



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

«Οικονομική μελέτη αξιολόγησης διαφορετικών τεχνολογιών πρόωσης με βάση το καύσιμο, ως προς την εφαρμογή τους σε κρουαζιερόπλοια»

Διπλωματική Εργασία

Ορέστης Χονδρέλης

Επιβλέπων: Λυρίδης Δημήτριος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

30 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2024

ΑΘΗΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, το ακαδημαϊκό έτος 2023-2024.

Την επίβλεψη της εργασίας αυτής είχε ο καθηγητής, κύριος Δημήτριος Λυρίδης, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση του θέματος, την άψογη συνεργασία που είχαμε, την καθοδήγηση και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου, τους γονείς μου Γιάννη, Δήμητρα και την αδερφή μου Αργυρώ που στάθηκαν δίπλα μου και με υποστήριξαν, υλικά και ψυχολογικά, όλα αυτά τα χρόνια φοίτησής μου στο Ίδρυμα.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και τους φίλους μου, χωρίς την ύπαρξη των οποίων δεν θα ήταν ίδια η διαδρομή μου στις σπουδές από όλες τις απόψεις.

Αθήνα, Οκτώβρης 2024

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	6
Κατάλογος Πινάκων.....	7
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	8
Key Words.....	9
Περίληψη.....	10
Abstract.....	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 2: Η Ναυτιλιακή αγορά των Κρουαζιερόπλοιων.....	15
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	15
2.2 CLIA (Cruise Lines International Association).....	18
2.3 Η Αγορά της Κρουαζιέρας σε διεθνές επίπεδο.....	20
2.4 Η Αγορά της Κρουαζιέρας στην Ελλάδα.....	25
Κεφάλαιο 3: Ατμοσφαιρική Ρύπανση και μετάβαση στην Πράσινη Ναυτιλία.....	30
3.1 Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κρουαζιέρας.....	30
3.1.1 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη λόγω Κρουαζιέρας.....	35
3.2 Κανονισμοί και συμβάσεις του IMO.....	37
3.2.1 Βασικοί Κανονισμοί του Παραρτήματος VI της MARPOL: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τα πλοία.....	44
3.3 Ο ενεργός ρόλος του κλάδου της Κρουαζιέρας στην Πράσινη Ναυτιλία.....	46
Κεφάλαιο 4: Εναλλακτικά Καύσιμα στη Ναυτιλία και στην Κρουαζιέρα.....	51
4.1 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG).....	51
4.2 Υδρογόνο.....	55
4.3 Αμμωνία.....	61
4.4 Βιοκαύσιμα.....	67
4.5 Μπαταρίες.....	70
Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία και Δεδομένα της Οικονομικής Αξιολόγησης των Εναλλακτικών Καυσίμων.....	74
5.1 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG) και MGO (Marine Gas Oil).....	77
5.2 Μπαταρίες.....	78
5.3 Υδρογόνο-Μεθανόλη-Αμμωνία.....	81
5.4 Βιοκαύσιμα.....	83
Κεφάλαιο 6: Οικονομική ανάλυση για την αξιολόγηση εναλλακτικών καυσίμων για πρόωση σε Κρουαζιερόπλοια.....	84
6.1 Κέρδος από τη χρήση LNG αντί MGO.....	85
6.2 Μπαταρίες.....	89

6.2.1 Κέρδος από τη χρήση Μπαταριών αντί LNG	89
6.2.2 Κέρδος από τη χρήση Μπαταριών αντί MGO	92
6.3 Υδρογόνο-Μεθανόλη-Αμμωνία	95
6.3.1 Χρήση Υδρογόνου αντί MGO.....	96
6.3.2 Κέρδος από τη χρήση Μεθανόλης αντί MGO.....	97
6.3.3 Κέρδος από τη χρήση Αμμωνίας αντί MGO.....	101
6.4 Κέρδος από τη χρήση Βιοκαυσίμων αντί MGO	105
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	109
Βιβλιογραφία-Πηγές.....	115

