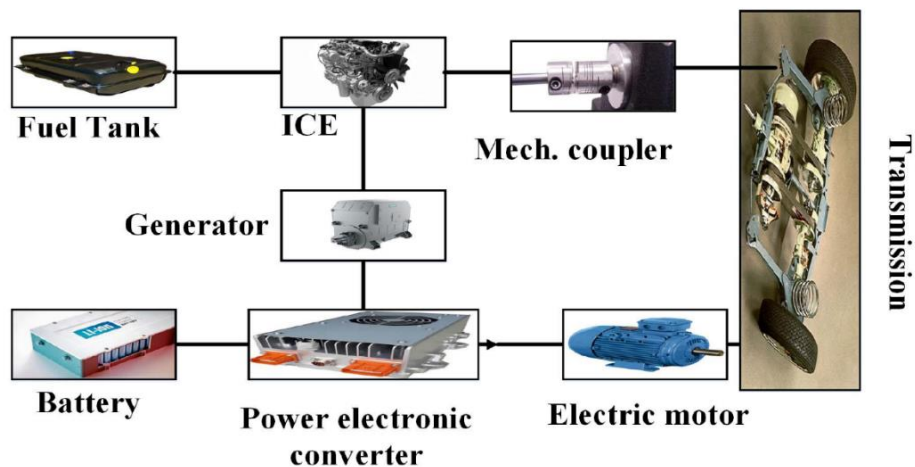
Εικόνα 2. Σε παραλληλία ΥΗΑ

2.2.3 Σε σειρά και παραλληλία ΥΗΑ

Αυτή η κατηγορία διάταξης συστήματος μετάδοσης ΥΗΑ συνδυάζει τις δύο παραπάνω και έτσι ενσωματώνει τα πλεονεκτήματα και των δύο. Με αυτόν τον τρόπο, είναι εφικτό να έχουμε μικρότερους, σε θέματα ισχύος, ηλεκτροκινητήρες και μπαταρίες καθώς και μικρότερους ΚΕΚ. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα να έχουμε καλύτερη απόδοση σε χαμηλές αλλά και υψηλές ταχύτητες. Παρόλα αυτά, γίνεται φανερό πως η πολυπλοκότητα της διάταξης αυξάνεται και είναι αναγκαία πλέον η χρήση ενός πλανητικού συστήματος κιβωτίου για τις ανάγκες του συστήματος. Σε αυτή την κατηγορία υπάρχει η κατάσταση στην οποία ο ηλεκτροκινητήρας είναι ο κυρίαρχος, ενώ σε άλλες καταστάσεις είναι ο ΚΕΚ.

Οι καταστάσεις στις οποίες λειτουργούν είναι στην ουσία ο συνδυασμός των άλλων δυο διατάξεων και μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Εκκίνηση: ενεργός μόνο ο Ηλεκτροκινητήρας
- Μέγιστη Επιτάχυνση (όλο το γκάζι πατημένο): και οι δύο ενεργοί
- Κανονική (Σταθερή οδήγηση): εξαρτάται από την κατάσταση που υπάρχει καθώς και το ποιος κινητήρας έχει επιλεχθεί να είναι κυρίαρχος τη δεδομένη χρονική στιγμή
- Φρενάρισμα ή Επιβράδυνση: Ηλεκτροκινητήρας σαν γεννήτρια
- Σταθερό όχημα/Ρελαντί: ο ΚΕΚ δίνει ενέργεια στη γεννήτρια για να φορτίσει τις μπαταρίες



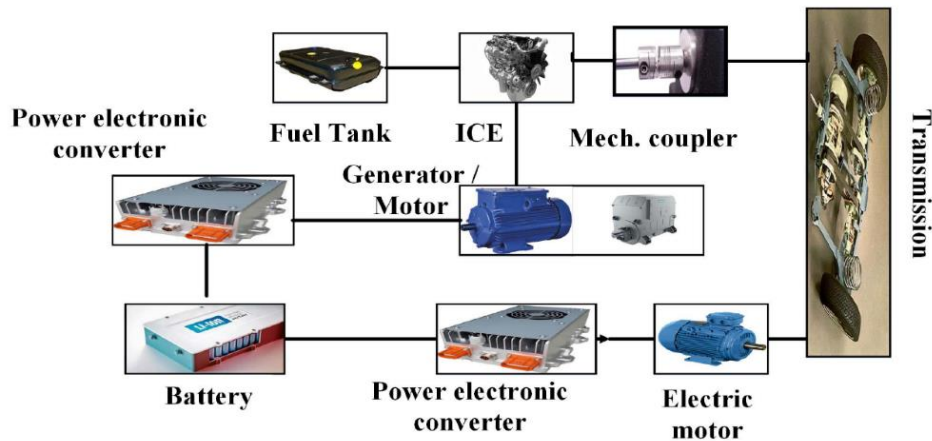
Εικόνα 3. Σε σειρά και παραλληλία ΥΗΑ

2.2.4 Σύνθετα ΥΗΑ

Αυτή η διάταξη είναι παρόμοια με την προηγούμενη αλλά έχει μια βασική διαφορά, περιέχει έναν επιπλέον μετατροπέα ισχύος διπλής κατεύθυνσης. Έτσι αυτός ο μετατροπέας δίνει τη δυνατότητα διπλής κατεύθυνσης της δύναμης ισχύος στον ηλεκτροκινητήρα. Αυτή η ικανότητα δίνει πολύπλευρες δυνατότητες και λειτουργίες όπως ο συνδυασμός του ΚΕΚ με δύο ηλεκτροκινητήρες (Ένα στους εμπρός τροχούς και έναν στους πίσω τροχούς). Παρόλα αυτά η πολυπλοκότητα του σε συνδυασμό με το επιπλέον κόστος κατασκευής, αποτελούν βασικά αρνητικά της διάταξης αυτής.

Οι καταστάσεις λειτουργίας λαμβάνουν χώρο στις παρακάτω συνθήκες:

- Εκκίνηση: ενεργός μόνο ο Ηλεκτροκινητήρες
- Μέγιστη Επιτάχυνση (όλο το γκάζι πατημένο): και οι τρεις ενεργοί
- Κανονική (Σταθερή οδήγηση): ο ΚΕΚ δίνει δύναμη στους εμπρός τροχούς και φορτίζει την μπαταρία μέσω του ενός ηλεκτροκινητήρα σαν γεννήτρια.
- Φρενάρισμα η Επιβράδυνση: και οι δύο Ηλεκτροκινητήρες σαν γεννήτρια
- Χαμηλή κατάσταση ισχύος: ο ένα ηλεκτροκινητήρας κινεί το όχημα και οι άλλοι δύο κινητήρες είναι κλειστοί



Εικόνα 4. Σύνθετα ΥΗΑ

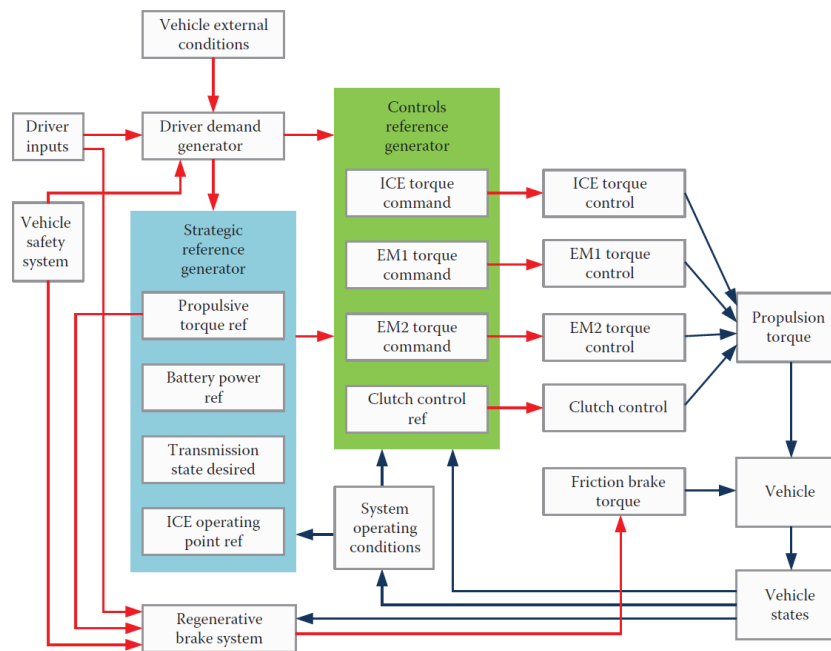
2.3 Έλεγχος Συστήματος Μετάδοσης Κίνησης (ΣΜΚ)

Ο έλεγχος του ΣΜΚ, όπως έγινε προφανές από τα παραπάνω, γίνεται με τη βοήθεια μια κεντρικής μονάδας ελέγχου που αποφασίζει, συνήθως δυναμικά, πως θα ανταποκριθεί το σύστημα μετάδοσης κίνησης με βάση κάποιους στόχους που έχουν τεθεί από τον κατασκευαστή του αυτοκινήτου. Συνήθως ο έλεγχος αυτός είναι έλεγχος που βασίζεται στη ροπή του αυτοκινήτου. Στο γενικό πρόβλημα, οι στόχοι αυτοί είναι να ανταποκρίνεται το όχημα στις απαιτήσεις του οδηγού, λαμβάνοντας όμως υπόψιν όλους του περιορισμούς που υπάρχουν από τα επιμέρους στοιχεία του ΣΜΚ (μπαταρίες, ηλεκτροκινητήρας, ΚΕΚ, κ.α.). Επιπλέον περιορισμοί αποτελούν η ανάγκη να επιτευχθεί ασφάλεια κατά την οδήγηση, η ικανότητα για τον οδηγό να μπορεί εύκολα να οδηγήσει το όχημα, η μείωση της κατανάλωσης και των ρύπων, ενώ τέλος σημαντική είναι και η προστασία από βλάβη των όλων επιμέρους στοιχείων του ΣΜΚ. Συνοπτικά μπορούμε να κατανεύμουμε τις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες στον έλεγχο του ΥΗΑ:

1. (Drive demand generator) Η καταστάσεις που αφορούν την ζήτηση της οδήγησης, δηλαδή ανάλογα με το τι ζητάει ο οδηγός πατώντας το πετάλι, τις γενικές ρυθμίσεις που έχει επιλέξει (όπως πχ sport οδήγηση, eco οδήγηση κ.α.) καθώς και τις στιγμιαίες ρυθμίσεις που μπορεί να έχει κάνει όπως πχ το cruise control ή το ERS (αφορά την σταθερότητα του αυτοκινήτου κατά την οδήγηση)
2. (Strategic Reference Generator) Δημιουργεί έλεγχο με βάση τη στρατηγική δηλαδή αποφασίζει αν ο ΚΕΚ θα είναι αναμμένος ή όχι, τι ταχύτητα κινητήρων απαιτείται, τι

ισχύ μπαταρίας και τι ροπή πρέπει να έχω στους τροχούς με βάση πάντα συνήθως την καλύτερη απόδοση του συστήματος

3. (Controls Reference Generator) Αυτό το επίπεδο ελέγχου αφορά τη ροπή των κινητήρων (ΗΛ και ΚΕΚ) και την κατάσταση του συμπλέκτη. Έχει ως στόχο να επιτυγχάνει κάποιες ανάγκες όπως το σύστημα start-stop και γενικότερα ανάγκες που έχουν να κάνουν με τον πιο εσωτερικό έλεγχο των κινητήρων.
4. (Regenerative Braking system control) Σύστημα ελέγχου αναγεννητικής πέδησης. Δίνει την ροπή επιβράδυνσης που χρειάζεται να επιτύχει το όχημα σύμφωνα με το πως πατάει ο οδηγός το φρένο καθώς και την κατάσταση που βρίσκεται το όχημα. Αποφασίζεται έτσι σε ποιο ποσοστό θα φρενάρει ο ηλεκτροκινητήρας το όχημα και σε ποιο τα μηχανικό σύστημα πέδησής (υδραυλικά φρένα).



Εικόνα 5. Τυπικό Διάγραμμα Στρατηγικής Ελέγχου ΥΗΑ

Γενικότερα ως μεταβλητές «εισαγωγής» στο σύστημα ελέγχου έχουμε την ταχύτητα του αυτοκινήτου, την κατάσταση λειτουργίας κάθε στιγμή του οχήματος και του συστήματος (πχ θερμοκρασία των κινητήρων)

Στο 3^ο στάδιο που αναφέρθηκε παραπάνω, διευρύνονται ερωτήματα όπως ποια είναι η επιθυμητή κατάσταση λειτουργίας, αν ο ΚΕΚ είναι ανοιχτός ή σβηστός, καθώς στο σημείο λειτουργίας που είναι ενεργοποιημένος ο ΚΕΚ, ποιες πρέπει να είναι οι καταστάσεις λειτουργίας του.

Όρια χρήσης ηλεκτροκινητήρα και ΚΕΚ

Στην έρευνα αυτής της κατάστασης ο κατασκευαστής ορίζει κάποιες καμπύλες ανάλογα με την επιτάχυνση που θέλει να επιτύχει κάθε στιγμή ο οδηγός και με την δεδομένη ταχύτητα του οχήματος την συγκεκριμένη χρονική στιγμή (λαμβάνοντας έτσι υπόψιν και την στιγμιαία ισχύ). Για τα περισσότερα μεσαίου μεγέθους ΥΗΑ τα όρια για τη λειτουργία μόνο του ηλεκτροκινητήρα είναι μεταξύ 5 και 15 kW και εξαρτάται φυσικά από τα χαρακτηριστικά των

επιμέρους στοιχείων του ΣΜΚ που φέρουν. Η απόφαση αυτή φυσικά δεν είναι τόσο απλή και συνήθως υπεισέρχονται και άλλοι παράμετροι όπως η κατάσταση της μπαταρίας κάθε χρονική στιγμή αφού όσο πιο ξεφόρτιστη είναι τόσο μικρότερη ισχύ μπορεί να δώσει για κάποιο χρονικό διάστημα και αυτό θα μειώσει το σημείο λειτουργίας μόνο του ηλεκτροκινητήρα. Έτσι, γενικά θέλουμε να κρατάμε την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας σε σχετικά σταθερά επίπεδα μέσα στους κύκλους λειτουργίας ώστε να μπορεί να αποδώσει σε κανονικές συνθήκες. Σημαντικό είναι ακόμα να μην έχουμε μια ασταθής κατάσταση που ο ΚΕΚ ανάβει και σβήνει καθώς εκεί τελικά έχουμε πολύ κακή απόδοση. Για να αποφευχθεί αυτό μπορεί να μεταβάλουμε τις παραμέτρους που ορίζουν τα όρια χρησιμοποιώντας για παράδειγμα κάποια μεταβλητή χρόνου (υστέρηση). Άλλες καταστάσεις που λαμβάνονται υπόψιν είναι αυτές που έχουν να κάνουν με τη θερμοκρασία του ΚΕΚ και των περιφερειακών του. Μπορεί για παράδειγμα να είναι καλό να έχουμε προθερμάνει τον ΚΕΚ ώστε να αποδίδει καλύτερα ή όταν θέλουμε να έχουμε ανοιχτό το καλοριφέρ στο αυτοκίνητο πάλι είναι μια κατάσταση λειτουργίας που συνήθως η συνολική απόδοση βελτιώνεται αν είναι αναμμένος ο ΚΕΚ. Τέλος, σε ακραίες διακυμάνσεις του γκαζιού από τον οδηγό μπορεί επίσης να με συμφέρει να ανάψω τον ΚΕΚ νωρίτερα καθώς είναι σχεδόν βέβαιο ότι ο οδηγός θα τον χρειαστεί. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια που ο ΚΕΚ ανάβει δημιουργώ ένα φαινόμενο πολύ πιο «βαρύ» για τον ΚΕΚ σε σχέση με όταν αυτός σβήνει. Επομένως η απόφαση του να σβήσουμε τον ΚΕΚ είναι και αυτός πολύ σημαντικός παράγοντας.

2.4 ΥΝΑ και Ύπαρξη της Τεχνολογίας σε Μονοθέσια Αυτοκίνητα Formula 1

Τα μονοθέσια της Formula 1 (F1) χρησιμοποιούν πλέον, πολύπλοκα υβριδικά συστήματα μετάδοσης κίνησης που συνδυάζουν έναν παραδοσιακό κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) με μονάδες ηλεκτροκινητήρα/γεννήτριας. Το υβριδικό σύστημα μετάδοσης κίνησης σε ένα μονοθέσιο της F1 αποτελείται από:

Κινητήρας εσωτερικής καύσης (ICE): τροφοδοτούνται από εξαιρετικά προηγμένα ΚΕΚ που έχει κυβισμό 1,6 λίτρων και περιορίζονται σε μέγιστο όριο 15.000 σ.α.λ. Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούν άμεσο ψεκασμό καυσίμου και υπερσυμπιεστή για την παραγωγή ισχύος και είναι εξαιρετικά βελτιστοποιημένοι για μηχανική και ενεργειακή απόδοση.

Σύστημα ανάκτησης ενέργειας (ERS): διαθέτουν επίσης ένα εξαιρετικά προηγμένο ERS που συλλαμβάνει και αποθηκεύει ενέργεια που διαφορετικά θα χανόταν κατά το φρενάρισμα και άλλες λειτουργίες. Το ERS αποτελείται από δύο μονάδες:

- *Motor Generator Unit - Kinetic (MGU-K):* είναι μια μονάδα γεννήτριας κινητήρα που συνδέεται με το σύστημα μετάδοσης κίνησης του αυτοκινήτου. Κατά το φρενάρισμα, το MGU-K λειτουργεί ως γεννήτρια, συλλαμβάνοντας την κινητική ενέργεια που διαφορετικά χάνεται και αποθηκεύοντάς την σε μπαταρία. Κατά την επιτάχυνση, το MGU-K μπορεί να λειτουργήσει ως κινητήρας, παρέχοντας πρόσθετη ισχύ στο σύστημα μετάδοσης κίνησης. Κύριες συνθήκες χρήσεις του MGU-K αποτελούν: Προσπέραση αντίπαλου οδηγού, Άμυνα για να μην προσπεραστεί το μονοθέσιο από αντίπαλο οδηγό, Έξοδος από στροφές, Φρενάρισμα
- *MGU-Heat (MGU-H):* είναι μια άλλη μονάδα γεννήτριας κινητήρα που συνδέεται με τον υπερσυμπιεστή του ΚΕΚ. Το MGU-H μπορεί να λειτουργήσει ως γεννήτρια, συλλαμβάνοντας ενέργεια από τον υπερσυμπιεστή που διαφορετικά θα σπαταλούσε

ως θερμότητα. Το MGU-H μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως κινητήρας, παρέχοντας πρόσθετη ισχύ στον υπερσυμπιεστή για βελτίωση της απόδοσης. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του MGU-H είναι ότι βοηθά στη μείωση της υστέρησης turbo, που είναι η καθυστέρηση μεταξύ του όταν ο οδηγός πατάει το γκάζι και όταν ο υπερσυμπιεστής αρχίζει να παρέχει ώθηση. Το MGU-H μπορεί να παρέχει πρόσθετη ισχύ στον υπερσυμπιεστή για να τον βοηθήσει να γυρίσει πιο γρήγορα, μειώνοντας την καθυστέρηση turbo και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση. Κύριες συνθήκες χρήσεις του MGU-H αποτελούν: Επιτάχυνση, Φρενάρισμα, Όταν ο οδηγός αφήνει το γκάζι

Μπαταρία: Η ενέργεια που δεσμεύεται από το MGU-K αποθηκεύεται σε μπαταρία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πρόσθετης ισχύος στο σύστημα μετάδοσης κίνησης κατά την επιτάχυνση.

Ηλεκτρονικά Ισχύος: Τα ηλεκτρονικά ισχύος στο υβριδικό σύστημα μετάδοσης κίνησης ενός αυτοκινήτου F1 είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση της ροής ενέργειας μεταξύ του ΚΕΚ, του MGU-K, του MGU-H και της μπαταρίας. Επίσης, μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης που παράγεται από το ERS σε ισχύ AC χαμηλής τάσης που απαιτείται για την τροφοδοσία του συστήματος μετάδοσης κίνησης.

Κεφάλαιο 3^ο Σύγχρονα Συστήματα Πρόωσης Πλοίων

3.1 Γενική Παρουσίαση Συστημάτων Πρόωσης

Η τεχνολογία των συστημάτων πρόωσης έχει πλέον εξελιχθεί αρκετά και τα πλοία μπορούν να αποτελούνται από πάρα πολλά επιμέρους μηχανήματα και ανάλογα την κατάσταση λειτουργίας τους πλοίου, να λειτουργούν αναλόγως.

Στο κεφαλαίο αυτό θα γίνει παρουσίαση όλων των σύγχρονων συστημάτων πρόωσης των πλοίων και θα μελετηθούν αυτά ως προς τις υπάρχουσες εφαρμογές τους αλλά και τα θετικά και αρνητικά στοιχεία που τα διακατέχουν. Μια σύντομη λίστα των συστημάτων που θα ακολουθήσουν δίνεται παρακάτω:

- Μηχανικό σύστημα πρόωσης
- Ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης
- Σύστημα Υβριδικής Πρόωσης
- Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Παροχής Ισχύος
- Υβριδική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος
- Ηλεκτρική πρόωση με υβριδικό σύστημα συνεχούς ρεύματος (DC)

3.2 Μηχανικό Σύστημα Πρόωσης

Ένα τυπικό παράδειγμα ενός πλέον σύγχρονου πλοίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 6. Η κινητήρια μηχανή (1) που είναι συνήθως ντιζελομηχανή ή μηχανή ατμοστρόβιλου, δίνει περιστροφή σε μια προπέλα (3), είτε απευθείας είτε μέσω ενός κιβωτίου σχέσεων περιστροφής (2). Στη συγκεκριμένη έρευνα θα μελετήσουμε πλοία τα οποία χρησιμοποιούν κινητήρες ντίζελ καθώς αυτά είναι που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές της έρευνας. Επιπλέον υπάρχει ένα ξεχωριστό δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος (6) το οποίο είναι απαραίτητο για τη δημιουργία και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας για όλες τις επιμέρους λειτουργίες (5) που έχει το πλοίο, όπως για παράδειγμα η θέρμανση και το air-condition, τα ηλεκτρικά συστήματα ναυσιπλοΐας και πολλά άλλα απαραίτητα περιφερειακά συστήματα για την ομαλή λειτουργία του πλοίου. Το ηλεκτρικό αυτό σύστημα συνήθως τροφοδοτείται από γεννήτριες (7) ντίζελ.

Στην περίπτωση των μεγάλων εμπορικών πλοίων, οι μηχανές συνήθως λειτουργούν σε χαμηλές στροφές και επομένως δεν χρησιμοποιείται κιβώτιο. Η «ανάποδα» κίνηση του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί με αντίστροφη περιστροφή της κύριας μηχανής. Στον αντίποδα, τα μικρότερα πλοία που χρησιμοποιούν μεσόστροφους ή υψηλόστροφους κινητήρες ντίζελ, παρουσιάζουν κιβώτιο το οποίο χρησιμοποιείται και για την ανάποδη κίνηση του πλοίου.

Σχετικά με την προπέλα, οι προπέλες σταθερού βήματος είναι αυτές που συναντάμε κατά κόρων και για αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται σύστημα αντιστροφής της περιστροφής της ώστε να επιτυγχάνεται η ανάποδη κίνηση του πλοίου καθώς και το σταμάτημα το πλοίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση και προπελών μεταβλητού βήματος οι οποίες μπορούν να παράξουν αρνητική ώση και να σταματήσουν το πλοίο καθώς και να το κινήσουν ανάποδα, αλλάζοντας την θέση και την κλίση των πτερυγίων τους. Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα μελετηθούν κυρίως πλοία με προπέλες σταθερού βήματος.

Η συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων δεν είναι τυχαία η πιο διαδομένη την παρούσα χρονική περίοδο καθώς αποτελεί ένα σχετικά απλό σύστημα πρόωσης χρησιμοποιώντας μια απευθείας σύνδεση της προπέλας και της κινητήριας μηχανής κάτι το οποίο έχει και πολύ μικρές απώλειες. Επιπλέον το κόστος των εξαρτημάτων του συστήματος αυτού είναι χαμηλό σε σύγκριση με άλλα λόγω της απλότητας και της μεγάλης του χρήσης. Σχετικά με την αποδοτικότητα του συστήματος, το μηχανικό σύστημα πρόωσης με κινητήρα ντίζελ είναι αρκετά αποδοτικό σε καταστάσεις λειτουργίας στις οποίες το πλοίο ταξιδεύει στο 80-100% της ταχύτητας σχεδίασης. Έτσι είναι ιδανικό για πλοία τα οποία κάνουν μεγάλα ταξίδια όπως τα εμπορικά πλοία τα οποία κινούνται με μια σταθερή ταχύτητα στο μεγαλύτερο μέρος χρήσης τους.

Σε περιπτώσεις που το πλοίο κινείται με κάτω από το 70% της ταχύτητας σχεδίασης, η ντιζελομηχανή έχει πλέον χαμηλή αποδοτικότητα και αυξημένους ρύπους, ενώ όταν η μηχανή λειτουργεί κάτω από το 50% της ονομαστικής της ισχύς, έχουμε πολύ ανεβασμένες καταναλώσεις καυσίμου. Οι συνθήκες αυτές καθώς και οι συνθήκες στις οποίες το πλοίο αναγκάζεται να έχει αυξομειώσεις στην παροχή ισχύς (ελιγμοί) δημιουργούν καταπόνηση στα εξαρτήματα του συστήματος κάτι το οποίο αυξάνει το κόστος συντήρησης του συστήματος, Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι το σύστημα αυτό δεν διαθέτει κάποιο εναλλακτικό πλάνο κίνησης του πλοίου με το οποίο συνεπάγεται ότι αν προκύψει κάποια μηχανική βλάβη στο σύστημα αυτό, τότε το πλοίο σταματάει και δεν έχει πλέον κάποιο μέσο πρόωσης. Όσον αφορά την διαχείριση της ενέργειας δεν υπάρχει κάτι περίπλοκο αφού η μόνη κινητήρια δύναμη του πλοίου είναι η ντιζελομηχανή χωρίς να υπάρχει σημαντικό περιθώριο βελτίωσης. Τέλος, στο συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης τα επίπεδα θορύβου είναι αυξημένα και διάφορες τεχνικές μόνωσης είναι αναγκαστικό να ληφθούν.

Εφαρμογές

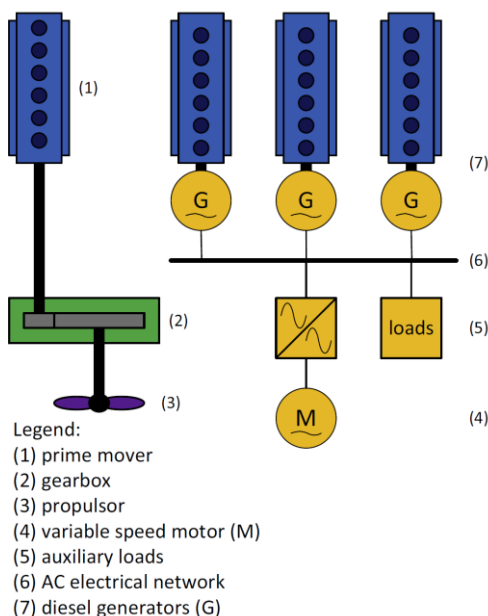
Η μηχανική πρόωση αναδείχθηκε αρχικά στα ατμόπλοια και μέχρι σήμερα παραμένει ένα σημαντικό σύστημα πρόωσης, αν και συχνά συμπληρώνεται ή αντικαθίσταται από ηλεκτρικά συστήματα που λύνουν κάποια βασικά προβλήματα της μηχανικής πρόωσης. Παρ' όλα αυτά, η μηχανική πρόωση παραμένει η προτιμώμενη μέθοδος για πολλά πλοία που ταξιδεύουν συνήθως με σταθερή ταχύτητα, επιτυγχάνοντας υψηλή απόδοση στην κατανάλωση καυσίμου, ιδιαίτερα υπό υψηλά φορτία λειτουργίας.

Υπάρχουν επίσης πλοία όπως τα ρυμουλκά, τα οποία χρησιμοποιούν τη μηχανική πρόωση αλλά με μικρότερα φορτία κινητήρα, όπως όταν ρυμουλκούν με μόνο το 20% της μέγιστης διαθέσιμης ισχύος τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μηχανική πρόωση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές ρύπων, κάτι που καθιστά την υβριδική ή/και την ηλεκτρική πρόωση πιο επιθυμητή λόγω της βελτιωμένης αποδοτικότητας καυσίμου υπό μερικό φορτίο.

Επιπλέον, πλοία με συγκεκριμένες λειτουργικές απαιτήσεις μπορούν να επωφεληθούν από τη μηχανική πρόωση με πολλαπλούς άξονες ή/και πολλαπλούς κινητήρες σε έναν άξονα, κάτι που βελτιώνει τόσο τη διαθεσιμότητα της πρόωσης όσο και την αποδοτικότητα. Φρεγάτες, για παράδειγμα, συχνά χρησιμοποιούν συνδυασμό κινητήρων ντίζελ και αεροστροβίλων για την πρόωσή τους. Παρά την αυξανόμενη προτίμηση για υβριδικά ή ηλεκτρικά συστήματα σε

νέα ναυτικά σχέδια, ειδικά σε μεγάλες χώρες, πολλά ναυτικά μικρότερων κρατών συνεχίζουν να εξαρτώνται από τη μηχανική πρόωση.

Τέλος, πλοία βυθοκόρησης ακόμα χρησιμοποιούν μηχανική πρόωση, λόγω της δυναμικής φύσης των απαιτήσεων της λειτουργίας τους. Αντίθετα, στα σκάφη αναψυχής δίνεται έμφαση στο να επιτευχθεί η επιθυμητή τελική ταχύτητα με την ελάχιστη δυνατή ισχύ, κάτι που καταφέρνει η μηχανική πρόωση με υψηλή αποδοτικότητα. Ωστόσο, η ανάγκη για βελτιωμένη άνεση και ευελιξία στη λειτουργία έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων για τα σκάφη αναψυχής.



Εικόνα 6. Μηχανικό Σύστημα Πρόωσης

3.3 Ηλεκτρικό Σύστημα Πρόωσης

Από τη δεκαετία του 1990, η ηλεκτρική πρόωση έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιπτώσεις, κυρίως στα πλοία κρουαζιέρας και σε μεγάλα πολεμικά πλοία. Η Εικόνα 7 παρουσιάζει μια κοινή διάταξη για την ηλεκτρική πρόωση όπου ένα ηλεκτρικό δίκτυο σταθερής συχνότητας υψηλής τάσης τροφοδοτείται από γεννήτριες ντίζελ (1). Αυτό το δίκτυο είναι υπεύθυνο για την παροχή ενέργειας στον ηλεκτρικό κινητήρα (5) και στα περιφερειακά φορτία (6), συνήθως μέσω ενός μετασχηματιστή (3).

Θετικά

Αρχικά, η ηλεκτρική πρόωση είναι μια πολύ συμφέρουσα επιλογή στην κατανάλωση καυσίμου όταν οι ανάγκες του πλοίου για ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία των βοηθητικών συστημάτων και περιφερειακών συσκευών του είναι άμεσα συγκρίσιμες με τις ενεργειακές ανάγκες για την πρόωσή του. Επιπλέον, αυτό ενδυναμώνεται όταν το πλοίο λειτουργεί σε μεταβλητές συνθήκες πρόωσης αφού η ενέργεια που παράγουν οι γεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις δύο αυτές ενεργειακές ανάγκες. Για την επίτευξη αυτού του συνδυασμού της ενέργειας, γίνεται πλέον χρήση ενός συστήματος διαχείρισης ισχύος

(Power Management System, PMS), το οποίο ελέγχει και συγχρονίζει την ενέργεια που παράγουν οι γεννήτριες με τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου, έχοντας πάντα ως στόχο την μέγιστη απόδοση.

Σχετικά με τις εκπομπές αζώτου, η επιλογή ενός ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης συνήθως επιφέρει μείωση σε σχέση με αυτές του συμβατικού μηχανικού συστήματος, αφού γίνεται χρήση περισσότερων από μία μηχανών πρόωσης και έτσι αυτές λειτουργούν σε χαμηλότερη ισχύ. Επίσης, λόγω του σχεδιασμού του ηλεκτρικού συστήματος, το σημείο λειτουργίας των γεννητριών είναι κοντά στις καταστάσεις σχεδιασμού τους και έτσι καταλήγουμε σε μείωση των ρύπων ή του καυσίμου.

Ένα ακόμη θετικό στοιχείο του συστήματος αυτού αποτελεί η μειωμένη συντήρηση που απαιτεί σε σχέση με τη μηχανική πρόωση, αφού οι γεννήτριες μοιράζονται τις ανάγκες για την πρόωση και τη ενεργειακή κάλυψη των υπόλοιπων περιφερειακών αναγκών του πλοίου και μάλιστα σε περίπτωση που έχουμε μικρή ζήτηση ενέργειας μπορούμε να διακόψουμε την λειτουργία κάποιων από αυτές.

Σημαντικό είναι εξίσου το γεγονός ότι έχουμε απουσία μηχανικής μετάδοσης και του κιβωτίου από τη κύρια μηχανή στην προπέλα σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα κάτι το οποίο καταλήγει στα μειωμένα επίπεδα θορύβου.

Τελευταίο θετικό στοιχείο της διάταξης αυτής αποτελεί η μεγάλη δυναμική του διαθεσιμότητα. Ο τομέας αυτός δεν έχει ακόμα μελετηθεί ευρέως και είναι αρκετά υποσχόμενος όταν οι γεννήτριες και το σύστημα πρόωσης έχουν μελετηθεί στο στάδιο του σχεδιασμού με βάση αυτόν.

Αρνητικά

- Η ροή της ενέργειας περνάει από πολλές μετατροπές και μηχανήματα ξεκινώντας από τις γεννήτριες μέχρι να καταλήξει στις προπέλες, δημιουργώντας σημαντικές απώλειες, ειδικά σε υψηλές ταχύτητες του πλοίου.
- Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει ανάγκη χρήσης επιπλέον ηλεκτρικών μηχανών από ότι θεωρητικά θα απαιτούνταν να είναι ενεργές τη δεδομένη στιγμή, όπως για παράδειγμα σε περίπτωση ελιγμών ή καταστάσεις δυναμικής ναυσιπλοΐας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κακή κατανάλωση καυσίμου και αυξημένων ρύπων.
- Λόγω της αυξημένης χρήσης ηλεκτρικών συστημάτων είναι πιο σύνηθες να έχουμε προβλήματα διακοπής της ισχύος στο πλοίο ή μη σταθερότητας της ισχύος.
- Υπάρχει πιθανή αυξημένη σπηλαιώση και θόρυβος της έλικας αφού τα περισσότερα ηλεκτρικά πλοία διαθέτουν προπέλες σταθερού βήματος και λειτουργούν με στρατηγική ελέγχου της ταχύτητας.

Καταλήγουμε λοιπόν πως η στρατηγική ελέγχου λειτουργίας του συστήματος παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική απόδοση του συστήματος και θα πρέπει πάντα να στοχεύσει στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων.

Εφαρμογές

Παρά το γεγονός ότι η εξοικονόμηση καυσίμου που επιτυγχάνεται με την ηλεκτρική πρόωση είναι συχνά μικρότερη λόγω των ηλεκτρικών απωλειών, η ηλεκτρική πρόωση έχει αποδειχθεί

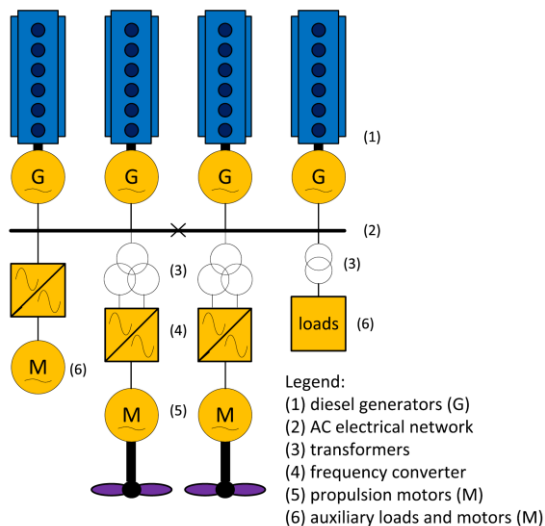
αρκετά επιτυχημένη στον τομέα των κρουαζιερόπλοιων. Η επιτυχία αυτή οφείλεται κυρίως στην αποδοτικότητα της διάταξης της ηλεκτρικής μονάδας, καθώς η αποτυχία μιας γεννήτριας ντίζελ έχει ελάχιστες επιπτώσεις στη λειτουργία του πλοίου. Επιπλέον, η ηλεκτρική πρόωση προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στην τοποθέτηση των μηχανών μέσα στο πλοίο, επειδή δεν χρειάζεται ο άξονας που χρησιμοποιείται στη μηχανική πρόωση, και αυτό επιτρέπει την καλύτερη διαρρύθμιση μέσα στο μηχανοστάσιο και την αποτελεσματικότερη ηχομόνωση των κινητήρων, μειώνοντας τον θόρυβο.

Εκτός από τα κρουαζιερόπλοια, η ηλεκτρική πρόωση χρησιμοποιείται επίσης σε άλλους τύπους πλοίων, όπως παγοθραυστικά και πολεμικά πλοία. Η απόφαση για την επιλογή της ηλεκτρικής πρόωσης εξαρτάται από το λειτουργικό προφίλ του πλοίου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι η ευκολία στην προσθήκη ή αφαίρεση εξαρτημάτων στη διάταξη (επεκτασιμότητα), όπως η αλλαγή γεννητριών, κινητήρων και ελίκων. Αυτό εξασφαλίζει τη διατήρηση της λειτουργικότητας του πλοίου ακόμα και σε περίπτωση αποτυχίας. Για παράδειγμα, η ύπαρξη πρόσθετων κινητήρων εγγυάται τη διαθεσιμότητα ισχύος σε περιπτώσεις αποτυχίας.

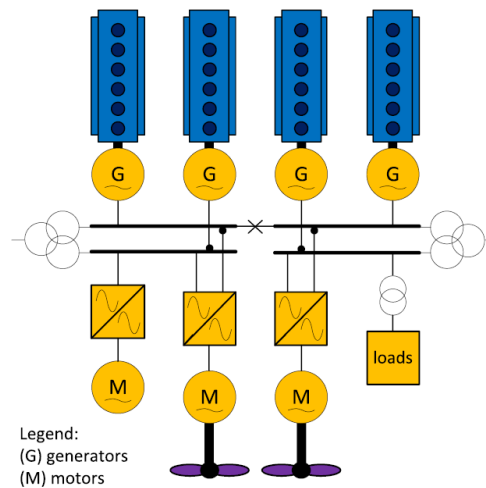
Ωστόσο, η λειτουργία επιπλέον κινητήρων οδηγεί στην κατανομή της ισχύος στους κινητήρες, οι οποίοι λειτουργούν με μερικό φορτίο, μειώνοντας την αποδοτικότητα του κινητήρα, αυξάνοντας την κατανάλωση και τις εκπομπές αζώτου.

Επιπρόσθετα, η ανάγκη για επαρκή εφεδρική ενέργεια και η απαίτηση εγκατεστημένης ισχύος για τη διατήρηση της λειτουργικότητας του πλοίου ακόμα και σε σενάρια εκτεταμένων αστοχιών καθορίζουν την εγκατεστημένη ισχύ και επηρεάζουν αναλόγως το κόστος της επένδυσης. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, έχει προταθεί μια εναλλακτική διάταξη, η οποία φαίνεται στην Εικόνα 8. Αυτή η διάταξη μειώνει την ανάγκη για μετασχηματιστές φάσης και περιορίζει τις αρνητικές επιπτώσεις μιας αστοχίας στο $\frac{1}{4}$ της εγκατεστημένης ισχύος.

Η επιτυχία της ηλεκτρικής πρόωσης στα εμπορικά πλοία έχει επίσης ενθαρρύνει την υιοθέτησή της σε πολεμικά πλοία, ιδίως στα αντιτορπιλικά. Ωστόσο, για να υλοποιηθεί αυτό, απαιτείται η ανάπτυξη ειδικών τεχνικών και προγραμμάτων που είναι κατάλληλα για αυτόν τον τύπο πλοίου. Τα προγράμματα ανάπτυξης στοχεύουν στην αύξηση της πυκνότητας ισχύος μέσω προηγμένων τεχνολογιών, όπως η χρήση μόνιμων μαγνητών νέας γενιάς και υπεραγωγών υψηλής θερμοκρασίας στον κινητήρα, για να διευκολυνθεί η εγκατάσταση ηλεκτρικής πρόωσης. Παραδείγματα τέτοιων προγραμμάτων υπάρχουν στο αεροπλανοφόρο Queen Elizabeth και στα Type 45 αντιτορπιλικά του Βασιλικού Ναυτικού του Ηνωμένου Βασιλείου. Αυτές οι εφαρμογές βασίζονται στον προηγμένο επαγωγικό κινητήρα, μια σημαντική τεχνολογία στον τομέα των ηλεκτρικών μηχανών. Στις ναυτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται πολλαπλές γεννήτριες AC σταθερής συχνότητας και υψηλής τάσης, που λειτουργούν με συμβατικές στρατηγικές ελέγχου.



Εικόνα 7. Ηλεκτρικό Σύστημα Πρόωσης



Εικόνα 8. Εναλλακτικό Ηλεκτρικό Σύστημα Πρόωσης

3.4 Σύστημα Υβριδικής Πρόωσης

Σε σενάρια όπου η απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία των βοηθητικών συστημάτων είναι ένα περιορισμένο μέρος της συνολικής ισχύος για την κίνηση του πλοίου, η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να προκαλέσει αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου στα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης. Αυτό οφείλεται στις απώλειες ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη μετατροπή. Επιπρόσθετα, η προσθήκη εξτρά ηλεκτρικού εξοπλισμού συνεπάγεται αύξηση στο βάρος και το μέγεθος του πλοίου, καθώς και στο συνολικό κόστος.

Στο πλαίσιο της υβριδικής πρόωσης, χρησιμοποιείται ένας συμβατικός μηχανικός κινητήρας για την παροχή αποδοτικής κίνησης σε υψηλές ταχύτητες. Αντίστοιχα, ένας ηλεκτροκινητήρας, είτε συνδεδεμένος με τον ίδιο άξονα μέσω ενός μειωτήρα είτε άμεσα συνδεδεμένος με τον άξονα που κινεί την έλικα, χρησιμοποιείται για αποδοτική κίνηση σε χαμηλότερες ταχύτητες, μειώνοντας την ανάγκη λειτουργίας του κύριου κινητήρα με μειωμένη απόδοση όταν λειτουργεί με μερικό φορτίο. Μια χαρακτηριστική διάταξη για αυτό το είδος υβριδικής πρόωσης μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα σχηματικό παράδειγμα όπως αυτό που παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.

Κατά τη λειτουργία του μηχανικού κινητήρα, το υβριδικό σύστημα μπορεί να παράγει ισχύ είτε μέσω του ηλεκτροκινητήρα είτε από μια σειρά γεννητριών, παρέχοντας έτσι περισσότερες επιλογές και αποδοτικότητα στη λειτουργία του πλοίου.

Θετικά

Τα υβριδικά συστήματα πρόωσης συνδυάζουν τις αρετές τόσο της μηχανικής όσο και της ηλεκτρικής πρόωσης, επιτρέποντας στα πλοία να απολαμβάνουν τα ξεχωριστά οφέλη που προσφέρει κάθε μέθοδος. Για την επίτευξη αυτών των οφελών, κρίσιμος είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος που να ισορροπεί ιδανικά μεταξύ της μηχανικής και της ηλεκτρικής συνιστώσας. Η επιλογή μιας αποτελεσματικής στρατηγικής ελέγχου είναι καθοριστική για την επίτευξη του βέλτιστου συμβιβασμού ανάμεσα σε αυτές τις δύο πτυχές.

Η βασική πρόκληση στον σχεδιασμό της υβριδικής πρόωσης βρίσκεται στην εξισορρόπηση των συμβιβασμών που αφορούν τις απαιτήσεις των δύο διαφορετικών συστημάτων. Επιπλέον, η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας στρατηγικής ελέγχου που επιτυγχάνει την ιδανική ισορροπία αποτελεί έναν κεντρικό στόχο για την αποδοτική λειτουργία του υβριδικού συστήματος πρόωσης.

Εφαρμογές

Υβριδικά συστήματα πρόωσης, που αποτελούν μίξη μηχανικής και ηλεκτρικής τεχνολογίας, εφαρμόζονται σε διάφορα είδη πλοίων όπως φρεγάτες, αντιτορπιλικά, ρυμουλκά και εμπορικά πλοία. Αυτά τα συστήματα δείχνουν να προσφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη, όπως αποδεικνύεται από την υβριδική πρόωση στον στόλο DDG-51 του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ. Το Ναυτικό των ΗΠΑ χρησιμοποιεί αεροστρόβιλους για τις κύριες μηχανές του, αλλά και για τις γεννήτριες, όπου η ειδική κατανάλωση των αεροστρόβιλων κάτω από μερικό φορτίο είναι πολύ μη αποδοτική, χειρότερη σε σύγκριση με τους κινητήρες ντίζελ. Η υβριδική πρόωση, σε αυτήν την περίπτωση, φαίνεται να προσφέρει αισθητή μείωση στην κατανάλωση καυσίμου.

Αντίστοιχα, γίνεται σύγκριση των οικονομικών οφελών ποικίλων υβριδικών διατάξεων για ρυμουλκά έκτακτης ανάγκης. Σε αυτά τα πλοία, τα οποία λειτουργούν με κινητήρες στο 20% της ισχύος τους ή λιγότερο, για το 90% του χρόνου πλεύσης τους, η πιο αποδοτική διάταξη πρόωσης ήταν η υβριδική με ένα μεγάλο και ένα μικρό κινητήρα σε κάθε άξονα. Αυτό επέτρεψε την αποδοτική υποστήριξη μέτριων ταχυτήτων περιπολίας για το 45% του χρόνου, ενώ η χρήση ηλεκτρικής πρόωσης για χαμηλές.

Τρόπος/Καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος

Σε ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης, ο ηλεκτροκινητήρας διαθέτει τη δυνατότητα να λειτουργεί και ως γεννήτρια στροφών, αναλαμβάνοντας επιπλέον ρόλους όταν η κύρια μηχανή του πλοίου μπορεί να ανταπεξέλθει στη ζήτηση για φορτίο. Για παράδειγμα, σε συστήματα όπως αυτό της ιταλικής φρεγάτας FREMM, η κύρια μηχανή είναι αεροστρόβιλος με τουρμπίνα ελεύθερης ισχύος, η οποία επιτρέπει την επίτευξη μέγιστης ισχύος σε οποιαδήποτε ταχύτητα. Αυτό σημαίνει ότι η μηχανή μπορεί να ανταποκριθεί σε επιπρόσθετη ζήτηση φορτίου, εκτός από περιπτώσεις ακραίας ταχύτητας ή εκτός του σχεδιασμένου φάσματος λειτουργίας. Κατά συνέπεια, ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να υποστηρίξει την λειτουργία ως γεννήτρια στροφών υπό τέτοιες συνθήκες.

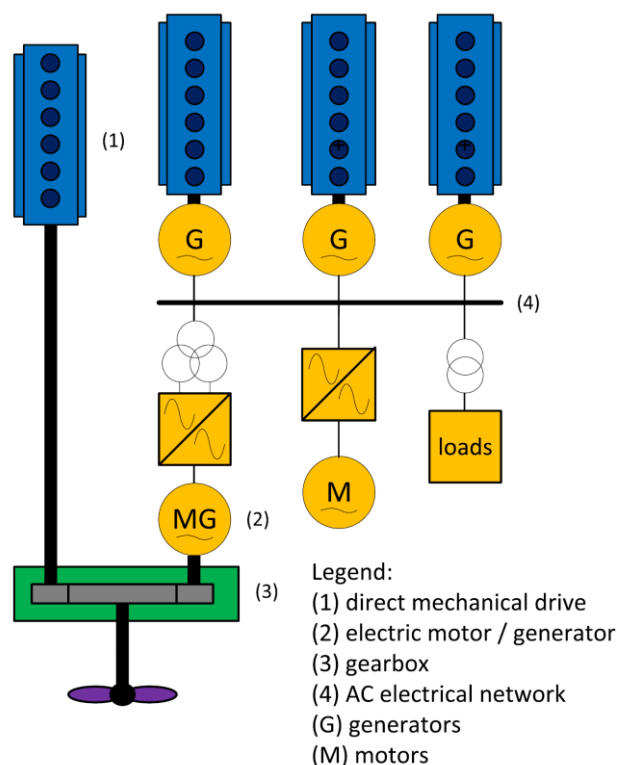
Η στρατηγική ελέγχου του μετατροπέα της γεννήτριας στροφών περιλαμβάνει τον έλεγχο της ταχύτητας και της τάσης στο μέρος της μονάδας που ασχολείται με την παραγωγή ισχύος. Αυτή η μέθοδος ελέγχου χρησιμοποιεί προσανατολισμένο πεδίο για τον ηλεκτρικό τομέα του μετατροπέα, προσαρμοζόμενη στο ρεύμα που παρέχεται από τη μεριά της παραγωγής ισχύος, διασφαλίζοντας την σταθερότητα της τάσης στο σύστημα συνεχούς ρεύματος DC. Αυτή η συνδυασμένη στρατηγική αποδεικνύεται αποτελεσματική στη συγχρονισμένη λειτουργία μιας γεννήτριας άξονα και μιας γεννήτριας ντίζελ.

Παρ' όλα αυτά, το φορτίο συχνά κατανέμεται μεταξύ της γεννήτριας ντίζελ και της γεννήτριας άξονα, με αποτέλεσμα ο αεροστρόβιλος να μη λειτουργεί στις βέλτιστες συνθήκες του, καθώς έχει την ικανότητα να διαχειρίζεται πιο αποτελεσματικά το δυναμικό φορτίο σε

σύγκριση με μια γεννήτρια ντίζελ. Ενδέχεται να υπάρξει σενάριο όπου η λειτουργία της γεννήτριας ντίζελ συμπληρώνεται με την γεννήτρια άξονα που υπόκειται σε έλεγχο χρόνου, αλλά αυτό απαιτεί περαιτέρω έρευνα για να καθοριστεί εάν οδηγεί σε σταθερή στρατηγική ελέγχου.

Σε περιπτώσεις όπου ο ηλεκτροκινητήρας είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί παράλληλα με μηχανική μονάδα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την ενίσχυση της τελικής ταχύτητας του πλοίου όσο και για την μείωση του θερμικού φορτίου του κύριου κινητήρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος ελέγχου που ενσωματώνει τη ροπή του ηλεκτροκινητήρα προκειμένου να μειώσει το λόγο της περίσσειας αέρα στον κύριο κινητήρα, λ, διαχειρίζεται την ποσότητα του αέρα στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της καύσης, μειώνοντας έτσι τη θερμική φόρτιση του κινητήρα.