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ποσοστό επιβατών κρουαζιέρας που ταξιδεύουν σε σημαντικούς προορισμούς [Πηγή: CLIA 2022]	19
Εικόνα 2. Όγκος επιβατών κρουαζιέρας για τα έτη 2023-2019. [Πηγή: CLIA 2024]	21
Εικόνα 3. Πρόβλεψη χωρητικότητας κρουαζιέρας [Πηγή: CLIA 2024].....	22
Εικόνα 4. Οι νέες παραγγελίες-πλοία για το 2024 από εταιρείες-μέλη της CLIA. [Πηγή: CLIA 2024] ..	23
Εικόνα 5. Κατάλογος παραγγελιών έως το 2028 για τα μέλη της CLIA. [Πηγή: CLIA 2024]	23
Εικόνα 6. Το μέγεθος του στόλου των εταιρειών κρουαζιέρας. [Πηγή: CLIA 2024]	24
Εικόνα 7. Heatmap εκπομπών NOx από Κρουαζιερόπλοια σε αποκλειστικές οικονομικές ζώνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. [Πηγή: Transport and Environment (2019)]	32
Εικόνα 8. Λιμάνια με τουλάχιστον μια θέση κρουαζιέρας με παράκτια τροφοδοσία OPS. [Πηγή: CLIA 2024]	49
Εικόνα 9. Ποσοστό Κρουαζιερόπλοιων του στόλου της CLIA που χρησιμοποιούν LNG [Πηγή: CLIA 2024]	54
Εικόνα 10. Μέθοδος Ηλεκτρόλυσης.....	56
Εικόνα 11. Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC)	57
Εικόνα 12. Κυψέλη καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)	58
Εικόνα 13. Κυψέλη Καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC)	59
Εικόνα 14. Ενδεικτική αύξηση σε χώρο και βάρος της αμμωνίας, του LH2 και του συμπιεσμένου υδρογόνου σε σχέση με το ντίζελ (ο χώρος και το βάρος που απαιτούνται για το diesel έχει οριστεί ως 1).....	63
Εικόνα 15. Το πλοίο AIDA perla που χρησιμοποιεί μπαταρία 10 MWh για την πρόωσή του. [Πηγή: Aida Cruises]	73

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συνολικά Στοιχεία αφίξεων κρουαζιέρας 2022-2023 στην Ελλάδα [Πηγή: Ένωση Λιμένων Ελλάδος]	29
Πίνακας 2. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στα ευρωπαϊκά λιμάνια για τα έτη 2019-2022. [Πηγή: Transport and Environment].....	35
Πίνακας 3. Εκπομπές SOx από κρουαζιερόπλοια και αυτοκίνητα στις 30 πιο μολυσμένες από κρουαζιερόπλοια πόλεις-λιμάνια της Ευρώπης για το 2022 [Πηγή: Transport and Environment]	36
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων Μπαταρίας [Πηγή: Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges].....	70
Πίνακας 5. Στοιχεία Πλοίου που λειτουργεί με LNG-MGO	77
Πίνακας 6. Τα κόστη του πλοίου που λειτουργεί με LNG-MGO	78
Πίνακας 7. Στοιχεία Πλοίου που λειτουργεί με Μπαταρίες.....	79
Πίνακας 8. Κύρια χαρακτηριστικά των κύριων κινητήρων του πλοίου που λειτουργεί με Μπαταρίες. [Πηγή: Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships]	79
Πίνακας 9. Τα κεφαλαιουχικά κόστη (CAPEX) του συστήματος COGES με χρήση Μπαταριών. [Πηγή: Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships].....	80
Πίνακας 10. Τα λειτουργικά κόστη (OPEX) του συστήματος COGES με χρήση Μπαταριών. [Πηγή: Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships]	81
Πίνακας 11. Στοιχεία του πλοίου που χρησιμοποιεί Υδρογόνο, Μεθανόλη ή Αμμωνία	81
Πίνακας 12. Κεφαλαιουχικές δαπάνες για το πλοίο αναφοράς με καύσιμα το Υδρογόνο, τη Μεθανόλη και την Αμμωνία [Πηγή: Energy, environmental and economic investigations of Cruise ships powered by alternative fuels.].....	82
Πίνακας 13. OPEX και CAPEX για χρήση LNG-MGO.....	85
Πίνακας 14. OPEX και CAPEX για χρήση μόνο MGO	85
Πίνακας 15. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση LNG αντί MGO	86
Πίνακας 16. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση LNG αντί MGO	88
Πίνακας 17. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Μπαταριών αντί LNG.....	90
Πίνακας 18. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Μπαταριών αντί LNG.....	92
Πίνακας 19. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση Μπαταριών αντί MGO	94
Πίνακας 20. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) για κάθε επιλογή από τα καύσιμα Υδρογόνο, Μεθανόλη, Αμμωνία	95
Πίνακας 21. Τα λειτουργικά κόστη (OPEX) για κάθε επιλογή από τα καύσιμα Υδρογόνο, Μεθανόλη, Αμμωνία	95
Πίνακας 22. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) για κάθε έτος της επένδυσης Μεθανόλης σε σχέση με το MGO	98
Πίνακας 23. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση Μεθανόλης αντί MGO.....	99
Πίνακας 24. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Αμμωνίας αντί MGO	102
Πίνακας 25. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση Αμμωνίας αντί MGO	103
Πίνακας 26. Υπολογισμός CAPEX για την επιλογή HVO	105
Πίνακας 27. Υπολογισμός OPEX για την επιλογή HVO	106
Πίνακας 28. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση HVO αντί MGO	106
Πίνακας 29. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση HVO αντί MGO	107

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Αριθμός επιβατών κρουαζιέρας παγκοσμίως 1990-2020 (σε εκατομμύρια) [Πηγή: CLIA 2020]	21
Διάγραμμα 2 Αριθμός επιβατών Homeporting στα 9 ελληνικά λιμάνια-μέλη της Medcruise [Πηγή: CLIA Europe Economic Contribution Reports 2012-2015 & Medcruise Statistical Yearbook 2016]	26
Διάγραμμα 3. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του Έτους στη χρήση LNG αντί MGO.	87
Διάγραμμα 4. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση LNG αντί MGO.....	88
Διάγραμμα 5. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του Έτους στη χρήση Μπαταριών αντί LNG	91
Διάγραμμα 6. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του Έτους στη χρήση Μπαταριών αντί MGO	93
Διάγραμμα 7. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση Μπαταριών αντί MGO.	94
Διάγραμμα 8. NPV συναρτήσει του Έτους για την επένδυση Μεθανόλης σε σχέση με το MGO	98
Διάγραμμα 9. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση Μεθανόλης αντί MGO.	100
Διάγραμμα 10. NPV συναρτήσει του Έτους για την επένδυση Αμμωνίας σε σχέση με το MGO	102
Διάγραμμα 11. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση Αμμωνίας αντί MGO.	104
Διάγραμμα 12. NPV συναρτήσει του Έτους για την επένδυση HVO σε σχέση με το MGO	107
Διάγραμμα 13. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση HVO αντί MGO.	108
Διάγραμμα 14. Σύγκριση OPEX όλων των καυσίμων.	113
Διάγραμμα 15. Σύγκριση εναλλακτικών καυσίμων με βάση το NPV	113

Key Words

Cruise Ships, Green Shipping, Biofuels, LNG, Batteries

Λέξεις Κλειδιά

Κρουαζιερόπλοια, Πράσινη Ναυτιλία, Μπαταρίες, Βιοκαύσιμα, Υδρογόνο, Μεθανόλη, Αμμωνία

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια οικονομική αξιολόγηση εναλλακτικών καυσίμων πρόωσης, εφαρμοσμένα σε κρουαζιερόπλοια. Στο πλαίσιο της μετάβασης στην πράσινη ναυτιλία και στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό και άλλους θεσμούς, οι πλοιοκτήτες καλούνται να βρουν λύσεις φιλικές στο περιβάλλον, οι οποίες περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων που εκπέμπουν μηδενικούς ή λιγότερους ρύπους σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Έτσι έχουν μελετηθεί ως προς την οικονομική και περιβαλλοντική σκοπιά καύσιμα όπως το Υδροποιημένο Φυσικό Αέριο, οι Μπαταρίες, τα Βιοκαύσιμα, το Υδρογόνο, η Μεθανόλη και η Αμμωνία. Αφού εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά τους, στη συνέχεια έγινε μια οικονομική αξιολόγηση για χρήση σε Κρουαζιερόπλοια, σε σύγκριση με την αξιοποίηση ενός συμβατικού καυσίμου, του Marine Gasoil. Στο τέλος εξάγονται τα ανάλογα συμπεράσματα και δίνονται απαντήσεις για το ποια καύσιμα είναι οικονομικώς προτιμότερο να επενδύσει κάποιος αυτήν τη στιγμή, καθώς και για ποια από αυτά θα χρειαστούν περαιτέρω έρευνες και τεχνολογικές εξελίξεις, ώστε να καθίστανται αυτά εφικτές λύσεις στο κοντινό μέλλον για την πράσινη μετάβαση.

Abstract

The present study provides an economic evaluation of alternative propulsion fuels applied to cruise ships. As part of the transition to green shipping and the achievement of the goals set by the International Maritime Organization and other institutions, shipowners are called upon to find environmentally friendly solutions, which include, among others, the use of alternative fuels that emit zero or fewer pollutants compared to conventional fuels. Fuels such as Liquefied Natural Gas, Batteries, Biofuels, Hydrogen, Methanol, and Ammonia have been studied from both an economic and environmental perspective. After examining their characteristics, an economic evaluation was made for their use on cruise ships, in comparison with the use of a conventional fuel, Marine Gasoil. In the end, relevant conclusions are drawn, and answers are provided regarding which fuels are economically preferable to invest in at the moment, as well as which of these will require further research and technological developments to become feasible solutions for the green transition in the near future.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Ο τομέας της ναυτιλίας είναι ένας από τους σημαντικότερους κλάδους της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς μεταφέρει πάνω από το 80% του παγκόσμιου εμπορίου. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν το βασικό μέσο για τη διακίνηση τεράστιων ποσοτήτων εμπορευμάτων σε μεγάλες αποστάσεις, με σημαντικά χαμηλότερο κόστος σε σχέση με άλλες μορφές μεταφοράς, όπως η αεροπορική ή η σιδηροδρομική. Η ναυτιλία καλύπτει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, από τη μεταφορά πρώτων υλών όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας, σιτηρά, τρόφιμα, φάρμακα και άλλα υλικά αγαθά, έως τη μετακίνηση ανθρώπων για επαγγελματικούς, ιατρικούς ή λόγους αναψυχής. Σήμερα, υπάρχουν εκατοντάδες χιλιάδες πλοία σε όλο τον κόσμο που καθημερινά ταξιδεύουν στους ωκεανούς και τις θάλασσες, για να εξυπηρετήσουν όλες αυτές τις δραστηριότητες.