Η εφαρμοζόμενη στρατηγική ελέγχου μπορεί να αυξήσει τη ροπή στον ηλεκτροκινητήρα, με στόχο τη διατήρηση μιας συγκεκριμένης τιμής αναφοράς για το λ. Αυτή η τιμή λ εξαγάγεται από στατικούς χάρτες που λαμβάνουν υπόψη τη ροπή του κινητήρα, την πίεση και την ταχύτητα. Προσομοιώσεις δείχνουν ότι αυτή η στρατηγική μπορεί να μειώσει τις εκπομπές NOx μέχρι και 16%, αυξάνοντας παράλληλα τον ελάχιστο λόγο περίσσειας αέρα κατά 0,25. Αυτό οδηγεί σε σημαντική μείωση του θερμικού φορτίου κατά τη φάση επιτάχυνσης. Επομένως, η εν λόγω στρατηγική ελέγχου παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές για βελτίωση της επίδοσης του συστήματος, όταν ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον θερμικό ντίζελ κινητήρα.



Εικόνα 9. Σύστημα Υβριδικής Πρόωσης

3.5 Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Παροχής Ισχύος

Στο πλαίσιο της ηλεκτρικής πρόωσης με υβριδικό σύστημα παροχής ισχύος, η συνύπαρξη δύο ή περισσότερων τύπων πηγών ισχύος μπορεί να προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια. Οι πηγές αυτές ισχύος μπορεί να είναι μία από τις παραδοσιακές μορφές παροχής ισχύος μέσω καύσης, όπως κινητήρες ντίζελ, αεριοστρόβιλοι ή ατμοστρόβιλοι. Επιπλέον, είναι πιθανό να είναι ηλεκτροχημικές πηγές ισχύος όπως οι κυψέλες καυσίμων καθώς και αποθηκευμένες πηγές ισχύος, όπως συστήματα μπαταριών, σφονδύλους ή υπερπυκνωτές..

Η ανασκόπηση των εφαρμογών κυψελών καυσίμου στον ναυτικό τομέα δείχνει ότι η χρήση τους είναι κυρίως περιορισμένη στην πρόωση υποβρυχίων, λόγω της ανεξαρτησίας τους από τον εξωτερικό αέρα και του περιορισμού της ποσότητας της ενέργειας που μπορούν να παρέχουν χωρίς ανεφοδιασμό. Η σύγχρονη έρευνα εστιάζει στην πιο αποδοτική αποθήκευση υδρογόνου, καθώς και σε κυψέλες καυσίμου που μπορούν να χρησιμοποιούν διάφορα καύσιμα, όπως μεθανόλη, LNG ή ντίζελ, και να συνδυάζονται με κινητήρες ντίζελ ή αεριοστρόβιλους για μεγαλύτερη αποδοτικότητα.

Η εξέλιξη στην τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας, ιδίως στην αυτοκίνηση, παρέχει σημαντικά διδάγματα για την ναυσιπλοΐα. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή αποκλειστικά αποθηκευμένης ενέργειας στη ναυσιπλοΐα είναι περιορισμένη αφού συναντάται σε πολύ μικρές αποστάσεις, με το ferry MV Ampege να αποτελεί ένα από τα πρώτα που τέθηκαν σε ισχύ. Η έρευνα στον τομέα αυτό επικεντρώνεται κυρίως στη χρήση τεχνολογιών μπαταρίας, με κάποιες μελέτες να εξετάζουν τη διαστασιολόγηση υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν καύση, φωτοβολταϊκά και αποθηκευμένη ενέργεια.

Η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση ενέργειας στην πρόωση, προέρχεται από την αυτοκίνηση όπου αξιοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας από το φρενάρισμα, βοηθώντας τον κινητήρα να λειτουργήσει πιο αποδοτικά και επιτρέποντας την απενεργοποίηση του κύριου κινητήρα υπό συνθήκες μικρού ή καθόλου φορτίου. Μια τυπική διάταξη ενός υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης παρατίθεται στην Εικόνα 10.

Θετικά

Η χρήση υβριδικού συστήματος που ενσωματώνει αποθηκευμένη ενέργεια προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στις μονάδες πρόωσης. Με την αποθήκευση ενέργειας, είναι δυνατό να παρέχεται η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς, επιτρέποντας το σβήσιμο ενός ή περισσότερων κινητήρων όταν αυτοί θα λειτουργούσαν μη αποδοτικά υπό μερικό φορτίο. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στην εξοικονόμηση καυσίμου, μείωση των εκπομπών ρύπων και θορύβου, ενώ παράλληλα αυξάνει την αντιλαμβανόμενη άνεση κατά την πλεύση. Ακόμη, η μπαταρία μπορεί να διαχειριστεί τις διακυμάνσεις στο φορτίο, επιτρέποντας στους κινητήρες να λειτουργούν σταθερά και αποδοτικά.

Επιπλέον, η μπαταρία μπορεί να ανταποκριθεί σε αιχμές της ζήτησης ενέργειας, παρέχοντας ενέργεια όταν οι απαιτήσεις είναι υψηλές και να φορτίζει όταν απαιτείται λιγότερη ενέργεια. Αυτή η τακτική μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των κινητήρων και να μειώσει την εγκατεστημένη ισχύ. Όταν ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί, οι μπαταρίες μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια που διαφορετικά θα χάνονταν, αν και η εξοικονόμηση ενέργειας από αυτή την πρακτική είναι περιορισμένη λόγω της σπανιότητας της ανάγκης για

επιβράδυνση ενός πλοίου. Ωστόσο, σε περιπτώσεις πέδησης του κινητήρα, υπάρχει σημαντική ανάκτηση ενέργειας.

Τέλος, η μπαταρία μπορεί να παρέχει εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια αστοχίας των μονάδων εσωτερικής καύσης, όπως γεννήτριες ντίζελ. Αυτό επιτρέπει την παράλειψη της ανάγκης για επιπλέον κινητήρες ντίζελ για εφεδρική λειτουργία, μειώνοντας την εγκατεστημένη ισχύ και αυξάνοντας την διαθεσιμότητα για πλοία με απαιτήσεις υψηλής διαθεσιμότητας, όπως τα πλοία Δυναμικής Μετατόπισης (Dynamic Positioning, DP).

Προκλήσεις/Αρνητικά

Στα υβριδικά συστήματα που ενσωματώνουν μπαταρίες, αυτές συνεργάζονται στενά με τις γεννήτριες για την παροχή ενέργειας, δημιουργώντας ένα σύνολο συγκεκριμένων προκλήσεων. Αρχικά, η στρατηγική ελέγχου του συστήματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση καυσίμου, φορτίζοντας και αποφορτίζοντας τη μπαταρία στις πιο κατάλληλες στιγμές για την επίτευξη αυτού του στόχου. Αυτή η διαχείριση της μπαταρίας μπορεί να αποβεί μοιραία σε περίπτωση λάθους και να επηρεάσει αρνητικά τις εκπομπές, την κατανάλωση καυσίμου και τη συντήρηση των εξαρτημάτων

Σε περίπτωση που οι ντίζελ κινητήρες βιώνουν αυξημένη διακύμανση φορτίου, η στρατηγική ελέγχου θα πρέπει να επιδιώκει την ισορροπία και την κατάλληλη κατανομή φορτίου ανάμεσα στη μπαταρία και τον κινητήρα. Η χρήση της μπαταρίας συμβάλλει επίσης στην ικανότητα διαχείρισης των διακυμάνσεων στο φορτίο, παρέχοντας ένα πιο σταθερό φορτίο στους κινητήρες και διατηρώντας ένα αποδοτικό προφίλ λειτουργίας.

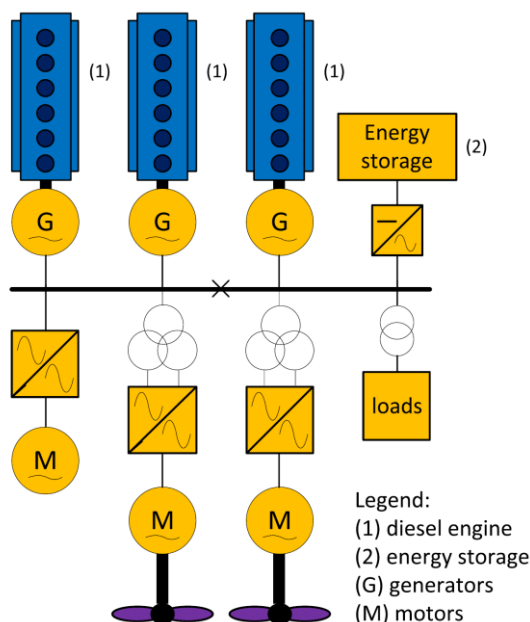
Τέλος υπάρχει αυξημένο αρχικό κόστος αγοράς λόγω της εγκατάστασης μπαταριών, το οποίο πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ή να αντισταθμιστεί από τη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος και κατανάλωσης από τους κινητήρες ντίζελ.

Εφαρμογές

Η χρήση μπαταριών σε ναυτικές εφαρμογές είναι σχετικά πρόσφατη αλλά κερδίζει γρήγορα δημοτικότητα. Σε πλοία όπως τα ρυμουλκά και τα ferry, η ανάγκη για μείωση κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών ρύπων καθιστά τα υβριδικά συστήματα παροχής ισχύος με ηλεκτρική πρόωση μια απαραίτητη επιλογή. Σε αυτά τα συστήματα, η χρήση μπαταριών γίνεται όλο και πιο συνηθισμένη, συχνά συνδυασμένη με συστήματα συνεχούς ρεύματος. Τα οικονομικά οφέλη των παραπάνω, έχουν εξεταστεί εκτενώς. Οι μελέτες δείχνουν ότι η χρήση μπαταριών για αποθήκευση ενέργειας, σε συνδυασμό με στρατηγικές ελέγχου, μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, η εξοικονόμηση αυτή μπορεί να είναι περιορισμένη εάν η μπαταρία δεν επαναφορτίζεται τακτικά, και δεν έχει διεξαχθεί εκτενής μελέτη ευαισθησίας για να αναλυθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν περισσότερο το σύστημα.

Στο ferry "Hallaig", όπου εφαρμόζεται αυτό το σύστημα με προηγμένες στρατηγικές ελέγχου, κατά τις δοκιμές επιτεύχθηκε εξοικονόμηση καυσίμου της τάξης του 35%. Αυτή η εξοικονόμηση οφείλεται σε δύο παράγοντες: η νυχτερινή φόρτιση των μπαταριών μείωσε την κατανάλωση καυσίμου κατά 24%. Η φόρτιση από επίγειους σταθμούς μπορεί να εισάγει

ρύπους στο σύστημα κατά τη φάση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος σε ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια, αλλά η χρήση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να μειώσει σημαντικά τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί Επίσης το πλοίο «Victoria of Wight» που κτίστηκε το 2018 και είναι εξοπλισμένο με ένα μπαταρίες συνολικής χωρητικότητας περίπου 800kWh και φέρει για την πρόωση του ηλεκτρικά μοτέρ αλλά και ντιζελοκινητήρα. Το πλοίο αυτό έχει καταφέρει να μειώσει την κατανάλωσή σε σχέση με ένα αντίστοιχο «συμβατικό» πλοίο κατά 150,000 λίτρα πετρελαίου και έχει κερδίσει περίπου 400 τόνους CO₂.



Εικόνα 10. Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Παροχής Ισχύος

3.6 Υβριδική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος

Η υβριδική πρόωση με υβριδικό σύστημα ισχύος αξιοποιεί τα οφέλη της άμεσης μηχανικής κίνησης και την ευελιξία της συνδυασμένης ισχύος από μία κύρια μηχανή καύσης και την αποθηκευμένη ενέργεια από μπαταρίες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Κατά την πρόωση με χαμηλή ισχύ, ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί προσφέροντας την απαιτούμενη πρόωση, ενώ ο κύριος κινητήρας παύει να λειτουργεί, παρέχοντας ταυτόχρονα ηλεκτρισμό στο πλοίο και τα δευτερεύοντα φορτία του. Η απεικόνιση της διάταξης αυτού του συστήματος μπορεί να βρεθεί στην Εικόνα 11 που ακολουθεί.

Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ της παραδοσιακής καύσης και της ηλεκτρικής πρόωσης, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της λειτουργίας. Έτσι, επιτυγχάνεται βέλτιστη ενεργειακή αποδοτικότητα και μείωση των εκπομπών ρύπων, συμβάλλοντας στην πιο βιώσιμη λειτουργία του πλοίου.

Θετικά

Το συγκεκριμένο σύστημα μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε λειτουργία του πλοίου με μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και πολύ μειωμένα επίπεδα ηχορύπανσης, με τη

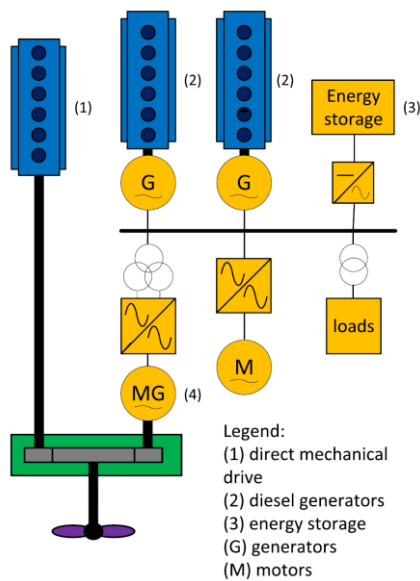
χρήση των μπαταριών και του ηλεκτροκινητήρα, κάτι το οποίο μπορεί να είναι πολύ σημαντικό μέσα στο λιμάνι ή κοντά στις ακτές. Η συγκεκριμένη λειτουργία αρχίζει να αποκτά πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για το μέλλον αφού υπάρχουν ενδείξεις για ειδικούς φόρους λιμανιών ανάλογα με τα επίπεδα ρύπανσης. Επιπλέον, υπάρχει φυσικά η δυνατότητα αποθήκευσης «χαμένης» ενέργειας στο κουτί μπαταριών, ενώ σε τελικό επίπεδο, μια καλή στρατηγική χρήσης του συστήματος αυτού μας μειώνει ικανοποιητικά τα επίπεδα συνολικής κατανάλωσης πετρελαίου. Τέλος, με τη χρήση του ηλεκτρικού κινητήρα κατά την επιτάχυνση του πλοίου, μπορούμε να κρατήσουμε τα επίπεδα καυσαερίων αζώτου σχεδόν σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στα υπάρχοντα «συμβατικά» πλοία

Αρνητικά

Αντιθέτως, στα αρνητικά στοιχεία μπορούμε να συμπεριλάβουμε την πολυπλοκότητα του συστήματος, αφού εμπλέκονται σε αυτό πολλά διαφορετικά κύρια εξαρτήματα. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως τη δεδομένη χρονική στιγμή η τιμή των μπαταριών είναι σχετικά υψηλή και αυξάνει το ρίσκο της επένδυσης χρήσης ενός τέτοιου συστήματος. Τέλος, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην ασφάλεια ενός τέτοιου συστήματος αφού οι μπαταρίες αποτελούν ένα εύφλεκτο εξάρτημα.

Εφαρμογές

Τα ρυμουλκά πλοία στα λιμάνια ήταν από τους πρώτους τύπους πλοίων που υιοθέτησαν την υβριδική πρόωση με την υβριδική παροχή ισχύος. Το 2014, μια εταιρεία πρωτοποριακή στη σχετική έρευνα, παρουσίασε το πρώτο ρυμουλκό εξοπλισμένο με υβριδικό σύστημα πρόωσης και παροχής ισχύος. Το επόμενο έτος, το 2015, κατελκύστηκε το σκάφος Savannah, το οποίο είναι επίσης εξοπλισμένο με παρόμοιο σύστημα. Τα τελευταία χρόνια, έχει αναπτυχθεί πολύ το σύστημα αυτό με διάφορα RO-Pax ferries να κινούνται προς αυτό το σύστημα πρόωσής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πλοία «MV Berlin» και «MV Copenhagen» που μετασκευάστηκαν το 2015 και είναι εξοπλισμένα με μπαταρίες συνολικής χωρητικότητας περίπου 1500kWh το καθένα που έχουν την ικανότητα να φορτίσουν στην ξηρά. Επίσης, πέρα από τους 2 κύριους ντίζελ κινητήρες των 4500 kW, έχει τοποθετηθεί και ηλεκτρικό μοτέρ ίδιας ισχύος για την πρόωση του. Τα πλοία αυτά έχουν καταφέρει να μειώσουν την κατανάλωσή σε σχέση με ένα αντίστοιχο «συμβατικό» πλοίο κατά περίπου 900,000 λίτρα πετρελαίου το χρόνο και έχουν κερδίσει περίπου 2,500 τόνους CO₂ το χρόνο.



Εικόνα 11. Υβριδική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος

3.7 Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Συνεχούς Ρεύματος (DC)

Σχετικά με την ηλεκτρική πρόωση, ένα σημαντικό μειονέκτημά της είναι ότι η λειτουργία του κινητήρα υπό μερικό φορτίο μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου για σταθερή ταχύτητα, σε αντίθεση με τη μεταβλητή. Αυτή η πτυχή της ηλεκτρικής πρόωσης έχει ως αποτέλεσμα να δοθεί προσοχή στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταβλητής συχνότητας. Τα δίκτυα συνεχούς ρεύματος βρίσκουν περιορισμένη χρήση λόγω των διαφορετικών αναγκών διάφορων καταναλωτών για ρεύμα σταθερής συχνότητας, αν και έχουν εφαρμοστεί σε τομείς όπως τα υποβρύχια.

Παρά ταύτα, ζητήματα προστασίας από βλάβες και σταθερότητας των συστημάτων ρεύματος έχουν περιορίσει τις εφαρμογές τους. Η συνεχής εξέλιξη των ηλεκτρονικών συστημάτων και των έξυπνων στρατηγικών για προστασία από βλάβες και διασφάλιση της σταθερότητας των συστημάτων ενέργειας, έχει οδηγήσει σε ευρύτερη εφαρμογή συστημάτων συνεχούς ρεύματος. Οι βασικότεροι λόγοι που τα συστήματα συνεχούς ρεύματος εφαρμόζονται είναι η αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων και οι μειωμένες απώλειες ενέργειας μέσω της μετατροπής της ισχύος.

Θετικά και προκλήσεις

Τα οφέλη της εφαρμογής ενός υβριδικού συστήματος ισχύος με συνεχές ρεύμα σε πλοία με ηλεκτρική πρόωση περιλαμβάνουν αρχικά το ότι η διάταξη συνεχούς ρεύματος επιτρέπει τη λειτουργία του κινητήρα ντίζελ σε μεταβλητή ταχύτητα, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές, τον θόρυβο και τον θερμικό και μηχανικό φόρτο του κινητήρα. Επίσης, οι διατάξεις συνεχούς ρεύματος είναι ανθεκτικές στις αστοχίες, καθώς τα ηλεκτρονικά συστήματα επιτρέπουν τον άμεσο έλεγχο των ηλεκτρικών μεταβλητών και οι αστοχίες δεν εξαπλώνονται στο ηλεκτρικό δίκτυο, διατηρώντας έτσι σταθερή την τάση και τη συχνότητα. Το μέγεθος και ο αριθμός των εξοπλισμών και διακοπών μειώνεται, καθώς τα ηλεκτρονικά συστήματα παρέχουν προστασία έναντι βλάβης.

Παρόλο που τα συστήματα με συνεχές ρεύμα προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα, υπάρχουν συγκεκριμένες προκλήσεις που απαιτούν επίλυση. Αρχικά, όλες οι πηγές παραγωγής ισχύος και τα σχετικά φορτία πρέπει να ενσωματωθούν στο δίκτυο συνεχούς ρεύματος μέσω ειδικών μετατροπέων. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλο φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος σταθερής συχνότητας, μπορεί να προκύψουν αυξημένες απώλειες. Ωστόσο, αυτές οι απώλειες μπορούν να μειωθούν εάν το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου προέρχεται από κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας.

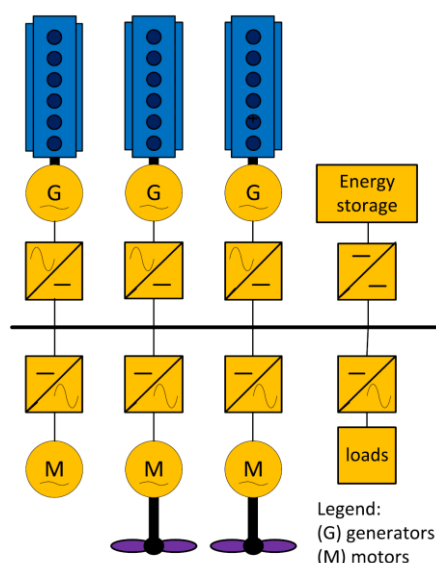
Επιπρόσθετα, το ζήτημα της προστασίας από βλάβες είναι κρίσιμο για την εφαρμογή των διατάξεων συνεχούς ρεύματος. Αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και την υιοθέτηση κατάλληλων συστημάτων προστασίας. Τέλος, απαραίτητη είναι και η εφαρμογή μιας συντονισμένης στρατηγικής ελέγχου, η οποία θα επιλύει θέματα σταθερότητας και θα βελτιώνει την απόδοση του συστήματος.

Εφαρμογές

Παραδοσιακά, υποβρύχια έχουν εφαρμόσει συστήματα συνεχούς ρεύματος σε συνδυασμό με μεγάλους συσσωρευτές για ανεξάρτητη πρόωση. Επιπλέον, το Ναυτικό των ΗΠΑ έχει υιοθετήσει αυτά τα συστήματα στα αντιτορπιλικά DDG-1000, ενώ το Βασιλικό Ναυτικό εξετάζει την εφαρμογή τους στις φρεγάτες του. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν σταθερότητα και επιτρέπουν παλμικά φορτία ισχύος, ενώ διαθέτουν εκτεταμένο ηλεκτρικό εξοπλισμό για μετατροπές, επιτυγχάνοντας έτσι αυξημένη σταθερότητα.

Τα ηλεκτρικά συστήματα DC έχουν γίνει ευρέως αποδεκτά σε πλοία υποστήριξης υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το MV Edda Ferd και το MV Dina Star, τα οποία εξοπλίστηκαν με συστήματα DC για την υβριδική παροχή ισχύος.

Η εφαρμογή των δικτύων DC στα πλοία βασίζεται στο γεγονός ότι οι κύριοι καταναλωτές ηλεκτρισμού χρησιμοποιούν κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας, ιδανικούς για διατάξεις συνεχούς ρεύματος. Τέλος, οι υβριδικές διατάξεις παροχής ισχύος με DC αποτελούν υποσχόμενη επιλογή για σκάφη πολυτελείας, προσφέροντας αυξημένη άνεση χωρίς να θυσιάζεται η επίδοση.



Εικόνα 12. Ηλεκτρική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Συνεχούς Ρεύματος

3.8 Συμπεράσματα Συστημάτων Πρόωσης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά όσα αναλύθηκαν παραπάνω, δίνοντας επιγραμματικά τα θετικά και αρνητικά στοιχεία κάθε τεχνολογίας.

Τεχνολογία	Θετικά	Αρνητικά
Μηχανική πρόωση	Χαμηλές απώλειες στην ταχύτητα σχεδίασης Χαμηλές εκπομπές CO ₂ και NO _x στην ταχύτητα σχεδίασης Χαμηλές απώλειες μετατροπής	Κακή απόδοση σε μέρος του φορτίου και εκπομπές Υψηλή NO _x σε μειωμένη ταχύτητα Χαμηλή εφεδρική ικανότητα Μηχανική μετάδοση θορύβου Φορτίο κινητήρα
Ηλεκτρική πρόωση	Ανθεκτικότητα Ταίριασμα φορτίου με γεννήτριες Υψηλή διαθεσιμότητα Μειωμένες εκπομπές NO _x σε χαμηλή ταχύτητα Πιθανώς χαμηλός θόρυβος	Σταθερή ταχύτητα γεννήτριας Απώλειες στη σχεδιαστική ταχύτητα Ρίσκο αστάθειας σταθερής ισχύος
Υβριδική πρόωση	Χαμηλές απώλειες σε ταχύτητες σχεδίασης Ανθεκτικότητα Ταίριασμα φορτίου και μηχανών σε χαμηλές ταχύτητες Πιθανώς χαμηλός θόρυβος στην ηλεκτροπρόωση	Σταθερή ταχύτητα γεννήτριας Πολυπλοκότητα συστήματος
Υβριδική παροχή ενέργειας	Εξισορρόπηση φορτίου Μηδενικός θόρυβος και εκπομπές στο κατάσταση μηδενικής εκπομπής Αποθήκευση αναγεννητικής ενέργειας Αποτελεσματικό αντίγραφο ασφαλείας Μειωμένη κατανάλωση καυσίμου & εκπομπές	Σταθερή ταχύτητα γεννήτριας Πολυπλοκότητα συστήματος Ασφάλεια λόγω της μπαταρίας Κόστος μπαταρίας
Παροχή ισχύος DC	Μεταβλητή ταχύτητα κινητήρα και φορτίο Βέλτιστη φόρτωση κινητήρα Μειωμένος θόρυβος κινητήρα και δονήσεις Μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές CO ₂	Πολυπλοκότητα συστήματος Κόστος & απώλειες ηλεκτρονικών ισχύος Αύξηση εκπομπών NO _x λόγω της μεταβλητής ταχύτητας

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας επιλέχθηκε να ασχοληθούμε με την Υβριδική Πρόωση με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος και να μελετηθούν υπάρχουσα πλοία στα οποία θα μπορούμε να διατηρήσουμε τις κύριες μηχανές και να προσθέσουμε τον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Με αυτό τον τρόπο η αρχική επένδυση δεν θα είναι τόσο μεγάλη και θα μπορέσουμε να καταλήξουμε σε μια βιώσιμη επιλογή για τους επενδυτές και τους πλοιοκτήτες.

Κεφάλαιο 4^ο Ναυτιλία Μικρών Αποστάσεων

4.1 Εισαγωγή στη Ναυτιλία Μικρών Αποστάσεων

Η Ναυτιλία Μικρών Αποστάσεων (NMA) (Short Sea Shipping) κατέχει μια κεντρική θέση στο παγκόσμιο σύστημα θαλάσσιων μεταφορών, διαφοροποιούμενη σαφώς από την Ποντοπόρο Ναυτιλία (Deep Sea Shipping). Περιλαμβάνει κυρίως τη θαλάσσια μεταφορά επιβατών και αγαθών σε σχετικά μικρές αποστάσεις, συνήθως χωρίς τη διάσχιση ωκεανών. Αυτή η μορφή ναυτιλίας περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες όπως η παράκτια ναυτιλία, οι μεταφορές ανάμεσα σε λιμάνια της ηπειρωτικής χώρας και νησιών, οι μεταφορές μεταξύ κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και η μετακίνηση αγαθών προς και από εσωτερικά ποταμίσια λιμάνια στην Ευρώπη. Η NMA εκτείνεται γεωγραφικά πέρα από τα εθνικά σύνορα, φτάνοντας σε διεθνή ύδατα όπως τη Μαύρη Θάλασσα, τη Βαλτική Θάλασσα και τις ακτές της Μεσογείου. Αυτό το ευρύ φάσμα τονίζει τη σημασία της τόσο στο εσωτερικό όσο και στο διεθνές εμπόριο. Η NMA διακρίνεται για την αξιοσημείωτη ευελιξία της στη διαχείριση διαφόρων τύπων πλοίων και φορτίων.



Εικόνα 13. Αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων τύπων της ναυτιλιακής δραστηριότητας

4.2 Η Σημασία της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων

Η NMA έχει αναδυθεί ως ένας κρίσιμος τρόπος μεταφοράς, προοριζόμενη να ενισχύσει σημαντικά τις συνθήκες μεταφοράς στο εγγύς μέλλον. Η αυξανόμενη σημασία της οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη ζήτηση για υπηρεσίες μεταφοράς, κυρίως λόγω της διαδικασίας οικονομικής ένταξης στην Ευρώπη και της δημιουργίας της Ενιαίας Εσωτερικής Αγοράς. Η σημασία της NMA αναγνωρίστηκε από τη Λευκή Βίβλο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του 1992 για τη Μελλοντική Ανάπτυξη της Κοινής Πολιτικής Μεταφορών, το οποίο τόνισε τον ρόλο της συνδυασμένης μεταφοράς. Η Συνθήκη του Μάαστριχτ περαιτέρω τόνισε τη σημασία της NMA στην ανάπτυξη της ευρωπαϊκής οικονομίας, προάγοντας τη δημιουργία δικτύων δια-Ευρωπαϊκών μεταφορών.

Ωστόσο, το σύστημα μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις. Θέματα όπως η ανεπαρκής ένταξη και η χρόνια συμφόρηση, ιδιαίτερα στα μητροπολιτικά κέντρα, εμποδίζουν την αποτελεσματική ένταξη των περιφερειακών περιοχών στην Ενιαία Αγορά. Αυτές οι προκλήσεις δημιουργούν ανισοροπίες μεταξύ των διαφορετικών τρόπων μεταφοράς. Η δυσανάλογη αύξηση της οδικής μεταφοράς στο σύνολο των μεταφορών οδηγεί σε πολλές αρνητικές εξωτερικές επιπτώσεις. Αυτά τα εξωτερικά κόστη, που συχνά δεν εσωτερικεύονται στην τιμολόγηση, έχουν ως αποτέλεσμα συνεχώς υψηλή και αυξανόμενη ζήτηση για υπηρεσίες οδικής μεταφοράς.

Σε αυτό το σημείο, η ανάπτυξη του συστήματος μεταφορών καλεί για αναπροσανατολισμό της πολιτικής και του σχεδιασμού του. Η υποεκμετάλλευση πιο αποτελεσματικών και περιβαλλοντικά φιλικών τρόπων μεταφοράς, όπως η ΝΜΑ, χρήζει επανεκτίμησης. Ο πρωταρχικός στόχος θα πρέπει να είναι η δημιουργία αποτελεσματικών υπηρεσιών μεταφοράς που καλύπτουν το σύνολο των κόστους τους -τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά- ενώ εξασφαλίζουν ασφάλεια, περιβαλλοντική φιλικότητα και κοινωνική αποδοχή.

Η αυξανόμενη αναγνώριση της ΝΜΑ τονίζει τον ρόλο της όχι μόνο ως μεθόδου μεταφοράς αλλά και ως στρατηγικό εργαλείο στην αντιμετώπιση ευρύτερων προκλήσεων. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την περιφερειακή συνδεσιμότητα, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την οικονομική ένταξη εντός της Ευρώπης.

4.3 Τα Πλεονεκτήματα της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων

Η ΝΜΑ, ως ένα κρίσιμο στοιχείο του ευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών, προσφέρει πολυάριθμα πλεονεκτήματα που εκτείνονται πολύ πέρα από τον πρωταρχικό της ρόλο ως τρόπος μεταφοράς φορτίων. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις, θέτοντας έτσι τη ΝΜΑ ως έναν σημαντικό παίκτη τόσο στα ευρωπαϊκά όσο και στα παγκόσμια δίκτυα μεταφορών.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της ΝΜΑ είναι η συνεισφορά της στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η θαλάσσια μεταφορά, συμπεριλαμβανομένης της ΝΜΑ, είναι σημαντικά πιο φιλική προς το περιβάλλον ανά τόνο-χιλιόμετρο σε σύγκριση με την οδική ή αεροπορική μεταφορά. Αυτό το μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα είναι κρίσιμο στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Όσον αφορά την οικονομία, η ΝΜΑ προσφέρει αξιοσημείωτη σχέση κόστους/αποτελεσματικότητας, ωφελώντας τόσο τις επιχειρήσεις όσο και τους καταναλωτές. Οι οικονομίες της κλίμακας που είναι εφικτές στη θαλάσσια μεταφορά, σε συνδυασμό με τα χαμηλότερα κόστη καυσίμου ανά μονάδα φορτίου, την καθιστούν μια οικονομικά ελκυστική επιλογή για τη μαζική μεταφορά σε μέσες έως μακρές αποστάσεις. Αυτή η αποδοτικότητα ωφελεί όχι μόνο τη ναυτιλιακή βιομηχανία αλλά και συμβάλλει στην ευρύτερη οικονομία μειώνοντας τις τιμές για τους καταναλωτές και ενισχύοντας τον ανταγωνισμό στην αγορά.

Επιπλέον, η ΝΜΑ είναι ουσιώδης στην αποσυμφόρηση των οδικών μεταφορικών δρόμων, βοηθώντας σημαντικά στον τομέα των Logistics. Μεταφέροντας ένα σημαντικό μέρος του φόρτου μεταφοράς φορτίων από τους δρόμους και τις σιδηροδρομικές γραμμές στη θάλασσα, η ΝΜΑ μειώνει αποτελεσματικά τη συμφόρηση, εξασφαλίζοντας πιο ομαλή ροή αγαθών και υπηρεσιών. Αυτή η μετατόπιση όχι μόνο μειώνει τη ρύπανση, αλλά επίσης

αυξάνει την αποδοτικότητα και την ασφάλεια ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς. Η μειωμένη οδική κυκλοφορία οδηγεί σε λιγότερες καθυστερήσεις, μειωμένους κινδύνους ατυχημάτων και βελτιωμένη αποδοτικότητα του δικτύου.

Κρίσιμης σημασίας αποτελεί επίσης το γεγονός ότι η NMA είναι ουσιώδης για τη σύνδεση των περιφερειακών και νησιωτικών περιοχών με τα κύρια οικονομικά κέντρα. Αυτές οι λιγότερο προσβάσιμες περιοχές εξαρτώνται σημαντικά από τη θαλάσσια μεταφορά για την οικονομική ανάπτυξη και το εμπόριο. Η NMA προσφέρει μια αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική σύνδεση με τις κεντρικές αγορές, διευκολύνοντας το εμπόριο και συμβάλλοντας στην περιφερειακή ανάπτυξη. Αυτή η συνδεσιμότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για βιομηχανίες όπως οι αλιεία και η γεωργία σε αυτές τις περιοχές, επιτρέποντας την πρόσβαση σε ευρύτερες αγορές.

Από πλευράς ασφάλειας και αξιοπιστίας, η θαλάσσια μεταφορά, συμπεριλαμβανομένης της NMA, έχει ένα εντυπωσιακό ιστορικό σε σύγκριση με την οδική μεταφορά. Η μικρότερη συχνότητα ατυχημάτων και ζημιών στο φορτίο την καθιστούν μια προτιμώμενη επιλογή για τη μεταφορά ευαίσθητων ή πολύτιμων αγαθών. Αυτή η πτυχή ασφάλειας είναι κρίσιμη για βιομηχανίες που εξαρτώνται από ασφαλείς και έγκαιρες παραδόσεις.

Επιπλέον, η χωρητικότητα και η ευελιξία των πλοίων που χρησιμοποιούνται στη NMA είναι αξιοσημείωτες. Αυτά τα πλοία είναι ικανά να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες διαφόρων αγαθών, από χύδην εμπορεύματα μέχρι εμπορευματοκιβώτια. Αυτή η πολυμορφικότητα τους επιτρέπει να προσαρμόζονται σε διάφορες ανάγκες της αγοράς και απαιτήσεις της αλυσίδας εφοδιασμού, καθιστώντας τη NMA μια ευέλικτη λύση για διάφορους τύπους φορτίων.

Επιπρόσθετα, η NMA παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στη διατήρηση τοπικών οικονομιών, ιδίως σε παραλιακές πόλεις και περιοχές. Η λειτουργία των υπηρεσιών της NMA συμβάλλει στην οικονομική ζωτικότητα αυτών των περιοχών, υποστηρίζοντας συναφείς βιομηχανίες όπως τη ναυπηγική, τις λιμενικές υπηρεσίες και τα logistics.

4.4 Λειτουργικές Πτυχές της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων

Οι λειτουργικές πτυχές της NMA περιλαμβάνουν μια ποικιλία τύπων πλοίων, διαφορετικών διαδρομών και εξειδικευμένων υπηρεσιών, κάθε μία εκ των οποίων παίζει κρίσιμο ρόλο στη συνολική λειτουργικότητα και αποδοτικότητα αυτού του τρόπου μεταφοράς.

Τύποι Πλοίων και Διαδρομές: Η NMA χρησιμοποιεί μια ποικιλία πλοίων, προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένες διαδρομές και τύπους φορτίου. Τα μεγέθη των πλοίων στη NMA διαφέρουν σημαντικά, από μικρότερα πλοία περίπου 100 GRT μέχρι μεγαλύτερα πλοία που υπερβαίνουν το 10.000 DWT. Αυτή η ποικιλομορφία σε μέγεθος και τύπο πλοίου αντανακλά την ευελιξία της NMA, επιτρέποντάς της να χειριστεί ένα ευρύ φάσμα φορτίων, από χύδην εμπορεύματα μέχρι εμπορευματοκιβώτια. Μεγαλύτερα πλοία, συχνά συνδεδεμένα με ωκεάνιες διαδρομές, χρησιμοποιούνται επίσης στη NMA για μικρές αποστάσεις, αξιοποιώντας την χωρητικότητά τους και την προσαρμοστικότητά τους.

Οι διαδρομές στη ΝΜΑ είναι εξίσου ποικίλες, περιλαμβάνοντας παράκτια πλοήγηση, διανησιωτικές και συνδέσεις μεταξύ ηπειρωτικών και νησιωτικών λιμανιών. Γεωγραφικά, αυτές οι διαδρομές καλύπτουν εκτεταμένες περιοχές, ενώ συχνά εκτείνονται σε πολλές χώρες. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), για παράδειγμα, ένα σημαντικό μέρος της κυκλοφορίας της ΝΜΑ διασχίζει την εκτεταμένη ακτογραμμή, συνδέοντας διάφορα κράτη-μέλη και επεκτείνεται σε περιοχές όπως η Βαλτική Θάλασσα, η Μαύρη Θάλασσα και η Μεσόγειος.

Υπηρεσίες Μεταφορών: Η ΝΜΑ περιλαμβάνει αρκετές διακριτές υπηρεσίες μεταφοράς, κάθε μία εξυπηρετώντας συγκεκριμένες ανάγκες της αγοράς. Οι υπηρεσίες *tramp*, που λειτουργούν χωρίς σταθερά δρομολόγια, προσφέρουν ευελιξία, προσαρμόζοντας τη ζήτηση φορτίου. Οι υπηρεσίες *liner*, σε αντίθεση, παρέχουν τακτικότητα και αξιοπιστία με προκαθορισμένα δρομολόγια και σταθερές διαδρομές, κρίσιμες για τα ευαίσθητα στον χρόνο φορτία. Οι υπηρεσίες *feeder* είναι ζωτικής σημασίας στο οικοσύστημα της ΝΜΑ, ειδικά στο ευρωπαϊκό πλαίσιο. Περιλαμβάνουν μικρότερα πλοία *feeder* που διευκολύνουν τη μετακίνηση αγαθών από μεγαλύτερα ωκεάνια πλοία σε μικρότερα, περιφερειακά λιμάνια, γεφυρώνοντας το κενό μεταξύ των κύριων θαλάσσιων διαδρομών και των τοπικών δικτύων διανομής. Οι υπηρεσίες *Roll-on/Roll-off (RoRo)*, ειδικευμένες στη μεταφορά οχημάτων, επιβατών και άλλων κινητών φορτίων, είναι σημαντική για τη ΝΜΑ, προσφέροντας αποδοτική φόρτωση και εκφόρτωση, ουσιώδη για τις μεταφορές βραχείας απόστασης.

Υποδομή Λιμένων: Η αποδοτικότητα της ΝΜΑ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δυνατότητα των υποδομών των λιμένων. Οι αποδοτικές διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, οι επαρκείς αποθηκευτικές εγκαταστάσεις και η ομαλή ένταξη με άλλους τρόπους μεταφοράς είναι κρίσιμα για την ομαλή λειτουργία της ΝΜΑ. Η ικανότητα του λιμανιού να φιλοξενήσει διάφορους τύπους πλοίων και να χειριστεί διαφορετικά φορτία είναι επίσης καθοριστικός παράγοντας.

Λειτουργικές Προκλήσεις: Παρά τα πλεονεκτήματά της, η ΝΜΑ αντιμετωπίζει διάφορες λειτουργικές προκλήσεις. Οι διαφορές στις δυνατότητες των λιμένων σε διάφορες περιοχές, οι διοικητικές και νομικές διακυμάνσεις, καθώς και οι διακυμάνσεις στους όγκους των φορτίων, μπορούν να επηρεάσουν την αποδοτικότητα των υπηρεσιών της ΝΜΑ. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων είναι κρίσιμη για την βελτιστοποίηση των λειτουργιών της ΝΜΑ και την ενίσχυση του ρόλου της στο ευρύτερο δίκτυο μεταφορών.

Τεχνολογική Ενσωμάτωση: Η ενσωμάτωση προηγμένης τεχνολογίας στις λειτουργίες της ΝΜΑ είναι ολοένα και πιο ζωτικής σημασίας. Οι καινοτομίες στη ναυσιπλοΐα, τη διαχείριση φορτίων και τα συστήματα επικοινωνίας μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την λειτουργική αποδοτικότητα, να μειώσουν τους χρόνους διανομής και να αυξήσουν την ασφάλεια του φορτίου. Η υιοθέτηση ψηφιακών λύσεων, όπως το διαδίκτυο, μπορεί να απλοποιήσει τις λειτουργίες, να βελτιώσει την παρακολούθηση και να βελτιστοποιήσει τον σχεδιασμό της διαδρομής.

Ανθρώπινο Στοιχείο: Το ανθρώπινο στοιχείο στις λειτουργίες της ΝΜΑ δεν μπορεί να παραβλεφθεί. Το εξειδικευμένο προσωπικό, από τα πληρώματα των πλοίων έως το προσωπικό των λιμένων, παίζει κρίσιμο ρόλο στην ομαλή και αποδοτική λειτουργία της ΝΜΑ. Η συνεχής εκπαίδευση και ανάπτυξη, καθώς και η τήρηση των προτύπων ασφάλειας και εργασίας, είναι απαραίτητα για τη διατήρηση υψηλών λειτουργικών προτύπων στη ΝΜΑ.

4.5 Προκλήσεις και Μελλοντικές Προοπτικές της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων

Η πρόοδος και η ένταξη της NMA στο ευρύτερο σύστημα μεταφορών εξαρτάται από την αντιμετώπιση των μελλοντικών της προκλήσεων και προοπτικών. Κύρια στοιχεία μεταξύ αυτών είναι ο συνεχόμενος εκσυγχρονισμός των υποδομών και της τεχνολογίας. Η αποδοτικότητα των λιμένων, ουσιώδης για τις λειτουργίες της NMA, εξαρτάται από τη λειτουργική τους ικανότητα και την τεχνολογική τους ένταξη. Η προσαρμογή των λιμένων στις νέες τεχνολογίες και η βελτίωση των διασυνδέσεων των διαφόρων τρόπων μεταφοράς είναι απαραίτητες για ομαλές μεταβάσεις μεταξύ διαφορετικών τρόπων μεταφοράς.

Η περιβαλλοντική ρύθμιση αποτελεί άλλη μια σημαντική πρόκληση. Ως μια πιο φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική σε άλλους τρόπους μεταφοράς, η NMA πρέπει να προσαρμόζεται συνεχώς στις εξελισσόμενες προδιαγραφές εκπομπών των καυσαερίων. Οι επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες και βιώσιμα καύσιμα είναι απαραίτητες για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη συμμόρφωση με τους παγκόσμιους στόχους βιωσιμότητας.

Ο ανταγωνισμός με άλλους τρόπους μεταφοράς, ιδιαίτερα οι οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές, επηρεάζει σημαντικά τη NMA. Για να διατηρήσει την ανταγωνιστικότητά της, η NMA χρειάζεται να προσφέρει αξιόπιστες, οικονομικά αποδοτικές και έγκαιρες υπηρεσίες. Αυτό απαιτεί όχι μόνο βελτιώσεις στην υποδομή, αλλά και λειτουργική αποδοτικότητα, όπως απλοποιημένες διαδικασίες τελωνείου και βελτιωμένη διαχείριση logistics.

Επιπλέον, η οικονομική βιωσιμότητα και η ζήτηση της αγοράς για τη NMA επηρεάζονται από τις παγκόσμιες και περιφερειακές οικονομικές συνθήκες. Η διακυμάνσεις στη ζήτηση για υπηρεσίες μεταφοράς, επηρεαζόμενες από τους οικονομικούς κύκλους, επηρεάζουν άμεσα την επέκταση και την βιωσιμότητα των διαδρομών της NMA. Η στρατηγική αντιμετώπιση αυτών των δυναμικών της αγοράς, μέσω της διερεύνησης νέων ευκαιριών αγοράς και της διαφοροποίησης των υπηρεσιών, είναι κρίσιμη.

Συμπερασματικά, το μέλλον της NMA εξαρτάται από την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των πολυδιάστατων προκλήσεων. Με την ενίσχυση της υποδομής, την υιοθέτηση τεχνολογικών καινοτομιών, την τήρηση περιβαλλοντικών προτύπων και την προσαρμογή στις απαιτήσεις της αγοράς, η NMA μπορεί να ενισχύσει τον ρόλο της ως ζωτικού στοιχείου του παγκόσμιου δικτύου μεταφορών. Το δυναμικό της να συμβάλει σημαντικά στην περιφερειακή ανάπτυξη, την οικονομική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, τοποθετεί τη NMA ως κεντρικό παίκτη στο μέλλον των μεταφορών.

Κεφάλαιο 5° Μελέτη Υβριδικού Ηλεκτρικού Πλοίου

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι η ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο αναλύει την τεχνική σχεδίαση για την μετατροπή ενός Επιβατηγού/Οχηματαγωγού πλοίου από συμβατική σε υβριδική ηλεκτρική λειτουργία. Η μελέτη θα παρέχει διεισδυτικές αναλύσεις τόσο στην τεχνική όσο και στην οικονομική διάσταση της ανακατασκευής, καθώς και μια μικρή αναφορά στις απαραίτητες προσαρμογές που πρέπει να γίνουν στις υποδομές των λιμανιών. Έχει αναπτυχθεί μια εκτενής μεθοδολογία σχεδίασης για υβριδικά πλοία, με στόχο την αξιολόγηση και επιλογή των καλύτερων προτάσεων ανακατασκευής.

Όπως είναι εύκολο να καταλάβουμε, η διαδικασία μετατροπής συνηθισμένων πλοίων σε υβριδικά μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρή, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει σημαντικά οφέλη στις τοπικές κοινότητες, συνεισφέροντας ενεργά σε ένα καθαρότερο περιβάλλον και στην προαγωγή μιας πιο βιώσιμης μορφής ναυτιλίας. Το σύστημα των μπαταριών, θα αποτελεί πηγή ισχύος για το πλοίο, όταν αυτό διεξάγει ελιγμούς στο λιμάνι, πριν την άφιξη του ή αμέσως μετά την αναχώρησή του. Στη συνέχεια του ταξιδιού του, το πλοίο θα κινείται κανονικά με τον υπάρχων ντιζελοκινητήρα. Στο πλοίο θα τοποθετηθεί ηλεκτρικό μοτέρ το οποίο θα χρησιμοποιείται για την πρόωση του πλοίου σε συγκεκριμένες συνθήκες αλλά και για τη φόρτιση των μπαταριών και την απευθείας χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για τις ανάγκες του δικτύου του πλοίου. Οι γεννήτριες που υπάρχουν μέχρι στιγμής στο πλοίο θα απεγκατασταθούν και όλες οι ηλεκτρικές λειτουργίες του πλοίου θα παρέχονται αποκλειστικά από τις μπαταρίες και το ηλεκτρικό μοτέρ. Επομένως θα πρέπει να δοθεί πολύ μεγάλη προσοχή κατά τον υπολογισμό εγκατάστασης αυτών. Φυσικά, η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης θα παραμείνει στα πλοία.

Σε αυτό το τμήμα της μελέτης, θα εξεταστεί ο απαραίτητος εξοπλισμός για την αποτελεσματική λειτουργία ενός υβριδικού ηλεκτρικού πλοίου, ο οποίος θα αποτελέσει και τον βασικό παράγοντα του κόστους μετασκευής. Θα πραγματοποιηθεί αναλυτική εξέταση των πακέτων μπαταριών, συμπεριλαμβανομένης της διάταξης αυτών στο σκάφος, καθώς και του Συστήματος Διαχείρισης Μπαταριών (BMS). Επιπλέον, θα αναλυθεί το σύστημα τροφοδοσίας του ηλεκτρικού δικτύου του πλοίου και οι ηλεκτρικοί κινητήρες που εντάσσονται στη συνολική διάρθρωση του υβριδικού ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου.

5.1 Γενική Επισκόπηση της Μετασκευής

Στην τρέχουσα κατάσταση, η πλειονότητα των Επιβατηγών/Οχηματαγωγών πλοίων που υπηρετούν σε σταθερά δρομολόγια με απόσταση άνω των 15 ναυτικών μιλίων είναι σχεδιασμένα με κλειστού τύπου δομή και μονή πλήρη, ακολουθώντας μια στάνταρ μορφολογία πλοίου. Αυτά τα πλοία εξυπηρετούν κυρίως δρομολόγια προς και από τα νησιά και η επιλογή των δρομολογίων καθορίζεται από το μέγεθος και την φορτο-ειδική ικανότητα τους.

Από το σχήμα της γάστρας τους, το σύστημα πρόωσης αυτών των πλοίων συνήθως περιλαμβάνει μία ή δύο προπέλες, τοποθετημένες στο πίσω μέρος του σκάφους. Οι προπέλες αυτές συνδέονται απευθείας με τις κύριες μηχανές, που είναι διατεταγμένες στον ίδιο αριθμό με αυτές και είναι διαμορφωμένες για να παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ για

την κίνηση του πλοίου. Τα Ε/Γ Ο/Γ πλοία διαθέτουν ένα μηχανοστάσιο στην πρύμνη, όπου βρίσκονται και οι δεξαμενές καυσίμων, είτε κοντά είτε ενσωματωμένες στο ίδιο το μηχανοστάσιο, σχεδιασμένο για τη βέλτιστη προσβασιμότητα και αποδοτικότητα.

Οι κύριες μηχανικές εγκαταστάσεις των σύγχρονων Επιβατηγών/Οχηματαγωγών πλοίων που επιχειρούν τακτικά δρομολόγια περιλαμβάνουν έναν ή δύο μεσόστροφους ντιζελοκινητήρες τοποθετημένους στο μηχανοστάσιο στην πρύμνη και κινούν τις προπέλες για την παροχή της απαιτούμενης κινητήριας ισχύος. Επιπλέον, διαθέτουν δύο ή τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ηλεκτρογεννητριών που βρίσκονται επίσης στο μηχανοστάσιο για την κάλυψη των λειτουργικών αναγκών του πλοίου, ενώ μια ηλεκτρογεννήτρια έκτακτης ανάγκης εγκαθίσταται τουλάχιστον πάνω από το κύριο κατάστρωμα για την τροφοδοσία των κρίσιμων συστημάτων ασφαλείας του πλοίου, σε περίπτωση ανάγκης. Τα πλοία αυτά, κατά κύριο λόγο, είναι σχεδιασμένα να χρησιμοποιούν όλους τους εγκατεστημένους κύριους κινητήρες, και φυσικά και τις προπέλες στις οποίες είναι ζευγοποιημένοι (σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από έναν κινητήρα συνδεδεμένο με μία προπέλα), προκειμένου να επιτύχουν την ταχύτητα υπηρεσίας τους.

Το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής των πλοίων αυτών λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) συνήθως στα 50 Hz. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για την υβριδοποίηση συμβατικών πλοίων, απαιτείται η τοποθέτηση ενός κατάλληλου αριθμού μπαταριών που θα παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για τις ανάγκες συγκεκριμένης πρόωσης και γενικής ηλεκτρικής λειτουργίας του πλοίου. Αυτές οι μπαταρίες θα επαναφορτίζονται κατά τη διάρκεια δέσμευσης του πλοίου στο λιμάνι, μέσω μιας ειδικά διαμορφωμένης σύνδεσης με την ξηρά. Επομένως, είναι προφανές ότι οι απαιτούμενες μετατροπές θα πρέπει να γίνουν τόσο στα ίδια τα πλοία όσο και στις υποδομές των λιμανιών στην ξηρά.