Παρ' όλα αυτά, κι ενώ η ναυτιλία αποτελούσε ανέκαθεν τη ραχοκοκαλιά του διεθνούς εμπορίου, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνει, οδηγεί σε έντονες ανησυχίες. Σύμφωνα με δεδομένα του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO), η ναυτιλία ευθύνεται για περίπου το 2-3% των συνολικών εκπομπών CO₂ παγκοσμίως. Οι εκπομπές αυτές προέρχονται κυρίως από την καύση των συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων όπως το HFO (Heavy Fuel Oil) τα οποία, εκτός από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), εκπέμπουν και άλλες επικίνδυνες ουσίες, όπως οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x) και άλλα αέρια του θερμοκηπίου (GHG), συμβάλλοντας έτσι στην ατμοσφαιρική ρύπανση, την ρύπανση των θαλασσών και την κλιματική αλλαγή.

Τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί ο διάλογος για την απανθρακοποίηση του τομέα της ναυτιλίας, η οποία αναφέρεται στην μείωση ή και πλήρη εξάλειψη των εκπομπών άνθρακα από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα. Αν και η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά δύσκολη λόγω της τεχνολογικής και οικονομικής πρόκλησης που συνεπάγεται, υπάρχουν αρκετές στρατηγικές που εξετάζονται για την επίτευξη αυτού του στόχου. Η Διεθνής Συμμαχία Ναυτιλίας για το Κλίμα (IMDC) και άλλοι οργανισμοί εργάζονται για τη θέσπιση πιο αυστηρών κανονισμών που επιβάλλουν στις ναυτιλιακές εταιρείες να μειώσουν τις εκπομπές CO₂. Ο IMO έχει θέσει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά τουλάχιστον 40% σε σχέση με τα επίπεδα του 2008 έως το 2030, με επόμενο στόχο τη μείωση κατά 70% μέχρι το 2050. Επιπλέον, ο IMO έχει επιβάλλει μείωση των συνολικών ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την παγκόσμια ναυτιλία κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 2008. Ακόμη έχουν θεσπιστεί όρια στις εκπομπές θείου που επιτρέπεται να εκλύουν τα πλοία, όπου από το 2015 η περιεκτικότητα σε θείο οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιείται στα πλοία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,1% (κ.β.) στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECAs) της Βόρειας Αμερικής, της Βαλτικής και της Βόρειας Θάλασσας στην Ευρώπη, ενώ από το 2020 δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5% (κ.β.) σε όλα τα πλοία.

Η παγκόσμια ναυτιλιακή κοινότητα έχει προχωρήσει σε λύσεις όπως η χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO-Very Low Sulphur Fuel Oil) και η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (Scrubbers), συστήματα SCR (Selective Catalytic Reduction) που μειώνουν τις εκπομπές σωματιδίων και οξειδίων του αζώτου (NO_x), καθώς και Τροφοδοσία στην ξηρά (Onshore Power Supply, OPS). Ωστόσο, οι επιλογές αυτές μόνο ως προσωρινές μπορούν να εκληφθούν, καθώς η ανάγκη για καθαρότερες λύσεις, πιο φιλικές στο περιβάλλον συνεχώς μεγαλώνει. Με την τεχνολογία να προχωράει και τη ζήτηση για καθαρές λύσεις να αυξάνεται, είναι σαφές ότι η ναυτιλία πρέπει να εξελιχθεί προς έναν πιο βιώσιμο και πράσινο τομέα, προκειμένου να ανταποκριθεί στις παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, η μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα αποτελεί έναν από τους πιο υποσχόμενους τρόπους για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας. Εξετάζονται καύσιμα όπως το Υδροποιημένο

Φυσικό Αέριο (LNG), το Υδρογόνο, η Αμμωνία, η Μεθανόλη, τα Βιοκαύσιμα ή η ηλεκτροπρόωση με Μπαταρίες. Οι φορείς αξιολογούν τις παραπάνω λύσεις με σκοπό να εξακριβώσουν σε ποιες από αυτές μπορεί να στηριχθεί η ναυτιλιακή κοινότητα για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για τη μετάβαση στην πράσινη ναυτιλία. Από βιβλιογραφική σκοπιά, τα τελευταία χρόνια έχουν προωθηθεί ως πράσινες εναλλακτικές λύσεις το υδρογόνο, η αμμωνία, η μεθανόλη και τα προηγμένα βιοκαύσιμα. Ωστόσο, πολλά από αυτά τα καύσιμα απαιτούν δραστική κλιμάκωση στην παραγωγή καθώς και μετασκευή του σκάφους και του κινητήρα λόγω διαφοράς στην ενεργειακή πυκνότητα και τη συμβατότητα με τον κινητήρα. Η εφαρμογή αυτών των καυσίμων σε ολόκληρο το ναυτιλιακό κλάδο μπορεί να διαρκέσει δεκαετίες και να επιφέρει δυσβάσταχτο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Το πιο «έτοιμο» εναλλακτικό καύσιμο θεωρείται ότι είναι το LNG, που συναντάται και ως «μεταβατικό καύσιμο», καθώς είναι συμβατό με υπάρχοντες κινητήρες και συμμορφώνεται με τους κανονισμούς για τις εκπομπές SOx και NOx. Όμως, το LNG παράγεται επί του παρόντος από ορυκτές πηγές και προκαλεί έντονες ανησυχίες το γεγονός ότι η ολίσθηση μεθανίου από τη χρήση αυτού του καυσίμου μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετες κλιματικές επιπτώσεις. Παράλληλα, η άμεση ηλεκτροδότηση των πλοίων είναι μια εναλλακτική στην πρόωση, αν και αυτό λογίζεται ακόμα ως ανέφικτο για κύρια πηγή πρόωσης για τη ναυτιλία βαθέων υδάτων, λόγω της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας των υπάρχουσών λύσεων.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι δεν υπάρχει ενιαία λύση καυσίμου για την απαλλαγή από τον άνθρακα σε ολόκληρο τον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών, κάτι που δημιουργεί μεγάλη αβεβαιότητα ως προς το τι θα περιλαμβάνει το μελλοντικό μείγμα καυσίμων. Ωστόσο, ο ναυτιλιακός τομέας αναμένεται να κάνει μεγάλες αλλαγές στην επιλογή καυσίμου την επόμενη δεκαετία, με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των εναλλακτικών καυσίμων να είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας στην πρόσληψή τους. Λαμβάνοντας υπόψη την τεράστια μετάβαση που χρειάζονται στον κλάδο, οι στρατηγικές αποφάσεις για την αλλαγή της τεχνολογίας των καυσίμων θα πρέπει να βασίζονται σε διαφανείς και συνεπείς αξιολογήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική μείωση των επιπτώσεων στον ναυτιλιακό κλάδο στο σύνολό του, χρειάζεται βαθιά κατανόηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που σχετίζεται με την παροχή του καυσίμου, την προσαρμογή του κινητήρα, τις εκπομπές, τις υποδομές και τις συνδέσεις με άλλους τομείς. Οι ερευνητές καταβάλλουν μεγάλες προσπάθειες για να μελετήσουν στο κάθε ένα καύσιμο την προοπτική ενός κύκλου ζωής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την χρήση του καυσίμου και τη διάθεση των υπολειμμάτων του.

Η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας απαιτεί τη συνεργασία κυβερνήσεων, ερευνητικών φορέων καθώς και όλων των αρμοδίων του ναυτιλιακής βιομηχανίας για να αναπτυχθούν οι κατάλληλες υποδομές, να μειωθούν τα κόστη των νέων τεχνολογιών και να δημιουργηθεί ένα βιώσιμο και ασφαλές περιβάλλον για τις μελλοντικές ναυτιλιακές δραστηριότητες. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των ναυτιλιακών εταιρειών είναι ισχυρός, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται οι πιέσεις για την υιοθέτηση βιώσιμων και πιο αποδοτικών λύσεων. Δεδομένης και της έντονης οικονομικής αβεβαιότητας που προκύπτει από τις γεωπολιτικές και κοινωνικές εξελίξεις τον τελευταίο καιρό, θα χρειαστούν καίριες κυβερνητικές διεθνείς παρεμβάσεις και μεγάλες επενδύσεις, ώστε να ωριμάσουν οι συνθήκες για την αξιοποίηση όλο και περισσότερων εναλλακτικών καυσίμων στο ναυτιλιακό κλάδο. Ζητήματα που αφορούν την εφαρμογή, τα αποθέματα, τις υποδομές και τη διανομή των πράσινων καυσίμων, θα πρέπει να επιλυθούν όσο το δυνατόν συντομότερα, ενώ παράλληλα οι διεθνείς φορείς καλούνται να θεσμοθετήσουν ένα λειτουργικό ρυθμιστικό πλαίσιο, με σκοπό να εξασφαλίζεται η τήρηση των νόμων, ο έλεγχος των εταιρειών και να επιβάλλονται ποινές σε όσους αποκλίνουν από τον (όχι και τόσο) μακροπρόθεσμο στόχο της πλήρους απανθρακοποίησης της ναυτιλίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται μια οικονομική μελέτη αξιολόγησης διαφορετικών τεχνολογιών πρόωσης με βάση το καύσιμο ως προς την εφαρμογή τους σε κρουαζιερόπλοια. Έχουν ερευνηθεί διαφορετικές τεχνολογίες πρόωσης και εναλλακτικά καύσιμα όπως το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG), οι Μπαταρίες, τα Βιοκαύσιμα, το Υδρογόνο, η Μεθανόλη και η Αμμωνία. Καθώς τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις του IMO (International Maritime Organization) για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas, GHG), οξειδίων του θείου (SO_x), διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x), ολοένα και αυξάνονται, οι πλοιοκτήτες καλούνται να βρουν λύσεις για να αντικαταστήσουν τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που έχουν μεγάλο μερίδιο ευθύνης για τις εκπομπές αυτές. Παρουσιάζεται μια εκτίμηση κέρδους της χρήσης των νέων διαθέσιμων επιλογών σε σχέση με τη χρήση του Marine Gasoil (MGO) στα κρουαζιερόπλοια, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την οικονομική τους απόδοση και εν τέλει την εφικτότητά τους ως προς την εφαρμογή τους στα σύγχρονα κρουαζιερόπλοια.