Συγκεκριμένα, η μετασκευή των πλοίων θα περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Εγκατάσταση απαραίτητου αριθμού μονάδων μπαταριών που θα οργανώνονται σε ομάδες, τοποθετούμενες, πιθανότατα, εκεί όπου βρίσκονται σήμερα οι ηλεκτρογεννήτριες. Στην διάταξη των μονάδων αυτών θα γίνει διαχωρισμός των ομάδων μπαταριών σε συστοιχίες με στόχο την εξασφάλιση της απαιτούμενης τάσης (Voltage) και χωρητικότητας (Ah), σύμφωνα με το επιλεγμένο επιχειρησιακό προφίλ και το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο. Τέλος, αυτό θα περιέχει επίσης συστήματος διαχείρισης μπαταριών (Battery Management System, BMS).
- Εγκατάσταση ηλεκτροκινητήρα ικανό να συνδεθεί με σύστημα μετάδοσης με τις κύριες μηχανές και την άξονα της προπέλας, που θα είναι υπεύθυνος (ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας) για την πρόωση του πλοίου σε συγκεκριμένες καταστάσεις, την φόρτιση των μπαταριών μέσω της κύριας μηχανής και την απευθείας παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο του πλοίου.
- Πραγματοποίηση τροποποιήσεων στον άξονα της κύριας μηχανής για την εφαρμογή συστήματος μετάδοσης που θα συνδέει και τους νέους ηλεκτρικούς κινητήρες, με το απαιτούμενο σύστημα αποσύζευξης.
- Απομάκρυνση των υπαρχουσών ηλεκτρικών γεννητριών, καθώς η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς θα προέρχεται πλέον άμεσα από το σύστημα μπαταριών και τους ηλεκτρικούς κινητήρες.

- Προσαρμογή του δικτύου διανομής του πλοίου ώστε να ανταποκρίνεται στις νέες απαιτήσεις της ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Τοποθέτηση ενός σημείου σύνδεσης με την πλευρά της ξηράς για την επαναφόρτιση των μπαταριών και την προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος στο πλοίο όταν βρίσκεται στο λιμάνι.
- Όλα τα παραπάνω να διενεργηθούν σύμφωνα με τα πρότυπα των Νηογνωμόνων και την εθνική και διεθνή νομοθεσία

Εκτός από τις αλλαγές που απαιτούνται στα πλοία, σημαντικές τροποποιήσεις θα χρειαστούν και στις υποδομές των λιμανιών για να συμβαδίζουν με τις νέες ανάγκες της ηλεκτροκίνησης. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να γίνουν εγκαταστάσεις υπογείων καλωδίων που θα διασφαλίζουν την απρόσκοπτη και ασφαλή διανομή ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, θα χρειαστεί να τοποθετηθεί τουλάχιστον ένας υποσταθμός εξοπλισμένος με μετατροπείς συχνότητας ή/και ανορθωτές, μετασχηματιστές ισχύος, καθώς και όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό προστασίας και ασφάλειας. Τέλος, θα εγκατασταθεί εξοπλισμός διασύνδεσης που θα περιλαμβάνει βύσματα και πρίζες, καλώδια και ρολά καλωδίων, στροφάλους και ένα σύστημα πρόσδεσης, διευκολύνοντας έτσι την αποτελεσματική και ασφαλή επαναφόρτιση των μπαταριών των πλοίων καθώς και την γενικότερη λειτουργία τους στο λιμάνι.

Συμπερασματικά, η αναζήτηση της ιδανικής διάταξης, μεγέθους και των απαραίτητων τροποποιήσεων, τόσο στις εγκαταστάσεις στην ξηρά όσο και στο πλοίο, αποτελεί μια πολυπαραγοντική διαδικασία. Απαιτείται η λεπτομερής εξέταση πολλών παραμέτρων, τόσο από τεχνική και σχεδιαστική άποψη, όσο και από την πλευρά των επιχειρησιακών αναγκών, της ασφάλειας και της διαδρομής για να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία. Οι βασικές προτεραιότητες ενός θαλάσσιου συστήματος μπαταριών περιλαμβάνουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία για τους επιβάτες και το σκάφος, καθώς και τη διασφάλιση της επαρκούς διάρκειας ζωής των μπαταριών, ώστε το σύστημα να είναι οικονομικά βιώσιμο.

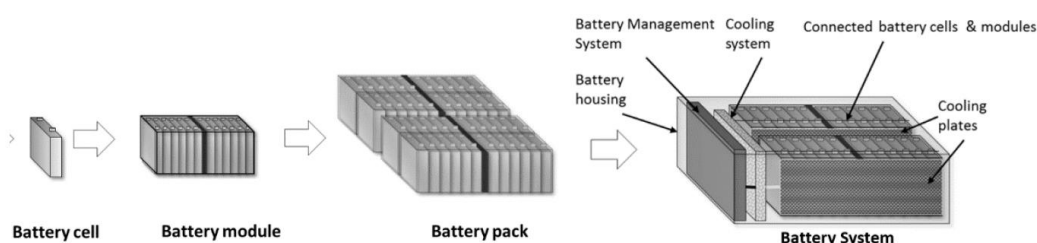
5.2 Μελέτη τύπου Μπαταριών και Διάταξη

Όπως αναφέραμε παραπάνω, ο ρόλος της μπαταρίας είναι να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για όλες τις λειτουργίες του πλοίου αλλά και για την πρόωση αυτού σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Τα βασικά συστατικά ενός κλασσικού συστήματος μπαταριών περιλαμβάνουν τα επιμέρους στοιχεία (cells), τον απαραίτητο περιφερειακό εξοπλισμό (hardware) για τις μονάδες και τις υποδομές τους, διάφορα στοιχεία ασφαλείας όπως επαφές και ασφάλειες, καθώς και τα συστήματα καλωδίων για την υψηλή και χαμηλή τάση. Συμπεριλαμβάνονται επίσης τα ηλεκτρονικά, αισθητήρες για την μέτρηση τάσης και θερμοκρασίας, καθώς και τα καλώδια και οι υποδοχές για τις συνδέσεις χαμηλής τάσης. Τα τελευταία περιλαμβάνονται μέσα στο σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας (BMS) που θα αναλυθεί συνοπτικά παρακάτω.

Το στοιχείο, γνωστό και ως cell, αποτελεί την πιο βασική ηλεκτροχημική ενότητα σε ένα σύστημα μπαταριών. Όταν πολλά τέτοια στοιχεία συνδυάζονται, περιλαμβάνοντας και έναν επίπεδο ηλεκτρονικού ελέγχου, σχηματίζουν μια μονάδα, ή module. Αυτές οι μονάδες συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά και παράλληλα για να δημιουργήσουν μια υπο-συστοιχία, ή sub-rack. Ανάλογα με την δομή του συστήματος, κάθε υπο-συστοιχία μπορεί να

ενσωματώνει εσωτερικά ρελέ ή διακόπτες, τα οποία επιτρέπουν τη διακοπή της κύριας ηλεκτρικής σύνδεσης. Ένα σύνολο μπαταριών, γνωστό ως battery pack, συναρμολογείται από πολλαπλές υπο-συστοιχίες που είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα μπαταριών μπορεί να περιλαμβάνει αρκετά τέτοια συστήματα μπαταριών. Οι ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των διάφορων επιπέδων του συστήματος επιτυγχάνονται μέσω καλωδίων, αγωγών ή ενός συνδυασμού και των δύο. Το συνολικό σύστημα μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες συστοιχίες μπαταριών, ενσωματώνοντας όλα τα απαραίτητα συστήματα για να λειτουργήσουν αυτόνομα ή για να επιτελέσουν τον επιθυμητό σκοπό.

Όλα τα στοιχεία του συστήματος μπαταριών πρέπει να είναι σωστά εγκατεστημένα, συνδεδεμένα και υπό συνεχή παρακολούθηση, δεδομένων των πολλών κινδύνων που μπορεί να παρουσιαστούν στα διάφορα στάδια του συστήματος. Αυτοί οι κίνδυνοι μπορεί να οδηγήσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις, όπως πυρκαγιά, εάν δεν γίνεται κατάλληλη επίβλεψη και διαχείριση.



Εικόνα 14. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος μπαταρίας & επιμέρους εξαρτημάτων

Σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας - Battery Management System (BMS)

Η κύρια αποστολή του Συστήματος Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS) είναι να εξασφαλίζει ότι η μπαταρία λειτουργεί εντός των ασφαλών ορίων τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης. Αυτό συμβάλλει στην ασφαλή λειτουργία της μπαταρίας, προστατεύοντας το σύστημα από πιθανές απειλές και εξασφαλίζοντας την ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται κοντά (κάτοικοι, προσωπικό, συντηρητικό προσωπικό κ.ά.). Επίσης, αποτρέπει συνθήκες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της μπαταρίας.

Συγκεκριμένα, το Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS) παρακολουθεί συνεχώς ή περιοδικά τη συμπεριφορά της μπαταρίας, μετατρέποντας τις παρακολουθούμενες παραμέτρους σε δεδομένα κατάστασης. Αυτά τα δεδομένα στη συνέχεια χρησιμοποιούνται είτε για να τροφοδοτήσουν το ανώτερο επίπεδο του συστήματος είτε εφαρμόζονται απευθείας για τον έλεγχο των διαδικασιών φόρτισης και εκφόρτισης μέσω μιας διαδικασίας ανάδρασης. Το ανώτερο επίπεδο του συστήματος μπορεί να αφορά τον ίδιο τον χρήστη της μπαταρίας, όπως έναν οδηγό ηλεκτρικού αυτοκινήτου, ή μια ειδική διαμόρφωση λογισμικού και υλικού που διαχειρίζεται το ενεργειακό σύστημα.

Η διαρκής παρακολούθηση και ρύθμιση της τάσης αποτελεί μία από τις κρίσιμες λειτουργίες του συστήματος διαχείρισης μπαταριών. Ανεξέλεγκτες αυξήσεις της τάσης, είτε από υπερφόρτιση είτε από έντονες διακυμάνσεις της ισχύος, μπορούν να επιφέρουν σοβαρά ζητήματα ασφαλείας. Το σύστημα επιδιώκει να αποτρέψει την υπερφόρτιση, που θα μπορούσε να επιφέρει υποβάθμιση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της μπαταρίας.

Συγκεκριμένα, η υπερφόρτιση προκαλεί ανοδικές τάσεις στη θερμοκρασία, η οποία αυξάνει τον κίνδυνο χημικής υποβάθμισης των ηλεκτροδίων (όπως ο σχηματισμός του στρώματος SEI και η ασταθής αντίδραση του χαλκού και του αλουμινίου με τον ηλεκτρολύτη). Πέραν της μείωσης της χωρητικότητας, η υπερθέρμανση μπορεί επίσης να πυροδοτήσει σοβαρά προβλήματα ασφαλείας, όπως πυρκαγιές που ενδέχεται να ξεκινήσουν από βραχυκύκλωμα.

Επιλογή Τύπου και Μοντέλου Μπαταριών

Βάσει των προηγούμενων μελετών σε διπλωματικές εργασίες, οι προτιμητέες μπαταρίες για αντίστοιχες εφαρμογές είναι αυτές ιόντων λιθίου και οι καλύτεροι είναι οι τύποι NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) και LFP (Lithium Iron Phosphate). Ο τύπος NMC χαρακτηρίζεται από υψηλή ειδική ενέργεια και χωρητικότητα, που οδηγούν σε μικρότερο βάρος για ίδια ενεργειακή απόδοση και προσφέρουν παράλληλα μακρά διάρκεια ζωής λόγω του αριθμού των κύκλων λειτουργίας. Από την άλλη, οι μπαταρίες τύπου LFP, παρά την μειωμένη τους ειδική ενέργεια που απαιτεί μεγαλύτερο βάρος για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, διαθέτουν επίσης μακρά διάρκεια ζωής και προσφέρουν μειωμένο κόστος απόκτησης, καθώς το κοβάλτιο αντικαθίσταται από φωσφορικά άλατα. Είναι κρίσιμο να τονιστεί ότι η χαμηλότερη ειδική ενέργεια των μπαταριών LFP συγκριτικά με τις NMC συνεπάγεται την ανάγκη για χρήση περισσότερων μπαταριών για να επιτευχθεί ίση ισχύς, αυξάνοντας έτσι το συνολικό κόστος. Παρ' όλα αυτά, το κόστος παραμένει συγκριτικά χαμηλότερο. Επιπρόσθετα, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των LFP μπαταριών είναι η δυνατότητά τους να φορτίζονται με υψηλά ρεύματα έως και 2C rate, χωρίς κίνδυνο υπερθέρμανσης. Αυτή η ικανότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν απαιτείται γρήγορη φόρτιση. Παράλληλα, το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο μπορούν να λειτουργήσουν είναι ευρύτερο, επιτρέποντας τη χρήση τους ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, οι μπαταρίες LFP έχουν την ικανότητα να αντέχουν σε υψηλές τάσεις για μακρές χρονικές περιόδους, κάτι που συνεπάγεται υψηλή θερμική αντοχή. Αυτό το χαρακτηριστικό συμβάλλει στην μείωση του κινδύνου εκδήλωσης εκρήξεων ή πυρκαγιάς. Λαμβάνοντας υπόψη τη θερμική τους σταθερότητα σε σύγκριση με τις μπαταρίες NMC, οι μπαταρίες LFP αναδεικνύονται σε ιδανική επιλογή για την χρήση τους σε πλοία που εκτελούν δρομολόγια σε κοντινές αποστάσεις στην Ελλάδα, ιδίως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών του περιβάλλοντος κατά τους θερινούς μήνες.

Για την επιλογή των μπαταριών έγινε σύγκριση μεταξύ των εταιρών Valence και Corvus, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε αντίστοιχες εφαρμογές. Η τελική επιλογή έγινε με βάση την ειδική ενέργεια και τη ζητούμενη ισχύ φόρτισης και αποφόρτισης. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας U27-24XP τύπου LFP, η οποία έχει επιλεγεί για χρήση σε όλα τα πλοία που θα αναλυθούν στην παρούσα μελέτη.



Εικόνα 15. Μπαταρία U27-24XP

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μπαταρίας		
Τύπος	LFP	
Κατασκευαστής	Valence	
Μοντέλο	U27-24XP	
Ονομαστικής Τάση	25.6	V
Χωρητικότητα	72	Ah
Ενέργεια	1.84	kWh
Μέγιστο Σταθερό Ρεύμα Αποφόρτισης	144	A
Μέγιστο Στιγμιαίο Ρεύμα Αποφόρτισης	216	A
Προτεινόμενο Σταθερό Ρεύμα Φόρτισης	36	A
Μέγιστο Σταθερό Ρεύμα Φόρτισης	72	A
Βάρος	19.2	kg
Διαστάσεις (LxWxH)	306x172x225	mm
Ειδική Ενέργεια	96	Wh/kg
Εύρος Κύκλων Φόρτισης	5000-1000	Cycles
Κόστος (μαζί με BMS)	500	\$/kWh

Τελικό σημείο που ερευνάται είναι αυτό του ποσοστού αποφόρτισης των μπαταριών DOD. Ορίζεται ως το ποσοστό της χωρητικότητας της μπαταρίας κατά την αποφόρτιση ως προς την συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας. Οι κατασκευαστές προτείνουν να μην γίνεται αποφόρτιση σε ποσοστά άνω του 70%-80% καθώς μειώνεται η διάρκεια ζωής τους. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες έρευνες αλλά και τις οδηγίες του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο τύπο μπαταριών επιλέγεται το ανώτερο όριο, δηλαδή αυτό του 80%. Η επιλογή αυτή, μας δίνει περίπου 5000 κύκλους ζωής της μπαταρίας.

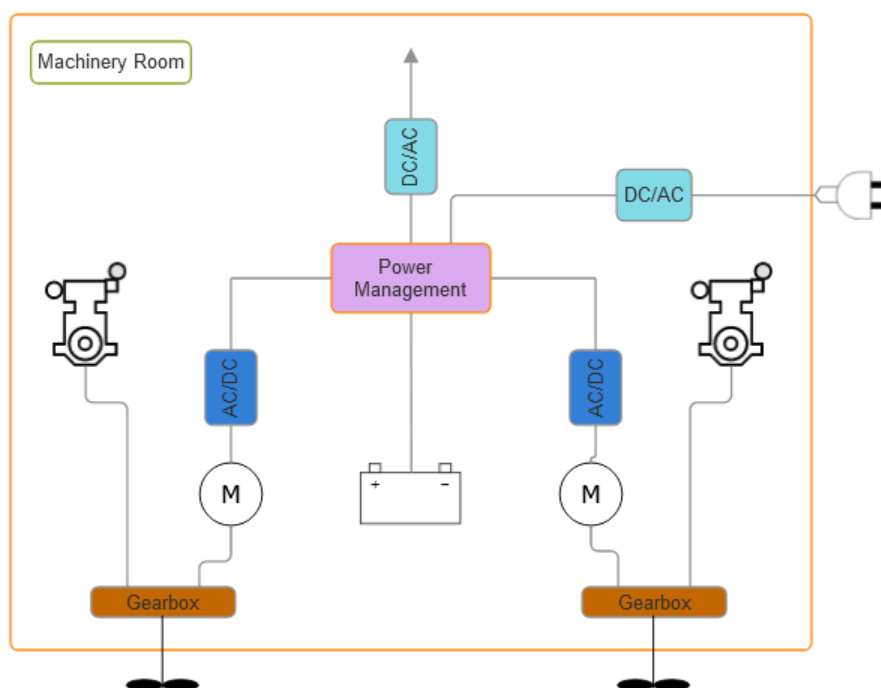
5.3 Σύστημα Ηλεκτρικής Τροφοδοσίας Πλοίου

Τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία όπως προαναφέρθηκε έχουν συνήθως ένα μηχανοστάσιο, που περιέχει τις δύο κύριες μηχανές. Σε αυτό το σημείο της έρευνας, θα εξεταστεί το δίκτυο τροφοδοσίας υβριδικού πλοίου τόσο για την περίπτωση συνεχούς ρεύματος όσο και για την περίπτωση εναλλασσόμενου. Φυσικά το κάθε πλοίο είναι ξεχωριστό και μπορεί να χρειαστούν μικρό αλλαγές. Σε κάθε περίπτωση, η φιλοσοφία του δικτύου τροφοδοσίας σχετικά με τον απαραίτητο εξοπλισμό αναφορικά με τους inverter, τα ηλεκτρικά μοτέρ και τα ζυγά παραμένει ίδια ανεξάρτητα από το πλήθος των κύριων μηχανών.

Η χρήση δικτύου συνεχούς ρεύματος προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος. Παρόλα αυτά, καθώς τα περισσότερα επιβατικά οχηματαγωγά πλοία είναι εξοπλισμένα με συστήματα τροφοδοσίας εναλλασσόμενου ρεύματος, δεν είναι οικονομικά αποδοτικό να γίνει αλλαγή στο δίκτυο κατά τη διαδικασία μετατροπής του πλοίου. Έτσι, η επιλογή ενός δικτύου συνεχούς ρεύματος γίνεται πιο ρεαλιστική μόνο για πλοία που κατασκευάζονται εξ αρχής με αυτή την προδιαγραφή.

Δίκτυο Συνεχούς Ρεύματος (DC)

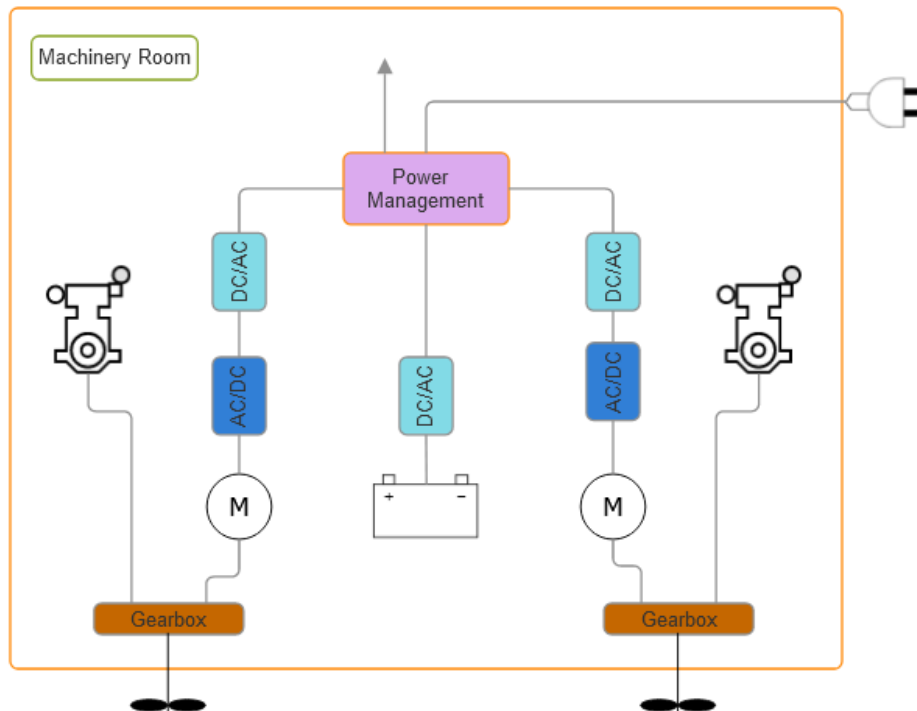
Ο βασικός εξοπλισμός για την περίπτωση δικτύου τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος εμφανίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Συγκεκριμένα, για τη μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο, απαιτούνται δύο inverter, τοποθετημένοι πριν από κάθε ηλεκτρικό κινητήρα. Προστίθεται επίσης ένας rectifier για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος φόρτισης από τη στεριά σε συνεχές, που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας. Η μπαταρία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της, εισάγει και εκπέμπει συνεχές ρεύμα στο σύστημα. Απαιτείται επιπρόσθετα ένα σύστημα διασύνδεσης για τον εξοπλισμό, και μια κρίσιμη μονάδα διαχείρισης της ροής ηλεκτρικής ενέργειας (power management) που ρυθμίζει τη διανομή του ρεύματος. Τέλος, μπορεί να χρειαστεί η προσθήκη δύο επιπλέον inverters για την τροφοδοσία συσκευών όπως τα κλιματιστικά και οι φωτιστικές συσκευές.



Εικόνα 16. Δίκτυο Συνεχούς Ρεύματος

Δίκτυο Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC)

Ο βασικός εξοπλισμός για το δίκτυο τροφοδοσίας εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Συγκεκριμένα, για κάθε ηλεκτρικό κινητήρα απαιτούνται δύο διαδοχικοί converters οι οποίοι αναλαμβάνουν να μετατρέπουν το ρεύμα πρώτα σε συνεχές και, αφού προσαρμόσουν τη συχνότητα, το επαναφέρουν σε εναλλασσόμενο. Επιπλέον, για τη διασύνδεση του επιμέρους εξοπλισμού απαιτείται ένα ζυγό συνδυασμένο με ένα σύστημα διαμοιρασμού ενέργειας (Power Management). Επίσης, απαραίτητος είναι ένας inverter τοποθετημένος πριν από το πακέτο μπαταριών, ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα πίσω σε εναλλασσόμενο για να τροφοδοτήσει το δίκτυο του πλοίου. Η όλη διασύνδεση και εξοπλισμός παρουσιάζεται αναλυτικά στο σχήμα. Τέλος, ως εναλλακτική λύση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο δύο inverters ανά επαγωγικό κινητήρα, όπου θα μετατρέπουν το ρεύμα από συνεχές σε εναλλασσόμενο και θα προσαρμόζουν τη συχνότητά του, προσφέροντας λύση παρόμοια με αυτή σε δίκτυο συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 17. Δίκτυο Εναλλασσόμενου Ρεύματος

5.4 Παρουσίαση και Επιλογή Ηλεκτρικών Κινητήρων

Θεωρείται απαραίτητη η ανάδειξη των κυρίων κατηγοριών ηλεκτρικών κινητήρων που εφαρμόζονται σε τέτοιου τύπου χρήσεις. Οι βασικοί τύποι ηλεκτρικών κινητήρων που κυρίως χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων στις ημέρες μας είναι ο σύγχρονος και ο ασύγχρονος (επαγωγικός) κινητήρας. Καθένας από αυτούς τους τύπους έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία σχετίζονται στενά με το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος.

Σύγχρονος Κινητήρας

Αρχή Λειτουργίας

Στη σύγχρονη μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος, το τύλιγμα διέγερσης είναι τοποθετημένο συνήθως στον δρομέα, ενώ το τύλιγμα επαγωγίμου βρίσκεται στο στάτη. Το τύλιγμα διέγερσης διατρέχεται από συνεχές ρεύμα και, καθώς στρέφεται με την ταχύτητα του δρομέα, δημιουργεί ένα στρεφόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η σύνδεση των τυλιγμάτων στον δρομέα γίνεται μέσω δακτυλίων και βουρτσών. Από την άλλη πλευρά, το επαγωγικό τύλιγμα που βρίσκεται στο στάτη αποτελείται από τρία τυλίγματα τοποθετημένα κατά 120 μοίρες το ένα από το άλλο και διατρέχεται από εναλλασσόμενο ρεύμα συγκεκριμένης συχνότητας, δημιουργώντας έτσι ένα στρεφόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο με ταχύτητα που ισοδυναμεί με την ηλεκτρική συχνότητα των ρευμάτων που διατρέχουν το επαγωγικό τύλιγμα.

Η λειτουργική αρχή αυτού του τύπου κινητήρα βασίζεται στην ευθυγράμμιση δύο ανεξάρτητων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, του διεγερτικού τυλίγματος και του επαγωγικού

τυλίγματος. Για τη διατήρηση της συνεχούς περιστροφικής κίνησης απαιτείται τα δύο πεδία να κινούνται με την ίδια ταχύτητα, δηλαδή η ηλεκτρική συχνότητα του ρεύματος στο στάτη να ταυτίζεται με την μηχανική ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, γνωστή ως σύγχρονη ταχύτητα.

Ιδιότητες και Χρήσεις του Σύγχρονου Ηλεκτρικού Κινητήρα

Ο σύγχρονος κινητήρας είναι προτιμητέος ως κύριος προωστήριος μηχανισμός εξαιτίας της ικανότητάς του να παράγει μεγάλη ισχύ, φτάνοντας ακόμα και τα 100 MW. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των κινητήρων είναι ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί στην ισχύ τους. Ωστόσο, με την αύξηση της ισχύος αυξάνεται και το βάρος τους καθώς και η πολυπλοκότητα της κατασκευής τους. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα του σύγχρονου κινητήρα είναι το αυξημένο βάρος σε σύγκριση με έναν αντίστοιχο επαγωγικό κινητήρα με την ίδια ισχύ, καθιστώντας τον βαρύτερο. Επίσης, για την λειτουργία του απαιτείται η χρήση ενός μετατροπέα συχνότητας, ο οποίος βοηθά στην εκκίνηση και στον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής. Αυτός ο εξοπλισμός ενισχύει τη πιθανή χρήση του στην επιτάχυνση και τους ελιγμούς του πλοίου στα λιμάνια. Τέλος, ο σύγχρονος κινητήρας έχει αυξημένο κόστος αγοράς και συντήρησης σε σχέση με έναν επαγωγικό κινητήρα ίδιας ισχύος, κυρίως λόγω της απαίτησης για περισσότερο εξοπλισμό όπως ψήκτρες, ψηκτροθήκες και καρβουνάκια.

Ασύγχρονος Κινητήρας (Επαγωγικός)

Αρχή Λειτουργίας

Η λειτουργία των ασύγχρονων μηχανών βασίζεται πλήρως στο φαινόμενο της επαγωγής. Συγκεκριμένα, το τύλιγμα του στάτη λειτουργεί ως το πρωτεύον τύλιγμα διέγερσης, ενώ το τύλιγμα του δρομέα, το οποίο είναι βραχυκυκλωμένο, λειτουργεί ως το δευτερεύον τύλιγμα επαγωγής. Ο δρομέας δέχεται το ρεύμα επαγωγικά από τα ρεύματα του στάτη, χωρίς να χρειάζεται άμεση ηλεκτρική σύνδεση με εξωτερική πηγή, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως η απουσία ψηκτρών και χαμηλότερο κόστος συντήρησης.

Για να διατηρηθεί η περιστροφική κίνηση, και ο στάτης και ο δρομέας πρέπει να διαθέτουν στρεφόμενα μαγνητικά πεδία. Στο στάτη, αυτό επιτυγχάνεται όπως και στις σύγχρονες μηχανές, με τα τυλίγματα διατεταγμένα κατά 120 μοίρες και τροφοδοτούμενα από ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα, τα ρεύματα του οποίου καθυστερούν χρονικά το ένα από το άλλο κατά 120 μοίρες. Στο δρομέα, το τριφασικό σύστημα δινορευμάτων επάγεται αυτόματα μέσω του νόμου της επαγωγής (νόμος Faraday).

Η συχνότητα περιστροφής του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του στάτη ταυτίζεται με την συχνότητα του τριφασικού ρεύματος που διατρέχει τα τυλίγματα του στάτη, η οποία αποτελεί τη σύγχρονη συχνότητα. Αντίθετα από ό,τι συμβαίνει στις σύγχρονες μηχανές, ο δρομέας στις ασύγχρονες μηχανές δεν στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα αλλά με ταχύτητα μικρότερη. Αυτό συμβαίνει γιατί για να διατηρηθεί η κίνηση τα δύο μαγνητικά πεδία, στάτη και δρομέα, πρέπει να στρέφονται με την ίδια ταχύτητα, ώστε το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του δρομέα να επιτυγχάνει την κατάλληλη συχνότητα για να συμπληρώσει τη διαφορά ως τη συχνότητα του στάτη.

Η ολίσθηση s ορίζεται σαν τη διαφορά της μηχανικής ταχύτητας περιστροφής του δρομέα n από την σύγχρονη ns

$$s = \frac{ns - n}{ns} * 100\%$$

Ιδιότητες και Χρήσεις του Ασύγχρονου Ηλεκτρικού Κινητήρα

Ο επαγωγικός κινητήρας είναι ένας προτιμητέος τύπος κινητήρα για εφαρμογές πρόωσης σε πλοία, όπως και για τους ελιγμούς στο λιμάνι ως bow thrusters. Εκτός από αυτές τις κύριες χρήσεις, είναι επίσης χρήσιμος για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων όπως αντλίες και ανεμιστήρες. Η εκκίνηση αυτού του τύπου κινητήρα συχνά γίνεται υπό μηδενικό φορτίο ή με τη χρήση ενός εκκινήτη αστέρα-δέλτα για την αποφυγή υψηλών ρευμάτων εκκίνησης, τα οποία θα ήταν δυνατόν να υπερβαίνουν τις αντοχές της υφιστάμενης καλωδίωσης σε μεγαλύτερους κινητήρες. Αυτός ο κινητήρας απαιτεί μειωμένη συντήρηση σε σχέση με έναν σύγχρονο κινητήρα, καθώς δεν χρησιμοποιεί καρβουνάκια ή ψήκτρες, πράγμα που οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Τέλος, η εφαρμογή ενός κύκλου-μετατροπέα επιτρέπει την ρύθμιση της ταχύτητας και της συχνότητας, βελτιώνοντας την απόκριση του κινητήρα σε απαιτήσεις αυξομειώσεων ταχύτητας, ειδικά σε σύνθετες συνθήκες πλοήγησης.

Κεφάλαιο 6^ο Μεθοδολογία Υπολογισμού Ηλεκτρικών Στοιχείων Υβριδικού Συστήματος και Εκτίμησης Κόστους Μετασκευής

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία με την οποία υπολογίσθηκαν όλα τα επιμέρους ηλεκτρικά στοιχεία (πχ χωρητικότητα μπαταριών, ισχύς ηλεκτρικών κινητήρων κ.α.), ενώ θα γίνει και αναλυτική περιγραφή της εκτίμησης κόστους της μετασκευής σε υβριδικό σύστημα.

Η στρατηγική χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας επιλέχθηκε ώστε αυτή να μπορεί να καλύπτει όλες τις ηλεκτρικές ανάγκες του πλοίου και να δίνει πρόωση στο πλοίο μόνο κατά τη διάρκεια των ελιγμών σε κάθε λιμάνι.

6.1 Υπολογισμός παρούσας ενέργειας λειτουργίας πλοίων υπό μελέτη

Αρχικά, κύριος στόχος της παρακάτω μεθοδολογίας είναι να βρεθεί η ενέργεια που δαπανούν τα διάφορα πλοία κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους. Έτσι, γίνεται διαχωρισμός σε τρεις (3) βασικές κατηγορίες: η ενέργεια παραμονής του πλοίου στο λιμάνι, η ενέργεια που χρησιμοποιεί το πλοίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και τέλος η ενέργεια κατά τη διάρκεια που το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και κάνει μανούβρες είτε για να φύγει από αυτό, είτε κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού του. Σε αυτές τις τρεις κατηγορίες γίνεται επιπλέον διαχωρισμός ανάλογα με την ενέργεια που παράγεται από την κύρια μηχανή για τη κίνηση του πλοίου και την ενέργεια που παράγεται από τις γεννήτριες με σκοπό την τροφοδότηση του με ηλεκτρική ενέργεια για όλες τις αναγκαίες διαδικασίες (πχ φωτισμός, αντλίες, ψύξη/θέρμανση κ.α.). Για όλες αυτές τις περιπτώσεις η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εύρεση της μέσης ισχύος κάθε κατάστασης και του χρόνου που διαρκεί η κάθε μια από αυτές.

$$E_i(kWh) = \bar{P}_i * \Delta t_i$$

Όπου:

E_i : η ενέργεια κάθε κατάστασης (kWh)

\bar{P}_i : η μέση ισχύς κάθε κατάστασης (kW), με $\bar{P}_i = \frac{\int_0^{\Delta t_i} p * dt}{\int_0^{\Delta t_i} dt}$

Δt_i : ο χρόνος που διαρκεί κάθε κατάσταση (h)

Ακολουθεί πίνακας περιγραφής όλων των προς υπολογισμό ενεργειών

Κατάσταση Πλοίου	Κύριες Μηχανές	Γεννήτριες
Αναμονή Λιμάνι	E_{M/E_port}	E_{G/E_port}
Ελλιμενισμός	E_{M/E_man}	E_{G/E_man}
Πλεύση/Ταξίδι	E_{M/E_cruise}	E_{G/E_cruise}

Οι χρόνοι που διαρκεί κάθε κατάσταση μετρήθηκαν είτε από την ιστοσελίδα marinetraffic είτε σε κάποια πλοία από ζωντανές μετρήσεις πάνω στο πλοίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους.

Σχετικά με την μέση ισχύ, χρησιμοποιήθηκαν τα πραγματικά δεδομένα, όπου αυτά υπήρχαν. Ιδιαίτερα για τις ηλεκτρογεννήτριες χρησιμοποιήθηκαν τα σενάρια με μέγιστη ισχύ (πχ ανοιχτή θέρμανση/κλιματισμός). Για τα υπόλοιπα πλοία που δεν ήταν δυνατό να ληφθούν πραγματικά δεδομένα και για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής αξιοποιήθηκαν τα πραγματικά δεδομένα των υπολοίπων ώστε να γίνουν εκτιμήσεις και στα υπόλοιπα οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία υπολογισμού για την κάθε μία ενέργεια.

$$E_{M/E_port} = \bar{P}_{M/E_port} * \Delta t_{M/E_port}$$

$$E_{G/E_port} = \bar{P}_{G/E_port} * \Delta t_{M/E_port}$$

$$E_{M/E_man} = \bar{P}_{M/E_man} * \Delta t_{M/E_man}$$

$$E_{G/E_man} = \bar{P}_{G/E_man} * \Delta t_{G/E_man}$$

$$E_{M/E_cruise} = \bar{P}_{M/E_cruise} * \Delta t_{M/E_cruise}$$

$$E_{G/E_cruise} = \bar{P}_{G/E_cruise} * \Delta t_{G/E_cruise}$$

\bar{P}_{M/E_port} : θεωρούμε πως αυτή ισούται με το μηδέν αφού οι κύριες μηχανές συνήθως παραμένουν σβηστές και ανάβουν μόνο λίγα λεπτά πριν την αναχώρηση του πλοίου.

\bar{P}_{M/E_man} : Το πλοίο κατά τη διάρκεια των ελιγμών στο λιμάνι βρίσκεται σε συνεχή ετοιμότητα και έτσι η ισχύς του μεταβάλλεται συνεχώς, κάτι που καθιστά αρκετά δύσκολο την εύρεση της μέσης ισχύος. Βασισμένο από τα πραγματικά δεδομένα, χρησιμοποιήθηκε ως μέση ισχύς ένα ποσοστό της τάξης του 45% ως προς τη μέγιστη ονομαστική ισχύς της κύριας μηχανής. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτό το ποσοστό παίζει σημαντικό ρόλο στον τελικό υπολογισμό της ενέργειας των μπαταριών. Όσο μεγαλύτερο αυτό είναι, τόσο μεγαλύτερες μπαταρίες θα υπολογιστούν. Έτσι το ποσοστό που χρησιμοποιήθηκε ίσως είναι λίγο μεγαλύτερο από το μέσο πραγματικό κάθε πλοίου, καθιστώντας τη μελέτη αυτή στην ασφαλή πλευρά.

\bar{P}_{M/E_cruise} : για τον υπολογισμό της γίνεται χρήση του μέσου φορτίου λειτουργίας κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Σημαντικό είναι να καθοριστεί πως η διάρκεια αυτή ξεκινάει αμέσως μόλις το πλοίο σταματήσει του ελιγμούς στο λιμάνι και ξεκινήσει να επιταχύνει σταθερά ταχύτητα. Στα λιμάνια της ελληνικής επικράτειας υπάρχει όριο ταχύτητας στους 9 κόμβους και έτσι στα μεγάλα λιμάνια όπως αυτό του Πειραιά το πλοίο σταθεροποιεί την ταχύτητα του μέχρι να βγει από αυτό και μετά επιταχύνει ξανά. Σε μικρότερα λιμάνια όπως αυτό της Αίγινας, το πλοίο στη διαδικασία της επιτάχυνσής του δεν προλαβαίνει να φτάσει τους 9 κόμβους και η επιτάχυνση γίνεται ενιαία μέχρι την ταχύτητα υπηρεσίας. Έτσι, η μέση ισχύς υπολογίζεται θεωρώντας πως η ζήτηση ισχύος του πλοίου είναι γραμμική συναρτήσει του χρόνου ταξιδιού μέχρι να φτάσει είτε την οριακή ταχύτητα λιμανιού είτε την ταχύτητα υπηρεσίας. Για την εύρεση του ποσοστού ισχύος που λειτουργούν οι κύριες μηχανές στην σταθερή ταχύτητα ταξιδιού χρησιμοποιείται η αντίσταση του πλοίου που προσδιορίζεται θεωρητικά για το κάθε πλοίο που μελετάται. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί αναλυτικά ο υπολογισμός αυτός. Τέλος, η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται μόνο για να υπολογίσουμε παρακάτω την ενέργεια που

μπορεί ο ηλεκτροκινητήρας να απορροφήσει στο υβριδικό σύστημα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

\bar{P}_{G/E_port} : για την κάθε γεννήτρια σε λειτουργία εκτιμήθηκε ότι λειτουργεί περίπου στο 40% της μέγιστης ισχύς της

\bar{P}_{G/E_man} : ανάλογα με τον αν το πλοίο διαθέτει πλευρικούς προωστήριους μηχανισμούς (bow thruster) ή όχι, λήφθηκαν υπόψιν δύο περιπτώσεις. Έτσι για τα πλοία που δεν υπήρχαν πραγματικά στοιχεία, για την κάθε γεννήτρια σε λειτουργία λήφθηκε υπόψιν ότι λειτουργεί περίπου στο 45% της μέγιστης ισχύς της όταν το πλοίο δεν έχει bow thruster, ενώ στην αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ποσοστό της τάξης του 40% με μια προσαύξηση ίση με τα 2/3 της μέγιστης ισχύς του bow thruster.

\bar{P}_{G/E_cruise} : εκτιμήθηκε σε ποσοστό περίπου 45% της μέγιστης ισχύς για την κάθε γεννήτρια σε λειτουργία.

Για όσα πλοία δεν βρέθηκαν πραγματικά δεδομένα για τις γεννήτριες, η μέγιστη ονομαστική ισχύς για την κάθε γεννήτρια προβλέφθηκε από τον ακόλουθο τύπο που βρίσκεται στο βιβλίο «Ενεργειακά Συστήματα Πλοίων» (Προυσαλίδης, Ιωαννίδης, Φραγκόπουλος):

$$P_{G/E_MCR} = 1.2 * (100 + 0.55 * MCR^{0.7})$$

Όπου MCR: η μέγιστη συνολική ονομαστική ισχύ των κύριων μηχανών.

6.2 Υπολογισμός Χωρητικότητας Μπαταριών

Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας των μπαταριών που θα εγκατασταθούν στο κάθε πλοίο πρέπει αρχικά να επιλεγεί ένα σενάριο φόρτισης. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής επιλέχθηκε να γίνεται φόρτιση μέχρι το 100% στα βασικά λιμάνια κάθε διαδρομής καθώς σε αυτά είναι συνήθως είναι πιο εύκολη η εγκατάσταση παροχής φόρτισης και επιπλέον τα πλοία παραμένουν για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας ώρας σε αυτά. Σχετικά με τον αριθμό των ταξιδιών που θα είναι ικανό να κάνει το πλοίο, αυτό επιλέχθηκε να ισούται με ένα, δηλαδή το πλοίο θα ξεκινάει από το βασικό λιμάνι φορτισμένο στο 100%, θα πηγαίνει στον προορισμό του και όταν επιστρέφει ξανά στο βασικό λιμάνι θα φορτίζει ξανά μέχρι το 100%. Βασικός άξονας της συγκεκριμένης επιλογής ήταν το βάρος των εγκατεστημένων μπαταριών, καθώς στο επιλεγμένο σενάριο φάνηκε το βάρος των μηχανημάτων που απεκαθιστούνται να είναι παρόμοιο με το βάρος όλων των εξαρτημάτων που θα εγκατασταθούν για τη μετασκευή, με σημαντικότερο εξ αυτών τις μπαταρίες.

Υπολογισμός ελάχιστης ενέργειας

Έτσι καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση για την ελάχιστη συνολική ενέργεια των μπαταριών:

$$E_{min_battery} = (E_{el_total} + E_{mech_man}) * SF - E_{regen}$$

Όπου:

E_{el_total} : η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιεί το πλοίο σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του.

$E_{mech_{man}}$: η μηχανική ενέργεια πρόωσης που χρησιμοποιεί το πλοίο για τους ελιγμούς στο κάθε λιμάνι

SF : safety factor, είναι ο συντελεστής προσαύξησης και περιέχει τις απώλειες του ηλεκτρικού συστήματος, το επιθυμητό ποσοστό αποφόρτισης των μπαταριών και ένα γενικό συντελεστή ασφαλείας για τυχόν σενάρια που δεν έχουν ληφθεί υπόψιν

E_{regen} : η ενέργεια που ανακτά/αναπαράγει το σύστημα κατά τη διάρκεια που λειτουργεί ο ντιζελοκινητήρας ή επιβραδύνει το πλοίο.

Για το επιλεγμένο σενάριο ισχύουν:

$$E_{el_{total}} = E_{G/E_{port}} + 4 * E_{G/E_{man}} + 2 * E_{G/E_{cruise}}$$

Καθώς θεωρήθηκε ότι στο βασικό λιμάνι όπου το πλοίο ξεκινάει το ταξίδι του, αυτό θα είναι συνδεδεμένο με εξωτερική πηγή ενέργειας που θα καλύπτει τις ηλεκτρικές του ανάγκες και συγχρόνως θα φορτίζει τις μπαταρίες. Επομένως η κατάσταση λιμανιού θα ισχύει μόνο στο ενδιάμεσο λιμάνι.

$$E_{mech_{man}} = 4 * E_{M/E_{man}}$$

Θεωρήθηκε ότι το πλοίο κάνει ίδιες ενέργειες κάθε φορά που κάνει ελιγμούς στο λιμάνι. Αυτή η θεώρηση δεν ανταποκρίνεται ακριβώς στην πραγματικότητα καθώς εξαρτάται κάθε φορά από το κάθε λιμάνι και τον τύπο του πλοίου. Σα γενικό κανόνα τα πλοία αυτά κάνουν πολύ μικρούς ελιγμούς κατά την αναχώρηση και αρκετά μεγαλύτερους κατά την άφιξή τους καθώς δένουν με την πρύμνη στα λιμάνια. Παρόλα αυτά στην τελική θεώρηση που έγινε, θεωρήσαμε ως χρόνο που διαρκεί η κατάσταση αυτή το μέσο χρόνο που κάνει το πλοίο, ενώ για την μέση ισχύ πάρθηκε η χειρότερη περίπτωση όπου το πλοίο αναγκάζεται στους μεγαλύτερους ελιγμούς. Έτσι, η τελική ενέργεια θα υπολογιστεί είναι ίσως ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με την πραγματικότητα, έτσι ώστε να λάβουμε υπόψιν και επείγοντα σενάρια που οι ελιγμοί μπορεί να είναι πιο απότομοι ή να διαρκούν περισσότερο χρόνο.

$$SF = \frac{1}{DOD} * \frac{1}{n_{el_{system}}} * 1.05$$

DOD : το ποσοστό αποφόρτισης των μπαταριών και επηρεάζει αρκετά τους κύκλους φόρτισης που μπορούν οι μπαταρίες να κάνουν σε κάθε επιθυμητό όριο χρήσης της χωρητικότητας τους. Σύμφωνα με μελέτη που έγινε σε προηγούμενες διπλωματικές για ηλεκτροκίνηση των πλοίων, το βέλτιστο ποσοστό ορίζεται στις τάξεις του 80% για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου LFP

$n_{el_{system}}$: ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτρικού συστήματος. Αποτελείται από το βαθμό απόδοσης του κινητήρα, του αντιστρεφέα (inverter), των καλωδίων, των μπαταριών κ.α. Αξίζει να σημειωθεί πως εδώ ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος όταν η ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια κίνησης του πλοίου σε σχέση με όταν τη χρησιμοποιούμε για τους καταναλωτές του πλοίου (πχ ψύξη). Τελικώς, επιλέχθηκε $n_{el_{system}} = 87.5\%$ σύμφωνα με τις διάφορες έρευνες που έχουν γίνει για τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης καθώς και από αντίστοιχα συστήματα μετάδοσης κίνησης για αυτοκίνητα

$$E_{regen} = E_{regen_cruise} + E_{regen_braking}$$

E_{regen_cruise} : η ενέργεια που παράγεται από την κύρια μηχανή του πλοίου και συλλέγεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού που η κύρια μηχανή λειτουργεί στη βέλτιστη ενεργειακά απόδοση, οπότε υπάρχει πλεονέκτημα στη χρήση της και ως γεννήτρια για τη φόρτιση των μπαταριών. Η διαδικασία αυτή παρομοιάζεται σαν τις γεννήτριες άξονα (shaft generators) που υπάρχουν σε κάποια από τα υπό προς μελέτη πλοία. Θεωρήθηκε λοιπόν, σύμφωνα με δεδομένα που αντλήθηκαν από τις υπάρχουσες shaft generators, πως η ενέργεια αυτή θα είναι της τάξης του 7% της συνολικής ενέργεια που ταξιδεύει το πλοίο E_{M/E_cruise} και δεν θα επιβαρύνει επιπλέον την κατανάλωση της κύριας μηχανής. (Είναι πιθανό σε μερικές περιπτώσεις να χρειαστεί να μειώσουμε λίγο την ταχύτητα πλεύσης αλλά εφόσον οι αποστάσεις που μελετάμε είναι αρκετά μικρές, αυτό δεν θα επηρεάσει σχεδόν καθόλου τον τελικό συνολικό χρόνο ταξιδιού)

$E_{regen_braking}$: η ενέργεια που ανακτάται από την επιβράδυνση του πλοίου κατά τη διάρκεια που αυτό ξεκινά να προσεγγίζει το λιμάνι μέχρι να σβήσει την κύρια μηχανή και να ξεκινήσει τους ελιγμούς πρόσδεσης του. Η προσέγγιση της ενέργειας αυτής, έγινε με βάση ότι το πλοίο επιβραδύνει με γραμμική μείωση της ισχύς του και για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Γνωρίζοντας όμως πως σε κάθε προσέγγιση και ανάλογα με την κατάσταση της θάλασσας, το φαινόμενο αυτό δεν είναι σταθερό, θεωρήθηκε πως η μέση ισχύς στην κατάσταση αυτή θα είναι περίπου στο 40% (δηλαδή λίγο μικρότερη από τη μέση ισχύ που θεωρήσαμε νωρίτερα για την κατάσταση ελιγμών) από ως προς τη μέγιστη ονομαστική ισχύς της κύριας μηχανής, καθιστώντας τη προσέγγιση μας αρκετά συντηρητική.

Υπολογισμός αριθμού μπαταριών

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, στο πλοίο θα εγκατασταθεί ένα κουτί μπαταριών αποτελούμενο από μονάδες μπαταριών (modules). Έτσι το κουτί μπαταριών θα αποτελείται από μονάδες συνδεδεμένες σε σειρά, για να φτάσει την επιθυμητή τάση δικτύου και παράλληλες για να φτάσει την επιθυμητή χωρητικότητα.

$$N_{series} = roundup\left(\frac{V_{nom_bat_mod}}{V_{δικτύου}}\right)$$

$$N_{parallel} = roundup\left(\frac{N_{total_mod}}{N_{series}}\right)$$

$$N_{total_mod} = roundup\left(\frac{E_{min_battery}}{E_{bat_mod}}\right)$$

$V_{nom_bat_mod}$: Ονομαστική τάση μονάδας (module)

$V_{δικτύου}$: Ονομαστική τάση δικτύου

$roundup$: στρογγυλοποίηση προς τα πάνω

N_{series} : αριθμός των μονάδων σε σειρά

$N_{parallel}$: αριθμός των μονάδων σε παράλληλια

E_{bat_mod} : ενέργεια της μιας μονάδας (module)

Επομένως η τελική πραγματική εγκαταστημένη ενέργεια του πλοίου θα είναι:

$$E_{battery} = N_{total_mod} * E_{bat_mod}$$

Σχετικά με την συνεχή ισχύ αποφόρτισης των μπαταριών αυτή υπολογίζεται

$$P_{bat_cont_discharge} = N_{parallel} * I_{cont_discharge} * V_{nom_bat_mod} * N_{series} / 1000 (kW)$$

$I_{cont_discharge}$: Το συνεχές ρεύμα αποφόρτισης που δίνει ο κατασκευαστής

Ενώ η συνεχής ισχύς φόρτισης θα είναι

$$P_{bat_cont_charge} = N_{parallel} * I_{cont_charge} * V_{nom_bat_mod} * N_{series} / 1000 (kW)$$

I_{cont_charge} : Το συνεχές ρεύμα φόρτισης που δίνει ο κατασκευαστής

6.3 Υπολογισμός Ισχύος Φορτιστών, Ηλεκτρικού Μοτέρ και Αντιστροφέα

Κύρια συστατικά του εξοπλισμού που πρόκειται να τοποθετηθούν στο πλοίο περιλαμβάνουν τον ηλεκτρικό κινητήρα και τον αντιστροφέα, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο, καθώς και για την προσαρμογή της συχνότητας του ρεύματος. Αυτά τα στοιχεία πρέπει να υποβληθούν σε διαστασιολόγηση με βάση την ισχύ εξόδου τους για τον υπολογισμό του κόστους απόκτησης καθώς και το βάρος τους, το οποίο αναμένεται να αποτελέσει ένα σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους μετασκευής αλλά και του συνολικού βάρους της εγκατάστασης.