Αρχικά δίνεται η εικόνα της αγοράς της κρουαζιέρας σε διεθνές και ελληνικό επίπεδο, η οποία γνωρίζει εντυπωσιακή άνθιση τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό έχει συμβάλει και η Ένωση Κρουαζιέρας CLIA (Cruise Lines International Association CLIA), το προφίλ της οποίας παρουσιάζεται στην εργασία. Στη συνέχεια αναλύεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ναυτιλίας και της κρουαζιέρας ειδικότερα και συστήνεται ο IMO. Ο οργανισμός αυτός επιβάλλει το ρυθμιστικό πλαίσιο θέτοντας κανόνες και στόχους που πρέπει να τηρούνται ήδη από το 2020, με ορίζοντα το 2030 και το 2050. Έπειτα εισάγεται ο ρόλος της κρουαζιέρας στην πράσινη μετάβαση, η οποία ήδη δραστηριοποιείται έντονα και με επενδύσεις για να ελαττώσει τους ρύπους που εκπέμπει στην ατμόσφαιρα και να εξελιχθεί σε μια πράσινη βιομηχανία στο περιβάλλον. Ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών καυσίμων με έμφαση στη χημική τους σύσταση, τον τρόπο παραγωγής, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, τις υποδομές, το νομοθετικό πλαίσιο, την οικονομική σκοπιά και την εφαρμογή τους στα κρουαζιερόπλοια.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η οικονομική αξιολόγηση των καυσίμων, σε περιπτώσεις που εφαρμόζονται σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια. Για κάθε ένα από τα εναλλακτικά καύσιμα γίνεται εκτίμηση κέρδους σε σχέση με τη χρήση του συμμορφούμενου καυσίμου MGO. Χρησιμοποιούνται οικονομικά εργαλεία όπως οι Κεφαλαιουχικές Δαπάνες (Capital Expenditures, CAPEX), οι Λειτουργικές Δαπάνες (Operational Expenditures, OPEX), η Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value, NPV) και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return, IRR) μιας επένδυσης. Με τη βοήθεια του NPV και του IRR, μπορεί να γίνει αντιληπτό ποιες επενδύσεις συμφέρουν οικονομικά για να αξιοποιήσει ένας πλοιοκτήτης.

Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι εκτιμήσεις, στο τέλος εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα, που ήταν και ο σκοπός αυτής της μελέτης, για όλα τα καύσιμα σε σύγκριση με το MGO αλλά και μεταξύ τους. Αναλύεται σε ποια από αυτά είναι πιο ώριμες οι συνθήκες στη διεθνή αγορά για εκμετάλλευση, ποια χρειάζονται περαιτέρω έρευνα και τεχνολογική εξέλιξη, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που λαμβάνουν υπόψιν οι ναυτιλιακές εταιρείες όταν πρόκειται να επιλέξουν τα πράσινα καύσιμα στα οποία θα επενδύσουν στο μέλλον.

Κεφάλαιο 2: Η Ναυτιλιακή αγορά των Κρουαζιερόπλοιων

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η κρουαζιέρα συνδέει την ψυχαγωγία του επιβάτη στο κρουαζιερόπλοιο με την επίσκεψή του σε ένα ή περισσότερα κοσμοπολίτικα λιμάνια, ικανοποιώντας την ανάγκη για γνωριμία με νέους τόπους και επαφή με πολιτισμούς. Είναι αμιγής δραστηριότητα αναψυχής. Η ιδέα της κρουαζιεροπλοΐας, δηλαδή να ταξιδεύει κάποιος με πλοίο για αναψυχή και όχι για συγκοινωνιακούς λόγους, αποδίδεται στον Arthur Anderson, έναν από τους ιδρυτές της εταιρείας Peninsular and Oriental Steam Navigation Company που έγινε γνωστή στο χώρο της ναυτιλίας ως P&O. Το 1835 ο Arthur Anderson πρότεινε μια κρουαζιέρα από την Αγγλία προς τα νησιά Φερόε και στις ακτές της Ισπανίας με σκοπό την απόλαυση του ήλιου στη διάρκεια των Χειμερινών μηνών. Το 1840, ο Samuel Cunard πραγματοποίησε υπερατλαντικό ταξίδι διασχίζοντας τον Βόρειο Ατλαντικό, από το Λίβερπουλ στο Χάλιφαξ, με το ατμοκίνητο Britannia. Το 1844 η P&O επέκτεινε τις κρουαζιέρες στη Μεσόγειο. Στις επόμενες δεκαετίες οι κρουαζιέρες πραγματοποιούνταν και σε άλλες θαλάσσιες περιοχές. Στη δεκαετία του 1860 επεκτάθηκε η ναύλωση και η διαχείριση των πλοίων για κρουαζιέρα. Το κύριο χαρακτηριστικό της ήταν η πολύμηνη διάρκεια και το υψηλό οικονομικό επίπεδο της πελατείας τους. Οι ταξιδιώτες διέθεταν άφθονο χρόνο και πλούτο και ταξίδευαν κυρίως για λόγους υγείας και όχι τόσο για να επισκεφτούν τα λιμάνια. Η κρουαζιέρα είχε συνδεθεί με την απόλαυση του ταξιδιού και όχι με τη γνωριμία των τόπων προσέγγισης του πλοίου. Έτσι, το έτος 1868 το ατμόπλοιο «Quaker City» με χωρητικότητα 1.900 κ.ο.χ. πραγματοποίησε την πρώτη κρουαζιέρα από τις ΗΠΑ στη Μεσόγειο Θάλασσα. Το 1881 το ατμόπλοιο «Ceylon» της P&O πουλήθηκε στην Oceanic Yachting Company, η οποία το μετέτρεψε σε πλοίο αναψυχής. Το πλοίο χωρητικότητας 2.376 κ.ο.χ. έκανε το γύρο του κόσμου. Η εταιρεία Orient Line of London σε συνεργασία με την εταιρεία Pacific Steam Navigation Co καθιέρωσαν τα πρώτα προγράμματα κρουαζιέρας προς τα φιόρδ της Νορβηγίας το 1889 και προς τη Μεσόγειο Θάλασσα το 1893.

Πολλές φορές λόγω της εποχικότητας και λόγω έλλειψης πελατείας, τα επιβατηγά πλοία λειτουργούσαν ως κρουαζιερόπλοια. Ο Albert Ballin που διηύθυνε την επιβατική γραμμή που συνέδεε το Αμβούργο με την Αμερική για να αντιμετωπίσει την απραξία των πλοίων στην διατλαντική αυτή γραμμή λόγω έλλειψης επιβατών, έστειλε το πλοίο «Augusta Victoria» σε κρουαζιέρα στη Μεσόγειο Θάλασσα το χειμώνα του 1891. Το 1895 το «Lusitania» πραγματοποίησε μια πολυτελή κρουαζιέρα 60 ημερών προς τις Δυτικές Ινδίες, τη Μαδέρα, την Τενερίφη και τις Αζόρες.

Μετά το τέλος του Α' Παγκοσμίου πολέμου, αυξήθηκε ο αριθμός των πλοίων που χρησιμοποιούνταν στην Κρουαζιέρα λόγω της αλλαγής της Μεταναστευτικής πολιτικής των ΗΠΑ. Η χώρα αυτή έθεσε αυστηρούς περιορισμούς για την είσοδο των μεταναστών στην επικράτειά της. Αποτέλεσμα αυτής της πολιτικής ήταν η αλλαγή της χρήσης των επιβατηγών πλοίων, τα οποία προκειμένου να παραμείνουν ενεργά και να αντιμετωπίσουν την έλλειψη επιβατών, χρησιμοποιήθηκαν ως κρουαζιερόπλοια. Στην δεκαετία του 1930 οι καμπίνες στα πλοία αναψυχής αποκτούν ιδιαίτερους χώρους υγιεινής. Το 1933 κατασκευάστηκε το πλοίο «Monarch of Bermuda» με ιδιαίτερους χώρους υγιεινής σε όλες τις καμπίνες. Την δεκαετία αυτή το πλέον γνωστό κρουαζιερόπλοιο ήταν το «Arandora Star» της Blue Star Lines. Το πλοίο αυτό, ένα από τα 5 αδελφά πλοία της εταιρείας που παρείχαν υπηρεσίες στους επιβάτες και στο εμπόριο στη γραμμή Λονδίνο-Νότια Αμερική, μετατράπηκε από επιβατηγό και εμπορικό πλοίο, ικανό να εξυπηρετεί 164 επιβάτες, σε κρουαζιερόπλοιο ικανό να εξυπηρετεί 400 τουρίστες. Το πλοίο αυτό είχε μια πολύ πετυχημένη

σταδιοδρομία ως κρουαζιερόπλοιο. Ήταν γνωστό ως Chocolate Box που μετέφερε τους πλούσιους και τους διάσημους. Η τελευταία του κρουαζιέρα έγινε το 1939 και κατά τη δεκαετία του δράση έκανε 120 ταξίδια. Βυθίστηκε στη διάρκεια του πολέμου το 1940. Τα κρουαζιερόπλοια από το 1860 ως το 1960 δεν διαφέρουν σημαντικά από τα επιβατηγά πλοία, ως προς την κατασκευή και την παροχή υπηρεσιών.