Ο προσδιορισμός της μέγιστης ισχύς του ηλεκτρικού μοτέρ θα προκύψει από το μέγιστο φορτίο λειτουργίας του ντιζελοκινητήρα κατά τη διάρκεια των ελιγμών. Ως μέγιστο φορτίο, επιλέγεται αυτό να είναι περίπου 20% προσαυξημένο σε σχέση με τη μέση ισχύ \bar{P}_{M/E_man} και στο τελικό αποτέλεσμα για την εύρεση της ισχύος λαμβάνεται υπόψιν και ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονίσουμε πως οι επιλεγμένοι τύποι ηλεκτροκινητήρων πέρα από την ονομαστική ισχύ που υπολογίζεται παρακάτω, έχουν και μια στιγμιαία ισχύ που μπορεί να δώσουν για μια περίοδο περίπου 30 δευτερολέπτων. Η ισχύς αυτή συνήθως είναι κάτι λιγότερο από διπλάσια της ονομαστικής. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως σε αυτό το ορισμένο χρονικό διάστημα ο ηλεκτροκινητήρας θα μπορεί να αποδώσει την ίδια ή και μεγαλύτερη ενδεχομένως μέγιστη ισχύ με τον υπάρχων κινητήρα ντιζελ.

$$P_{el_motor} = \frac{\max(P_{M/E_man})}{\eta_{el_motor}}$$

Στο αρχικό στάδιο της μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι διαθέσιμες ισχύεις για τους inverters είναι τυποποιημένες, εκτιμάται προσεγγιστικά ότι η ισχύς του inverter θα υπερβαίνει κατά 10% εκείνη που απαιτείται από τον ηλεκτρικό κινητήρα. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει ότι η ισχύς του inverter θα είναι επαρκής και δεν θα υπολείπεται της απαιτούμενης από τον ηλεκτρικό κινητήρα.

$$P_{inverter} = 1.1 * P_{el_motor}$$

Ισχύς φορτιστών

Η ισχύς ενός φορτιστή προσδιορίζεται με βάση το συνολικό ρεύμα φόρτισης που απαιτείται να παρέχει σε N παράλληλα συνδεδεμένους κλάδους και την τάση του συστήματος των μπαταριών.

$$P_{charger} = \text{roundup}\left(\frac{V_{nom_bat_mod} * N_{series} * N_{parallel} * I_{charging}}{1000}\right)$$

6.4 Εκτίμηση Βάρους ηλεκτρικής εγκατάστασης

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας σημαντικό είναι να γίνει σύγκριση των βαρών των εξαρτημάτων που πρόκειται να απεγκατασταθούν από το πλοίο και αυτών που πρόκειται να προστεθούν. Υπολογίζονται τα πιο σημαντικά βάρη, προσεγγιστικά.

Αφαιρεθέν Βάρος

Ηλεκτρογεννήτριες: Για όσα πλοία δεν υπήρχαν πραγματικά δεδομένα έγινε εκτίμηση σύμφωνα με την ισχύ των ηλεκτρογεννητριών. Έτσι, $W_{G/E_total} = w_{G/E_factor} * P_{G/E_total}$

Ο συντελεστής βάρους ανά ισχύ θεωρήθηκε περίπου $w_{G/E_factor} = 0.017 \text{ ton/kW}$ χρησιμοποιώντας το μέσο όρο των υπαρχόντων ηλεκτρογεννητριών από τα υπόλοιπα πλοία.

Δεξαμενές Πετρελαίου: για τα πλοία που υπήρχαν πραγματικά δεδομένα θεωρήθηκε πως στο πλοίο υπάρχει πάντα πετρέλαιο αποκλειστικά για τις ηλεκτρογεννήτριες της τάξεως του διπλάσιου όγκου των δεξαμενών υπηρεσίας τους (service tanks). Συγκρίνοντας τα πραγματικά αυτά νούμερα, εκτιμήθηκε, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ των ηλεκτρογεννητριών, για τα πλοία που δεν διαθέταμε δεδομένα.

$$W_{tank_G/E} = w_{tank_factor} * P_{G/E_total} \text{ και } w_{tank_factor} = 0.003 \text{ (ton/kW)}$$

Άρα συνολικό πρόσθετο βάρος θα είναι:

$$W_{removed} = W_{G/E_total} + W_{tank_G/E}$$

Πρόσθετο Βάρος

Στο πρόσθετο βάρος, τον πιο σημαντικό ρόλο παίζουν οι μπαταρίες και έπειτα ο ηλεκτροκινητήρας, ο αντιστροφέας. Ο φορτιστής παίζει πολύ μικρό ρόλο αφού το μεγαλύτερο κομμάτι του θα βρίσκεται στο λιμάνι φόρτισης και έτσι τα επιπλέον εξαρτήματα που χρειάζονται για τη φόρτιση θα βρίσκονται μέσα στον αντιστροφέα.

Έτσι για τις μπαταρίες λήφθηκε υπόψιν το βάρος της κάθε μονάδας (module) και για τα υπόλοιπα ο υπολογισμός έγινε προσεγγιστικά με συντελεστές βάρους ανά μονάδα ισχύος, σύμφωνα με δεδομένα που αντλήθηκαν από κατασκευαστές των εξαρτημάτων αυτών.

$$W_{battery} = N_{total_mod} * W_{module}$$

$$W_{el_motor} = w_{motor_factor} * P_{el_motor} \text{ και } w_{motor_factor} = 3 * 10^{-3} \text{ (ton/kw)}$$

$$W_{inverter} = w_{inverter_factor} * P_{inverter} \text{ και } w_{inverter_factor} = 0.5 * 10^{-3} \text{ (ton/kw)}$$

Οι συντελεστές αυτοί αντλήθηκαν από αντίστοιχα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά πλοία

$$W_{added} = W_{battery} + W_{el_motor} + W_{inverter}$$

Διαφορικό Βάρους και Σύγκριση

Τέλος για να βεβαιωθούμε πώς το σενάριο που θα εξετάσουμε κάθε φορά έχει νόημα, συγκρίνουμε τη διαφορά των παραπάνω βαρών σε σχέση με το DWT του πλοίου με στόχο το ποσοστό σύγκρισης τους να είναι κάτω από 1%.

$$dw_{percentage} = \frac{W_{added} - W_{removed}}{DWT} * 100\%$$

6.5 Εκτίμηση Κόστους Μετασκευής

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι inverters και οι φορτιστές, μαζί με τις μπαταρίες και το Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (BMS), αποτελούν τα κύρια στοιχεία κόστους για τη μετασκευή του πλοίου.

Ηλεκτροκινητήρας, Ινβέρτερ, Φορτιστής

Σχετικά με τα τρία πρώτα, η εκτίμηση κόστους γίνεται με βάση την ισχύ τους. Έτσι,

$$Cost_{el_motor} = P_{el_motor} * c_{factor_el_motor}$$

$$Cost_{inverter} = P_{inverter} * c_{factor_inverter}$$

$$Cost_{charger} = P_{charger} * c_{factor_charger}$$

Για τους συντελεστές κόστους ανά μονάδα ισχύος διερευνήθηκαν παρόμοια εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά και υβριδικά συστήματα στη ναυτιλία καθώς και μέσα από παλιότερες μελέτες διπλωματικών που έχουν ερευνήσει παρόμοιες μελέτες σε τέχνο-οικονομικό επίπεδο.

Θεωρήθηκε λοιπόν,

$$c_{factor_el_motor} = 60 \$/kW$$

$$c_{factor_inverter} = 250 \$/kW$$

$$c_{factor_charger} = 200 \$/kW$$

Μπαταρίες

Το κόστος αγοράς μιας μπαταρίας διαφέρει αισθητά ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας, και ένα σημαντικό μέρος αυτού του κόστους είναι το Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (BMS), το οποίο αυτή την στιγμή αντιπροσωπεύει το 20-30% του συνολικού αρχικού κόστους των μπαταριών. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, ο επιλεγμένος τύπος μπαταριών είναι τύπου LFP, οι οποίες παρόλο που παρουσιάζουν μικρότερη ειδική ενέργεια – με αποτέλεσμα το αυξημένο βάρος – είναι πιο οικονομικές και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με άλλους τύπους. Επιπλέον, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στο εσωτερικό των χώρων όπου φυλάσσονται οι μπαταρίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού

στην Ελλάδα, οι μπαταρίες NMC αντιμετωπίζουν σημαντικό κίνδυνο έκρηξης, κάτι που δεν συμβαίνει με τις μπαταρίες LFP.

$$Cost_{battery} = E_{battery} * C_{factor_battery}$$

Στον ειδικό συντελεστή κόστους ανά μονάδας ενέργειας συμπεριλαμβάνεται και το BMS και είναι:

$$C_{factor_battery} = 500\$/kWh$$

Πώληση Γεννητριών

Κατά τη μετασκευή, οι υπάρχουσες ηλεκτρογεννήτριες θα πωληθούν εφόσον δεν θα είναι πλέον αναγκαίες. Επομένως,

$$Sell_{G/E} = P_{G/E_total} * S_{factor_G/E}, \quad \text{με } S_{factor_G/E} = 50\$/kw$$

Ο συντελεστής πώλησης ισούται με περίπου το 12% του συντελεστή αγοράς. Η επιλογή του παραπάνω νούμερου έγινε με βάση παλιότερες μελέτες διπλωματικών που έχουν ερευνήσει παρόμοιες μελέτες σε τέχνο-οικονομικό επίπεδο.

Ολικό Κόστος Μετασκευής

Κατά τη μετασκευή, οι υπάρχουσες ηλεκτρογεννήτριες θα πωληθούν εφόσον δεν θα είναι πλέον αναγκαίες. Επομένως

$$Cost_{total_retrofit} = Cost_{el_motor} + Cost_{inverter} + Cost_{charger} + Cost_{battery} - Sell_{G/E}$$

6.6 Μελέτη Εφικτότητας Μετασκευής σε Υβριδικό Πλοίο

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία, πέραν του καθορισμού της εγκατεστημένης ισχύος των μπαταριών και της εκτίμησης του συνολικού κόστους της μετασκευής, επιδιώκεται η ανάλυση της εφικτότητας της επένδυσης από τη σκοπιά του πλοιοκτήτη. Αυτό σημαίνει την αξιολόγηση της βιωσιμότητας της επένδυσης μέσω του χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη τα προβλεπόμενα έσοδα και έξοδα του πλοίου μετά τη μετασκευή. Χρησιμοποιώντας την Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) και τον δείκτη Εσωτερικής Απόδοσης Κεφαλαίου (IRR), θα εξεταστεί η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Σε περίπτωση που η επένδυση δεν αποδειχθεί βιώσιμη για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα N ετών, θα πρέπει να καθοριστεί το επίπεδο χρηματοδότησης που απαιτείται ώστε η επένδυση να γίνει οικονομικά εφικτή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλοι κρατικοί φορείς παρέχουν χρηματοδοτήσεις για τέτοιου είδους επενδύσεις (π.χ., ηλεκτροκίνηση πλοίων) λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης σε σχέση με τα καθαρά έσοδα.

Στη μελέτη επένδυσης που εκπονείται, θα ληφθεί υπόψιν ένα σενάριο για τον χρονικό ορίζοντα ανάλυσης το οποίο θα αφορά τη βιωσιμότητα της επένδυσης εντός των πρώτων 5 ετών από την ολοκλήρωση της μετασκευής. Αυτό το χρονικό διάστημα επιλέγεται λόγω της προσδοκώμενης απώλειας χωρητικότητας των μπαταριών, όπου σύμφωνα με τους κατασκευαστές, μπορεί να ξεκινήσει να γίνεται αισθητή. Συγκεκριμένα, οι μπαταρίες προβλέπεται να διατηρούν πάνω από 80% της αρχικής τους χωρητικότητας μετά από 5000 έως 7000 κύκλους λειτουργίας. Η ανάλυση θα λάβει υπόψη τον προγραμματισμένο αριθμό των ημερήσιων κύκλων λειτουργίας της μπαταρίας για πραγματικά πλοία, εστιάζοντας στην

αποφυγή υπέρβασης των κύκλων που προτείνουν οι κατασκευαστές. Το δεύτερο σημαντικό στοιχείο του σεναρίου αυτού είναι η προσδοκώμενη επιπρόσθετη έσοδα από την αντικατάσταση των μπαταριών στο τέλος του πενταετούς χρονικού διαστήματος, η οποία θα προκύψει από την ανακύκλωση των μπαταριών. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα πώλησης των μπαταριών ως είναι, λόγω της καλής κατάστασής τους, πράγμα που οφείλεται στην ακριβή προσδιορισμένη λειτουργία τους σύμφωνα με τη μελέτη φορτίων και αυτονομίας του πλοίου. Η μπαταρία θα λειτουργήσει εντός των προδιαγραφών που έχουν μελετηθεί, χωρίς να υποστεί μεγάλα ρεύματα αποφόρτισης και βάθη αποφόρτισης που υπερβαίνουν το 80% της χωρητικότητάς της, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της καλής της κατάστασης μέχρι και το τέλος του πενταετούς διαστήματος.

Στο πλαίσιο αυτού του σεναρίου, η ανάλυση της επένδυσης θα περιοριστεί στα πρώτα 5 χρόνια από την μετασκευή του πλοίου, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η περαιτέρω λειτουργία του. Αυτό επιτρέπει την απλοποίηση της ανάλυσης διασφαλίζοντας ότι το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών, που πιθανώς θα προκύψει μετά την πενταετία, δεν θα επηρεάσει το αποτέλεσμα της μελέτης. Αυτή η προσέγγιση αναδεικνύει τη σημασία της άμεσης επιστροφής της επένδυσης και της βιωσιμότητας της μετασκευής στον ορισμένο χρονικό ορίζοντα, χωρίς την αβεβαιότητα των μελλοντικών εξελίξεων πέρα από αυτό το διάστημα.

Στην παρούσα διπλωματική δεν πραγματοποιήθηκε σενάριο επιπλέον χρόνου απόσβεσης της επένδυσης. Θεωρήθηκε πως η μελέτη σε βάθος επιπλέον ετών (πχ 10 έτη), με στόχο να ληφθεί υπόψη το επιπλέον κόστος από την αναγκαία αντικατάσταση των μπαταριών, καθώς και τα έσοδα από την ανακύκλωση των μπαταριών στο τέλος της περιόδου, δεν θα έδινε κάποιο επιπλέον στοιχείο, αφού σε αντίστοιχες έρευνες για καθαρά ηλεκτρικά πλοία, οι μελετητές κατέληξαν στα ίδια αποτελέσματα με αυτά του σεναρίου σε μικρό χρονικό ορίζοντα χωρίς αντικατάστασή μπαταριών. Αυτό συμβαίνει καθώς η αντικατάσταση των μπαταριών θα κοστίζει σημαντικά λιγότερο από την αρχική επένδυση. Η συγκεκριμένη θεώρηση βασίζεται στην παρατήρηση ότι οι τιμές των μπαταριών δείχνουν μια σταθερή πτωτική τάση, με εκτιμήσεις να υποδεικνύουν μια προσέγγιση στα 150\$/kWh εντός της επόμενης πενταετίας. Αυτή η τάση στις τιμές παρέχει μια βάση για την ανάλυση της μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης της επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το αρχικό κόστος εγκατάστασης όσο και τις μελλοντικές δαπάνες για την αντικατάσταση των μπαταριών.

$$NPV = \sum_{y=1}^N \frac{income}{(1+r)^y} - \sum_{y=1}^N \frac{expenditure}{(1+r)^y} - Initial_investment \Rightarrow$$

$$NPV = \sum_{y=1}^N \frac{revenue}{(1+r)^y} - Initial_investment$$

Και είναι: *Καθαρό Ετήσιο Εισόδημα = Revenue = income – expennditure*

Ο συντελεστής IRR (Εσωτερικής Απόδοσης Επένδυσης) αναφέρεται στο επιτόκιο ή στο ποσοστό έκπτωσης r που οδηγεί την Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) μιας επένδυσης να είναι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι ο IRR αντιπροσωπεύει το ποσοστό κέρδους που αναμένεται να

παράγει μια επένδυση με βάση τις μελλοντικές της ταμειακές εισροές και εκροές, ρυθμισμένες στην τρέχουσα αξία τους. Η χρήση του IRR είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση της ελκυστικότητας και της βιωσιμότητας μιας επένδυσης, καθώς παρέχει ένα συγκριτικό ποσοστό απόδοσης που μπορεί να συγκριθεί με το κόστος κεφαλαίου ή άλλες επενδυτικές ευκαιρίες.

Το ποσοστό έκπτωσης του χρήματος r αποτελεί βασικό συστατικό στη διαδικασία υπολογισμού του NPV, υποδεικνύοντας ότι η αξία ενός ποσού χρήματος σήμερα δεν είναι ίση με την ίδια αξία στο μέλλον λόγω του φαινομένου του πληθωρισμού, του κινδύνου και της ευκαιρίας κόστους της μη χρήσης του χρήματος σε εναλλακτικές επενδύσεις. Έτσι, η μελλοντική ταμειακή εισροή ή εκροή "εκπτώνεται" πίσω στην τρέχουσα αξία της για να προσδιοριστεί η πραγματική αξία της επένδυσης σήμερα.

Συνοψίζοντας, ο IRR αποτελεί μια κρίσιμη τιμή για την αξιολόγηση επενδύσεων, καθώς επιτρέπει στους επενδυτές να καταλήξουν σε ενημερωμένες αποφάσεις βάσει του επιτοκίου που εξισορροπεί τις μελλοντικές αναμενόμενες ταμειακές ροές με το αρχικό κόστος επένδυσης. Έτσι, ο συντελεστής r υπολογίζεται επαναληπτικά από την παρακάτω σχέση.

$$\sum_{y=1}^N \frac{income}{(1+r)^y} - \sum_{y=1}^N \frac{expenditure}{(1+r)^y} - Initial_investment = 0$$

6.7 Υπολογισμός ετήσιου εισοδήματος από τη Μετασκευή

Λειτουργικό Κόστος μετά τη Μετασκευή (Μπαταρία)

Αρχικά, το διαφορικό κόστος λειτουργίας του πλοίου μετά τη μετασκευή προκύπτει κυρίως από τη χρήση της μπαταρίας. Ειδικότερα, αυτό το κόστος περιλαμβάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τις λειτουργίες του πλοίου καθώς και τα έξοδα συντήρησης της μπαταρίας και των συναφών εξοπλισμών της.

Για τις ανάγκες τις παρούσας διπλωματικής γίνεται η θεώρηση ότι η συντήρηση των μπαταριών εξαρτάται από ένα πάγιο κόστος και ένα μεταβλητό κόστος. Έτσι, το πάγιο κόστους προσομοιάζεται ως ποσοστό του αρχικού κόστους κτήσης της μπαταρίας και το μεταβλητό θα οριστεί ως συντελεστής κόστους ανά μονάδα ενέργειας. Σύμφωνα με έρευνα σε παλιότερες διπλωματικές εργασίες για ηλεκτρικά πλοία και σε αντίστοιχες έρευνες από υπάρχουσα ηλεκτρικά πλοία καταλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω τιμές για τους αναφερόμενους συντελεστές.

$$Cost_{battey_maint} = c_{factor_constant} * Cost_{battery} + c_{factor_variable} * E_{battery}$$

$$c_{factor_constant} = 1.5\% \text{ και } c_{factor_variable} = 1\$/kWh$$

Σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας θεωρούμε πως οι μπαταρίες αποφορτίζονται σαν πιο ακραίο σενάριο πάντα στο DOD=80% και για όλα τα δρομολόγια που διενεργεί το πλοίο κάθε μέρα. Οπότε θα είναι:

$$Cost_{bat_electricity} = days * trips * DOD * E_{battery} * c_{electricity}$$

$days$: ημέρες που το πλοίο λειτουργεί κάθε χρόνο, θεωρώ $days=360$

trips : ταξίδια που κάνει το πλοίο ανά ημέρα. Υπενθυμίζουμε πώς ως ταξίδι μετράει κάθε φορά που το πλοίο φορτίζει τις μπαταρίες του.

$c_{electricity}$: είναι η τιμή πώλησης του ρεύματος στην ξηρά. Σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα και στατιστικά βρέθηκε $c_{electricity} = 0.06 \text{ \$/kwh}$

Λειτουργικό Κόστος πριν τη Μετασκευή

Αντίστοιχα, το διαφορικό λειτουργικό κόστος πριν τη μετασκευή προέρχεται από τη συντήρηση των γεννητριών, σε μικρότερο ποσοστό από τη συντήρηση των κύριων μηχανών αφού πλέον λειτουργούν λιγότερο χρόνο μετά τη μετασκευή και από την κατανάλωση καυσίμου για τη λειτουργία των μηχανών.

Έτσι, για το κόστος καυσίμου στις κύριες μηχανές η διαφορά είναι πλέον πως οι μηχανές δεν θα λειτουργούν κατά τη διάρκεια των ελιγμών ελλιμενισμού.

$$Cost_{fuel_M/E} = W_{fuel_M/E_trip} * trips * days * c_{fuel}$$

$$W_{fuel_M/E_trip} = 10^{-6} * be_{man_M/E} * E_{mech_man}$$

$be_{man_M/E}$: ειδική κατανάλωση καυσίμου κύριων μηχανών κατά τη διάρκεια της κατάσταση manuevering. Στη συνέχεια της διπλωματικής θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι υπολογισμοί για τις ειδικές καταναλώσεις των Κύριων μηχανών και των γεννητριών.

c_{fuel} : κόστος καυσίμου. Σύμφωνα με μελέτη που έγινε για το κόστος καυσίμου για τα λιμάνια της Ελλάδας βρέθηκε πως το μέσο κόστος τη συγκεκριμένη στιγμή είναι περίπου $c_{fuel} = 1000\$/ton$

Όσον αφορά το κόστος καυσίμου των γεννητριών αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$Cost_{fuel_G/E} = W_{fuel_G/E_trip} * trips * days * c_{fuel}$$

$$W_{fuel_G/E_trip} = 10^{-6} * (be_{port_G/E} * E_{el_total_port} + be_{man_G/E} * E_{el_total_man} + be_{cruise_G/E} * E_{el_total_cruise})$$

$$E_{el_total_port} = E_{G/E_port}$$

$$E_{el_total_man} = 4 * E_{G/E_man}$$

$$E_{el_total_cruise} = 2 * E_{G/E_cruise}$$

$be_{port_G/E}$: ειδική κατανάλωση καυσίμου γεννητριών κατά τη διάρκεια της κατάσταση αναμονής στο λιμάνι.

$be_{man_G/E}$: ειδική κατανάλωση καυσίμου γεννητριών κατά τη διάρκεια της κατάσταση manuevering.

$be_{cruise_G/E}$: ειδική κατανάλωση καυσίμου γεννητριών κατά τη διάρκεια της κατάσταση κανονικής πλεύσης (cruising)

Στη συνέχεια της διπλωματικής θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι υπολογισμοί για τις ειδικές καταναλώσεις των γεννητριών για κάθε κατάσταση.

Τέλος, υπολογίζεται το κόστος συντήρησης των γεννητριών. Θεωρούμε πως αυτό προκύπτει από ένα συντελεστή κόστους ανά μονάδα ισχύος. Επειδή οι κύριες μηχανές θα δουλεύουν λιγότερο χρόνο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού μετά τη μετασκευή, θεωρούμε μια μικρή προσαύξηση της τάξεως του 10% (όσο περίπου και η μείωση του χρόνου λειτουργίας) στο συντελεστή κόστους συντήρησης των γεννητριών ώστε να καλύψουμε αυτή τη διαφορά. Επομένως καταλήγουμε:

$$Cost_{G/E_maint} = C_{factor_maint_G/E} * P_{G/E_total}$$

$C_{factor_maint_G/E}$: συντελεστής κόστους ανά μονάδα ισχύος. Θεωρήθηκε $C_{factor_maint_G/E} = 10 \$/kW$ μαζί με την προσαύξηση για την κύρια μηχανή, σύμφωνα με αντίστοιχες διπλωματικές εργασίες.

Διαφορικό Ετήσιο Όφελος από τη Μετασκευή

Αναμένεται να παρατηρηθεί οικονομικό όφελος, καθώς το κόστος για τη συντήρηση και η δαπάνη για την ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται να είναι σημαντικά χαμηλότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα προ-μετασκευής κόστη. Έτσι θα είναι,

$$\begin{aligned} annual_revenue &= Cost_{existing} - Cost_{hybrid} = \\ &= (Cost_{fuel_M/E} + Cost_{fuel_G/E} + Cost_{G/E_maint}) - (Cost_{batteymaint} + Cost_{bat_electricity}) \end{aligned}$$

Αξίζει να σημειωθεί πως το ετήσιο εισόδημα θα μεταβάλλεται κάθε χρόνο σύμφωνα με τον πληθωρισμό. Στην παρούσα διπλωματική θεωρήθηκε αυτό σε ένα ποσοστό της τάξεως του 3%.

Συμπέρασμα

Για να θεωρηθεί μια επένδυση βιώσιμη, είναι απαραίτητο ταυτόχρονα η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) να είναι μεγαλύτερη από το μηδέν και ο Εσωτερικός Ρυθμός Απόδοσης (IRR) να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από το αρχικό επιτόκιο έκπτωσης (r). Αν αυτοί οι δύο βασικοί δείκτες δεν ικανοποιούνται, τότε πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη χρηματοδότηση που θα κάνει την επένδυση εφικτή, δηλαδή θα εξασφαλίζει ότι και οι δύο αυτοί όροι θα είναι ικανοποιημένοι. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θεωρήθηκε $r=10\%$.

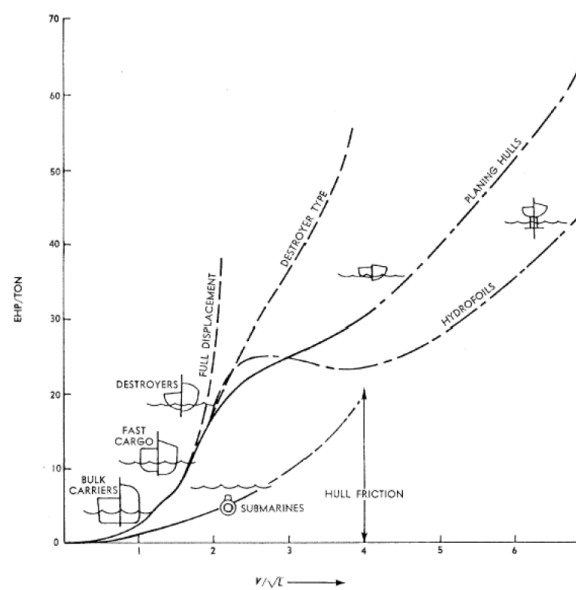
6.8 Προσεγγιστικός προσδιορισμός φορτίου λειτουργίας κύριων μηχανών

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, για τις ανάγκες τις παρούσας διπλωματικής έγινε προσπάθεια αναζήτησης πραγματικών δεδομένων από τα ταξίδια των προς μελέτη πλοίων. Επειδή όμως, τα στοιχεία που βρέθηκαν δεν ήταν για όλα τα πλοία, υπάρχει η ανάγκη προσδιορισμού του φορτίου λειτουργίας των κύριων μηχανών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του πλοίου ώστε να βρεθεί στη συνέχεια η ενέργεια που καταναλώνει το πλοίο στην κατάσταση cruising. Επειδή, η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται θετικά ως προς την τελική ενέργεια της μπαταρίας, κάνοντας μια μικρή υποεκτίμηση του ποσοστού φορτίου λειτουργίας των κύριων μηχανών, διασφαλίζουμε πως το τελικό αποτέλεσμα για την εύρεση της ελάχιστης ενέργειας των μπαταριών θα είναι σίγουρα λίγο μεγαλύτερο από το πραγματικό.

Τα διαθέσιμα στοιχεία για τα προς μελέτη πλοία περιλαμβάνουν το φορτίο μέγιστης λειτουργίας (MCR) της μηχανής και την υψηλότερη ταχύτητα που το πλοίο είναι ικανό να επιτύχει σε πλήρη φορτίο και σε καθαρή κατάσταση της γάστρας. Τα εξεταζόμενα πλοία ανήκουν στην κατηγορία των ταχύπλων πλοίων εκτοπίσματος, χαρακτηριζόμενα από έναν δείκτη Froude μικρότερο από 0.4. Βάσει του διαγράμματος που παρουσιάζεται στο βιβλίο του μαθήματος Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, γίνεται αναφορά στην σχέση μεταξύ της αντίστασης του πλοίου και της ταχύτητάς του. Αυτή η σχέση αποδεικνύεται πως είναι παραβολική, δηλαδή η συνολική αντίσταση R_{total} είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας V_s και θα είναι:

$$R_{total} = C_R * V_s^2 \quad (1)$$

C_R : συντελεστής αντίστασης



Εικόνα 18. Διάγραμμα αντίστασης/ταχύτητας για διάφορους τύπους πλοίων

Σύμφωνα με το βιβλίο της Αντίστασης και Πρόωσης Πλοίου, ο βαθμός πρόωσης PC βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 50% και 60%.

Σύμφωνα με τον ορισμό του βαθμού πρόωσης PC θα ισχύει:

$$PC = \frac{Power_{res}}{Power_{M/E_total}} \Rightarrow P_{res\ MCR} = PC_{MCR} * P_{MCR} \quad (2)$$

Εφόσον έχουμε γνωστή την ταχύτητα πλεύσης ταξιδιού και τη μέγιστη ταχύτητα του πλοίου που αντιστοιχεί στο MCR της κύριας μηχανής τότε θα είναι:

$$P_{res} = \frac{N * R_{V_s\ max} * V_s\ max}{75} \quad (PS)$$

N : αριθμός κύριων μηχανών σε λειτουργία

R : Αντίσταση του πλοίου (kp)

V : Ταχύτητα του πλοίου ($knots$)

Επομένως από τη σχέση (2)

$$R_{Vs_max} = \frac{75 * PC_{MCR} * P_{MCR}}{N * V_{s_max}} (kp) (3)$$

Από τη σχέση (1) για την κατάσταση μέγιστης ταχύτητα του πλοίου, θα είναι

$$C_R = \frac{R_{Vs_max}}{V_{s_max}^2}$$

Όπου R_{Vs_max} αντιπροσωπεύει την αντίσταση ρυμούλκησης σε ήρεμα νερά κατά την μέγιστη ταχύτητα του πλοίου. Ο σκοπός είναι να καθοριστεί η αντίσταση ρυμούλκησης στην ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου, χρησιμοποιώντας την προηγουμένως αναλυθείσα σχέση μεταξύ αντίστασης και ταχύτητας.

Στο τελικό στάδιο, για τον υπολογισμό της ισχύος που καταναλώνεται από τη μηχανή, απαιτείται η διαίρεση της αντίστασης ρυμούλκησης με τον βαθμό πρόωσης του πλοίου, αυτή τη φορά στην ταχύτητα υπηρεσίας. Είναι προσδοκώμενο ότι ο βαθμός πρόωσης θα διαφέρει στη νέα κατάσταση λειτουργίας σε σχέση με την κατάσταση όπου το πλοίο πλέει στην μέγιστη ταχύτητα. Επιπλέον, θα προστεθεί μια προσαύξηση για να ληφθεί υπόψη η αυξημένη αντίσταση λόγω ρυπασμένης γάστρας, καθώς το πλοίο πρέπει να είναι ικανό να επιτύχει την ταχύτητα υπηρεσίας ακόμη και υπό αυτές τις συνθήκες. Αυτό υποδηλώνεται από την βιβλιογραφία ως αύξηση της αντίστασης κατά 10% όταν το πλοίο πλέει με ρυπασμένη γάστρα, προσφέροντας μια εκτίμηση για το μέγιστο φορτίο λειτουργίας της μηχανής κατά τη διάρκεια της πλεύσης, αποφεύγοντας την υπερεκτίμηση. (Συνήθως το ποσοστό αυτό ορίζεται στο 20%).

Για την κατάσταση cursing σε ταχύτητα υπηρεσίας (service) θα είναι

$$R_{service} = 1.1 * \frac{R_{Vs_max}}{V_{s_max}^2} * V_{service}^2 \stackrel{(3)}{\Rightarrow}$$

$$\stackrel{(3)}{\Rightarrow} R_{service} = 1.1 * \frac{75 * PC_{MCR} * P_{MCR}}{N * V_{s_max}} * \left(\frac{V_{service}}{V_{s_max}}\right)^2 (kp)$$

Και άρα η ισχύς ρυμούλκησης στην ταχύτητα υπηρεσίας θα είναι:

$$Power_{res_service} = \frac{N * R_{service} * V_{service}}{75} (PS)$$

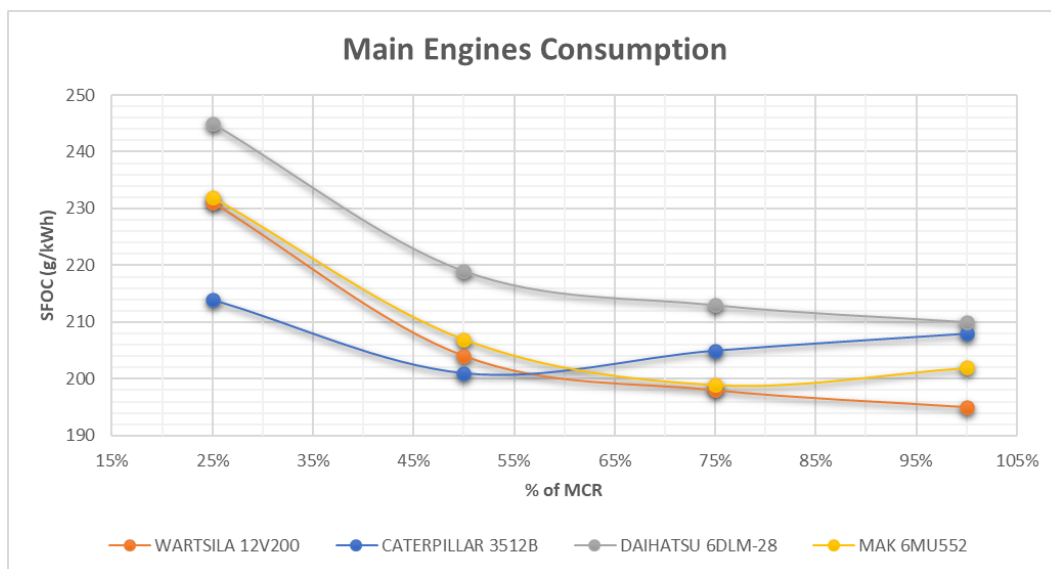
Τελικώς, βρίσκουμε το φορτίο λειτουργίας στην ταχύτητα υπηρεσίας χρησιμοποιώντας τον βαθμό πρόωσης σε αυτή την κατάσταση

$$Power_{service} = \frac{Power_{res_service}}{PC_{service}} (PS)$$

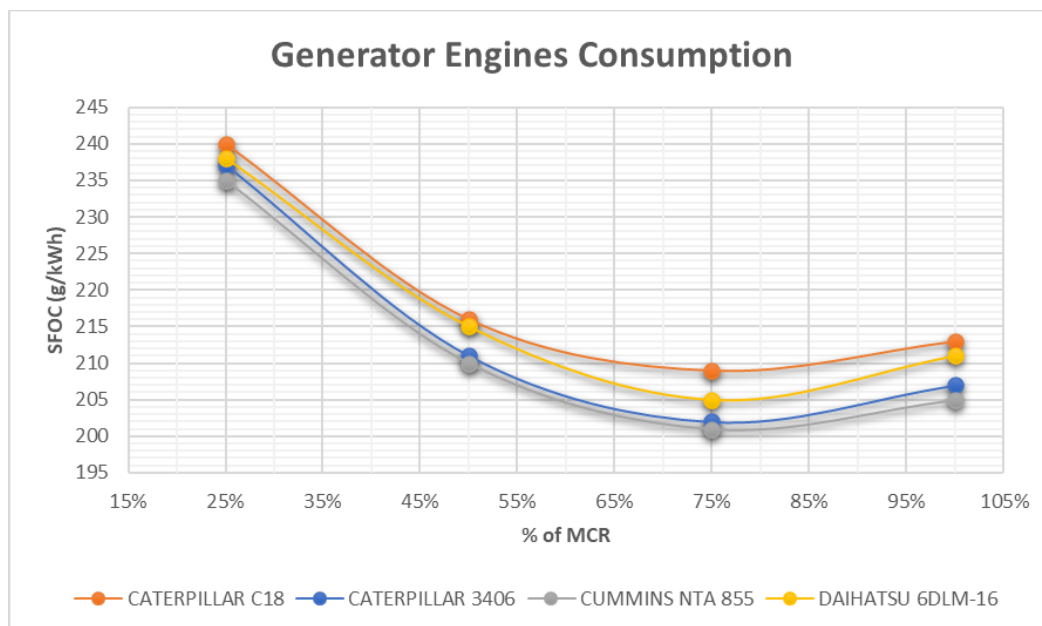
Σε περίπτωση που λειτουργούν παράλληλα πολλαπλές κύριες μηχανές, η συνολική ισχύς που λαμβάνεται υπόψη είναι η άθροιση της ισχύος που παράγεται από όλες τις μηχανές, υποθέτοντας ότι αυτές λειτουργούν σε ισοδύναμα επίπεδα φορτίου.

6.9 Προσδιορισμός ειδικής κατανάλωσης καυσίμου

Ένα κρίσιμο στοιχείο που διαδραματίζει ρόλο στα οικονομικά αποτελέσματα της μετασκευής είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου (gr/kWh) των κύριων μηχανών και των γεννητριών, καθώς αυτή καθορίζει την ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για την παραγωγή ενέργειας από τη μηχανή. Κατά κανόνα, οι τιμές ειδικής κατανάλωσης για τους ναυτικούς κινητήρες κυμαίνονται από 160 έως 220 gr/kWh, εξαρτώμενες από τον τύπο της μηχανής (δηλαδή 2X ή 4X). Οι χαμηλότερες τιμές ειδικής κατανάλωσης σχετίζονται με τις μεγαλύτερες 2X μηχανές, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης σε σύγκριση με τις 4X. Για τους συγκεκριμένους τύπους πλοίων, οι κύριες μηχανές που επιλέγονται είναι συνήθως 4X. Διαθέσιμα διαγράμματα αποτυπώνουν τη σχέση μεταξύ της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και του φορτίου λειτουργίας, τόσο για τις 4X κινητήρες όσο και για τις γεννήτριες.



Εικόνα 19. Ειδική κατανάλωση καυσίμου/φορτίο λειτουργίας για Κύριες μηχανές



Εικόνα 20. Ειδική κατανάλωση καυσίμου/φορτίο λειτουργίας για Γεννήτριες

Προσδιορισμός Τιμών b_e

Από τα παραπάνω διαγράμματα λήφθηκαν οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για τις διάφορες καταστάσεις. Σα γενικό κανόνα λήφθηκαν προσεγγιστικά οι μικρότερες τιμές αφού έτσι η μελέτη μας θα βρίσκεται σε μια υποεκτίμηση σχετικά με τα αντίστοιχα κόστη και άρα το τελικό αποτέλεσμα θα είναι πιο συντηρητικό. Έτσι, για τις κύριες μηχανές και για την κατάσταση maneuvering, παρατηρούμε πως προσεγγιστικά στο 45% του MCR η ειδική κατανάλωση μπορεί να ισούται με 210 gr/kWh. Αντίστοιχα για τις γεννήτριες, στις τρεις προς εξέταση καταστάσεις λήφθηκαν προσεγγιστικά οι παρακάτω τιμές.

Αναμονή στο λιμάνι → $b_e=220$ gr/kWh

Maneuvering → $b_e=205$ gr/kWh

Κατάσταση Ταξιδιού → $b_e=215$ gr/kWh

Κεφάλαιο 7^ο Μελέτη Περίπτωσης Μετασκευής

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει εφαρμογή και παρουσία μελέτης Περίπτωσης μετασκευής σε υβριδικά πλοία για διάφορες γραμμές στην ελληνική επικράτεια. Θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σχετικά με το επιλεγμένο μέγεθος των μπαταριών αλλά και η οικονομική μελέτη που έγινε για το κάθε πλοίο. Συγκεκριμένα, θα μελετηθούν 5 συνολικά γραμμές και 9 πλοία συνολικά. Η επιλογή το γραμμών έγινε με βάση την απόσταση και το χρόνο που διαρκεί το ταξίδι. Επιπλέον, τα πλοία που μελετήθηκαν είναι όλα επιβατηγά οχηματαγωγά (Ε/Γ Ο/Γ, RO-PAX) κλειστού τύπου και τα περισσότερα έχουν τυπική κατασκευή πλοίου με μία πλώρη και εξυπηρετούν δρομολόγια από και προς νησιά, ενώ ανάλογα με τη μεταφορική τους ικανότητα υπολογίζονται τα δρομολόγια και η απόσταση. Το σύστημα πρόωσής τους αποτελείται συνήθως από μία ή δύο έλικες στην πρύμνη του οχηματαγωγού, συνδεδεμένες με κινητήρες ντίζελ, οι οποίοι παράγουν την απαιτούμενη ισχύ. Ο τυπικός σχεδιασμός περιλαμβάνει ένα μηχανοστάσιο, στην πρύμνη και τις δεξαμενές καυσίμων εντός ή πλησίον αυτού. Τα πλοία κλειστού τύπου έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν όλες τις εγκατεστημένες κύριες μηχανές και τις έλικες με τις οποίες είναι συνδυασμένες προκειμένου να επιτυγχάνουν την υπηρεσιακή τους ταχύτητα.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται το εύρος των βασικών χαρακτηριστικών των πλοίων που μελετήθηκαν και θα παρουσιαστούν αμέσως μετά:

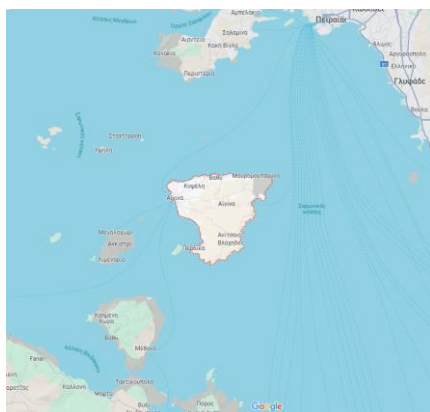
Μήκος L	76.5 - 120.2 m
Πλάτος B	13.75 - 21 m
Βύθισμα T	3 - 4.8 m
Ταχύτητα Υπηρεσίας Vs	14 - 17 knots
Απόσταση Ταξιδιού	16 - 29 ναυτικά μίλια
Επιβάτες	512 - 1380
Οχήματα	58 - 350
Έτος Κτήσης	1984 - 2006
Κύριες Μηχανές	2 (4) κύριες μηχανές με συνολική ισχύ 3000 - 7000 kW
Γεννήτριες	2 ή 3 (4) ηλεκτρογεννήτριες με συνολική ισχύ 800 - 1800 kW

7.1 Μελέτη διαδρομής Πειραιάς-Αίγινα

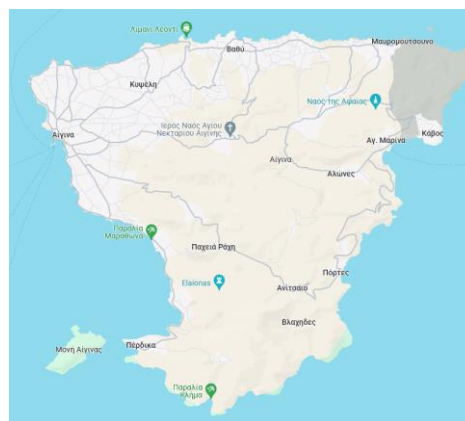
7.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου

Η Αίγινα συνδέεται με την υπόλοιπη Αττική κυρίως μέσω θαλάσσης. Οι θαλάσσιες γραμμές που συνδέουν την Αίγινα με την Αττική είναι πολλές, αλλά η κυριότερη είναι αυτή από τον Πειραιά προς την Αίγινα. Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα ασχοληθούμε με τη μελέτη αυτής της συγκεκριμένης θαλάσσιας γραμμής, δεδομένου ότι παρά τη συχνή χρήση της, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και περαιτέρω ανάλυσης σε σχέση με τις υπηρεσίες και τη διαχείριση των δρομολογίων.

Το νησί Αίγινα είναι ένα από τα κύρια νησιά του Σαρωνικού κόλπου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το συνολικό εμβαδόν του όσο και τον πληθυσμό του που αγγίζει τους 13.000 κατοίκους σύμφωνα με απογραφές του 2021. Γεωγραφικά, το νησί περιβάλλεται από τη θάλασσα του Σαρωνικού κόλπου και βρίσκεται ανατολικά του νησιού Μονή, δυτικά της Πελοποννήσου, βορείως του νησιού Μέθυνα και νοτίως της Αττικής, με κύριο σημείο πρόσβασης το λιμάνι του Πειραιά, από όπου και εκτελούνται τα πιο συχνά δρομολόγια προς και από το νησί.



Εικόνα 21. Χάρτης Θέσης Αίγινας



Εικόνα 22. Χάρτης Αίγινας

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της νήσου Αίγινας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιφέρεια	Αττικής
Νομός	Αττικής
Περιφερειακή Ενότητα	Νήσων Αττικής
Πρωτεύουσα	Αίγινα (Πόλη)
Εμβαδόν	87.41 τ. χλμ.
Πληθυσμός (απογραφή 2021)	12911
Πυκνότητα Πληθυσμού/ τ. χλμ. (2021)	150.1
Ανώτερο υψόμετρο	Όρος Όλλιος – 532 μ
Σημαντικοί Οικισμοί της Νήσου	Πέρδικα, Μαραθώνας, Κυψέλη, Βάγια, Παχειά Ράχη, Αγία Μαρίνα, Σουβάλα, Πόρτες

Η Αίγινα είναι γνωστή για την παραγωγή φιστικιών, τα οποία αποτελούν την κύρια πηγή πρωτογενούς παραγωγής στο νησί. Επιπλέον, εξασκείται η αλιεία και σε μικρότερο βαθμό η καλλιέργεια ελαιόλαδου και η κτηνοτροφία. Η αλιεία παραμένει ένας σημαντικός τομέας, αν και αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω της υπεραλίευσης και των περιβαλλοντικών αλλαγών. Επιπλέον, αν και η Αίγινα δεν έχει μεγάλη βιομηχανική δραστηριότητα, υπάρχουν μικρά εργαστήρια που επεξεργάζονται τα τοπικά προϊόντα όπως φιστίκια, ελαιόλαδο και αλιεύματα. Τα εργαστήρια αυτά συμβάλλουν στην τοπική οικονομία και προσφέρουν εργασία σε μικρό ποσοστό κατοίκων. Τέλος, ο τουρισμός αποτελεί την κύρια δραστηριότητα υπηρεσιών στο νησί της Αίγινας. Το νησί προσελκύει επισκέπτες λόγω της φυσικής ομορφιάς, των ιστορικών αξιοθέατων και των πολιτιστικών εκδηλώσεων. Επιπρόσθετα, παρέχονται υπηρεσίες όπως εστίαση, λιανική πώληση και υπηρεσίες μεταφορών, που ενισχύουν την οικονομία του νησιού. Η συνεισφορά του τουρισμού στην οικονομική ανάπτυξη της Αίγινας είναι καθοριστική, καθώς προσελκύει επενδύσεις και δημιουργεί αρκετές θέσεις εργασίας στο νησί.

Χαρακτηριστικά Διαδρομής Πειραιάς-Αίγινας

Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για την περίπτωση μετασκευής πλοίου σε υβριδικό αφού είναι σχετικά κοντινή και πολυσύχναστη. Η απόσταση της διαδρομής είναι 17 ναυτικά μίλια και για τα υπάρχοντα πλοία που τη διενεργούν, διαρκεί περίπου 75 λεπτά. Τα πλοία θα εξεταστούν σε τεchnο-οικονομικό επίπεδο, στη συνέχεια της παρούσας έρευνας, είναι το «Απόλλων Ελλάς», το «Ποσειδών Ελλάς» και ο «Αχαιός». Ο «Αχαιός», μάλιστα αποτελεί μικρή εξαίρεση της παρούσας μελέτης αφού είναι το μοναδικό αμφίπλωρο πλοίο που θα μελετηθεί. Κάθε πλοίο κάνει περίπου 3 δρομολόγια την ημέρα.

7.1.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Ποσειδών Ελλάς»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Ποσειδών Ελλάς»

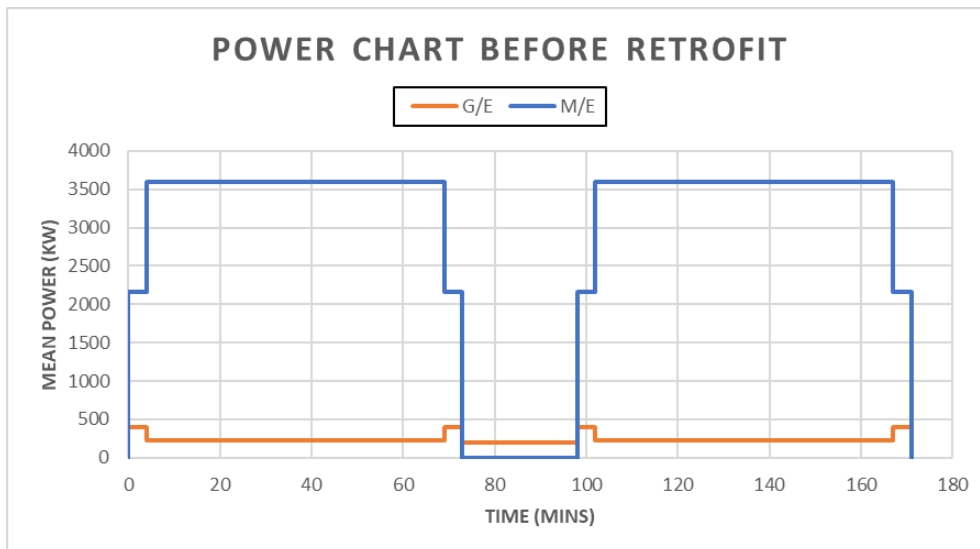
Specifications of POSIDON HELLAS		
Ship Name	POSIDON HELLAS	-
Line	Piraeus-Aegina	-
Type	ROPAX-Cruise-Double Ended	-
Trips per day	3	-
IMO	8966963	-
Year Built	1998	-
L_{total}	87.32	m
L_{bp}	73.5	m
B	13.75	m
D	4.28	m
T	3.5	m
V_{design_max}	19	knots
$V_{service}$	15	knots
Gross Tonnage	1802	m ³
Net Tonnage	1305	m ³
DWT	891	tons
Passengers Capacity	1100	-
Cars Capacity	80	-
M/E Manufacturer/Model	WARTSILA 12V200	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	CUMMINS NTA 855 G2 STAMFORD TYPE HC.MS 3461	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	1	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	4800	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	885	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	300	kW
Weight of G/E (total)	12	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	4	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν πραγματικά δεδομένα κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού του και λήφθηκαν υπόψιν τα χειρότερα σενάρια για τις καταναλώσεις ενέργειας. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

$P_{M/E}$ SERVICE	3597	kW
$P_{M/E}$ MANOUVER	2160	kW
$P_{G/E}$ SERVICE_SEA	220	kW
$P_{G/E}$ MANOUVER	400	kW
$P_{G/E}$ PORT	200	kW
Inter-Port Time	25	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	83	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	144	kWh
E_{el} Maneuvering	27	kWh
E_{tot} Maneuvering	171	kWh
Cruise Time	65	mins
E_{mech} $V_{service}$	3897	kWh
E_{el} $V_{service}$	238	kWh
$V_{service}$ Battery Charge	273	kWh
Deceleration Time	4	mins
Deceleration Regen Energy	96	kWh
Total Energy Consumed	1243	kWh
Total Energy Gain	737	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

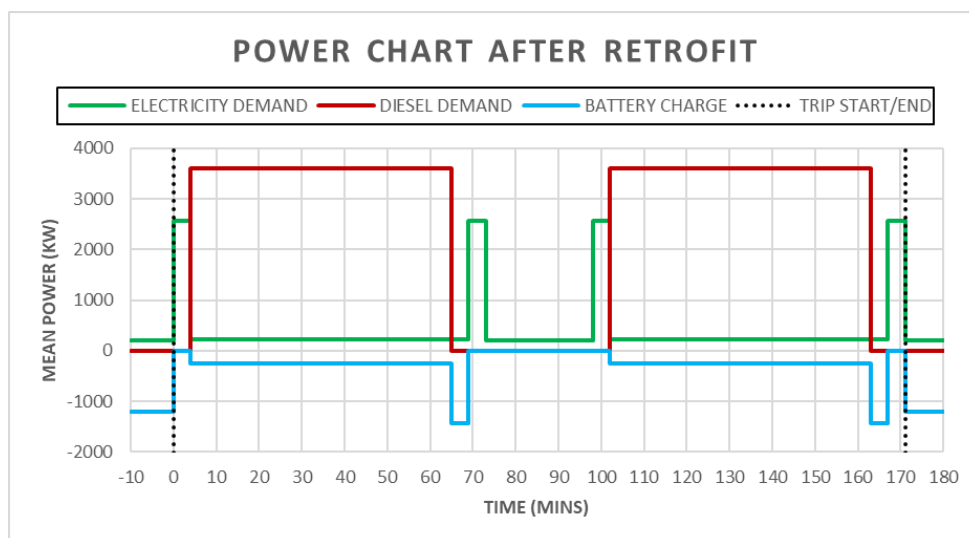


Εικόνα 23. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Ποσειδών Ελλάς»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	1127	kWh
Number of Mods	625	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	25	-
Energy of Batteries	1150	kWh
Discharge Battery Power	2286	kW
Charge Battery Power	1143	kW
Total Weight of Batteries	12.0	tons
Volume of Batteries	7.4	m ³
Charger Power	1200	kW
EI Motor Power	2700	kW
Inverter Power	2970	kW
Electrical Installation Weight	9.6	tons
Extra weight after Retrofit	5.6	tons
Weight Comparison to DWT	0.6%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 24. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Ποσειδών Ελλάς»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Ποσειδών Ελλάς» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 1150 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 12 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 7.4 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 2700 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης.

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

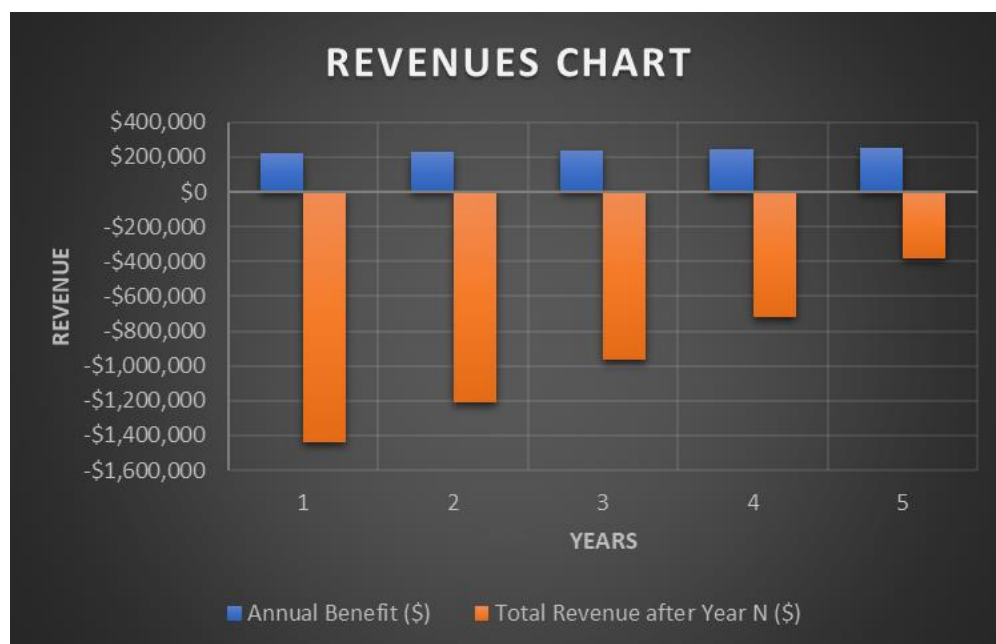
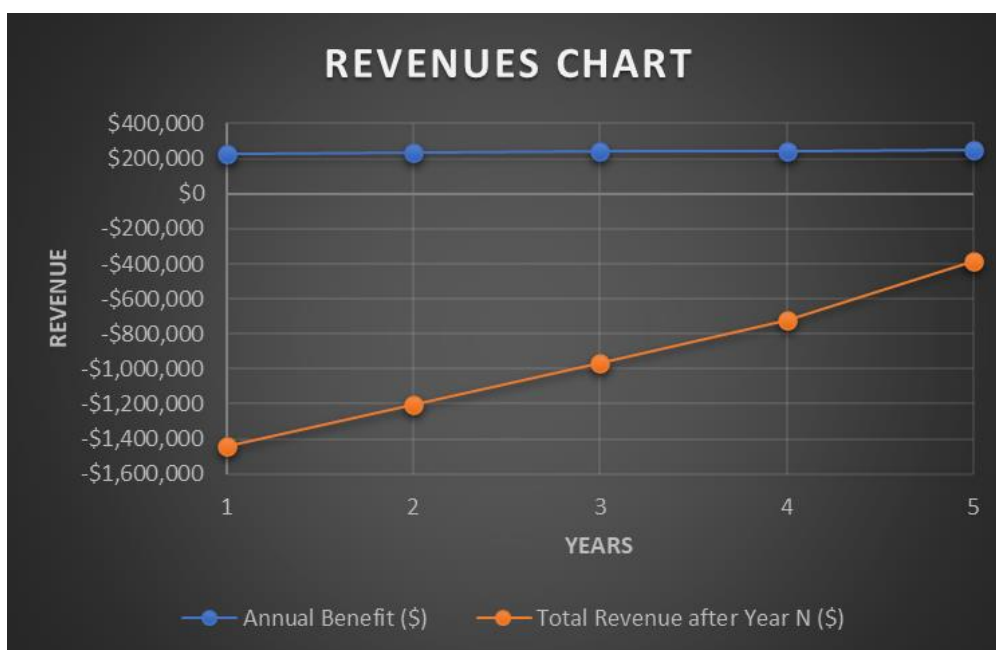
Cost of Battery system	\$563,277.27
Charger Cost	\$240,000.00
Motor Cost	\$162,000.00
Inverter Cost	\$742,500.00
Selling of Parts	\$44,250.00
Investment Total	\$1,663,527.27

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$9,691.83
Electricity Annual Cost	\$58,400.59
Generators Fuel Annual Cost	\$154,098.00
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$130,636.80
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$284,734.80
Maintenance of GE+ME	\$8,850.00
Total Year Benefit	\$225,492.39

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,663,527.3	\$225,492.4	\$232,257.2	\$239,224.9	\$246,401.6	\$253,793.7
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$84,491.6
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,663,527.3	-\$1,438,034.9	-\$1,205,777.7	-\$966,552.8	-\$720,151.2	-\$381,866.0
NPV (@ 10%)	-\$708,508.8					
IRR	0.00%					

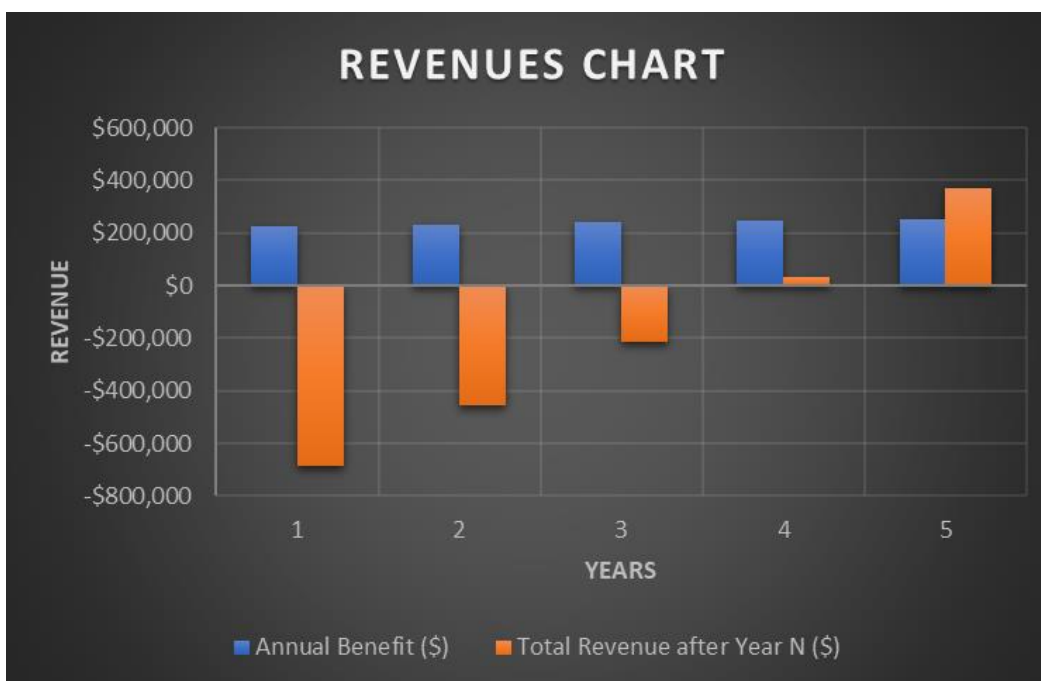
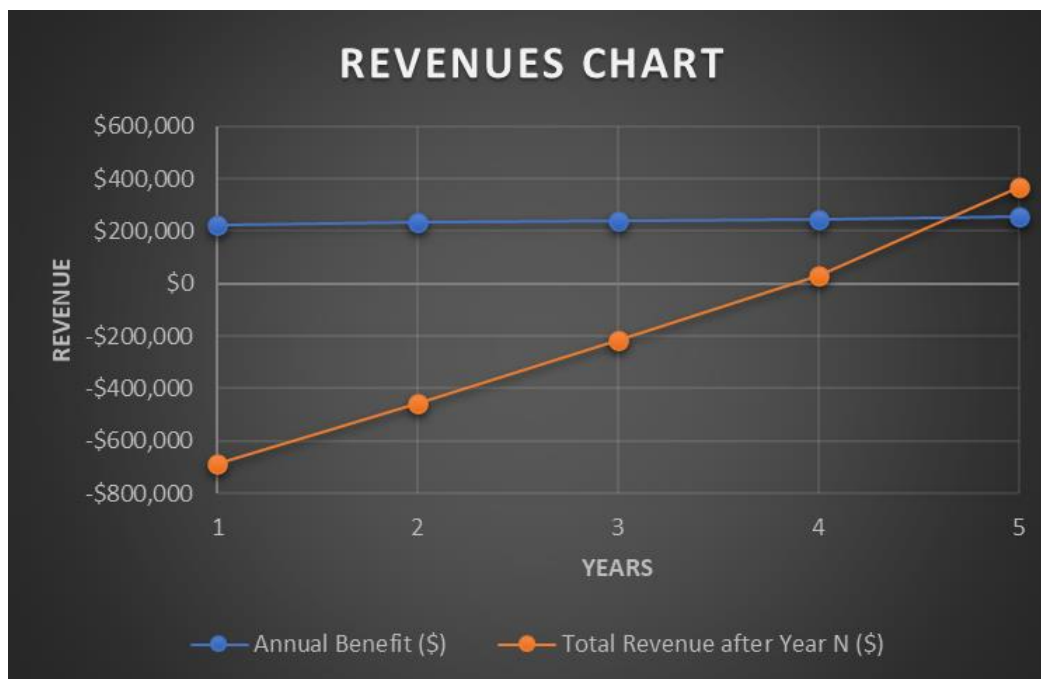


Εικόνα 25. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Ποσειδών Ελλάς»

Προκύπτει NPV= -708,508.7\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 750,000\$ (45%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$913,527.3	\$225,492.4	\$232,257.2	\$239,224.9	\$246,401.6	\$253,793.7
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$84,491.6
Total Revenue after Year N (\$)	-\$913,527.3	-\$688,034.9	-\$455,777.7	-\$216,552.8	\$29,848.8	\$368,134.0
NPV (@ 10%)	\$41,491.2					
IRR	11.66%					



Εικόνα 26. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Ποσειδών Ελλάς»

Προκύπτει NPV= 41,491\$ και $r=11.66\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

7.1.3 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Απόλλων Ελλάς»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Απόλλων Ελλάς»

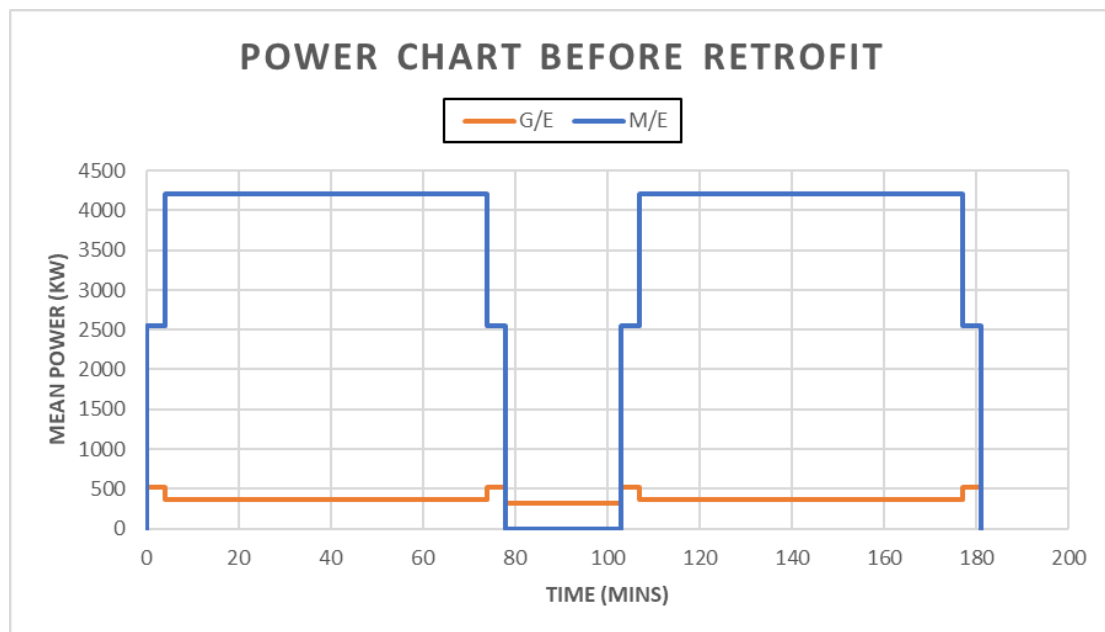
Specifications of APOLLON HELLAS		
Ship Name	APOLLON HELLAS	-
Line	Piraeus-Aegina	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	3	-
IMO	8807105	-
Year Built	1990	-
L_{total}	91.8	m
L_{bp}	80	m
B	14.52	m
D	4.5	m
T	3.5	m
V_{design_max}	18	knots
$V_{service}$	14	knots
Gross Tonnage	1820	m ³
Net Tonnage	1276	m ³
DWT	1032	tons
Passengers Capacity	1380	-
Cars Capacity	100	-
M/E Manufacturer/Model	MAN B&W 16U28L-VO	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	-	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	1	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	5654	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	1200	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	300	kW
Weight of G/E (total)	20.6	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	6	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω της online πλατφόρμας marine traffic τόσο για τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όσο και για τους χρόνους των καταστάσεων ταξιδιού. Για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα για το ποσοστό ισχύος της κύριας μηχανής χρησιμοποιήθηκαν $PC_{Vmax}=0.6$ και $PC_{Vservice}=0.5$, με το τελικό ποσοστό μετά την προσαύξηση ρυπασμένης γάστρας να υπολογίστηκε περί το 75%. Οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

$P_{M/E}$ SERVICE	4214	kW
$P_{M/E}$ MANOUVER	2544	kW
$P_{G/E}$ SERVICE_SEA	360	kW
$P_{G/E}$ MANOUVER	520	kW
$P_{G/E}$ PORT	320	kW
Inter-Port Time	25	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	133	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	170	kWh
E_{el} Maneuvering	35	kWh
E_{tot} Maneuvering	204	kWh
Cruise Time	70	mins
$E_{mech} V_{service}$	4916	kWh
$E_{el} V_{service}$	420	kWh
$V_{service}$ Battery Charge	344	kWh
Deceleration Time	4	mins
Deceleration Regen Energy	112	kWh
Total Energy Consumed	1790	kWh
Total Energy Gain	913	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

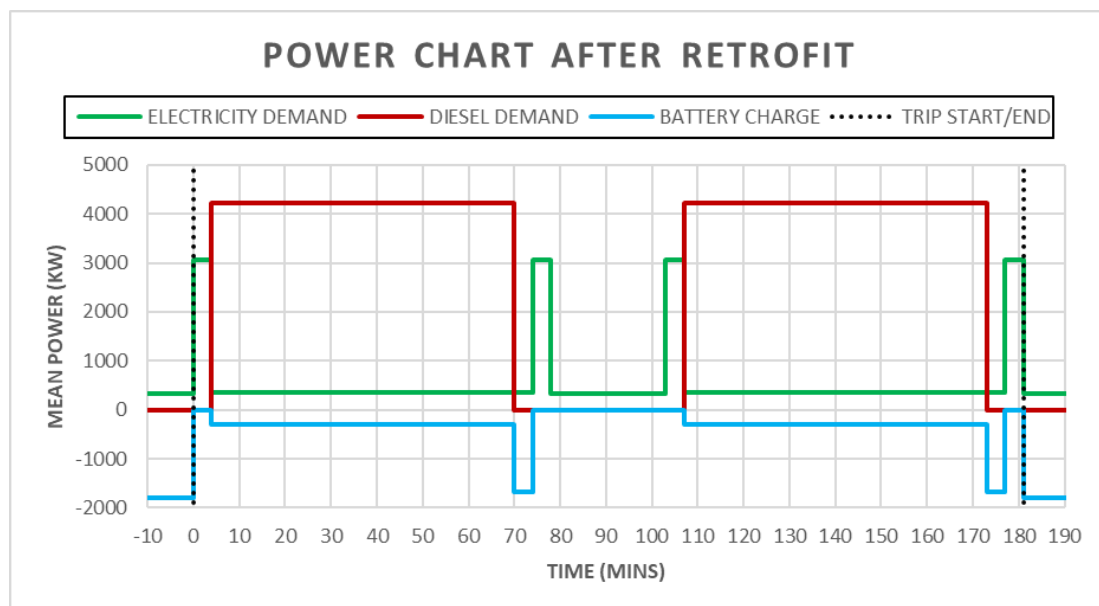


Εικόνα 27. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Απόλλων Ελλάς»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	1773	kWh
Number of Mods	975	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	39	-
Energy of Batteries	1794	kWh
Discharge Battery Power	3566	kW
Charge Battery Power	1783	kW
Total Weight of Batteries	18.7	tons
Volume of Batteries	11.5	m ³
Charger Power	1800	kW
El Motor Power	3200	kW
Inverter Power	3520	kW
Electrical Installation Weight	11.4	tons
Extra weight after Retrofit	3.5	tons
Weight Comparison to DWT	0.3%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 28. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Απόλλων Ελλάς»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Απόλλων Ελλάς» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 1794 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 19 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 11.5 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 3200 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

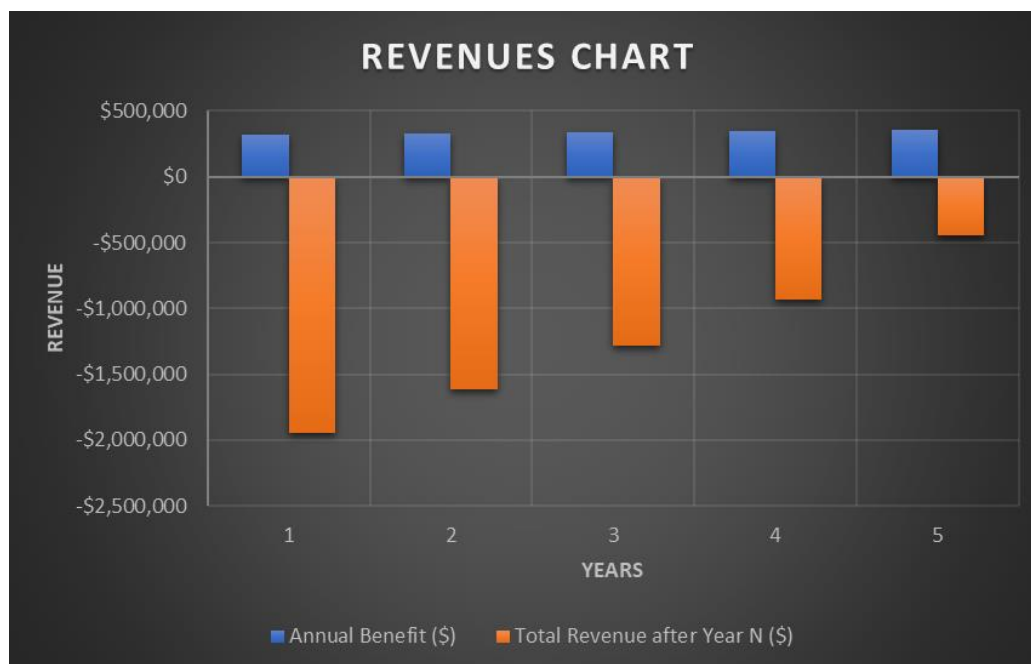
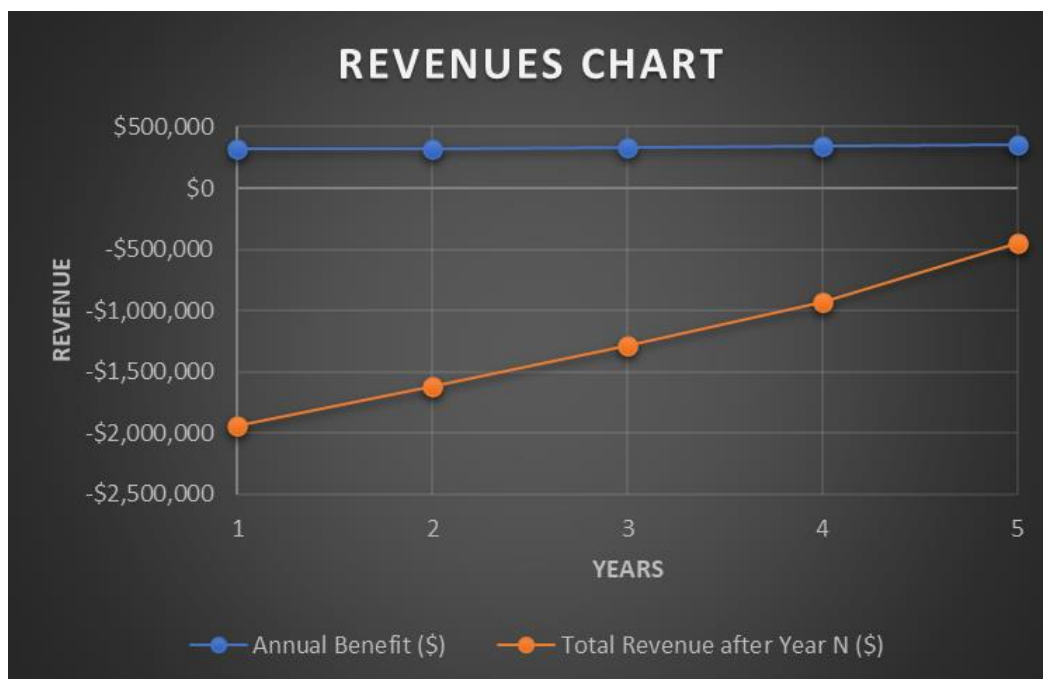
Cost of Battery system	\$886,361.16
Charger Cost	\$360,000.00
Motor Cost	\$192,000.00
Inverter Cost	\$880,000.00
Selling of Parts	\$60,000.00
Investment Total	\$2,258,361.16

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$15,085.90
Electricity Annual Cost	\$91,897.92
Generators Fuel Annual Cost	\$257,428.80
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$153,879.26
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$411,308.06
Maintenance of GE+ME	\$12,000.00
Total Year Benefit	\$316,324.24

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$2,258,361.2	\$316,324.2	\$325,814.0	\$335,588.4	\$345,656.0	\$356,025.7
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$132,954.2
Total Revenue after Year N (\$)	-\$2,258,361.2	-\$1,942,036.9	-\$1,616,222.9	-\$1,280,634.6	-\$934,978.5	-\$445,998.6
NPV (@ 10%)	-\$909,687.6					
IRR	0.00%					

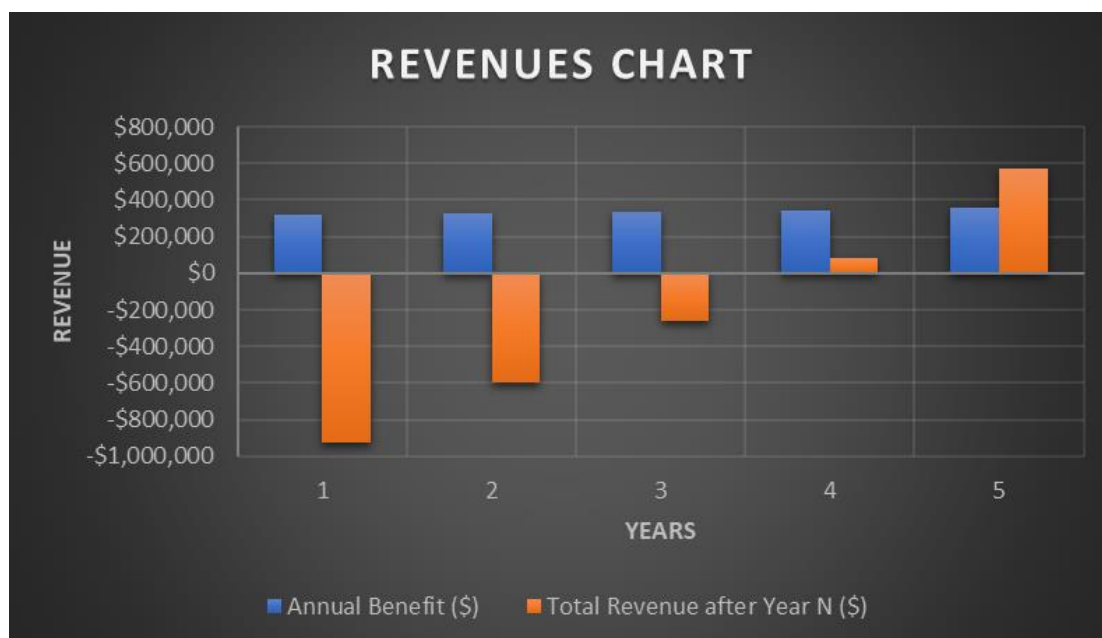
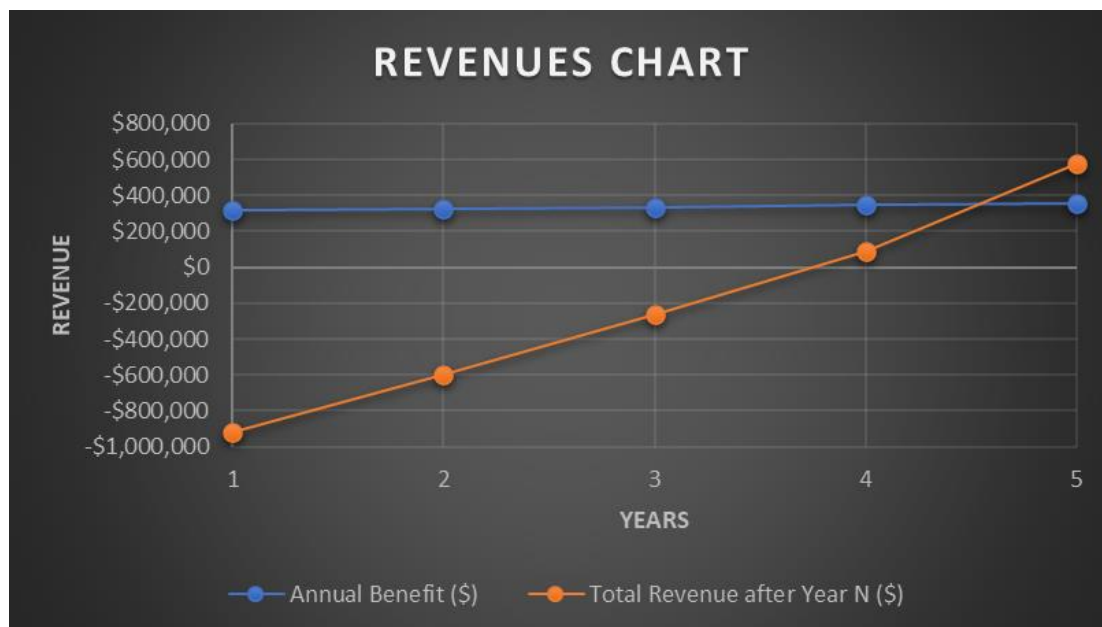


Εικόνα 29. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Απόλλων Ελλάς»

Προκύπτει NPV= - 909,687.6\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 1,020,000\$ (45%) σε βάθος πενταετίας

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,238,361.2	\$316,324.2	\$325,814.0	\$335,588.4	\$345,656.0	\$356,025.7
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$132,954.2
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,238,361.2	-\$922,036.9	-\$596,222.9	-\$260,634.6	\$85,021.5	\$574,001.4
NPV (@ 10%)	\$110,312.4					
IRR	13.21%					



Εικόνα 30. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Απόλλων Ελλάς»

Προκύπτει NPV= 110,312.3\$ και $r=13.21\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

7.1.4 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Αχαιός»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Αχαιός»

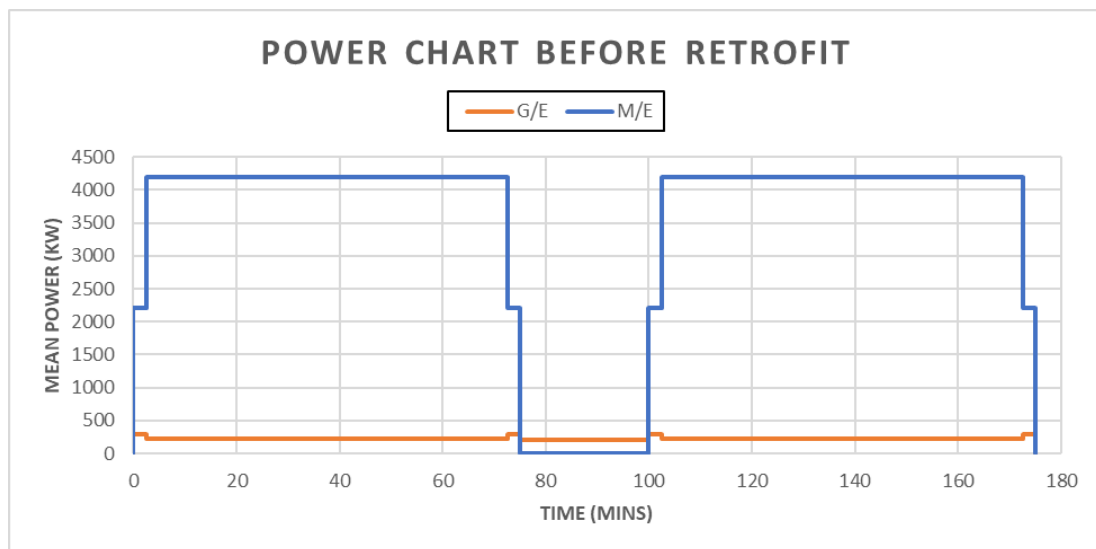
Specifications of ACHAEOS		
Ship Name	ACHAEOS	-
Line	Piraeus-Aegina	-
Type	ROPAX-Cruise-Double Ended	-
Trips per day	3	-
IMO	9411903	-
Year Built	2006	-
L_{total}	87.7	m
L_{bp}	77	m
B	16	m
D	6.35	m
T	3.5	m
V_{design_max}	17	knots
$V_{service}$	14	knots
Gross Tonnage	4307	m ³
Net Tonnage	1292	m ³
DWT	626	tons
Passengers Capacity	1000	-
Cars Capacity	140	-
M/E Manufacturer/Model	CATERPILLAR 3512B	-
Number of M/E	4	-
G/E Manufacturer/Model	2xCATERPILLAR 3406, 1xCATERPILLAR C18	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	1	-
Number of Bow Thrusters	0	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	4922	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	995	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	0	kW
Weight of G/E (total)	18.5	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	4	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν πραγματικά δεδομένα κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού του και λήφθηκαν υπόψιν τα χειρότερα σενάρια για τις καταναλώσεις ενέργειας. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως το πλοίο αυτό είναι αμφίπλωρο και διαθέτει 4 κινητήρες, 2 πλώρα και 2 πρίμα, με 4 αντίστοιχες προπέλες και 2 μηχανοστάσια. Η διάταξη αυτή καθιστά το πλοίο πολύ καλύτερο σε κατάσταση ελιγμών και επομένως τα τελικά αποτελέσματα διαφοροποιούνται σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά πλοία. Οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

$P_{M/E}$ SERVICE	4187	kW
$P_{M/E}$ MANOUVER	2215	kW
$P_{G/E}$ SERVICE_SEA	220	kW
$P_{G/E}$ MANOUVER	300	kW
$P_{G/E}$ PORT	200	kW
Inter-Port Time	25	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	83	kWh
Av. Port Maneuvering Time	3	mins
E_{mech} Maneuvering	92	kWh
E_{el} Maneuvering	13	kWh
E_{tot} Maneuvering	105	kWh
Cruise Time	70	mins
E_{mech} $V_{service}$	4885	kWh
E_{el} $V_{service}$	257	kWh
$V_{service}$ Battery Charge	342	kWh
Deceleration Time	2	mins
Deceleration Regen Energy	56	kWh
Total Energy Consumed	1016	kWh
Total Energy Gain	796	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

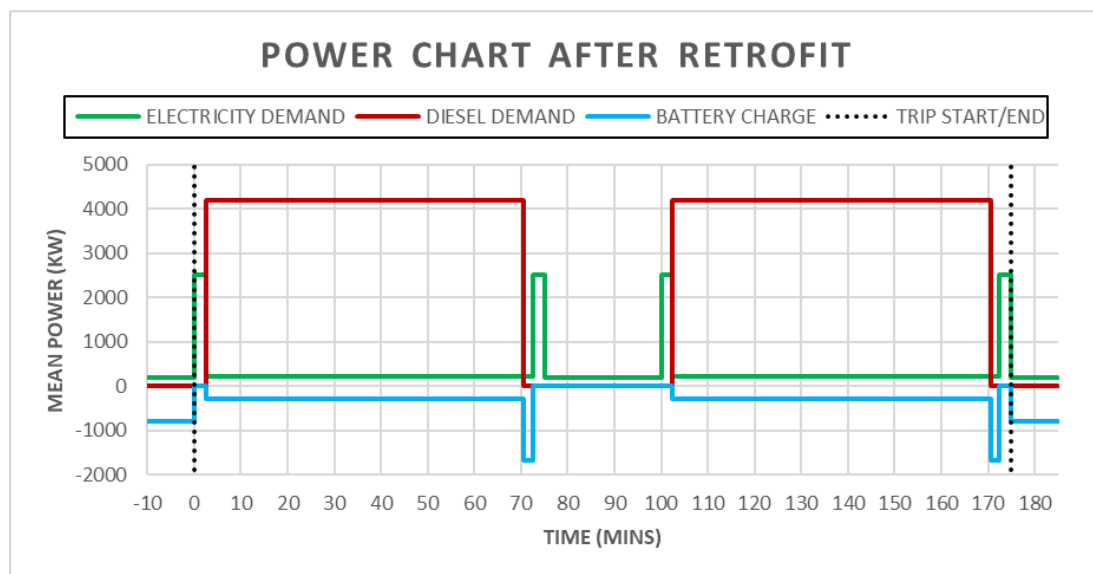


Εικόνα 31. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Αχαιός»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	728	kWh
Number of Mods	400	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	16	-
Energy of Batteries	736	kWh
Discharge Battery Power	1436	kW
Charge Battery Power	732	kW
Total Weight of Batteries	7.7	tons
Volume of Batteries	4.7	m ³
Charger Power	800	kW
El Motor Power	2800	kW
Inverter Power	3080	kW
Electrical Installation Weight	9.9	tons
Extra weight after Retrofit	-4.9	tons
Weight Comparison to DWT	-0.8%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 32. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Αχαιός»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Αχαιός» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 736 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 8 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 5 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 2800 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

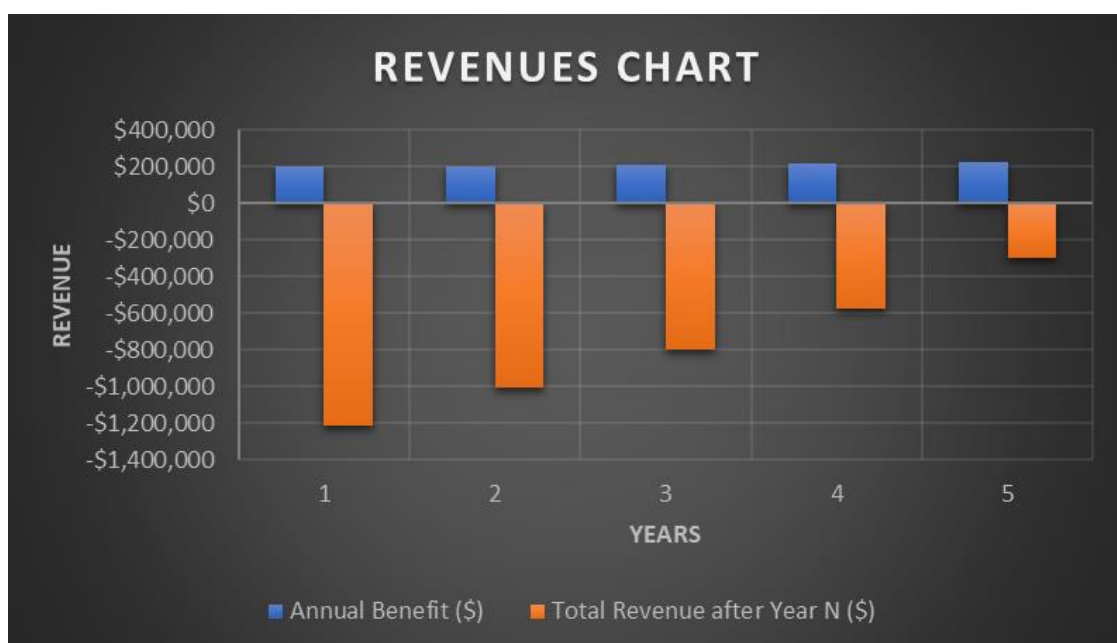
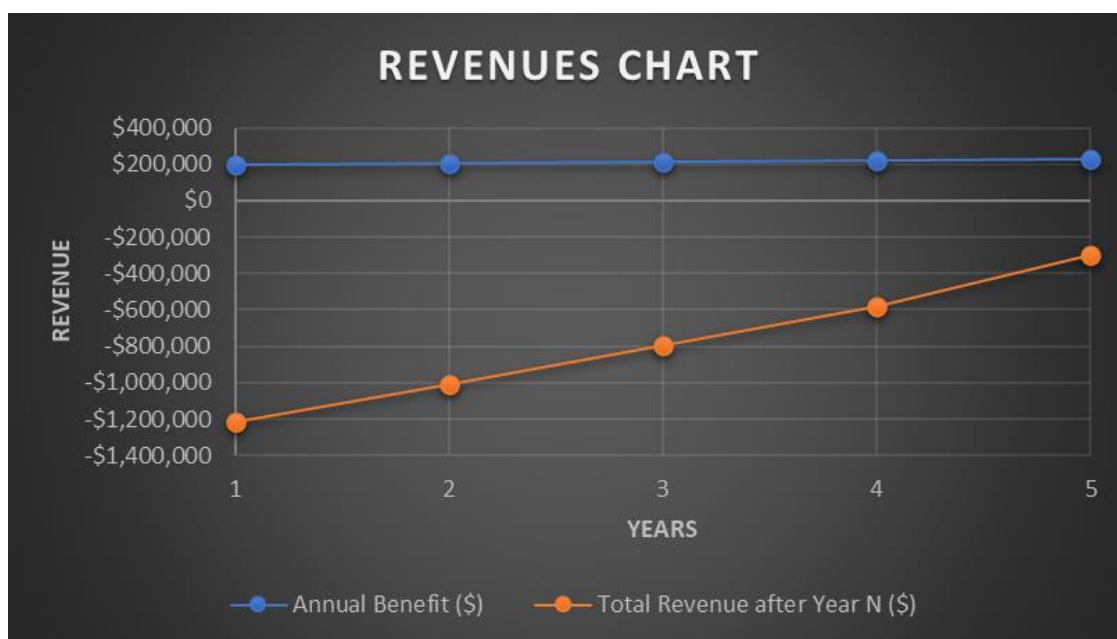
Cost of Battery system	\$364,099.49
Charger Cost	\$160,000.00
Motor Cost	\$168,000.00
Inverter Cost	\$770,000.00
Selling of Parts	\$49,750.00
Investment Total	\$1,412,349.49

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$6,477.31
Electricity Annual Cost	\$37,749.83
Generators Fuel Annual Cost	\$150,066.00
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$83,723.22
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$233,789.22
Maintenance of GE+ME	\$9,950.00
Total Year Benefit	\$199,512.08

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,412,349.5	\$199,512.1	\$205,497.4	\$211,662.4	\$218,012.2	\$224,552.6
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$54,614.9
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,412,349.5	-\$1,212,837.4	-\$1,007,340.0	-\$795,677.6	-\$577,665.4	-\$298,497.9
NPV (@ 10%)	-\$579,870.9					
IRR	0.00%					

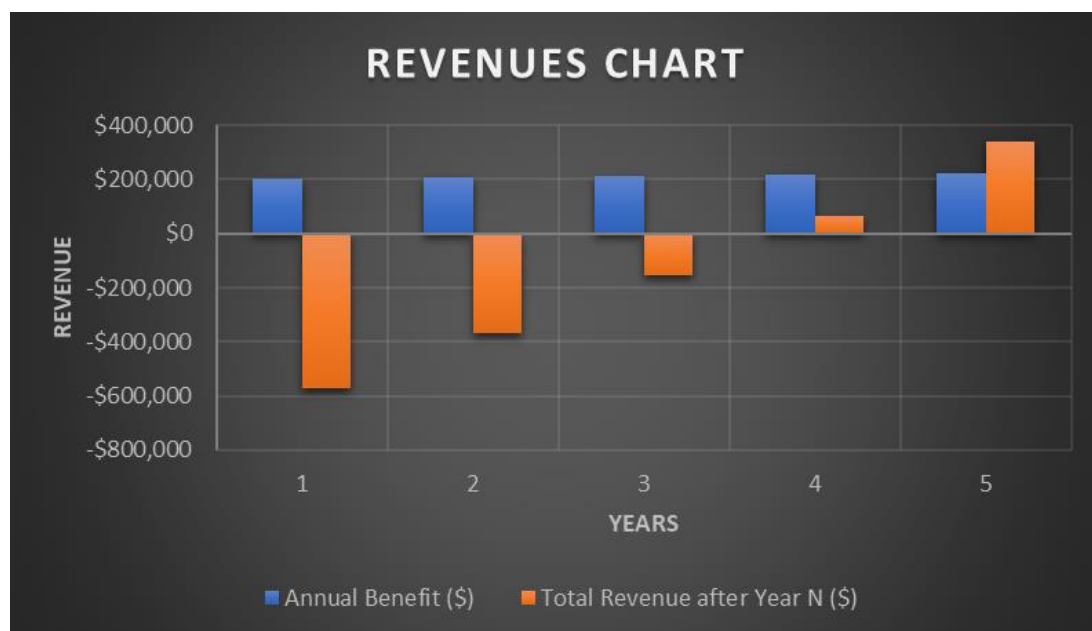
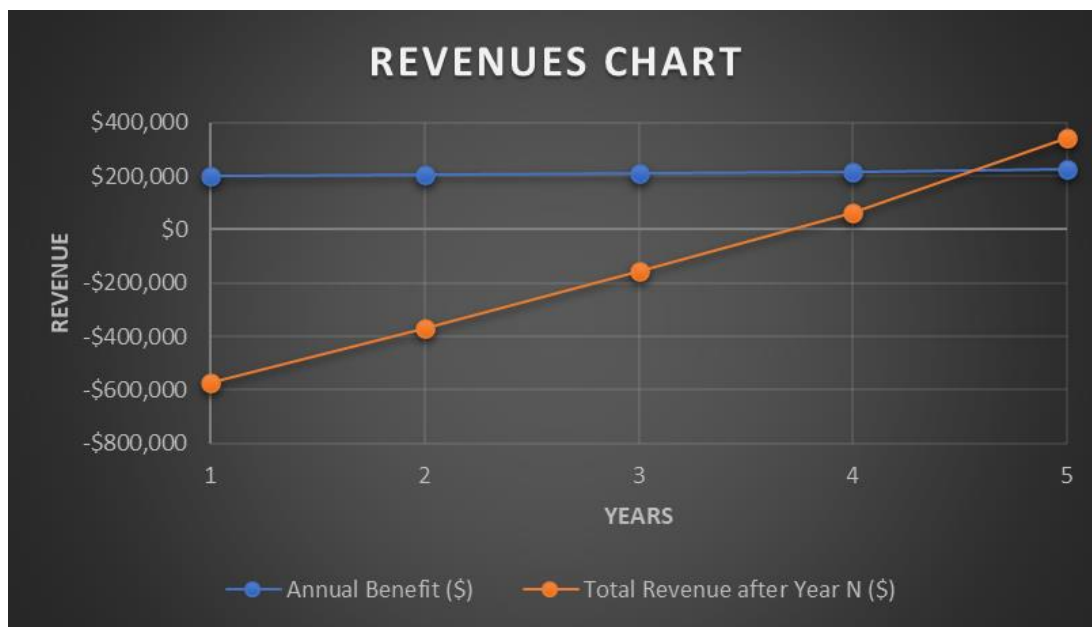


Εικόνα 33. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Αχαιός»

Προκύπτει NPV= - 579,870.8\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 640,000\$ (45%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$772,349.5	\$199,512.1	\$205,497.4	\$211,662.4	\$218,012.2	\$224,552.6
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$54,614.9
Total Revenue after Year N (\$)	-\$772,349.5	-\$572,837.4	-\$367,340.0	-\$155,677.6	\$62,334.6	\$341,502.1
NPV (@ 10%)	\$60,129.1					
IRR	12.85%					



Εικόνα 34. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Αχαιός»

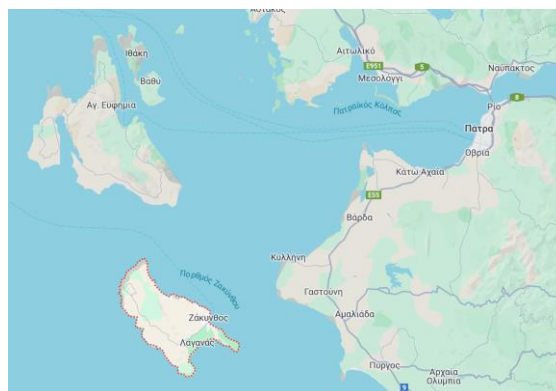
Προκύπτει NPV= 60,129.1\$ και $r=12.85\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

7.2 Μελέτη διαδρομής Ζάκυνθος-Κυλλήνη

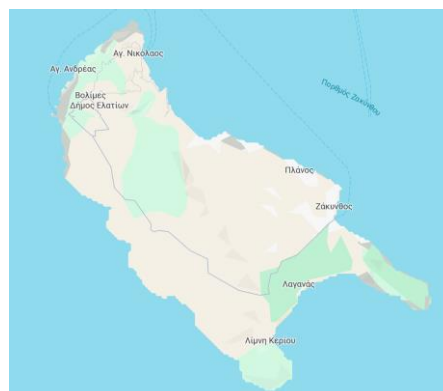
7.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου

Η Ζάκυνθος συνδέεται με την υπόλοιπη Ελλάδα κυρίως μέσω θαλάσσης. Οι θαλάσσιες γραμμές που συνδέουν τη Ζάκυνθο με την ηπειρωτική χώρα είναι πολλές, αλλά η κυριότερη είναι αυτή από το λιμάνι του Κυλλήνη προς τη Ζάκυνθο. Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα ασχοληθούμε με τη μελέτη αυτής της συγκεκριμένης θαλάσσιας γραμμής, δεδομένου ότι παρά τη συχνή χρήση της, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και περαιτέρω ανάλυσης σε σχέση με τις υπηρεσίες και τη διαχείριση των δρομολογίων.

Το νησί Ζάκυνθος είναι ένα από τα κύρια νησιά του Ιονίου Πελάγους, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το συνολικό εμβαδόν του όσο και τον πληθυσμό του που αγγίζει τους 40,000 κατοίκους σύμφωνα με απογραφές του 2021. Γεωγραφικά, το νησί περιβάλλεται από τη θάλασσα του Ιονίου και βρίσκεται βορειώς της Κεφαλονιάς, νοτίως της Λευκάδας, ανατολικά από την Πελοπόννησο και δυτικά από το Πατραϊκό Κόλπο, με κύριο σημείο πρόσβασης το λιμάνι του Κυλλήνη, από όπου και εκτελούνται τα πιο συχνά δρομολόγια προς και από το νησί.



Εικόνα 35. Χάρτης Θέσης Ζακύνθου



Εικόνα 36. Χάρτης Ζακύνθου

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της νήσου Ζάκυνθος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιφέρεια	Ιόνιων Νήσων
Νομός	Ζακύνθου
Περιφερειακή Ενότητα	Ζακύνθου
Πρωτεύουσα	Ζάκυνθος (Πόλη)
Εμβαδόν	405.55 τ. χλμ.
Πληθυσμός (απογραφή 2021)	40,759
Πυκνότητα Πληθυσμού/ τ. χλμ. (2021)	100.5
Ανώτερο υψόμετρο	Βραχιόνας – 758 μ
Σημαντικοί Οικισμοί της Νήσου	Λαγανάς, Αλυκές, Αργάσι, Καλαμάκι, Τσιλιβί, Βασιλικός, Κερί

Η Ζάκυνθος είναι γνωστή για την παραγωγή ελαιόλαδου, το οποίο αποτελεί την κύρια πηγή πρωτογενούς παραγωγής στο νησί. Επιπλέον, εξασκείται η αλιεία και σε μικρότερο βαθμό η καλλιέργεια κρασιού και η κτηνοτροφία. Η αλιεία παραμένει ένας σημαντικός τομέας, αν και

αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω της υπεραλίευσης και των περιβαλλοντικών αλλαγών. Επιπλέον, αν και η Ζάκυνθος δεν έχει μεγάλη βιομηχανική δραστηριότητα, υπάρχουν μικρά εργαστήρια που επεξεργάζονται τα τοπικά προϊόντα όπως ελαιόλαδο, κρασί και αλιεύματα. Τα εργαστήρια αυτά συμβάλλουν στην τοπική οικονομία και προσφέρουν εργασία σε μικρό ποσοστό κατοίκων. Τέλος, ο τουρισμός αποτελεί την κύρια δραστηριότητα υπηρεσιών στο νησί της Ζακύνθου. Το νησί προσελκύει επισκέπτες λόγω της φυσικής ομορφιάς, των ιστορικών αξιοθέατων και των πολιτιστικών εκδηλώσεων. Επιπρόσθετα, παρέχονται υπηρεσίες όπως εστίαση, λιανική πώληση και υπηρεσίες μεταφορών, που ενισχύουν την οικονομία του νησιού. Η συνεισφορά του τουρισμού στην οικονομική ανάπτυξη της Ζακύνθου είναι καθοριστική, καθώς προσελκύει επενδύσεις και δημιουργεί αρκετές θέσεις εργασίας στο νησί.

Χαρακτηριστικά Διαδρομής Ζάκυνθος-Κυλλήνη

Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για την περίπτωση μετασκευής πλοίου σε υβριδικό αφού είναι σχετικά κοντινή και πολυσύχναστη. Η απόσταση της διαδρομής είναι 16 ναυτικά μίλια και για τα υπάρχοντα πλοία που τη διενεργούν, διαρκεί περίπου 75 λεπτά. Το πλοίο που θα εξεταστούν σε τεchnο-οικονομικό επίπεδο, στη συνέχεια της παρούσας έρευνας, είναι το «Μάρε ντι Λεβάντε», το οποίο κάνει περίπου 3 δρομολόγια την ημέρα.

7.1.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Μάρε ντι Λεβάντε»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Μάρε ντι Λεβάντε»

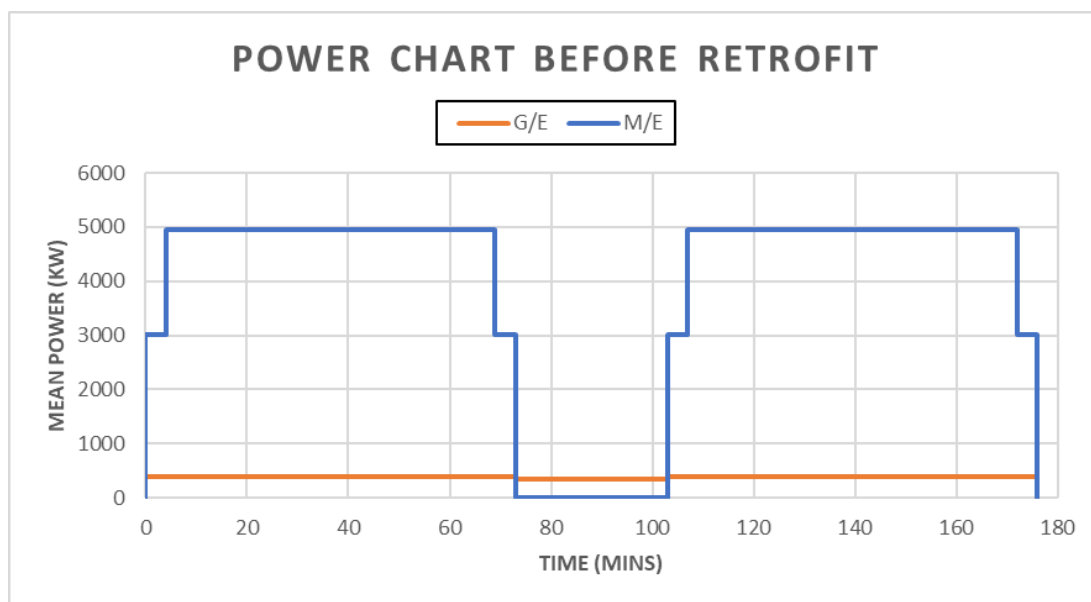
Specifications of MARE DI LEVANTE		
Ship Name	MARE DI LEVANTE	-
Line	Zakinthos-Killini	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	3	-
IMO	8405191	-
Year Built	1984	-
L_{total}	120.2	m
L_{bp}	107	m
B	21	m
D	4.51	m
T	3.5	m
V_{design_max}	20	knots
$V_{service}$	15.5	knots
Gross Tonnage	4059	m ³
Net Tonnage	2144	m ³
DWT	2485	tons
Passengers Capacity	1100	-
Cars Capacity	350	-
M/E Manufacturer/Model	MAK 6MU552	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	-	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	0	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	6712	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	1310	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	0	kW
Weight of G/E (total)	22.5	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	6	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω της online πλατφόρμας marine traffic τόσο για τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όσο και για τους χρόνους των καταστάσεων ταξιδιού. Για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα για το ποσοστό ισχύος της κύριας μηχανής χρησιμοποιήθηκαν $PC_{Vmax}=0.6$ και $PC_{Vservice}=0.5$, με το τελικό ποσοστό μετά την προσαύξηση ρυπασμένης γάστρας να υπολογίστηκε περί το 75%. Οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

P_{M/E} SERVICE	4949	kW
P_{M/E} MANOUEVER	3020	kW
P_{G/E} SERVICE_SEA	393	kW
P_{G/E} MANOUEVER	380	kW
P_{G/E} PORT	349	kW
Inter-Port Time	30	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	175	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	201	kWh
E_{el} Maneuvering	25	kWh
E_{tot} Maneuvering	227	kWh
Cruise Time	65	mins
E_{mech} V_{service}	5361	kWh
E_{el} V_{service}	426	kWh
V_{service} Battery Charge	375	kWh
Deceleration Time	4	mins
Deceleration Regen Energy	132	kWh
Total Energy Consumed	1933	kWh
Total Energy Gain	1015	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

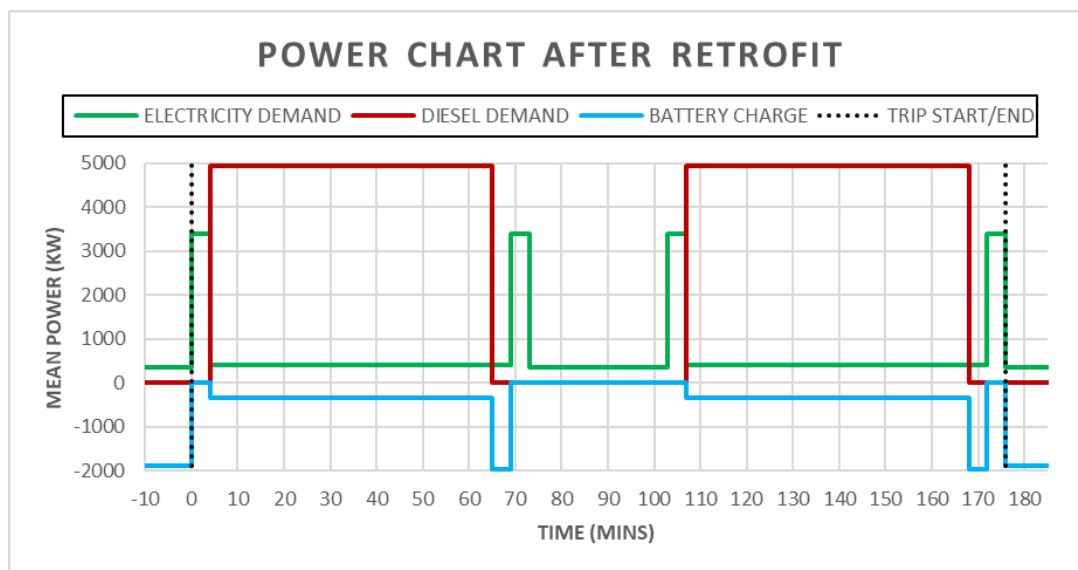


Εικόνα 37. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Μάρε ντι Λεβάντε»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	1885	kWh
Number of Mods	1025	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	41	-
Energy of Batteries	1886	kWh
Discharge Battery Power	3749	kW
Charge Battery Power	1875	kW
Total Weight of Batteries	19.7	tons
Volume of Batteries	12.1	m ³
Charger Power	1900	kW
El Motor Power	3800	kW
Inverter Power	4180	kW
Electrical Installation Weight	13.5	tons
Extra weight after Retrofit	4.7	tons
Weight Comparison to DWT	0.2%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 38. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Μάρε ντι Λεβάντε»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Μάρε ντι Λεβάντε» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 1886 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 20 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 12 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 3800 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

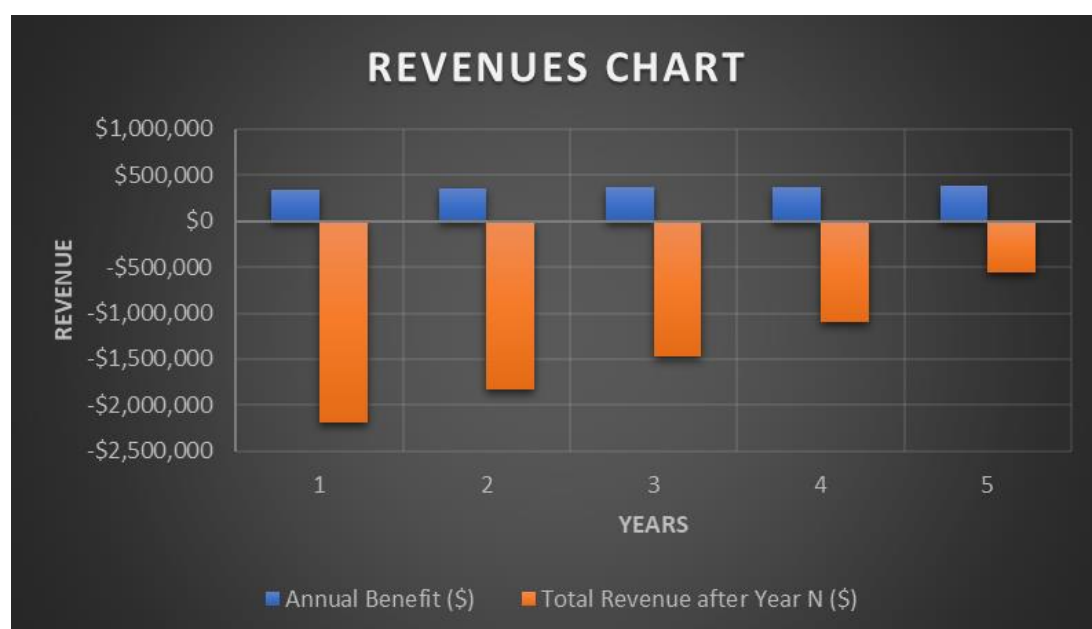
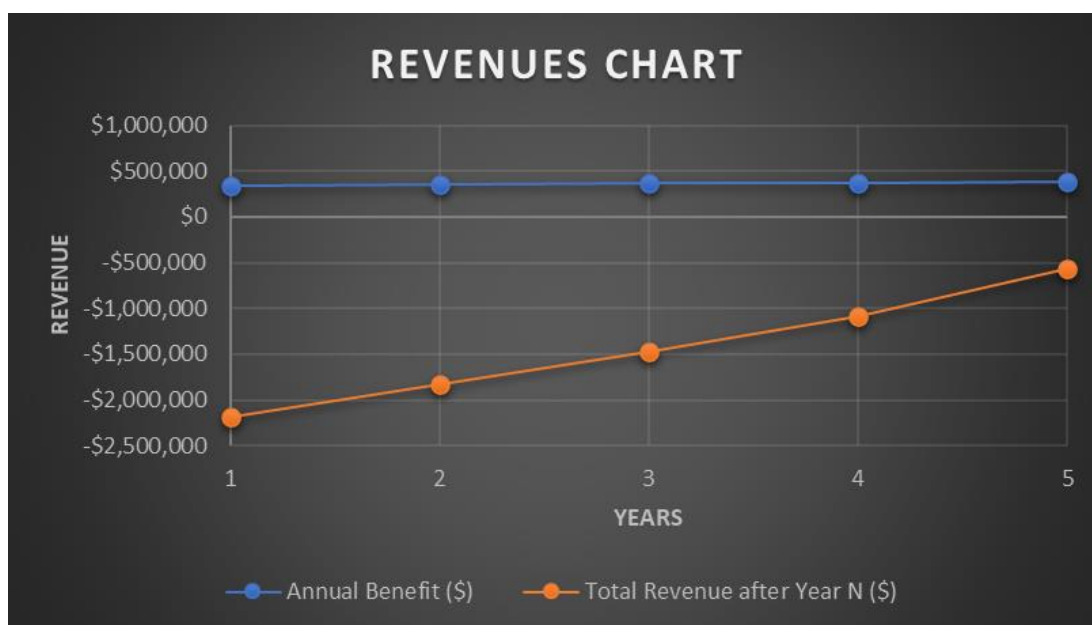
Cost of Battery system	\$942,438.60
Charger Cost	\$380,000.00
Motor Cost	\$228,000.00
Inverter Cost	\$1,045,000.00
Selling of Parts	\$65,500.00
Investment Total	\$2,529,938.60

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$16,069.52
Electricity Annual Cost	\$97,712.03
Generators Fuel Annual Cost	\$261,654.30
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$182,673.79
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$444,328.09
Maintenance of GE+ME	\$13,100.00
Total Year Benefit	\$343,646.54

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$2,529,938.6	\$343,646.5	\$353,955.9	\$364,574.6	\$375,511.9	\$386,777.2
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$141,365.8
Total Revenue after Year N (\$)	-\$2,529,938.6	-\$2,186,292.1	-\$1,832,336.1	-\$1,467,761.5	-\$1,092,249.7	-\$564,106.7
NPV (@ 10%)	-\$1,066,681.9					
IRR	0.00%					

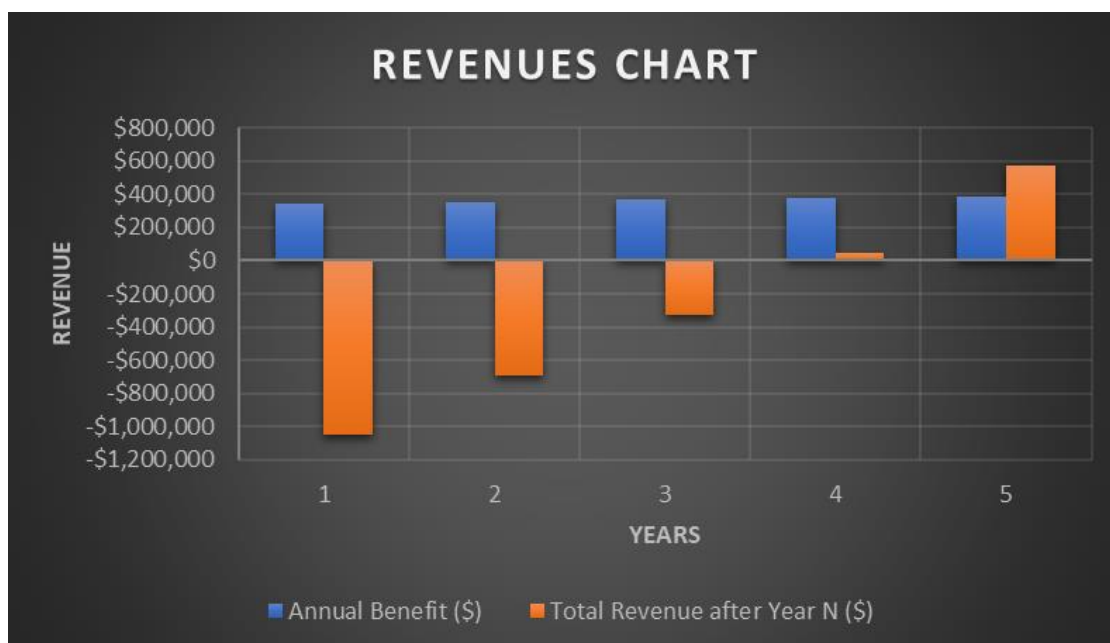
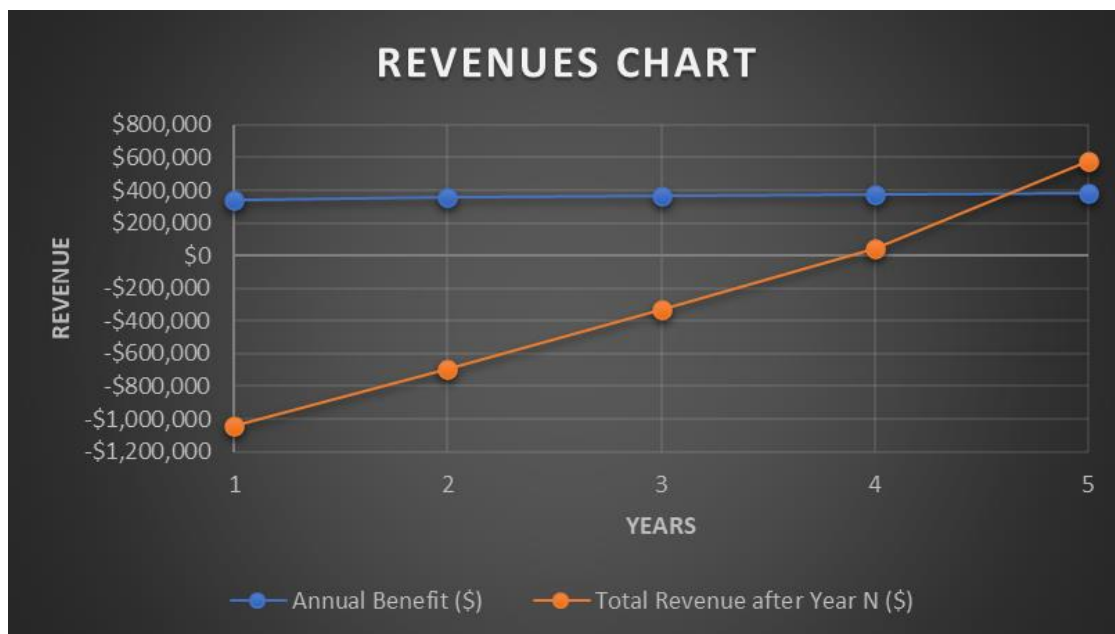


Εικόνα 39. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Μάρε ντι Λεβάντε»

Προκύπτει NPV= - 106,6681.8\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 1,140,000\$ (45%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,389,938.6	\$343,646.5	\$353,955.9	\$364,574.6	\$375,511.9	\$386,777.2
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$141,365.8
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,389,938.6	-\$1,046,292.1	-\$692,336.1	-\$327,761.5	\$47,750.3	\$575,893.3
NPV (@ 10%)	\$73,318.1					
IRR	11.92%					



Εικόνα 40. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Μάρε ντι Λεβάντε»

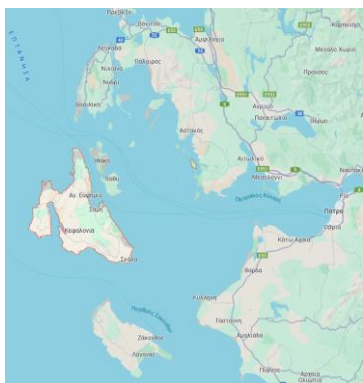
Προκύπτει NPV= 73,318.1\$ και $r=11.92\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

7.3 Μελέτη διαδρομής Κεφαλονιά(Πόρος)-Κυλλήνη

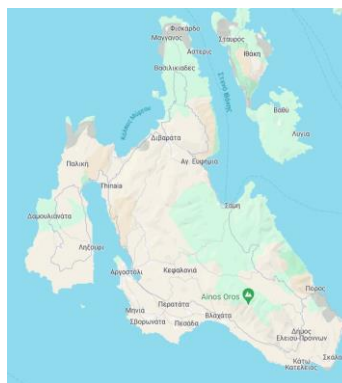
7.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου

Το νησί Κεφαλονιά είναι ένα από τα κύρια νησιά του Ιονίου πελάγους, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το συνολικό εμβαδόν του όσο και τον πληθυσμό του που αγγίζει τους 36000 κατοίκους σύμφωνα με απογραφές του 2021. Γεωγραφικά, το νησί περιβάλλεται από τη θάλασσα του Ιονίου και βρίσκεται βόρεια του Ζακύνθου, νότια της Λευκάδας, δυτικά της Πελοποννήσου. χάρη στη ραγδαία τουριστική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, καθώς και τη γεωγραφική της θέση, διαθέτει ίσως τα περισσότερα λιμάνια από κάθε άλλο ελληνικό νησί, εξαιρουμένης της Κρήτης. Οι κυριότερες θαλάσσιες γραμμές που συνδέουν την Κεφαλονιά με την ηπειρωτική χώρα και την Ιταλία είναι αρκετές. Το καλοκαίρι, υπάρχουν δρομολόγια από Πάτρα, Ιθάκη, Μπάρι και Μπρίντζι της Ιταλίας, και Αστακό προς το λιμάνι της Σάμης, ενώ το λιμάνι της Κυλλήνης εξυπηρετεί τα λιμάνια του Αργοστολίου, Ληξουρίου και Πόρου. Επιπλέον, από το Σχινάρι της Ζακύνθου υπάρχουν συχνά δρομολόγια προς την Πεσάδα στη νότια πλευρά της Κεφαλονιάς, ενώ από τη Βασιλική της Λευκάδας προς το Φισκάρδο.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα ασχοληθούμε με τη μελέτη της γραμμής Πόρος-Κυλλήνη, δεδομένου ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και περαιτέρω ανάλυσης και είναι η πιο πολυσύχναστη, ιδιαίτερα τη χειμερινή περίοδο.



Εικόνα 41. Χάρτης Θέσης Κεφαλονιάς



Εικόνα 42. Χάρτης Κεφαλονιάς

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της νήσου Κεφαλονιά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιφέρεια	Ιόνιων Νήσων
Νομός	Κεφαλληνίας
Περιφερειακή Ενότητα	Κεφαλληνίας και Ιθάκης
Πρωτεύουσα	Αργοστόλι
Εμβαδόν	786 τ. χλμ.
Πληθυσμός (απογραφή 2021)	35,801
Πυκνότητα Πληθυσμού/ τ. χλμ. (2021)	45,5
Ανώτερο υψόμετρο	Αίνος – 1,628 μ
Σημαντικοί Οικισμοί της Νήσου	Αργοστόλι, Ληξούρι, Σάμη, Πόρος, Φισκάρδο, Σκάλα, Άσος

Η Κεφαλονιά, ένας καμβάς φυσικής ομορφιάς και πολιτιστικής πλούσιας κληρονομιάς, εξακολουθεί να είναι ένας κρυμμένος θησαυρός στο Ιόνιο. Η παραγωγή ελαιόλαδου και κρασιού διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην οικονομία του νησιού, αντανάκλωντας την αρχαία παράδοση της γης στην καλλιέργεια της ελιάς και της αμπέλου. Αυτά τα εξαιρετικής ποιότητας προϊόντα έχουν διασχίσει εθνικά και διεθνή σύνορα, ενισχύοντας την ταυτότητα της Κεφαλονιάς ως περιοχής παραγωγής ανώτερης ποιότητας γεωργικών ειδών.

Παράλληλα, η αλιεία, παρά τις προκλήσεις της υπεραλίευσης και τις περιβαλλοντικές προκλήσεις, παραμένει ένας βασικός οικονομικός πυλώνας, με την τοπική κοινότητα να επιδιώκει τη βιώσιμη διαχείριση των θαλάσσιων πόρων. Τα μικρά εργαστήρια του νησιού, αν και δεν αποτελούν βιομηχανική δύναμη, ενσωματώνουν την παραδοσιακή γνώση στην επεξεργασία και τη δημιουργία προϊόντων όπως το ελαιόλαδο και το κρασί, προσθέτοντας αξία στην τοπική οικονομία και διατηρώντας ζωντανή την πολιτιστική κληρονομιά.

Ο τουρισμός, ως κυρίαρχος τομέας υπηρεσιών, έχει μεταμορφώσει την Κεφαλονιά σε έναν παγκόσμιο προορισμό, προσελκύοντας επισκέπτες με τα μαγευτικά τοπία, τα ειδυλλιακά παραλιακά χωριά και τα αρχαιολογικά στοιχεία. Οι υπηρεσίες όπως εστίαση και λιανική πώληση ενισχύουν την οικονομία και προσφέρουν εργασία, αναδεικνύοντας το νησί σε κινητήριο δύναμη της τοπικής και ευρύτερης οικονομικής ανάπτυξης. Η συνεισφορά του τουρισμού στην Κεφαλονιά είναι αδιαμφισβήτητη, με το νησί να διατηρεί μια σταθερή ροή επενδύσεων και να αναπτύσσεται σε έναν βιώσιμο προορισμό που σέβεται τόσο τη φύση όσο και την παράδοσή του.

Χαρακτηριστικά Διαδρομής Κεφαλονιά(Πόρος)-Κυλλήνη

Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για την περίπτωση μετασκευής πλοίου σε υβριδικό αφού είναι σχετικά κοντινή και πολυσύχναστη, ακόμα και τη χειμερινή περίοδο. Η απόσταση της διαδρομής είναι 22 ναυτικά μίλια και για τα υπάρχοντα πλοία που τη διενεργούν, διαρκεί περίπου 95 λεπτά. Το πλοίο που θα εξεταστούν σε τεchnο-οικονομικό επίπεδο, στη συνέχεια της παρούσας έρευνας, είναι το «Φιόρε ντι Λεβάντε», το οποίο κάνει περίπου 3 δρομολόγια την ημέρα.

7.3.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Φιορε ντι Λεβάντε»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Φίορε ντι Λεβάντε»

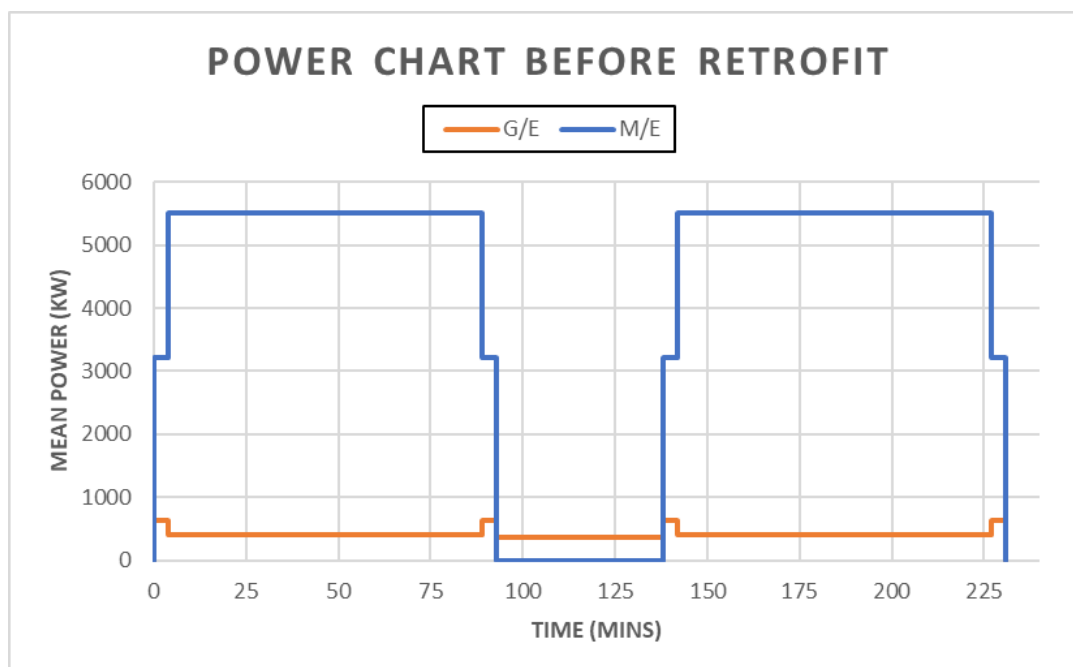
Specifications of FIOR DI LEVANTE		
Ship Name	FIOR DI LEVANTE	-
Line	Killini-Kefalonia(Poros)	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	3	-
IMO	9143491	-
Year Built	1998	-
L_{total}	118.8	m
L_{bp}	105	m
B	20	m
D	6.25	m
T	4.6	m
V_{design_max}	21	knots
$V_{service}$	16.5	knots
Gross Tonnage	9024	m ³
Net Tonnage	2707	m ³
DWT	1671	tons
Passengers Capacity	1140	-
Cars Capacity	300	-
M/E Manufacturer/Model	MAN B&W	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	-	-
Number of G/E	4	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	2	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	7160	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	1800	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	400	kW
Weight of G/E (total)	30.9	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	8	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω της online πλατφόρμας marine traffic τόσο για τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όσο και για τους χρόνους των καταστάσεων ταξιδιού. Για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα για το ποσοστό ισχύος της κύριας μηχανής χρησιμοποιήθηκαν $PC_{Vmax}=0.6$ και $PC_{Vservice}=0.5$, με το τελικό ποσοστό μετά την προσαύξηση ρυπασμένης γάστρας να υπολογίστηκε περί το 77%. Οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

$P_{M/E}$ SERVICE	5501	kW
$P_{M/E}$ MANOUVER	3222	kW
$P_{G/E}$ SERVICE_SEA	405	kW
$P_{G/E}$ MANOUVER	627	kW
$P_{G/E}$ PORT	360	kW
Inter-Port Time	45	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	270	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	215	kWh
E_{el} Maneuvering	42	kWh
E_{tot} Maneuvering	257	kWh
Cruise Time	85	mins
E_{mech} $V_{service}$	7793	kWh
E_{el} $V_{service}$	574	kWh
$V_{service}$ Battery Charge	546	kWh
Deceleration Time	4	mins
Deceleration Regen Energy	147	kWh
Total Energy Consumed	2444	kWh
Total Energy Gain	1384	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

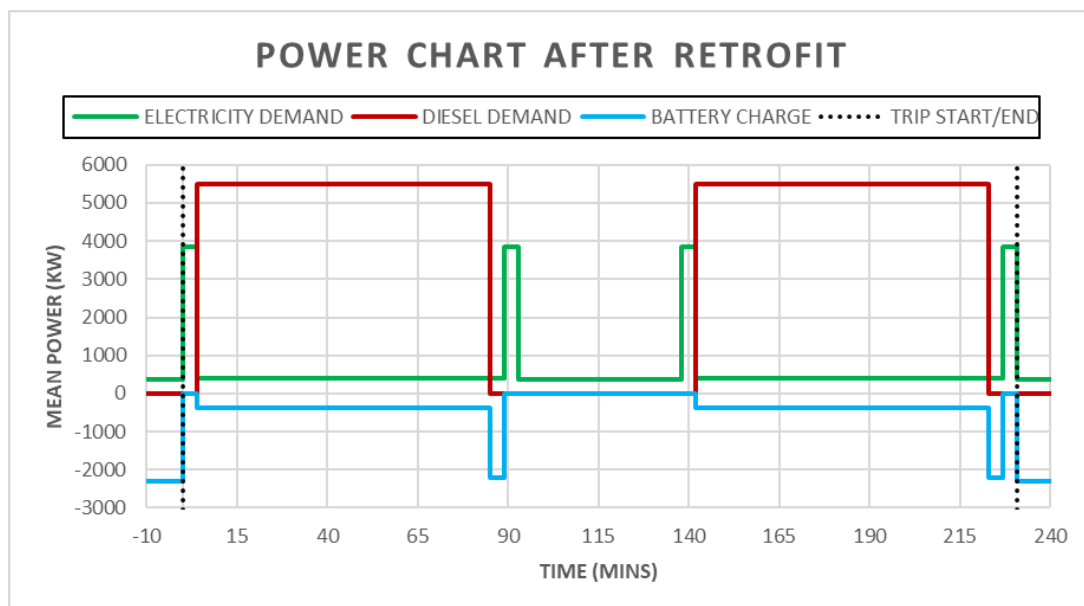


Εικόνα 43. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Φιορε ντι Λεβάντε»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	2281	kWh
Number of Mods	1250	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	50	-
Energy of Batteries	2300	kWh
Discharge Battery Power	4572	kW
Charge Battery Power	2286	kW
Total Weight of Batteries	24.0	tons
Volume of Batteries	14.8	m ³
Charger Power	2300	kW
El Motor Power	4100	kW
Inverter Power	4510	kW
Electrical Installation Weight	14.6	tons
Extra weight after Retrofit	-0.3	tons
Weight Comparison to DWT	0.0%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 44. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Φιορε ντι Λεβάντε»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Φίορε ντι Λεβάντε» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 2300 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 24 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 15 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 4100 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

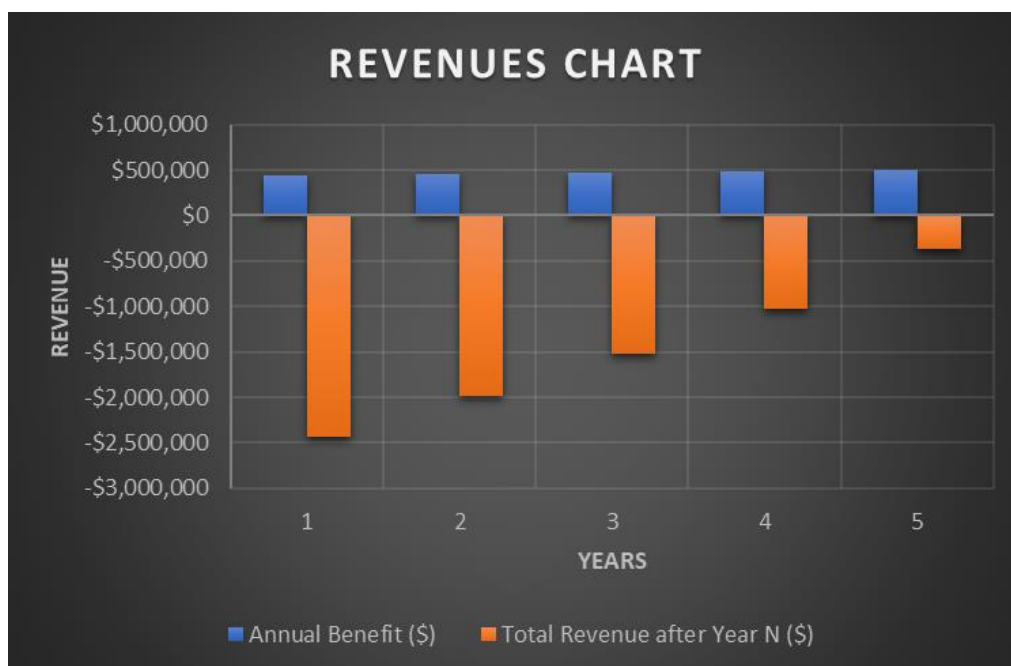
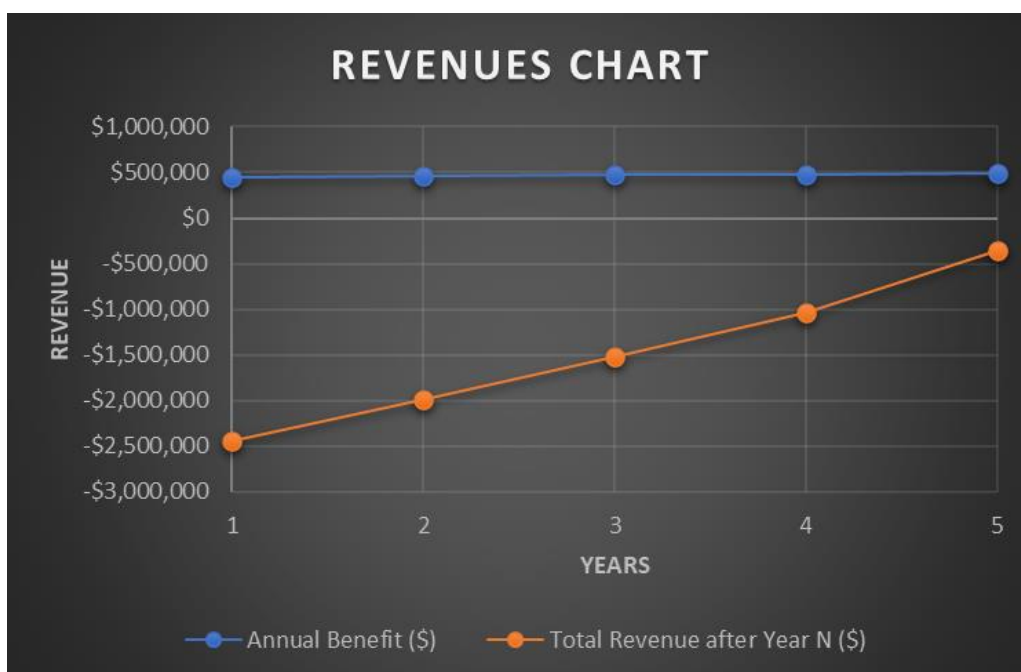
Cost of Battery system	\$1,140,683.15
Charger Cost	\$460,000.00
Motor Cost	\$246,000.00
Inverter Cost	\$1,127,500.00
Selling of Parts	\$90,000.00
Investment Total	\$2,884,183.15

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$19,554.15
Electricity Annual Cost	\$118,266.03
Generators Fuel Annual Cost	\$367,619.58
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$194,866.56
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$562,486.14
Maintenance of GE+ME	\$18,000.00
Total Year Benefit	\$442,665.96

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$2,884,183.2	\$442,666.0	\$455,945.9	\$469,624.3	\$483,713.1	\$498,224.4
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$171,102.5
Total Revenue after Year N (\$)	-\$2,884,183.2	-\$2,441,517.2	-\$1,985,571.2	-\$1,515,946.9	-\$1,032,233.9	-\$362,907.0
NPV (@ 10%)	-\$1,006,127.1					
IRR	0.00%					

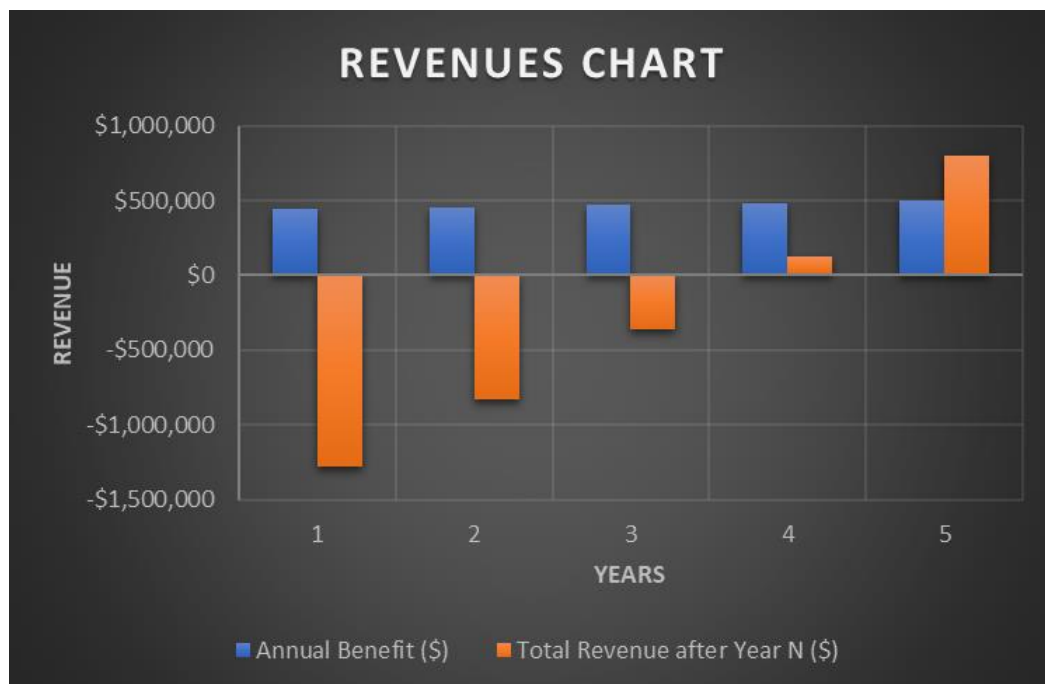
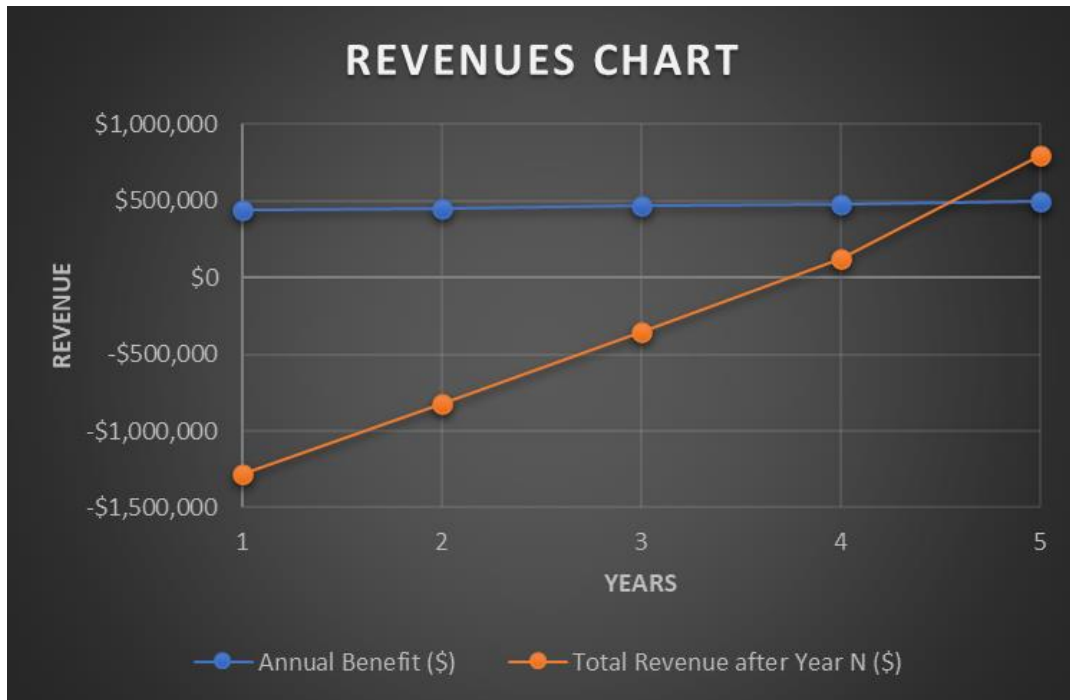


Εικόνα 45. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Φιορε ντι Λεβάντε»

Προκύπτει NPV= -100,6127.1\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 1,160,000\$ (40%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,724,183.2	\$442,666.0	\$455,945.9	\$469,624.3	\$483,713.1	\$498,224.4
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$171,102.5
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,724,183.2	-\$1,281,517.2	-\$825,571.2	-\$355,946.9	\$127,766.1	\$797,093.0
NPV (@ 10%)	\$153,872.9					
IRR	13.22%					



Εικόνα 46. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Φιορε ντι Λεβάντε»

Προκύπτει NPV= 153,872.8\$ και $r=13.22\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

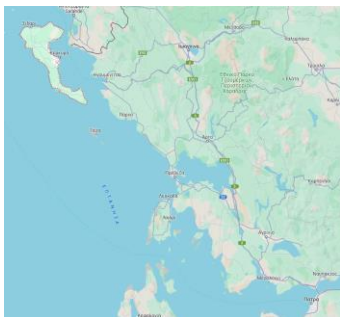
7.4 Μελέτη διαδρομής Κέρκυρα-Ηγουμενίτσα

7.4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου

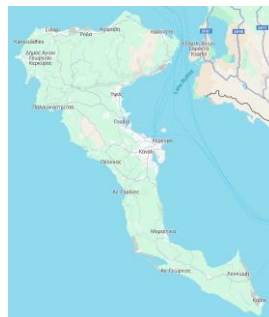
Η Κέρκυρα είναι ένα νησί όπου η ιστορία συναντά τη μυθολογία και η φυσική ομορφιά κλέβει την παράσταση. Η γεωγραφική της θέση στο βορειοδυτικό άκρο της Ελλάδας, στα σταυροδρόμια του Ιονίου πελάγους, της έχει χαρίσει μια πλούσια ιστορία από επιρροές και κατακτήσεις. Με έκταση 593 τετραγωνικά χιλιόμετρα και πληθυσμό που υπερβαίνει τις 100,000 κατοίκους, η Κέρκυρα αποτελεί έναν κοσμοπολίτικο προορισμό με βαθιά ριζωμένες παραδόσεις.

Το νησί διαθέτει έναν πλούσιο αριθμό λιμανιών, προσφέροντας εύκολη πρόσβαση τόσο από την ηπειρωτική Ελλάδα όσο και από την Ιταλία. Το κύριο λιμάνι στην πόλη της Κέρκυρας υποδέχεται δρομολόγια από την Ηγουμενίτσα και τον Παξούς, ενώ το καλοκαίρι, η θαλάσσια γέφυρα με την Ιταλία ενισχύεται με συχνές αφίξεις από Ανκόνα, Μπάρι, και Μπρίντιζι. Παράλληλα, από το μικρότερο λιμάνι του Λευκίμμη, στο νότιο τμήμα του νησιού, οργανώνονται δρομολόγια προς την ηπειρωτική Ελλάδα, προσφέροντας μια πιο ήσυχη εναλλακτική για τους ταξιδιώτες.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, θα εστιάσουμε στη μελέτη της γραμμής Κέρκυρα-Ηγουμενίτσα. Αυτή η διαδρομή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς υπηρετεί ως ένας από τους πρωταρχικούς κόμβους για την είσοδο και την έξοδο των προϊόντων και των τουριστών στο νησί, προσφέροντας επίσης ευκαιρίες για βελτιώσεις στις υπηρεσίες και τη διαχείριση της κίνησης.



Εικόνα 47. Χάρτης Θέσης Κέρκυρας



Εικόνα 48. Χάρτης Κέρκυρας

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της νήσου Κέρκυρας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιφέρεια	Ιόνιων Νήσων
Νομός	Κέρκυρας
Περιφερειακή Ενότητα	Κέρκυρας
Πρωτεύουσα	Κέρκυρα (Πόλη)
Εμβαδόν	641 τ. χλμ.
Πληθυσμός (απογραφή 2021)	102,071
Πυκνότητα Πληθυσμού/ τ. χλμ. (2021)	159.2
Ανώτερο υψόμετρο	Όρος Παντοκράτορας – 906 μ
Σημαντικοί Οικισμοί της Νήσου	Κέρκυρα, Παλαιοκαστρίτσα, Σιδάρι, Μοραΐτικα, Αχαράβη, Κασσιώπη, Άγιος Γόρδιος

Η Κέρκυρα, με το πλούσιο πράσινο τοπίο και την πολυπολιτισμική κληρονομιά της, αποτελεί ένα πολύτιμο κομμάτι του Ιονίου πελάγους. Η παραγωγή ελαιόλαδου και κρασιού, μαζί με την καλλιέργεια κηπευτικών και την ανάπτυξη αρωματικών φυτών όπως το θυμάρι και η ρίγανη, διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην τοπική οικονομία. Τα υψηλής ποιότητας προϊόντα αυτά, εκτιμώμενα τόσο στην εγχώρια όσο και στη διεθνή αγορά, ενισχύουν την ταυτότητα της Κέρκυρας ως περιοχής ανώτερης παραγωγικότητας. Η αλιεία, αν και αντιμετωπίζει προκλήσεις από την υπεραλίευση και την περιβαλλοντική πίεση, παραμένει ένας σημαντικός οικονομικός πυλώνας. Η Κέρκυρα προσπαθεί να υιοθετήσει βιώσιμες μεθόδους αλιείας και να προωθήσει την υγιεινή διαχείριση των θαλάσσιων πόρων της. Ταυτόχρονα, τα μικρά τοπικά εργαστήρια που επεξεργάζονται τα ελαιόλαδα και τα κρασιά προσθέτουν αξία στην οικονομία, διατηρώντας ζωντανή την πολιτιστική κληρονομιά του νησιού. Ο τουρισμός, ως κυρίαρχος τομέας υπηρεσιών, έχει μεταμορφώσει την Κέρκυρα σε έναν παγκόσμιο προορισμό. Οι πλούσιοι ιστορικοί οικισμοί, οι γραφικές παραλίες και οι καταπράσινοι λόφοι προσελκύουν εκατομμύρια επισκέπτες κάθε χρόνο. Υπηρεσίες όπως η εστίαση, η λιανική πώληση και οι μεταφορές ενισχύουν σημαντικά την οικονομία, αναδεικνύοντας το νησί σε έναν βασικό κινητήριο μοχλό για την τοπική και ευρύτερη οικονομική ανάπτυξη. Η συνεισφορά του τουρισμού στην Κέρκυρα είναι καθοριστική, καθώς το νησί διατηρεί μια σταθερή ροή επενδύσεων και αναπτύσσεται σε έναν βιώσιμο, περιβαλλοντικά σεβαστό προορισμό.

Χαρακτηριστικά Διαδρομής Κέρκυρα-Ηγουμενίτσα

Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για την περίπτωση μετασκευής πλοίου σε υβριδικό αφού είναι σχετικά κοντινή και πολυσύχναστη. Η απόσταση της διαδρομής είναι 17 ναυτικά μίλια και για τα υπάρχοντα πλοία που τη διενεργούν, διαρκεί περίπου 70 λεπτά. Τα πλοία θα εξεταστούν σε τεχνο-οικονομικό επίπεδο, στη συνέχεια της παρούσας έρευνας, είναι το «Αγία Θεοδώρα» και το «Κέρκυρα Εξπρές». Κάθε πλοίο κάνει περίπου 3 δρομολόγια την ημέρα. Τη συγκεκριμένη διαδρομή εξυπηρετούν συνολικά πάνω από 10 πλοία ημερησίως με συνολικά περίπου 25 δρομολόγια τη μέρα, αποτελώντας μια πολύ ανταγωνιστική θαλάσσια γραμμή. Η επιλογή των παραπάνω 2 πλοίων έγινε καθώς αυτά αποτελούσαν Ro-Pax κλειστού τύπου ενώ τα υπόλοιπα ήταν πλοία «παντόφλες» και καθιστούσε δυσκολότερη τη μελέτη τους.

7.4.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Αγία Θεοδώρα»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Αγία Θεοδώρα»

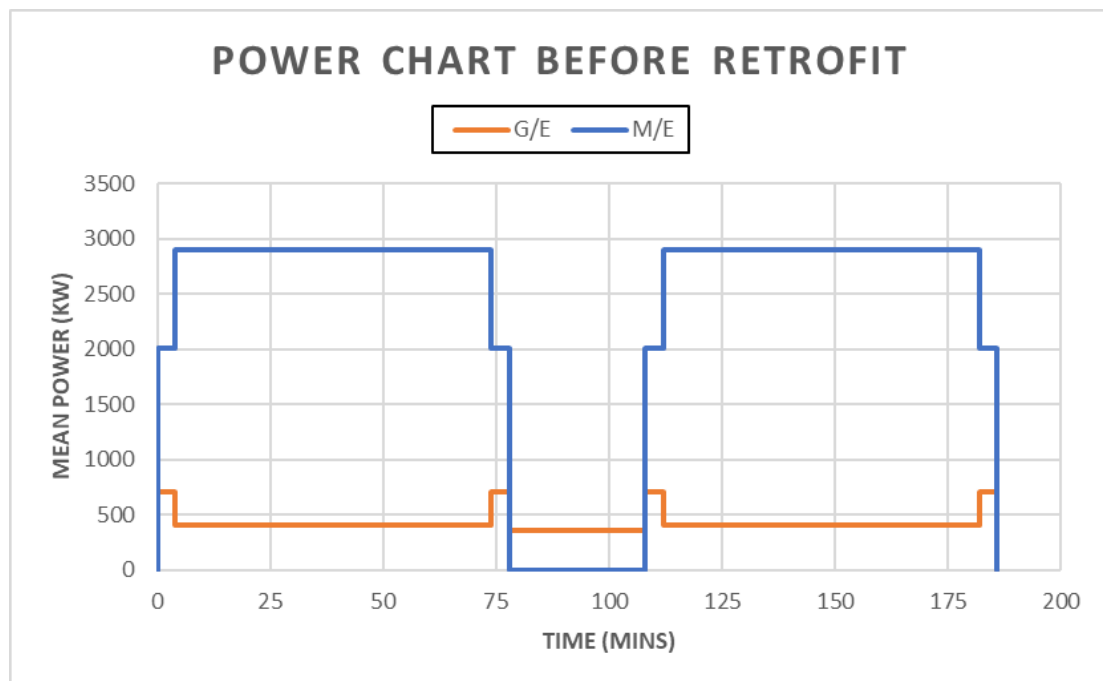
Specifications of AGIA THEODORA		
Ship Name	AGIA THEODORA	-
Line	Igoumenitsa-Corfu	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	3	-
IMO	8822155	-
Year Built	1989	-
L_{total}	76.5	m
L_{bp}	73	m
B	15.2	m
D	5.1	m
T	3	m
V_{design_max}	18.5	knots
$V_{service}$	14	knots
Gross Tonnage	2336	m ³
Net Tonnage	700	m ³
DWT	1046	tons
Passengers Capacity	732	-
Cars Capacity	160	-
M/E Manufacturer/Model	DAIHATSU 8DL-M 32	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	x2 Diesel Generators x1 Shaft Generator	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	1	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	4474	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	1400	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	530	kW
Weight of G/E (total)	18.0	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	4.5	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για τα δεδομένα του παραπάνω πλοίου έγινε επικοινωνία με την πλοιοκτήτρια εταιρία και συλλέχθηκαν όλα τα σχετικά δεδομένα που παρουσιάζονται παραπάνω καθώς και οι καταστάσεις ισχύος που παρουσιάζονται αμέσως μετά. Σημαντικό είναι να τονιστεί πως λήφθηκαν υπόψιν τα χειρότερα σενάρια για τις καταναλώσεις ενέργειας. Όσον αφορά τους χρόνους που διαρκεί η κάθε κατάσταση, η άντληση των δεδομένων έγινε μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας marine traffic. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

$P_{M/E}$ SERVICE	2897	kW
$P_{M/E}$ MANOUVER	2013	kW
$P_{G/E}$ SERVICE_SEA	400	kW
$P_{G/E}$ MANOUVER	700	kW
$P_{G/E}$ PORT	350	kW
Inter-Port Time	30	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	175	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	134	kWh
E_{el} Maneuvering	47	kWh
E_{tot} Maneuvering	181	kWh
Cruise Time	70	mins
$E_{mech} V_{service}$	3380	kWh
$E_{el} V_{service}$	467	kWh
$V_{service}$ Battery Charge	237	kWh
Deceleration Time	3	mins
Deceleration Regen Energy	58	kWh
Total Energy Consumed	1832	kWh
Total Energy Gain	589	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

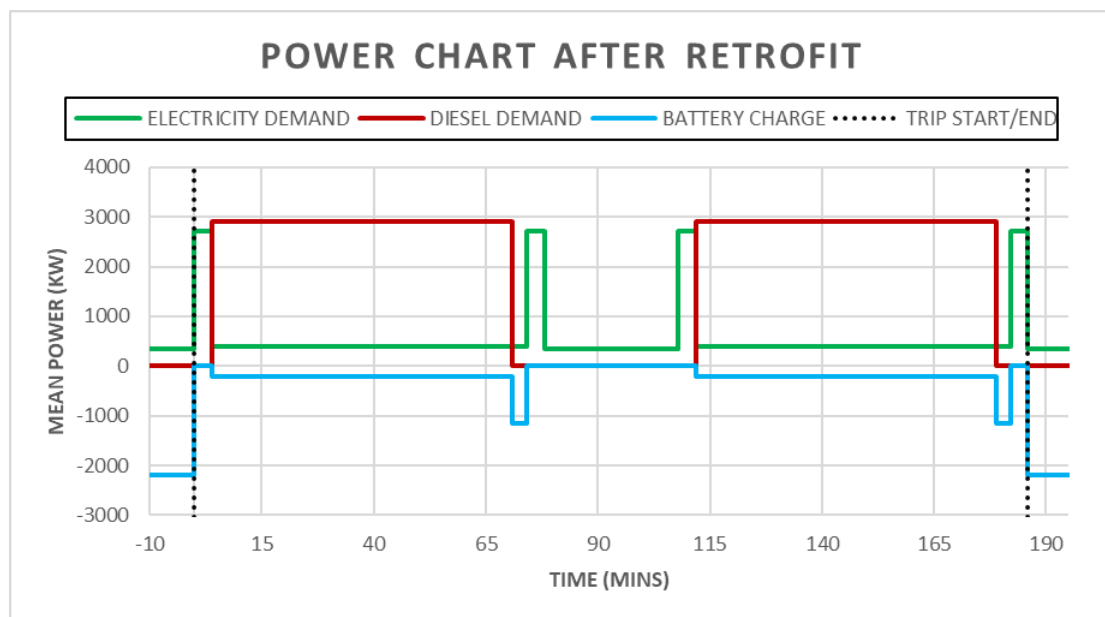


Εικόνα 49. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Αγία Θεοδώρα»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	2159	kWh
Number of Mods	1175	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	47	-
Energy of Batteries	2162	kWh
Discharge Battery Power	4298	kW
Charge Battery Power	2149	kW
Total Weight of Batteries	22.6	tons
Volume of Batteries	13.9	m ³
Charger Power	2200	kW
El Motor Power	2600	kW
Inverter Power	2860	kW
Electrical Installation Weight	9.2	tons
Extra weight after Retrofit	9.3	tons
Weight Comparison to DWT	0.9%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 50. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Αγία Θεοδώρα»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Αγία Θεοδώρα» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 2162 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 23 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 14 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 2600 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

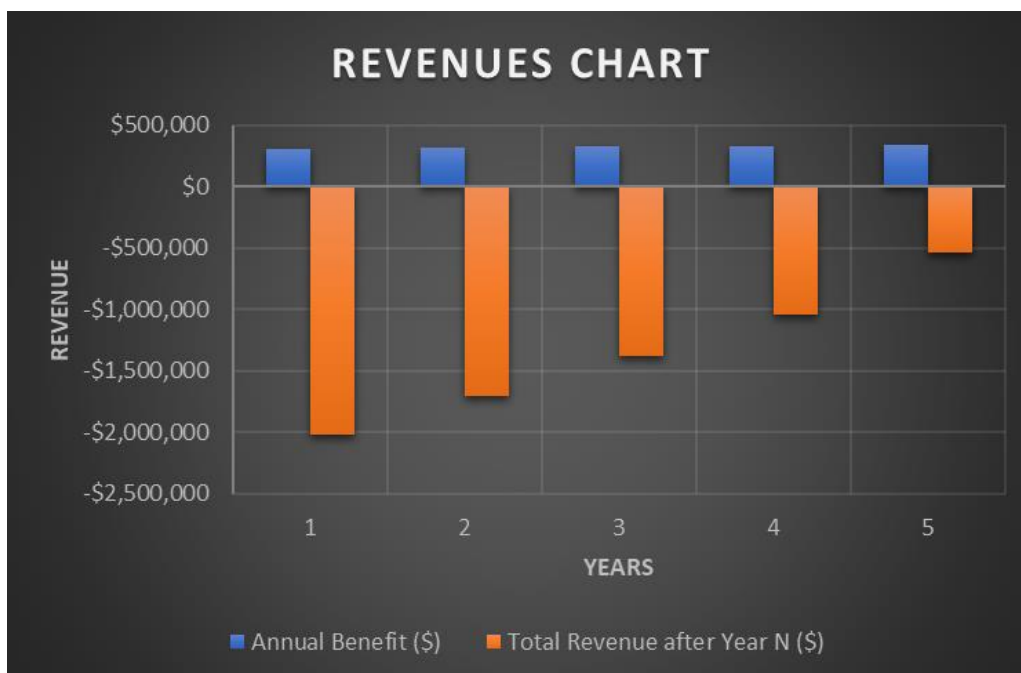
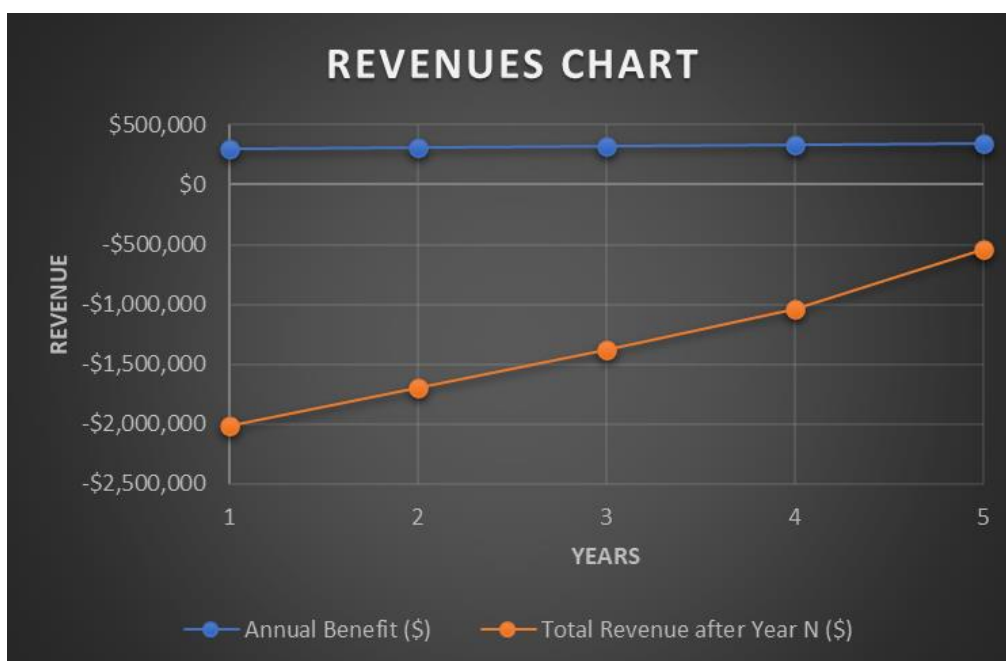
Cost of Battery system	\$1,079,337.09
Charger Cost	\$440,000.00
Motor Cost	\$156,000.00
Inverter Cost	\$715,000.00
Selling of Parts	\$70,000.00
Investment Total	\$2,320,337.09

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$18,021.94
Electricity Annual Cost	\$111,905.67
Generators Fuel Annual Cost	\$299,628.00
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$121,764.38
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$421,392.38
Maintenance of GE+ME	\$14,000.00
Total Year Benefit	\$305,464.78

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$2,320,337.1	\$305,464.8	\$314,628.7	\$324,067.6	\$333,789.6	\$343,803.3
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$161,900.6
Total Revenue after Year N (\$)	-\$2,320,337.1	-\$2,014,872.3	-\$1,700,243.6	-\$1,376,176.0	-\$1,042,386.4	-\$536,682.5
NPV (@ 10%)	-\$997,156.2					
IRR	0.00%					

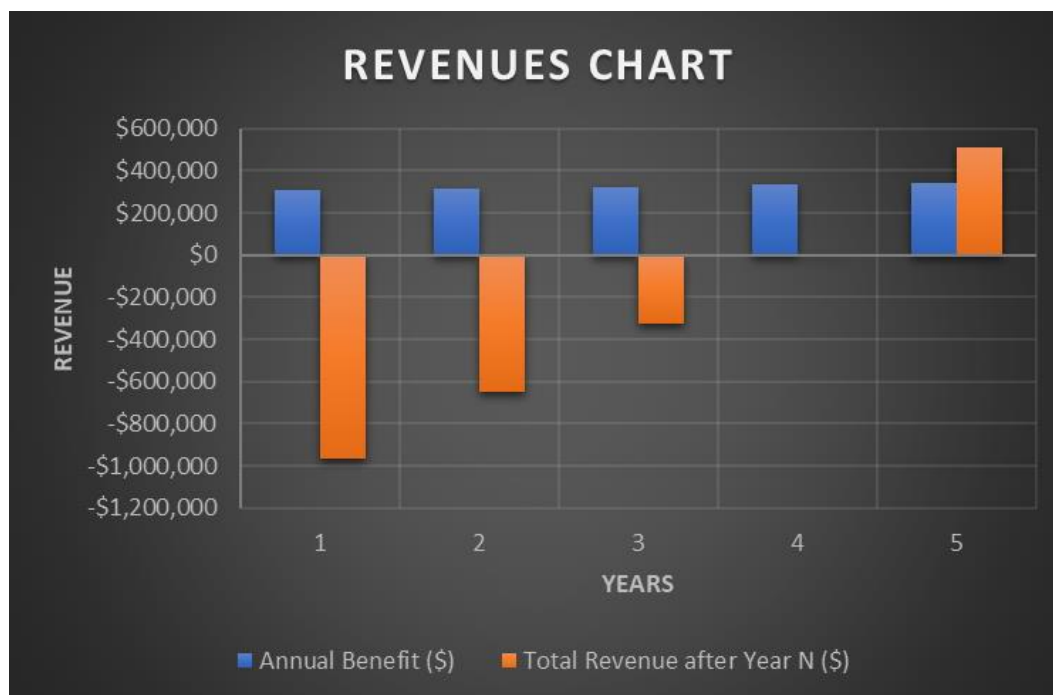
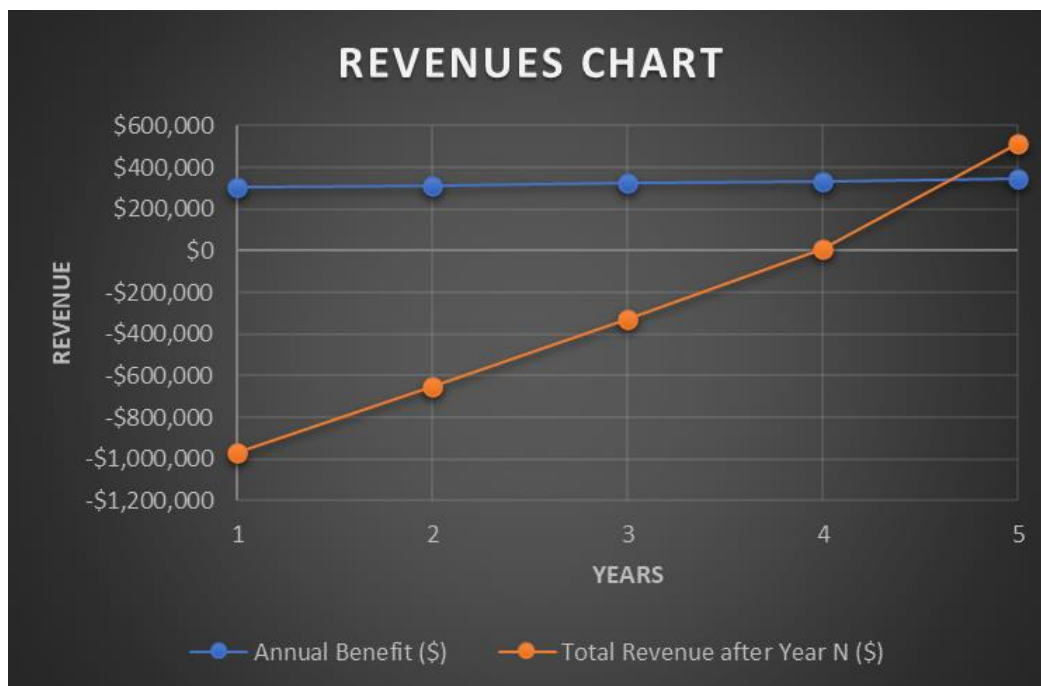


Εικόνα 51. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Αγία Θεοδώρα»

Προκύπτει NPV= - 997,156.2\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 1,050,000\$ (45%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,270,337.1	\$305,464.8	\$314,628.7	\$324,067.6	\$333,789.6	\$343,803.3
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$161,900.6
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,270,337.1	-\$964,872.3	-\$650,243.6	-\$326,176.0	\$7,613.6	\$513,317.5
NPV (@ 10%)	\$52,843.8					
IRR	11.50%					



Εικόνα 52. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Αγία Θεοδώρα»

Προκύπτει NPV= 52,843.7 \$ και $r=11.50\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

7.4.3 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Κέρκυρα Εξπρές»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Κέρκυρα Εξπρές»

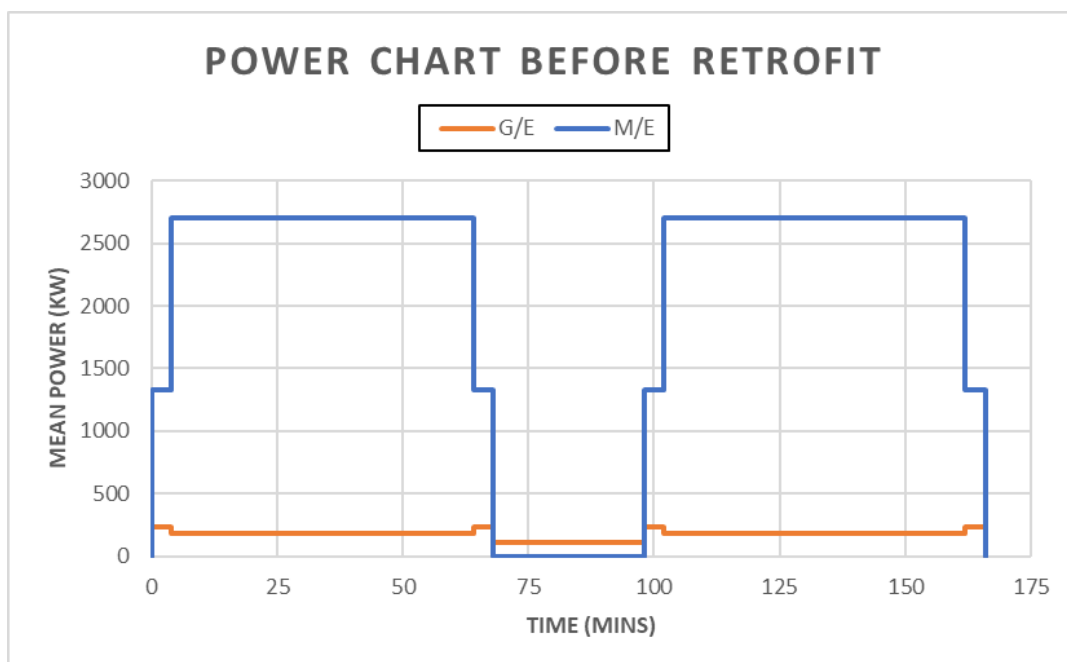
Specifications of AGIA THEODORA		
Ship Name	KERKYRA EXPRESS	-
Line	Igoumenitsa-Corfu	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	3	-
IMO	9018787	-
Year Built	1991	-
L_{total}	76.61	m
L_{bp}	70	m
B	14.5	m
D	-	m
T	3.8	m
V_{design_max}	18	knots
$V_{service}$	15.5	knots
Gross Tonnage	1205	m ³
Net Tonnage	635	m ³
DWT	649	tons
Passengers Capacity	600	-
Cars Capacity	95	-
M/E Manufacturer/Model	DAIHATSU 6DLM-28	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	DAIHATSU 6DLM-16	-
Number of G/E	2	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	1	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	2942	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	794	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	390	kW
Weight of G/E (total)	12.0	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	4	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για τα δεδομένα του παραπάνω πλοίου έγινε επικοινωνία με την πλοιοκτήτρια εταιρία και συλλέχθηκαν όλα τα σχετικά δεδομένα που παρουσιάζονται παραπάνω καθώς και οι καταστάσεις ισχύος που παρουσιάζονται αμέσως μετά. Σημαντικό είναι να τονιστεί πως λήφθηκαν υπόψιν τα χειρότερα σενάρια για τις καταναλώσεις ενέργειας. Όσον αφορά τους χρόνους που διαρκεί η κάθε κατάσταση, η άντληση των δεδομένων έγινε μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας marine traffic. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

P_{M/E} SERVICE	2705	kW
P_{M/E} MANOUVER	1324	kW
P_{G/E} SERVICE_SEA	180	kW
P_{G/E} MANOUVER	230	kW
P_{G/E} PORT	110	kW
Inter-Port Time	30	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	55	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	88	kWh
E_{el} Maneuvering	15	kWh
E_{tot} Maneuvering	104	kWh
Cruise Time	60	mins
E_{mech} V_{service}	2705	kWh
E_{el} V_{service}	180	kWh
V_{service} Battery Charge	189	kWh
Deceleration Time	3	mins
Deceleration Regen Energy	54	kWh
Total Energy Consumed	829	kWh
Total Energy Gain	487	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

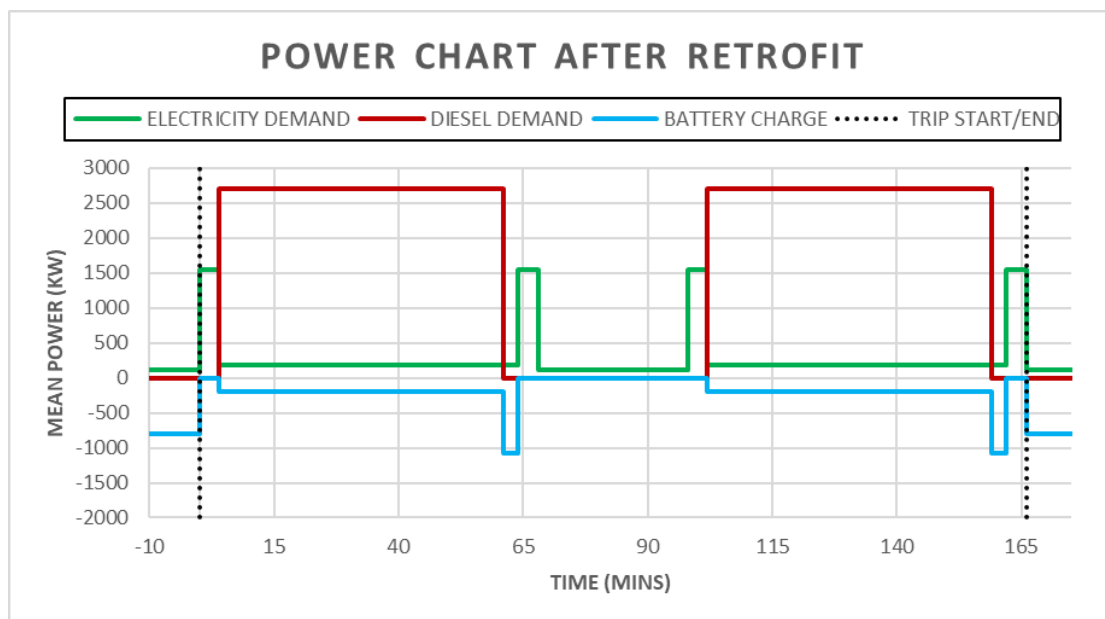


Εικόνα 53. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Κέρκυρα Εξπρές»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	757	kWh
Number of Mods	425	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	17	-
Energy of Batteries	782	kWh
Discharge Battery Power	1554	kW
Charge Battery Power	777	kW
Total Weight of Batteries	8.2	tons
Volume of Batteries	5.0	m ³
Charger Power	800	kW
El Motor Power	1700	kW
Inverter Power	1870	kW
Electrical Installation Weight	6.0	tons
Extra weight after Retrofit	-1.8	tons
Weight Comparison to DWT	-0.3%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 54. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Κέρκυρα Εξπρές»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Κέρκυρα Εξπρές» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 782 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 8 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 5 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 1700 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου βάρους ή όγκου αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Υπενθυμίζεται πως έχουμε λάβει ως χρονικό ορίζοντα τα 5 έτη, ώστε να μη χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση των μπαταριών.

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

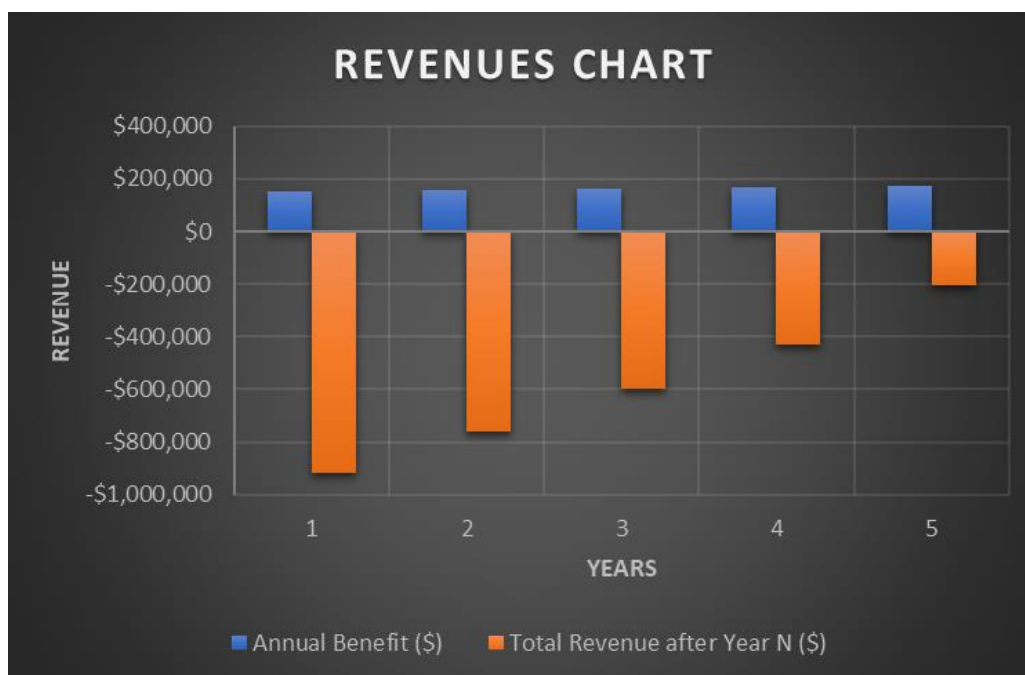
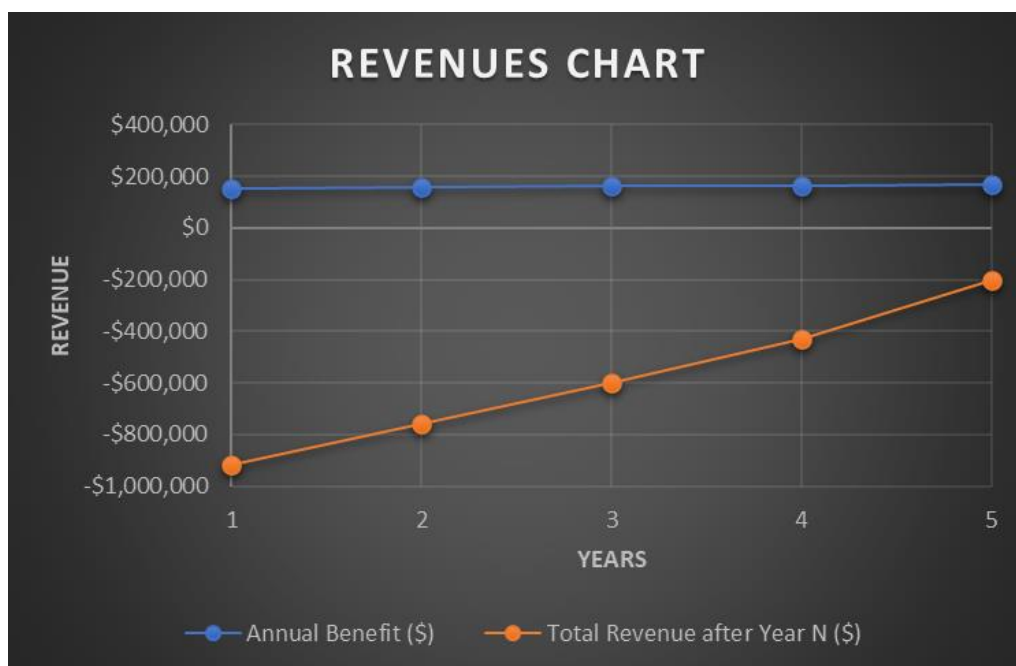
Cost of Battery system	\$378,571.33
Charger Cost	\$160,000.00
Motor Cost	\$102,000.00
Inverter Cost	\$467,500.00
Selling of Parts	\$39,700.00
Investment Total	\$1,068,371.33

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Battery Annual Maintenance	\$6,507.94
Electricity Annual Cost	\$39,250.28
Generators Fuel Annual Cost	\$110,239.20
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$80,069.47
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$190,308.67
Maintenance of GE+ME	\$7,940.00
Total Year Benefit	\$152,490.45

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,068,371.3	\$152,490.5	\$157,065.2	\$161,777.1	\$166,630.4	\$171,629.3
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$56,785.7
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,068,371.3	-\$915,880.9	-\$758,815.7	-\$597,038.6	-\$430,408.1	-\$201,993.1
NPV (@ 10%)	-\$422,753.6					
IRR	0.00%					

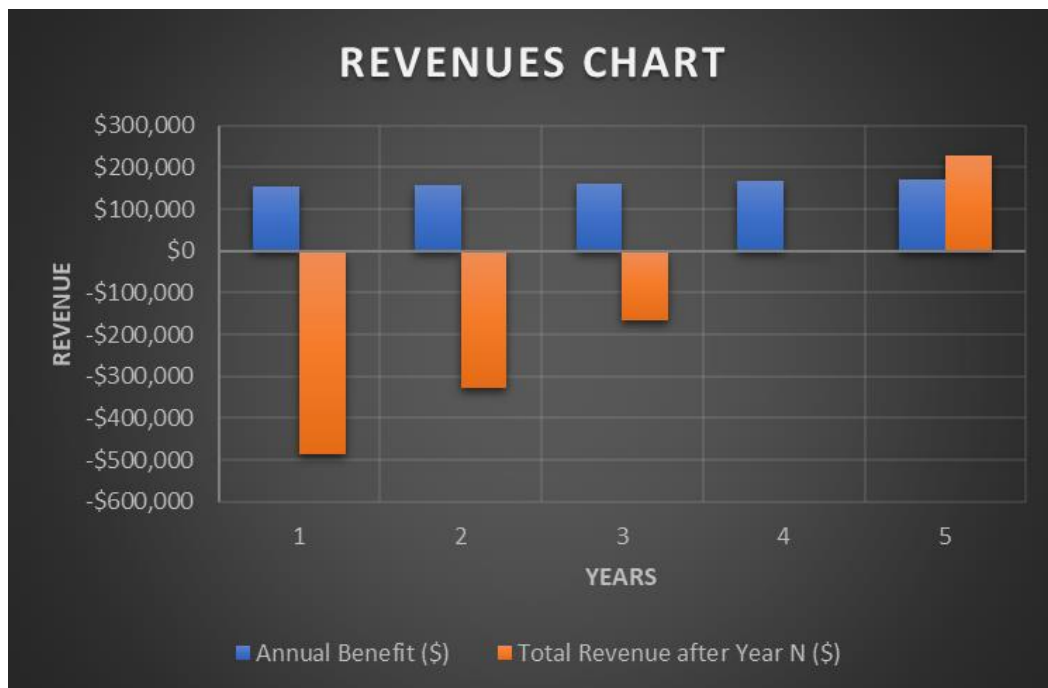
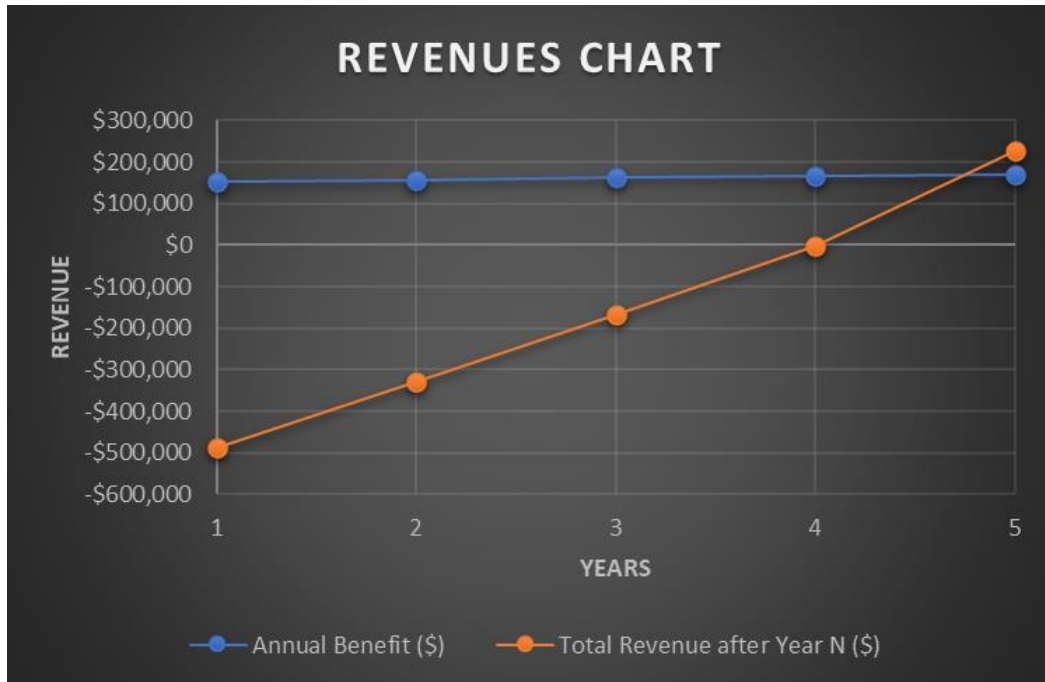


Εικόνα 55. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Κέρκυρα Εξπρές»

Προκύπτει NPV= -422,753.5\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 430,000\$ (40%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$638,371.3	\$152,490.5	\$157,065.2	\$161,777.1	\$166,630.4	\$171,629.3
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$56,785.7
Total Revenue after Year N (\$)	-\$638,371.3	-\$485,880.9	-\$328,815.7	-\$167,038.6	-\$408.1	\$228,006.9
NPV (@ 10%)	\$7,246.4					
IRR	10.42%					



Εικόνα 56. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Κέρκυρα Εξπρές»

Προκύπτει NPV= 7,246.4\$ και $r=10.42\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

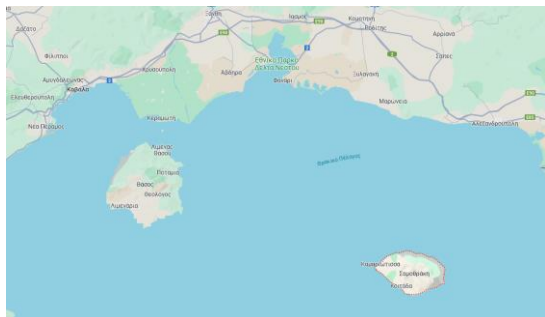
7.5 Μελέτη διαδρομής Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη

7.5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νήσου

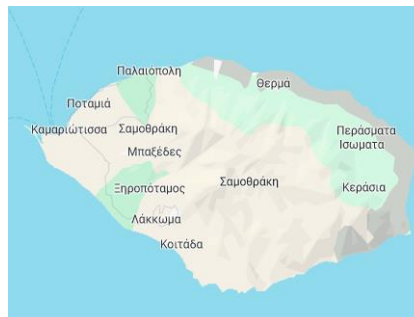
Η Σαμοθράκη, αυτό το μυστηριώδες νησί του βορειοανατολικού Αιγαίου, στέκει ως ένα σύμβολο αρχαίων μυστηρίων και φυσικής ομορφιάς. Με το επιβλητικό όρος Σάος (Φεγγάρι) να υψώνεται στα 1,611 μέτρα, το νησί προσφέρει εντυπωσιακά τοπία και πλούσια φυσικά αποθέματα. Η έκτασή του φτάνει τα 178 τετραγωνικά χιλιόμετρα και ο πληθυσμός του, που αριθμεί περίπου 2,859 κατοίκους, χαρακτηρίζεται από μια ιδιαίτερη κοινωνική συνοχή και βαθιά ριζωμένες παραδόσεις.

Η γεωγραφική του θέση προσδίδει στη Σαμοθράκη έναν ιδιαίτερο ρόλο, καθώς είναι εύκολα προσβάσιμη από την ηπειρωτική Ελλάδα μέσω του λιμανιού της Αλεξανδρούπολης. Το κύριο λιμάνι του νησιού, η Καμαριώτισσα, αποτελεί τον πύλη για την πλειονότητα των επισκεπτών και των εισαγωγών, προσφέροντας καθημερινά δρομολόγια που συνδέουν τη Σαμοθράκη με τον ελλαδικό ηπειρωτικό χώρο. Επιπλέον, η θαλάσσια γέφυρα με την Αλεξανδρούπολη ενισχύεται κατά τους θερινούς μήνες, αναδεικνύοντας τη σημασία του νησιού ως τουριστικού και πολιτιστικού προορισμού.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, θα εστιάσουμε στη μελέτη της γραμμής Αλεξανδρούπολη-Καμαριώτισσα. Αυτή η διαδρομή είναι κρίσιμη, καθώς υπηρετεί ως κύριος κόμβος για την είσοδο και την έξοδο των επισκεπτών και των εμπορευμάτων στο νησί, προσφέροντας σημαντικές ευκαιρίες για βελτιώσεις στις υπηρεσίες και τη διαχείριση της κίνησης.



Εικόνα 57. Χάρτης Θέσης Σαμοθράκης



Εικόνα 58. Χάρτης Σαμοθράκης

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της νήσου Σαμοθράκη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιφέρεια	Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης
Νομός	Έβρου
Περιφερειακή Ενότητα	Σαμοθράκης
Πρωτεύουσα	Χώρα (Σαμοθράκη)
Εμβαδόν	178 τ. χλμ.
Πληθυσμός (απογραφή 2021)	2,859
Πυκνότητα Πληθυσμού/ τ. χλμ. (2021)	16.06
Ανώτερο υψόμετρο	Φεγγάρι (Σάος) – 1,611 μ
Σημαντικοί Οικισμοί της Νήσου	Χώρα (Σαμοθράκη), Καμαριώτισσα, Αλώνια, Λάκκωμα, Θέρμα

Η Σαμοθράκη, με το μαγευτικό της τοπίο και τη μυθική της ατμόσφαιρα, είναι ένας ξεχωριστός προορισμός στο βορειοανατολικό Αιγαίο. Η γεωγραφική της θέση, προσφέρει μοναδικά φυσικά καταφύγια, ενώ ο πλούτος σε νερά και η υψηλή υγρασία διαμορφώνουν ένα ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη πλούσιας χλωρίδας. Η παραγωγή του παραδοσιακού κασικίσιου τυριού, οι καλλιέργειες μυρωδάτων αρωματικών φυτών όπως το θυμάρι, η ρίγανη και η λεβάντα, διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην τοπική οικονομία. Τα προϊόντα αυτά, αναγνωρισμένα για την αγνότητα και την ποιότητά τους, ενισχύουν την ταυτότητα της Σαμοθράκης ως περιοχής ανώτερης παραγωγικότητας. Η αλιεία, ένας παραδοσιακός κλάδος για το νησί, συνεχίζει να αποτελεί σημαντική δραστηριότητα παρά τις προκλήσεις όπως η υπεραλίευση και οι περιβαλλοντικές αλλαγές. Η τοπική κοινότητα εργάζεται για την υιοθέτηση βιώσιμων μεθόδων αλιείας, προωθώντας την υγιή διαχείριση των θαλάσσιων πόρων. Μικρά εργαστήρια επεξεργασίας των τοπικών προϊόντων προσθέτουν αξία στην οικονομία και διατηρούν ζωντανή την πολιτιστική κληρονομιά. Ο τουρισμός, έχοντας αναδειχθεί σε κυρίαρχο τομέα υπηρεσιών, μεταμορφώνει τη Σαμοθράκη σε έναν παγκόσμιο προορισμό. Οι ιστορικοί οικισμοί, οι κρυστάλλινες παραλίες και τα μυστηριακά αρχαία ερείπια προσελκύουν επισκέπτες από όλο τον κόσμο. Υπηρεσίες όπως η εστίαση, η λιανική πώληση και οι μεταφορές ενισχύουν την οικονομία και αναδεικνύουν το νησί σε κινητήριο μοχλό για την τοπική και ευρύτερη οικονομική ανάπτυξη. Η συνεισφορά του τουρισμού στη Σαμοθράκη είναι καθοριστική, καθώς το νησί διατηρεί μια σταθερή ροή επενδύσεων και αναπτύσσεται σε έναν βιώσιμο, περιβαλλοντικά σεβαστό προορισμό.

Χαρακτηριστικά Διαδρομής Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη

Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει διαφορετικό ενδιαφέρον σε σχέση με τα προηγούμενα πλοία για την περίπτωση μετασκευής πλοίου σε υβριδικό αφού είναι πιο μακρινή απόσταση και διενεργείται συνήθως μια φορά τη μέρα. Η απόσταση της διαδρομής είναι 29 ναυτικά μίλια και για τα υπάρχοντα πλοία που τη διενεργούν, διαρκεί περίπου 2 ώρες. Τα πλοία θα εξεταστούν σε τεchnο-οικονομικό επίπεδο, στη συνέχεια της παρούσας έρευνας, είναι το «Αδαμάντιος Κοραής» και το «Άρτεμις. Τη δεδομένη χρονική περίοδο, μόνο το πλοίο «Αδαμάντιος Κοραής» εκτελεί το συγκεκριμένο δρομολόγιο, κάνοντας 1 την ημέρα το χειμώνα και λίγες μέρες της εβδομάδας, το καλοκαίρι, 2. Όσον αφορά το πλοίο «Άρτεμις», αυτό μελετήθηκε σε πειραματικό στάδιο καθώς έχει χρησιμοποιηθεί τη γραμμή αυτή μόνο για διάστημα ενός μηνά. Το διάστημα αυτό ήταν αρκετό για να αντλήσουμε όλα τα δεδομένα για τη συγκεκριμένη έρευνα, δίνοντας έτσι μια εναλλακτική μελέτη σε περίπτωση που τοποθετηθεί στην συγκεκριμένη γραμμή. Η ιδιαιτερότητα αυτής της, της συγκεκριμένης γραμμής, μετακινεί την αλλαγή των μπαταριών από τα 5 χρόνια που ήταν στα προηγούμενα υπό μελέτη πλοία, στα 14 χρόνια, κάτι το οποίο μας ωθεί στο να εξετάσουμε την οικονομικής μελέτη με διαφορετικό τρόπο που θα αναλυθεί παρακάτω

7.5.2 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Αδαμάντιος Κοραής»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Αδαμάντιος Κοραής»

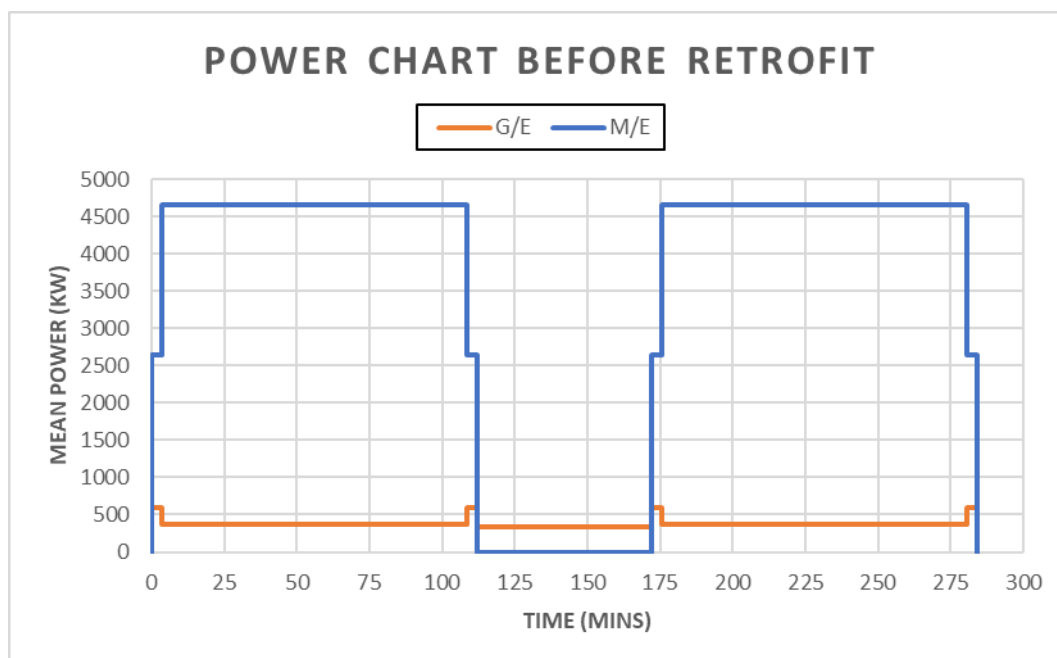
Specifications of FIOR DI LEVANTE		
Ship Name	ADAMANTIOS KORAIIS	-
Line	Alexandroupoli-Samothraki	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	1	-
IMO	8613607	-
Year Built	1987	-
L_{total}	100.15	m
L_{bp}	90	m
B	17.2	m
D	-	m
T	4.8	m
V_{design_max}	20.5	knots
$V_{service}$	16.8	knots
Gross Tonnage	8324	m ³
Net Tonnage	2066	m ³
DWT	977	tons
Passengers Capacity	1040	-
Cars Capacity	350	-
M/E Manufacturer/Model	DAIHATSU 6DLM-40	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	-	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	1	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	5884	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	1230	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	400	kW
Weight of G/E (total)	21.1	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	3.5	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω της online πλατφόρμας marine traffic τόσο για τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όσο και για τους χρόνους των καταστάσεων ταξιδιού. Για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα για το ποσοστό ισχύος της κύριας μηχανής χρησιμοποιήθηκαν $PC_{Vmax}=0.6$ και $PC_{Vservice}=0.55$, με το τελικό ποσοστό μετά την προσαύξηση ρυπασμένης γάστρας να υπολογίστηκε περί το 80%. Οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

P_{M/E} SERVICE	4663	kW
P_{M/E} MANOUVER	2648	kW
P_{G/E} SERVICE_SEA	369	kW
P_{G/E} MANOUVER	595	kW
P_{G/E} PORT	328	kW
Inter-Port Time	60	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	328	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	154	kWh
E_{el} Maneuvering	35	kWh
E_{tot} Maneuvering	189	kWh
Cruise Time	105	mins
E_{mech} V_{service}	8161	kWh
E_{el} V_{service}	646	kWh
V_{service} Battery Charge	571	kWh
Deceleration Time	4	mins
Deceleration Regen Energy	124	kWh
Total Energy Consumed	2376	kWh
Total Energy Gain	1391	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

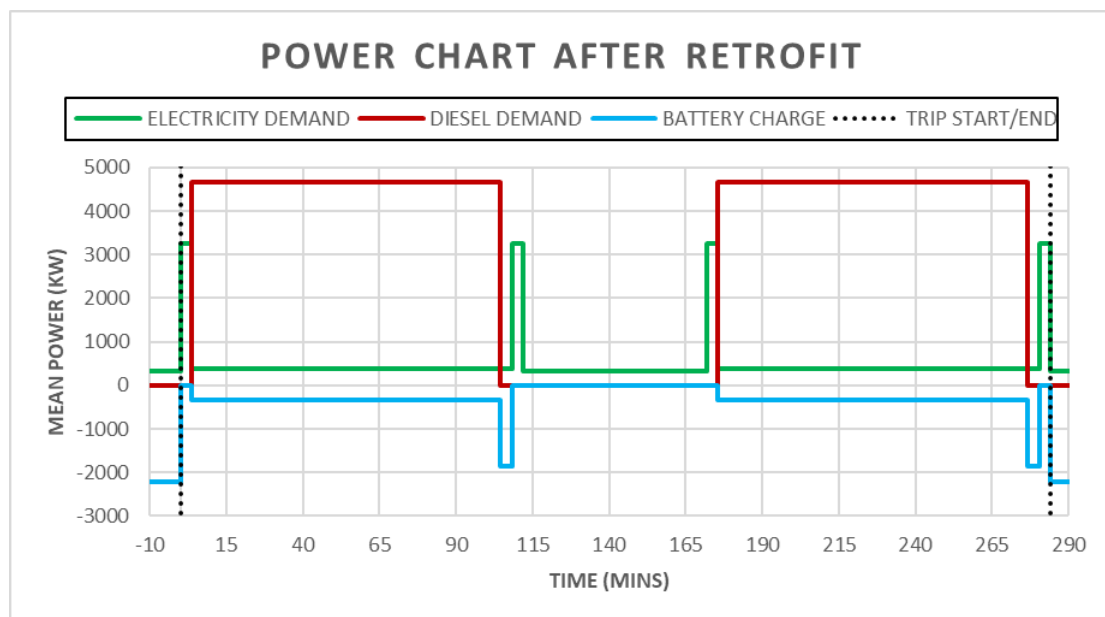


Εικόνα 59. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Αδαμάντιος Κοραής»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	2173	kWh
Number of Mods	1200	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	48	-
Energy of Batteries	2208	kWh
Discharge Battery Power	4389	kW
Charge Battery Power	2195	kW
Total Weight of Batteries	23.0	tons
Volume of Batteries	14.2	m ³
Charger Power	2200	kW
El Motor Power	3400	kW
Inverter Power	3740	kW
Electrical Installation Weight	12.1	tons
Extra weight after Retrofit	10.5	tons
Weight Comparison to DWT	1.1%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 60. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Αδαμάντιος Κοραής»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Αδαμάντιος Κοραής» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 2208 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 23 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 14 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 3400 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συμπεραίνουμε τέλος πως δεν υπάρχει πρόβλημα όγκου και οριακά, ούτε πρόσθετου βάρους αφού όλα τα παραπάνω είναι σε επιθυμητά πλαίσια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Η συγκεκριμένη διαδρομή αποτελεί μια διαφορετική περίπτωση από όλες τις υπόλοιπες, αφού το πλοίο κάνει μόνο ένα ταξίδι την ημέρα. Το γεγονός αυτό καθιστά αρκετά δυσκολότερη τη γρήγορη απόσβεση της επένδυσης, και μας οδηγεί σε ανάγκη για χρηματοδότηση μεγαλύτερης του 80%, εάν θέλουμε να κρατήσουμε τον χρονικό ορίζοντα των 5 ετών. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως για να γίνει άμεση απόσβεση της συγκεκριμένης επένδυσης θα πρέπει το πλοίο αυτό να χρησιμοποιείται κυκλικά μαζί με κάποια άλλα στη γραμμή Αλεξανδρούπολη Σαμοθράκη, ώστε να αυξηθούν τα μέσα ημερησία δρομολόγια του ανά χρόνο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι για το συγκεκριμένο πλοίο είναι δύσκολο να εξετασθεί οικονομικά η μελέτη μας. Κάνοντας τη θεώρηση πως η πλοιοκτήτρια εταιρία μπορεί να εξασφαλίσει τη χρήση του πλοίου για τις μισές μέρες του χρόνου σε μια πιο πολυσύχναστη γραμμή των τουλάχιστον 3 δρομολογίων τη μέρα, σε μια γραμμή παρόμοια με αυτή της Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη, μπορούμε μελετήσουμε το πλοίο αυτό σαν να έκανε 2 δρομολόγια τη μέρα όλο το χρόνο, προσεγγίζοντας μια πιθανή πραγματική συνθήκη. Η τελική μελέτη έγινε ξανά για χρονικό ορίζοντα 5 ετών, παρότι η αντικατάσταση των μπαταριών θα χρειαστεί να γίνει σε αυτό το θεωρητικό σενάριο στα 7 χρόνια.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Cost of Battery system	\$1,086,493.17
Charger Cost	\$440,000.00
Motor Cost	\$204,000.00
Inverter Cost	\$935,000.00
Selling of Parts	\$61,500.00
Investment Total	\$2,603,993.17

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

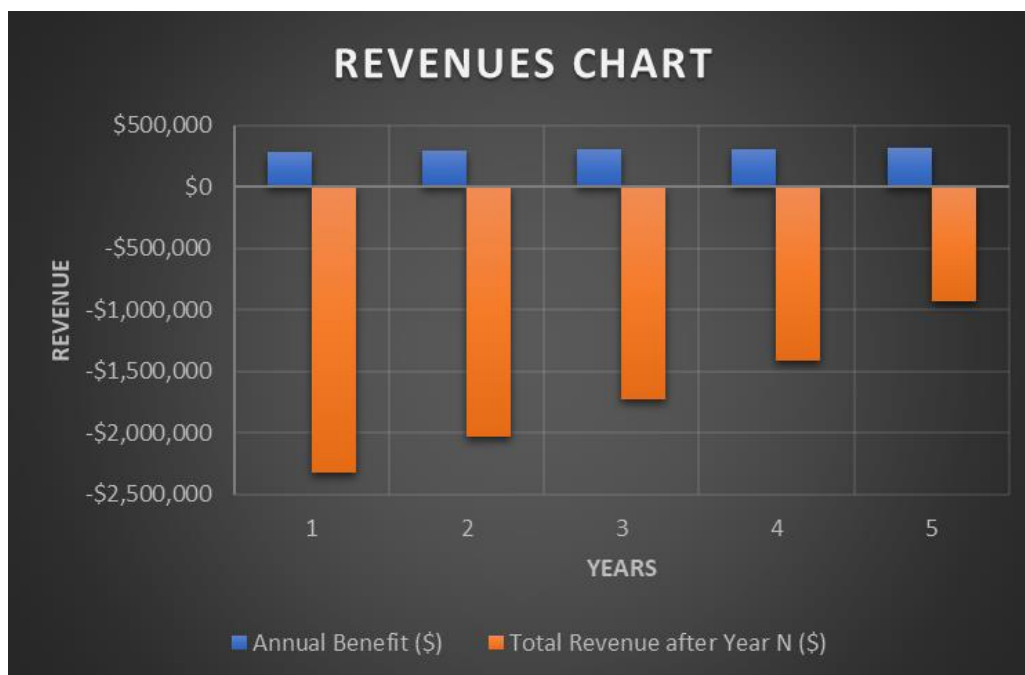
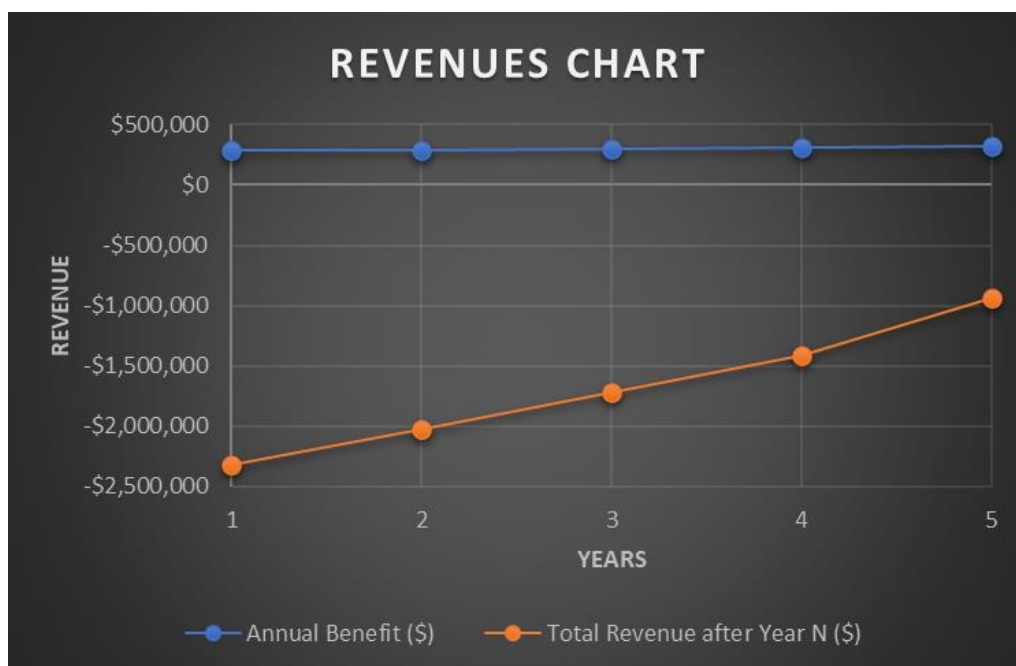
Battery Annual Maintenance	\$18,673.55
Electricity Annual Cost	\$37,549.20
Generators Fuel Annual Cost	\$136,185.60
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$46,707.19
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$182,892.79
Maintenance of GE+ME	\$12,300.00
Total Year Benefit for 1 trip/day	\$138,970.04

Επομένως το τελικό Year Benefit θα είναι περίπου το διπλάσιο του ήδη υπολογισμένου (οι συντηρήσεις παραμένουν ίδιες), δηλαδή:

$$\text{Total Year Benefit} = 284,314\$$$

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$2,603,993.2	\$284,313.6	\$292,843.0	\$301,628.3	\$310,677.2	\$319,997.5
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$162,974.0
Total Revenue after Year N (\$)	-\$2,603,993.2	-\$2,319,679.5	-\$2,026,836.5	-\$1,725,208.2	-\$1,414,531.0	-\$931,559.5
NPV (@ 10%)	-\$1,364,805.4					
IRR	0.00%					

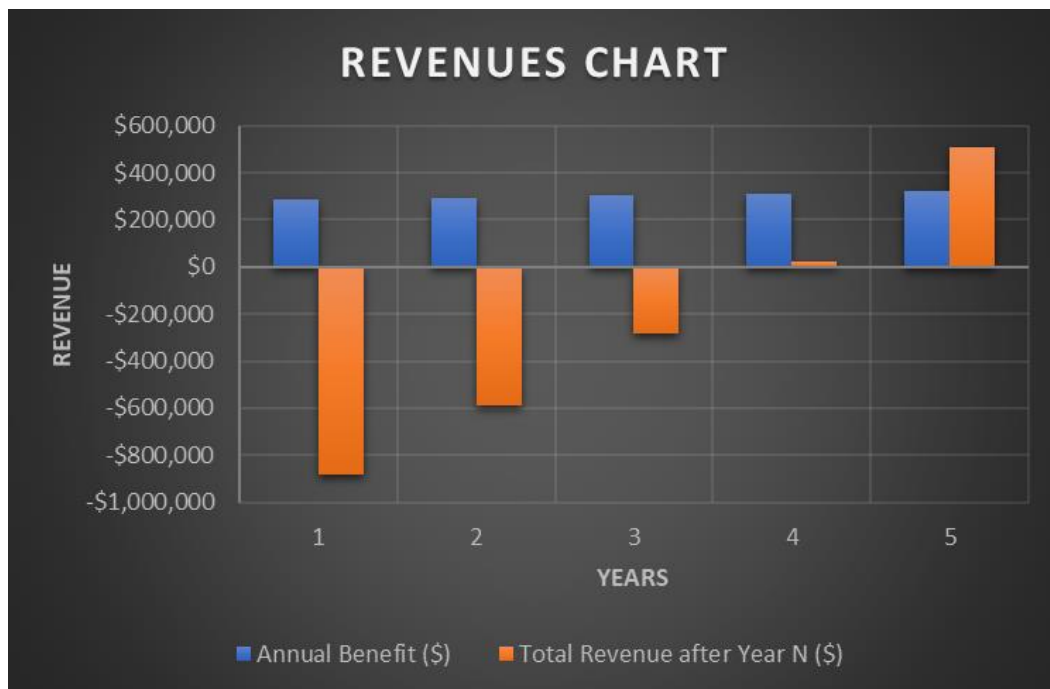
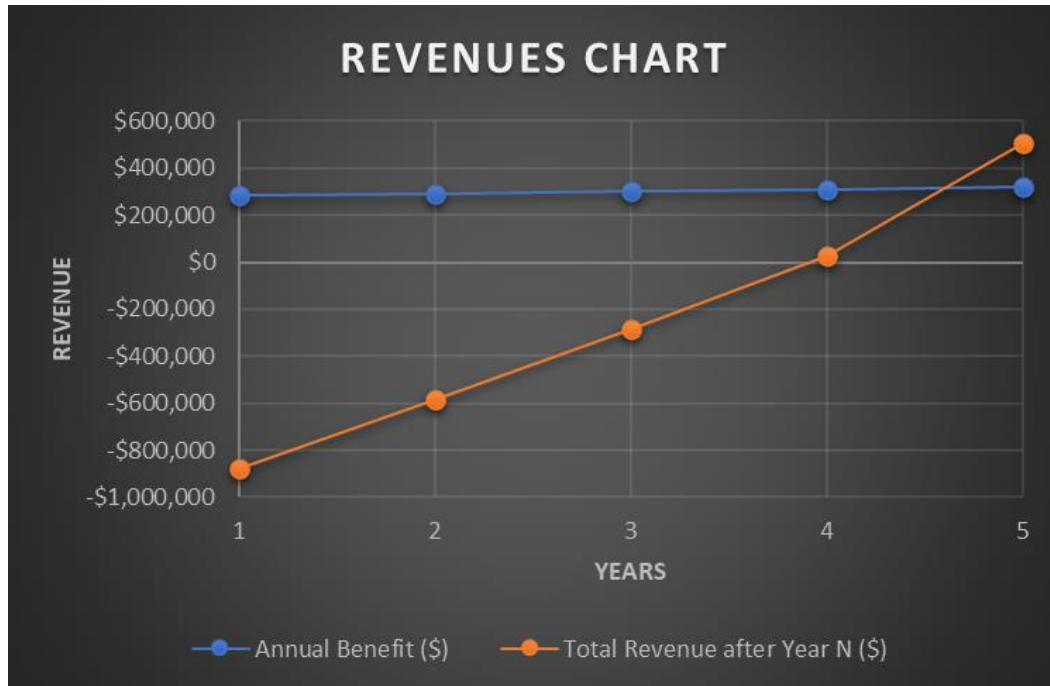


Εικόνα 61. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Αδαμάντιος Κοραής»

Προκύπτει NPV= - 1,364,805.4\$ και r=0 → Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 1,440,000\$ (55%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,163,993.2	\$284,313.6	\$292,843.0	\$301,628.3	\$310,677.2	\$319,997.5
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$162,974.0
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,163,993.2	-\$879,679.5	-\$586,836.5	-\$285,208.2	\$25,469.0	\$508,440.5
NPV (@ 10%)	\$75,194.6					
IRR	12.30%					



Εικόνα 62. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Αδαμάντιος Κοραής»

Προκύπτει NPV= 75,194.6\$ και $r=12.3\%$ → Η επένδυση βιώσιμη

7.5.3 Μελέτη Περίπτωσης Πλοίου «Άρτεμις»

Παρακάτω εμφανίζεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου «Άρτεμις»

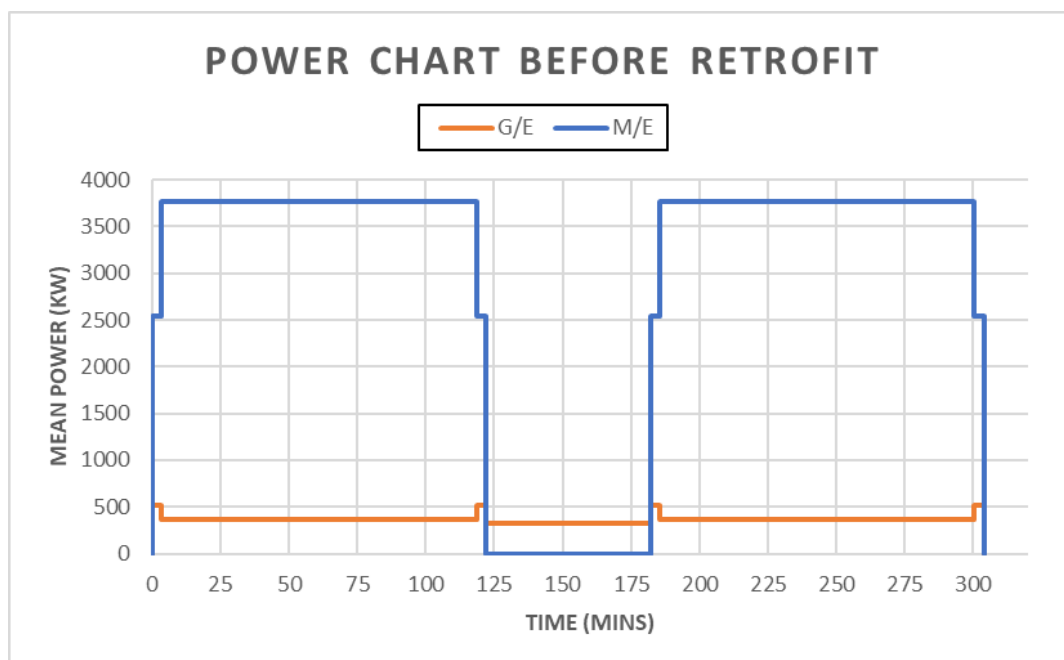
Specifications of ARTEMIS		
Ship Name	ARTEMIS	-
Line	Alexandroupoli-Samothraki	-
Type	ROPAX-Cruise-Single Ended-RR	-
Trips per day	1	-
IMO	8966951	-
Year Built	1997	-
L_{total}	89.76	m
L_{bp}	77.35	m
B	14	m
D	4.9	m
T	3.5	m
V_{design_max}	20	knots
$V_{service}$	15	knots
Gross Tonnage	1598	m ³
Net Tonnage	1021	m ³
DWT	325	tons
Passengers Capacity	512	-
Cars Capacity	58	-
M/E Manufacturer/Model	MAN B&W 16U28L-VO	-
Number of M/E	2	-
G/E Manufacturer/Model	-	-
Number of G/E	3	-
Operating G/E	2	-
Number of Bow Thrusters	1	-
$P_{M/E}$ MCR (total)	5648	kW
$P_{G/E}$ MCR (total)	1200	kW
$P_{Thurster}$ MCR total	300	kW
Weight of G/E (total)	20.6	tons
Average weight of Fuel of G/E (total)	6	tons

Τεχνική Ανάλυση

Για το συγκεκριμένο πλοίο συλλέχθηκαν δεδομένα μέσω της online πλατφόρμας marine traffic τόσο για τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όσο και για τους χρόνους των καταστάσεων ταξιδιού. Για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Συγκεκριμένα για το ποσοστό ισχύος της κύριας μηχανής χρησιμοποιήθηκαν $PC_{Vmax}=0.6$ και $PC_{Vservice}=0.5$, με το τελικό ποσοστό μετά την προσαύξηση ρυπασμένης γάστρας να υπολογίστηκε περί το 67%. Οι τιμές για τη μέση ισχύ της κάθε κατάστασης για το συγκεκριμένο πλοίο καθώς και οι αντίστοιχες ενέργειες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

P_{M/E} SERVICE	3774	kW
P_{M/E} MANOUVER	2542	kW
P_{G/E} SERVICE_SEA	360	kW
P_{G/E} MANOUVER	520	kW
P_{G/E} PORT	320	kW
Inter-Port Time	60	mins
Av. E_{tot} Port working (el)	320	kWh
Av. Port Maneuvering Time	4	mins
E_{mech} Maneuvering	148	kWh
E_{el} Maneuvering	30	kWh
E_{tot} Maneuvering	179	kWh
Cruise Time	115	mins
E_{mech} V_{service}	7234	kWh
E_{el} V_{service}	690	kWh
V_{service} Battery Charge	506	kWh
Deceleration Time	4	mins
Deceleration Regen Energy	101	kWh
Total Energy Consumed	2414	kWh
Total Energy Gain	1214	kWh

Οι υπολογισμένες αυτές ενεργειακές ανάγκες φαίνονται και σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος του υπάρχοντος πλοίου πριν τη μετασκευή.

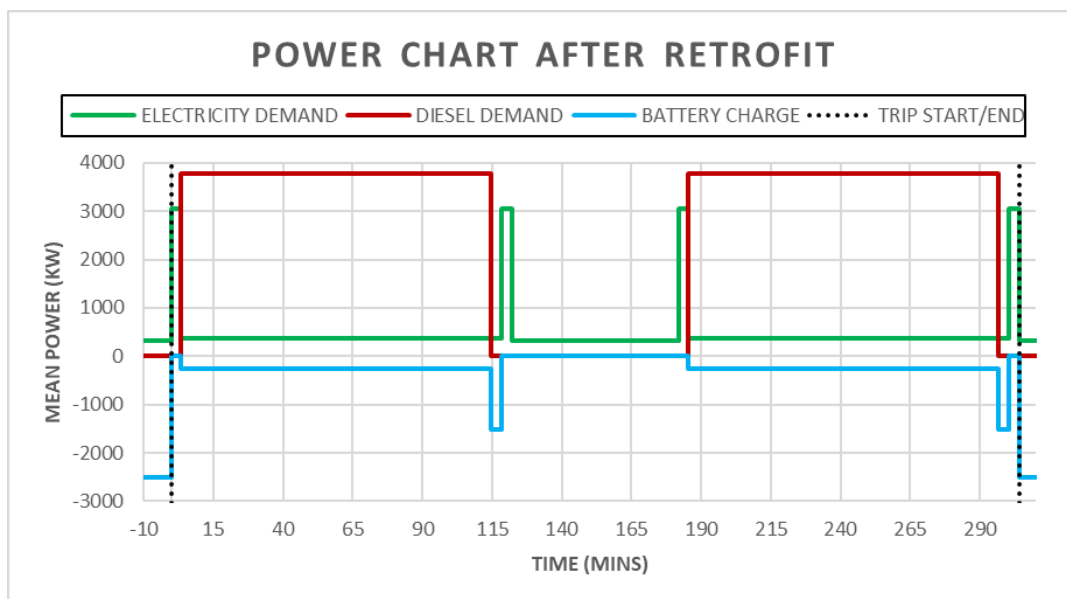


Εικόνα 63. Διάγραμμα Μέση Ισχύος πριν τη Μετασκευή «Άρτεμις»

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλοίου μετά τη μετασκευή του.

Minimum Energy of Batteries	2408	kWh
Number of Mods	1325	-
Number of Mods in Series	25	-
Number of Mods in Parallel	53	-
Energy of Batteries	2438	kWh
Discharge Battery Power	4846	kW
Charge Battery Power	1554	kW
Total Weight of Batteries	25.4	tons
Volume of Batteries	15.7	m ³
Charger Power	2500	kW
El Motor Power	3200	kW
Inverter Power	3520	kW
Electrical Installation Weight	11.4	tons
Extra weight after Retrofit	10.2	tons
Weight Comparison to DWT	3.1%	-

Έχοντας λοιπόν πλέον τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε πλέον να παρουσιάσουμε τις νέες ανάγκες ισχύος για το υβριδικό πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.



Εικόνα 64. Διάγραμμα Μέση Ισχύος μετά τη Μετασκευή «Άρτεμις»

Συμπέρασμα Τεχνικής Ανάλυσης

Για την μετασκευή του πλοίου «Άρτεμις» σε υβριδικό υπολογίστηκε ότι χρειάζεται να εγκαταστήσουμε ένα κουτί μπαταριών με χωρητικότητα 2438 kWh το οποίο θα ζυγίζει περίπου 25 τόνους και θα έχει όγκο περίπου 16 κυβικά μέτρα. Θα χρειαστούν επίσης ηλεκτρικά μοτέρ συνολικής ισχύος 3200 kW μαζί με τους αντίστοιχους inverter και την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Συγκρίνοντας τα επιθυμητά όρια που ορίστηκαν στην αρχή της μελέτης, παρατηρούμε πως το πρόσθετο βάρος είναι εκτός ορίων. Έτσι, για το συγκεκριμένο πλοίο μπορεί αυτό να αποτελέσει πρόβλημα και προτείνεται να γίνει πιο εκτενής μελέτη λαμβάνοντας υπόψιν την μείωση των μέγιστων επιβατών και φορτίου που θα

μπορεί να μεταφέρει μετά τη μετασκευή. Η μελέτη αυτή δεν έγινε στην παρούσα διπλωματική αφού το πλοίο αυτό είναι το μοναδικό που έγκειται σε αυτή την περίπτωση και θα έκανε το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας αρκετά πολυπλοκότερο.

Οικονομική Ανάλυση

Οι υπολογισμοί για την πραγμάτωση της οικονομικής μελέτης που η μεθοδολογία της παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Όπως αναφέρθηκε και για το πλοίο «Αδαμάντιος Κοραΐς» της ίδιας γραμμής, για να δώσουμε μια μελέτη σε συγκρίσιμο επενδυτικό ορίζοντα, κάναμε και εδώ την τη θεώρηση πως η πλοιοκτήτρια εταιρία μπορεί να εξασφαλίσει τη χρήση του πλοίου για τις μισές μέρες του χρόνου σε μια πιο πολυσύχναστη γραμμή των τουλάχιστον 3 δρομολογίων τη μέρα, σε μια γραμμή παρόμοια με αυτή της Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη, μελετώντας το πλοίο αυτό σαν να έκανε 2 δρομολόγια τη μέρα όλο το χρόνο, προσεγγίζοντας μια πιθανή πραγματική συνθήκη. Η τελική μελέτη έγινε ξανά για χρονικό ορίζοντα 5 ετών, παρότι η αντικατάσταση των μπαταριών θα χρειαστεί να γίνει σε αυτό το θεωρητικό σενάριο στα 7 χρόνια.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα

Ο ισολογισμός για την απαιτούμενη επένδυση χωρίς χρηματοδότηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Cost of Battery system	\$1,086,493.17
Charger Cost	\$440,000.00
Motor Cost	\$204,000.00
Inverter Cost	\$935,000.00
Selling of Parts	\$61,500.00
Investment Total	\$2,603,993.17

Επίσης το ετήσιο κέρδος που θα υπάρχει μετά τη μετασκευή παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

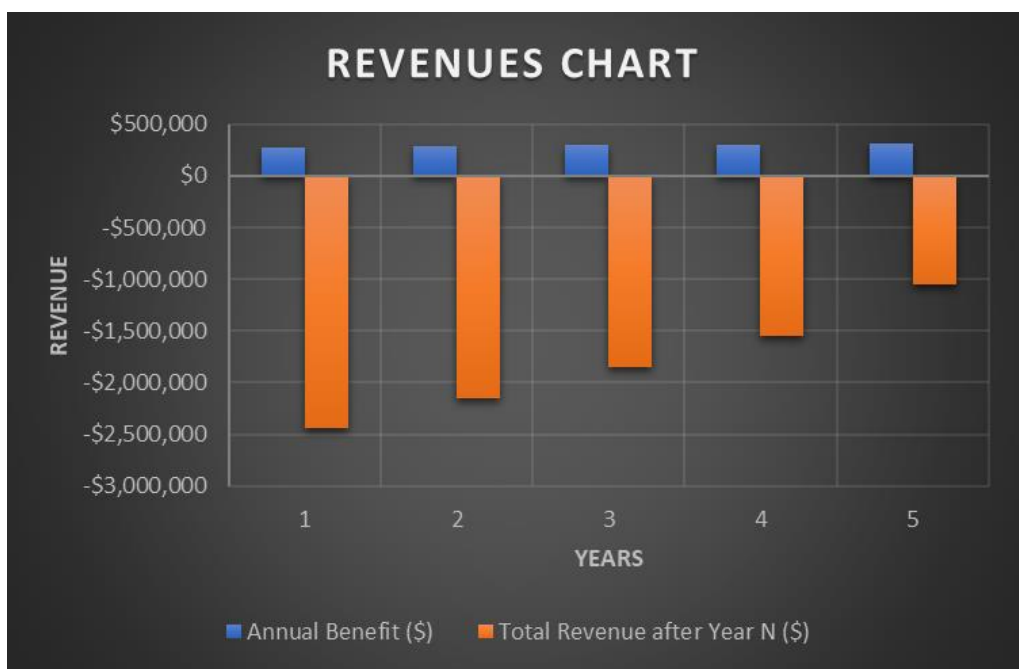
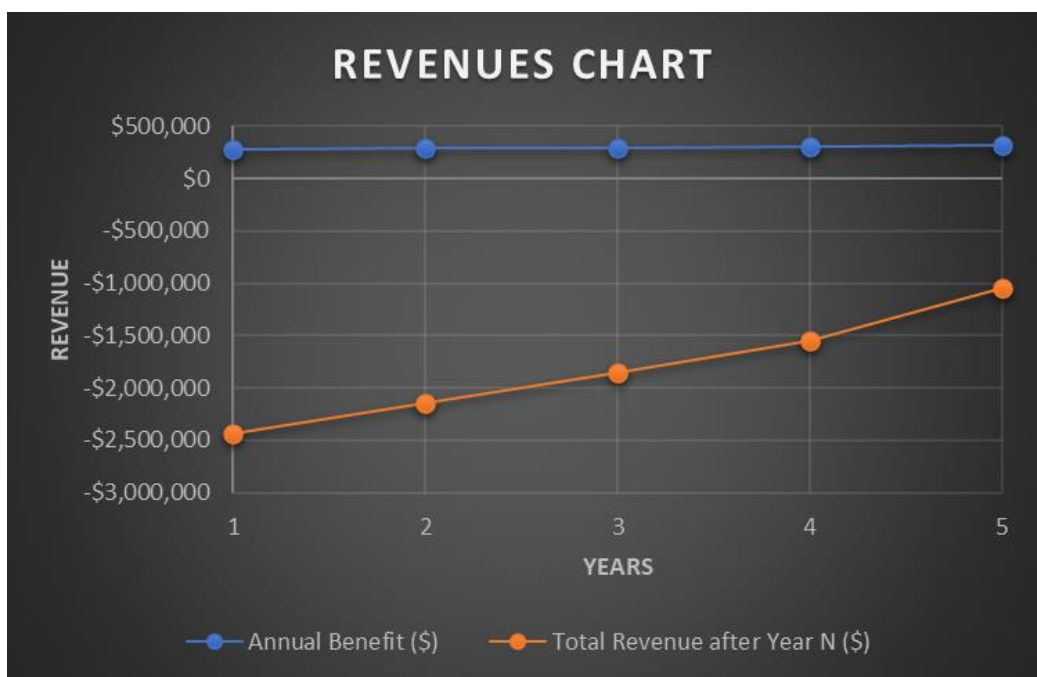
Battery Annual Maintenance	\$20,470.63
Electricity Annual Cost	\$41,601.62
Generators Fuel Annual Cost	\$141,110.40
Main Engine Saving Fuel Cost Annual	\$44,833.82
Total Fuel Cost Before Retrofit	\$185,944.22
Maintenance of GE+ME	\$12,000.00
Total Year Benefit for 1 trip/day	\$135,871.97

Επομένως το τελικό Year Benefit μετά την υπόθεση που έγινε, θα είναι περίπου το διπλάσιο του ήδη υπολογισμένου (οι συντηρήσεις παραμένουν ίδιες), δηλαδή:

$$\text{Total Year Benefit} = 280,214.6\text{\$}$$

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω έγινε αρχικά μελέτη βιωσιμότητας χωρίς χρηματοδότηση για 5 έτη.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$2,715,750.6	\$280,214.6	\$288,621.0	\$297,279.6	\$306,198.0	\$315,384.0
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$180,562.6
Total Revenue after Year N (\$)	-\$2,715,750.6	-\$2,435,536.0	-\$2,146,915.0	-\$1,849,635.4	-\$1,543,437.4	-\$1,047,490.8
NPV (@ 10%)	-\$1,482,048.6					
IRR	0.00%					

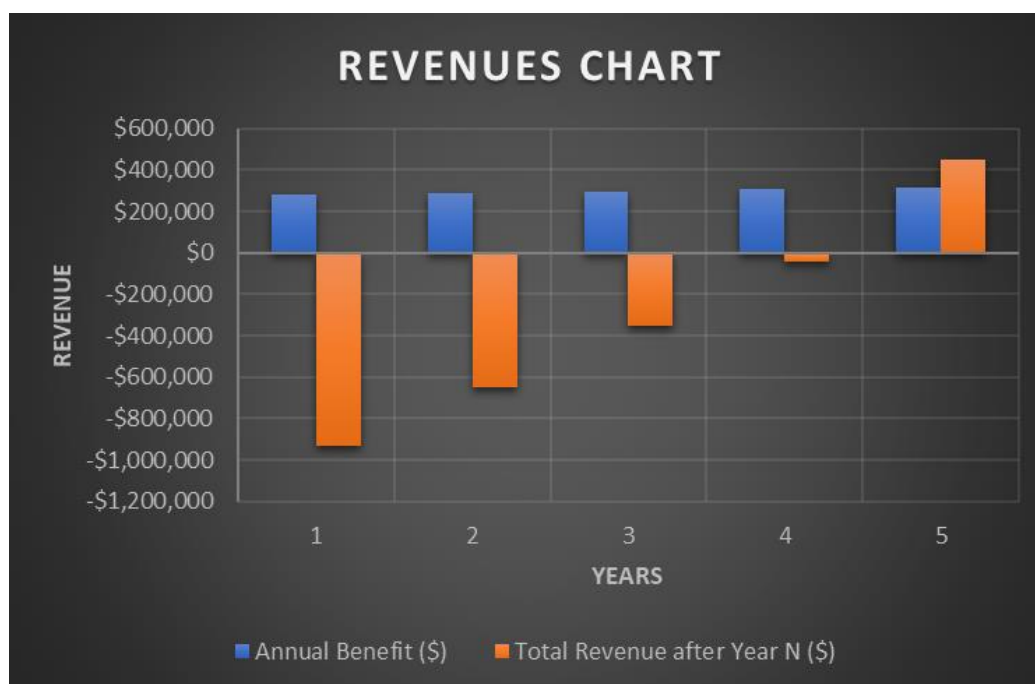
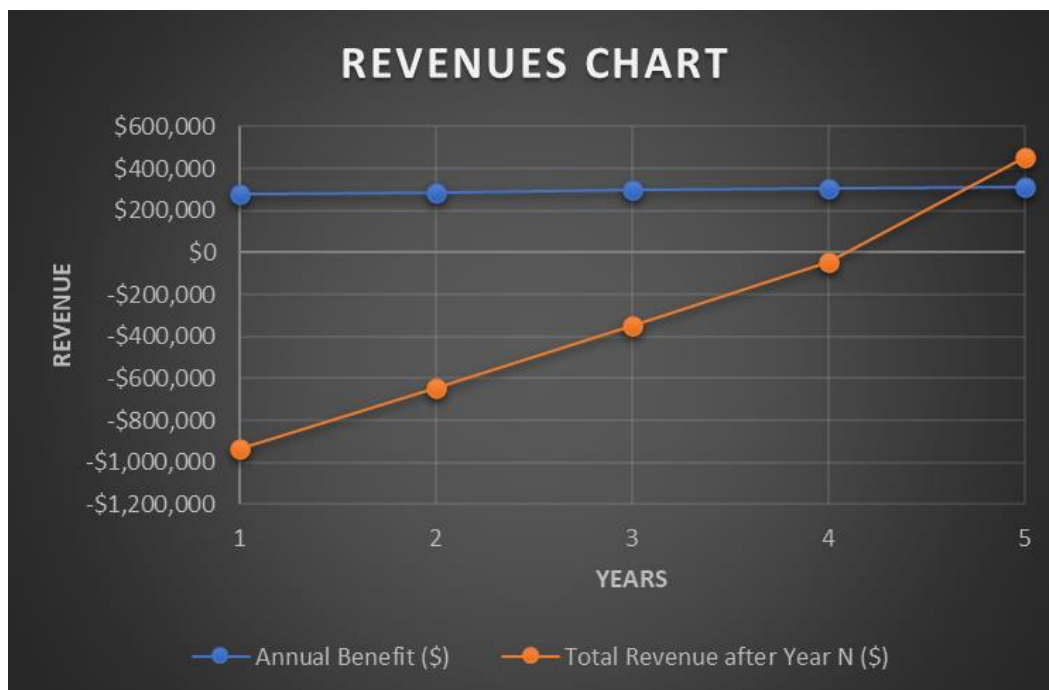


Εικόνα 65. Οικονομικά διαγράμματα χωρίς χρηματοδότηση «Άρτεμις»

Προκύπτει NPV= -1,482,048.5\$ και $r=0 \rightarrow$ Απαιτείται χρηματοδότηση

Μελέτη βιωσιμότητας με χρηματοδότηση 1,440,000\$ (55%) σε βάθος πενταετίας.

Financial Calculation						
Year	Initial Cost	1	2	3	4	5
Annual Benefit (\$)	-\$1,215,750.6	\$280,214.6	\$288,621.0	\$297,279.6	\$306,198.0	\$315,384.0
Benefit Selling the Batteries (Recycle)						\$180,562.6
Total Revenue after Year N (\$)	-\$1,215,750.6	-\$935,536.0	-\$646,915.0	-\$349,635.4	-\$43,437.4	\$452,509.2
NPV (@ 10%)	\$17,951.4					
IRR	10.53%					



Εικόνα 66. Οικονομικά διαγράμματα με χρηματοδότηση «Άρτεμις»

Προκύπτει NPV= 17,951.4 \$ και r=10.53% → Η επένδυση βιώσιμη

Κεφάλαιο 8^ο Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσίασε την τεχνοοικονομική βιωσιμότητα της μετατροπής παραδοσιακών πλοίων σε υβριδικά. Αναλύθηκαν, έτσι, πολλαπλά σενάρια για τις διαδρομές μεταξύ Πειραιά-Αίγινας, Ζακύνθου-Κυλλήνης, Κεφαλονιάς-Κυλλήνης, Κέρκυρας-Ηγουμενίσσας, και Αλεξανδρούπολης-Σαμοθράκης, χρησιμοποιώντας κυρίως πραγματικά δεδομένα που δόθηκαν από τις αντίστοιχες ναυτιλιακές εταιρείες. Η ανάλυση αυτή έδειξε πως η μετατροπή σε υβριδικό σύστημα πλοίου με ικανότητα υβριδικής πρόωσης οδηγεί σε σημαντική μείωση των εξόδων λειτουργίας και των εκπομπών καυσαερίων.

Στα πρώτα στάδια της έρευνας, έγινε προσπάθεια μελέτης των υβριδικών οχημάτων καθώς η τεχνολογία στην αυτοκίνηση έχει εξελιχθεί εκτενώς και έχει δείξει πολλά θετικά στοιχεία για το περιβάλλον αλλά και για τους κατασκευαστές και τους οδηγούς. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια της μελέτης ώστε να είναι ευκολότερη η μελέτη ενός τέτοιου συστήματος πάνω σε ένα πλοίο. Μελετήθηκαν ακόμα όλα τα σύγχρονα σύστημα πρόωσης πλοίων και μέσα από αυτά επιλέχθηκε τελικά να χρησιμοποιηθεί και να μελετηθεί σε βάθος και στην πράξη το σύστημα της Υβριδικής Πρόωσης με Υβριδικό Σύστημα Ισχύος.

Σε επόμενο βήμα, αναδείχθηκε η σημασία της Ναυτιλίας Μικρών Αποστάσεων, αφού τα μελετούμενα πλοία θα ανήκαν σε αυτόν τον κλάδο. Στο κεφάλαιο αυτό, έγινε φανερό πως ο κλάδος αυτός αποτελεί πολύ σημαντικό οικονομικό στοιχείο αρκετών χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ήδη αρκετές χώρες έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούν πλοία με πλήρης ηλεκτροπρόωση. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση αυτή γίνεται σε μικρές πορθμειακές γραμμές που οι απαιτήσεις ενέργειας είναι μικρές. Στις περιπτώσεις που οι αποστάσεις ξεκινούν να αυξάνονται πάνω από τα 10 ναυτικά μίλια, οι τάση των μελετών είναι να γίνεται χρήση της υβριδικής πρόωσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα πλοία “Victoria of Wight” και τα δίδυμα πλοία «MV Berlin» και «MV Copenhagen». Στην Ελλάδα διαθέτουμε αρκετές σημαντικές γραμμές που αντιστοιχούν σε αυτές τις αποστάσεις με αποτέλεσμα, η επιλογή της μετασκευής των πλοίων που μελετήθηκαν σε υβριδικά είναι πλήρως ρεαλιστική.

Τα πλοία που μελετήθηκαν είναι Επιβατηγά/Οχηματαγωγά κυρίως κλειστού τύπου και μονής πλώρης και διενεργούν σταθερά δρομολόγια τα οποία είναι μεταξύ των 17 και 29 ναυτικών μιλίων δηλαδή διάρκειας μιας με δύο ώρες. Όσον αφορά τον αναγκαίο εξοπλισμό για τη μετασκευή, οι μπαταρίες και το BMS ξεχωρίζουν ως από τα σημαντικότερα και πιο δαπανηρά στοιχεία του εξοπλισμού του πλοίου που υπόκειται σε μετασκευή. Επομένως, η επιλογή τους απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς εκτός από το υψηλό κόστος επηρεάζουν και τη λειτουργία του πλοίου. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν μπαταρίες ιόντων λιθίου τύπου LFP, που έχουν εξαιρετικές ιδιότητες όσον αφορά τη θερμική σταθερότητα, την ενεργειακή τους απόδοση, το κόστος και τους κύκλους ζωής. Η επιλεγμένη μπαταρία είναι της εταιρίας Valance, με χωρητικότητα 72Ah και ονομαστική τάση 25.6 Volt. Για τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, το βάθος εκφόρτισης (D.O.D) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 90%, με τελική επιλογή για την παρούσα έρευνα το 80%. Επιπλέον, οι μπαταρίες τοποθετούνται στο στη θέση όπου ήταν παλιά οι ηλεκτρογεννήτριες. Εκτός από τις μπαταρίες και το BMS, απαιτούνται επίσης inverter για τη μετατροπή του ρεύματος και επαγωγικοί κινητήρες για τη πρόωση του πλοίου αλλά και την τροφοδότηση του ηλεκτρικού δικτύου. Οι επαγωγικοί κινητήρες επιλέχθηκε να συνδέονται μηχανικά με τις κύριες μηχανές και τους αντίστοιχους άξονες με ένα κιβώτιο το

οποίο θα περιέχει και ένα σύστημα σύμπλεξης-αποσύμπλεξης, επιτρέποντας έτσι τις πολλαπλές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

Έπειτα, διενεργήθηκαν οι αναλυτικοί υπολογισμοί για την τελική επιλογή των τεχνικών χαρακτηριστικών αλλά και της οικονομικής μελέτης. Σε όλα τα πλοία θεωρήθηκε πως θα γίνεται φόρτιση στο μετά από κάθε διαδρομή στο κεντρικό λιμάνι. Επίσης, αναφορικά με την οικονομική μελέτη έγινε διερεύνηση σε χρονικό ορίζοντα πέντε ετών χωρίς αλλαγή της μπαταρίας.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένας πίνακας που περιέχει όλες τις γραμμές τα πλοία που μελετήθηκαν. Στον πίνακα παρουσιάζεται η επιλεγμένη χωρητικότητα των μπαταριών καθώς και η αρχική επένδυση που χρειάζεται να γίνει μαζί με το ετήσιο όφελος που θα έχει ο πλοιοκτήτης. Επειδή όμως οι επενδύσεις για τη μετασκευή δεν είναι βιώσιμες χωρίς χρηματοδότηση, παρουσιάζεται στις επόμενες στήλες το αναγκαίο ποσοστό χρηματοδότησης της κάθε περίπτωσης. Τέλος στις τελευταίες δύο στήλες δίνονται η καθαρά παρούσα αξία (NPV) και το ποσοστό του δείκτη εσωτερικής απόδοσης κεφαλαίου (IRR) με τη χρήση της χρηματοδότησης.

Line	Single Trip Distance (nm)	Ship Name	DWT (t)	Battery Capacity (kWh)	Investment	Year Benefit	Funding of Investment	NPV	IRR
Piraeus-Aegina	17	POSIDON HELLAS	891	1150	\$1,663,527	\$225,492	45%	\$41,491	11.7%
		APOLLON HELLAS	1032	1794	\$2,258,361	\$316,324	45%	\$110,312	13.2%
		ACHAEOS	626	736	\$1,412,349	\$199,512	45%	\$60,129	12.9%
Zakinthos-Killini	16	MARE DI LEVANTE	2485	1886	\$2,529,939	\$343,647	45%	\$73,318	11.9%
Killini-Kefalonia(Poros)	22	FIOR DI LEVANTE	1671	2300	\$2,884,183	\$442,666	40%	\$153,873	13.2%
Igoumenitsa-Corfu	17	AGIA THEODORA	1046	2162	\$2,320,337	\$305,465	45%	\$52,844	11.5%
		KERKYRA EXPRESS	649	782	\$1,068,371	\$152,490	40%	\$7,246	10.4%
Alexandroupoli-Samothraki	29	ADAMANTIOS KORAIIS	977	2208	\$2,603,993	\$138,970	55%	\$75,195	12.3%
		ARTEMIS	325	2438	\$2,715,751	\$135,872	55%	\$17,951	10.5%

Εικόνα 67. Πίνακας Αποτελεσμάτων

Συμπεραίνουμε για παράδειγμα πως μελετήθηκε η γραμμή Πειραιάς-Αίγινα με απόσταση 17 ναυτικά μίλια, ενώ εξετάστηκαν συνολικά τρία πλοία που τη διενεργούν. Το πρώτο πλοίο «Ποσειδών Ελλάς» υπολογίσθηκε πως χρειάζεται ένα κουτί μπαταριών 1150 kWh με το βάρος των μπαταριών να ανέρχεται στους 12 τόνους, το οποίο ισοφαρίζεται από τα μηχανήματα που απεγκαθιστούνται. Τα ετήσια έσοδα για τον πλοιοκτήτη είναι περίπου 225,000 τα οποία προέρχονται από τη μείωση των λειτουργικών εξόδων του πλοίου λόγω της μετασκευής, ενώ το ποσό της αρχικής επένδυσης ανέρχεται στα 1.6 εκατομμύρια δολάρια και χρειάζεται 45% επιχορήγηση ώστε να γίνεται τελικά η επένδυση βιώσιμη.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι όλες οι γραμμές, εκτός από αυτή της Αλεξανδρούπολης-Σαμοθράκης στην οποία τα δρομολόγια δεν είναι αρκετά συχνά και θέλει ειδική μεταχείριση από τους πλοιοκτήτες ή επιπλέον χρηματοδότηση από το κράτος, είναι βιώσιμες σε ποσοστά χρηματοδότησης μέχρι 45%. Τα όρια αυτά είναι απολύτως αποδεκτά για αντίστοιχες εφαρμογές και αποδεικνύουν πως η επιλεγμένη μετασκευή είναι εφικτή και μπορεί να προσελκύσει του πλοιοκτήτες. Η καλύτερη επιλογή αποτελεί αυτή της διαδρομής Κυλλήνη-Κεφαλονιά με το πλοίο «Φιορ ντι Λεβάντε», κάτι το οποίο συμβαίνει πιθανότατα αφού η απόσταση είναι στη μέση των μελετώμενων ορίων και επιπλέον το πλοίο αυτό είναι συγκριτικά από τα μεγαλύτερα απαιτώντας να χρησιμοποιήσουμε αρκετά μεγάλη χωρητικότητα μπαταριών σε όχι τόσο μεγάλη απόσταση ταξιδιού, δίνοντας αρκετά αυξημένα ετήσια έσοδα. Συνεπώς όσο περισσότερη ενέργεια χρησιμοποιεί το πλοίο μέσω των μπαταριών τόσο ευκολότερη είναι η απόσβεση της επένδυσης. Σημαντικός παράγοντας

αποτελεί το βάρος των νεών εξαρτημάτων και κυρίως των μπαταριών που είναι το μεγαλύτερο αυτών. Μπορούμε να καταλήξουμε πως ένα βέλτιστο σενάριο θα ήταν τοποθετήσουμε τις μέγιστες μπαταρίες που είναι δυνατό το πλοίο να αντέξει χωρίς να επηρεάζουμε την μεταφορική του ικανότητα, για αυτό και τα μεγαλύτερα πλοία έχουν συγκριτικά πλεονέκτημα. Λαμβάνοντας αυτή τη θεώρηση υπόψιν και εξετάζοντας διαφορετικά σενάρια φόρτισης, μπορούμε να καταλήξουμε πως στα πλοία «Αχαιός», «Μάρε ντι Λεβάντε» και «Κέρκυρα Εξπρές» έχουμε τη δυνατότητα να προσθέσουμε μπαταρίες και να κάνουμε είτε μικρότερη φόρτιση είτε φόρτιση ανά δύο ταξίδια. Η ενέργεια αυτή θα αυξήσει την αρχική επένδυση αλλά τελικώς θα αυξήσει και αρκετά την κερδοφορία της επένδυσης.

Μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα αλλά και για βελτίωση της παρούσας, θα μπορούσαν να είναι η ενσωμάτωση υπολογισμών για τους ρύπους που θα μειωθούν για το κάθε πλοίο. Αξίζει να σημειωθεί πως η συγκεκριμένη μετασκευή δίνει στα πλοία τη δυνατότητα να έχουν λειτουργία «zero emission», δηλαδή να λειτουργούν και να μην εκπέμπουν καθόλου καυσαέρια για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πολύ μεγάλο πλεονέκτημα στο μέλλον καθώς χρησιμοποιώντας αυτή τη δυνατότητα τα πλοία μπορούν να γλιτώσουν πολλά χρήματα σε φόρους λιμανιών που τα όρια τους τίθενται με βάση τα επίπεδα των παραγόμενων καυσαερίων τους. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το μέτρο αυτό θα εξελιχθεί στο μέλλον ευνοώντας τα «πράσινα» πλοία, καταλαβαίνουμε πως τα υβριδικά πλοία θα αποκτήσουν μεγάλο πλεονέκτημα το οποία δεν ερευνήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, η βελτιστοποίηση της επιλογής της χωρητικότητας των τοποθετημένων μπαταριών, αποτελεί ένα ακόμα τομέα που θα δώσει ίσως μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους στους πλοιοκτήτες. Ακόμη, η σχεδίαση και η κατασκευή ενός εξ' ολοκλήρου καινούργιου υβριδικού πλοίου μπορεί να βασιστεί στο αρχικό της στάδιο στη παρούσα μελέτη, εξελίσσοντάς την σε όλους τους τομείς που αναφέρθηκαν. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως για να λειτουργήσει σωστά και αποδοτικά το υβριδικό αυτό σύστημα που παρουσιάστηκε θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί ένα καλό σύστημα ελέγχου το οποίο θα ορίζει κάθε χρονική στιγμή την κατάσταση λειτουργίας όλων των εξαρτημάτων του πλοίου. Η βελτιστοποίηση του συστήματος αυτού μπορεί να αποδώσει πολύ μεγάλες θετικές διαφορές στην οικονομία αλλά και τα καυσαέρια σε σχέση με ένα απλό σύστημα ελέγχου.

Βιβλιογραφία

- [1] Christos, Bakirtzoglou, 'Techno-economical Feasibility Study on the Retrofit of Double- Ended Ro/Pax Ferries into Battery-powered Ones', 2017
- [2] Dimitrios, Giachountis, 'Techno-Economical Feasibility Study on The Retrofit Of Mid-Size Ro-Pax into Hybrid Ones / Battery Thermal and Energy Behavior Prediction', 2017
- [3] Ehsani, Mehrdad, Krishna Veer Singh, Hari Om Bansal, and Ramin Tafazzoli Mehrjardi, 'State of the Art and Trends in Electric and Hybrid Electric Vehicles'
- [4] Emadi, Ali, ed., *Advanced Electric Drive Vehicles*, Energy, Power Electronics, and Machines (Boca Raton London New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015)
- [5] European Commission. Joint Research Centre., *Analysis of Sustainability Criteria for Lithium-Ion Batteries Including Related Standards and Regulations*
- [6] Evangelos, Makariou, 'Electrification of Vessels Covering Small Distances', 2020
- [7] Geertsma, R.D., R.R. Negenborn, K. Visser, and J.J. Hopman, 'Design and Control of Hybrid Power and Propulsion Systems for Smart Ships: A Review of Developments'
- [8] Ntokos, Nikolaos, 'Development of a Web Application in Computational Environment for the NTUA Marine-Electrical Lab Web Page Including Applications for the Techno-Economic Feasibility Analysis of Shore-to-Ship Connection (Cold - Ironing) and Diesel - Electric Retrofit (Battery Ships)', 2021
- [9] Roslan, Sharul Baggio, Dimitrios Konovessis, and Zhi Yung Tay, 'Sustainable Hybrid Marine Power Systems for Power Management Optimisation: A Review'
- [10] Serraos, Apostolos, 'Implementation of Predictive Control in a Hybrid Diesel-Electric Marine Powertrain', 2017
- [11] Παπαϊωάννου, Γεώργιος, 'Οι Θαλάσσιες Ενδομεταφορές Ως Σύστημα Μεταφορών Πολύ Μικρών Αποστάσεων. Η Περίπτωση Της Σύνδεσης Της Νήσου Σαλαμίνας', 2018
- [12] Πράπας, Μάριος, 'Τεχνο-Οικονομική Μελέτη Εφικτότητας Μετασκευής Επιβατηγών-οχηματαγωγών Πλοίων Σε Πλήρως Ηλεκτρικά Για Τις Πορθμειακές Γραμμές Μέγαρο-Σαλαμίνα, Πέραμα-Παλούκια, Ωρωπός-Ερέτρια', 2021
- [13] Ρουμπιέν, Βασιλική, 'Ναυτιλία Μικρών Αποστάσεων Κι Ευρωπαϊκή Ένωση', 2014
- [14] Τσιδήμας, Αναστάσιος, 'Τεχνικό-Οικονομική Διερεύνηση Μετατροπής Σκαφών Μικρών Αποστάσεων Της Ελληνικής Επικράτειας Σε Ηλεκτρικά', 2022
- [15] Φίνος, Άγγελος, 'Τεχνικοοικονομική Μελέτη Μετασκευής Επιβατηγών/Οχηματαγωγών Πλοίων Κλειστού Τύπου Για Λειτουργία Με Ηλεκτρική Πρόωση', 2018

- [16] Πολίτης, Γεράσιμος, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΩΣΗ ΠΛΟΙΟΥ 5η Έκδοση, 2018
- [17] Προυσαλίδης, Ιωάννης, Ηλεκτροτεχνικές Εφαρμογές Σε Πλοία Και Πλωτές Κατασκευές, 2012
- [18] <https://www.man-es.com/>
- [19] <https://www.valence.com/>
- [20] <https://corvusenergy.com/>
- [21] <https://www.danfoss.com/>
- [22] <https://www.wartsila.com/>
- [23] <https://www.cat.com/>
- [24] <https://www.cummins.com/>
- [25] <https://www.dhtd.co.jp/en/>
- [26] <https://global.abb/>
- [27] <https://www.kongsberg.com/>
- [28] <https://www.marellimotori.com/>
- [29] <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home>
- [30] <https://shipandbunker.com/prices>
- [31] <https://energy-charts.info>