Η νέα εποχή της κρουαζιέρας αρχίζει τη δεκαετία του 1960, όταν το πλοίο ως μέσο μεταφοράς επιβατών μεταξύ Αμερικής και Ευρώπης αντικαθίσταται από το αεροπλάνο. Το 1958 πραγματοποιήθηκε η πρώτη εμπορική πτήση πάνω από τον Ατλαντικό, που άλλαξε ριζικά και για πάντα την οικονομική των υπερατλαντικών ταξιδιών. Η είσοδος του εμπορικού αεροσκάφους της Boeing 747 στις αρχές της δεκαετίας του 1970 έδωσε το οριστικό τέλος στα υπερατλαντικά ταξίδια. Οι πλοιοκτήτες προκειμένου να αξιοποιήσουν οικονομικά τα επιβατηγά πλοία, τα οποία έμειναν ανενεργά, άρχισαν να προβαίνουν στη μετασκευή τους σε κρουαζιερόπλοια. Στην προσπάθειά τους αυτή αντιμετώπισαν προβλήματα καθώς τα πλοία δεν διέθεταν αερισμό, ανοικτούς χώρους και άλλες ευκολίες για την εξυπηρέτηση των επιβατών. Ο κλιματισμός δεν υπήρχε στα πλοία μέχρι τη δεκαετία του 1950. Χαρακτηριστικό κρουαζιερόπλοιο αυτής της εποχής είναι το «Mardi Gras», πρώην «Empress of Canada», ναυπηγημένο το 1961, που είναι το πρώτο πλοίο της εταιρείας Carnival Cruise Lines. Τα κρουαζιερόπλοια «πρώτης γενιάς» ήταν μικρότερα από τους απογόνους τους και μετέφεραν λιγότερους από χίλιους επιβάτες. Η κατασκευή τους στηρίχθηκε στα επιβατηγά πλοία της δεκαετίας του 1960 με μια μικρή αύξηση στους χώρους ενδιαίτησης των επιβατών.

Στη δεκαετία του 1970 το κρουαζιερόπλοιο άρχισε να λειτουργεί αμιγώς ως χώρος παροχής υπηρεσιών τουριστικού χαρακτήρα με πεδίο δράσης την Καραϊβική και με πελατεία προερχόμενη από την Β. Αμερική. Τα κρουαζιερόπλοια σχεδιάστηκαν με ανοικτούς χώρους-καταστρώματα για να υποδεχθούν αθλητικές δραστηριότητες π.χ. πισίνες, τένις κ.λπ. Σκανδιναβικές και Ευρωπαϊκές εταιρείες ασχολήθηκαν με την εξερεύνηση της αγοράς της Καραϊβικής. Έτσι, εταιρείες όπως η Norwegian Caribbean, η Royal Caribbean, η Royal Viking, η Holland America, η Carnival Cruises και η Princess Cruises άρχισαν να δραστηριοποιούνται στην περιοχή. Την διαχείριση των περισσότερων κρουαζιερόπλοιων «πρώτης γενιάς» ανέλαβαν επιχειρηματίες, νέοι στην τουριστική βιομηχανία. Εξαίρεση σ' αυτόν τον κανόνα αποτέλεσαν οι εταιρείες P&O, Cunard και Chandris Lines.

Το κρουαζιερόπλοιο βρέθηκε στο επίκεντρο του τουριστικού ενδιαφέροντος στις αρχές της δεκαετίας του 1980 οπότε και άρχισαν να κατασκευάζονται νέα πλοία ειδικά σχεδιασμένα για κρουαζιέρες. Σ' αυτό βοήθησαν οι επιθετικές διαφημιστικές εκστρατείες αλλά και τα τηλεοπτικά προγράμματα και οι τηλεοπτικές ταινίες, όπως το γνωστό «Πλοίο της αγάπης» (Love Boat) που άρχισαν να προβάλλονται και να διαμορφώνουν μια ελκυστικότερη εικόνα για τις κρουαζιέρες. Αυτή η αύξηση της ζήτησης ενθάρρυνε τις εταιρείες να ναυπηγήσουν πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας. Τα πλοία αυτά ανήκουν στη «δεύτερη γενιά» κρουαζιερόπλοιων. Για τα πλοία της «δεύτερης γενιάς» υιοθετήθηκε από την εταιρεία Holland America η ονομασία Ocean Liners. Χαρακτηριστικό πλοίο αυτής της γενιάς είναι το «Tropicale» που ναυπηγήθηκε στη Δανία το 1981 για λογαριασμό της Carnival Cruise Lines, με χωρητικότητα 22.919 κ.ο.χ., ταχύτητα 20 κόμβους, μεταφορική ικανότητα 1.400 επιβατών και πεδίο δραστηριότητας την τουριστική αγορά των δυτικών ακτών των ΗΠΑ και του Μεξικού. Στη «δεύτερη γενιά» κρουαζιερόπλοιων παρατηρείται έντονα η τάση για την αύξηση του αριθμού των εξωτερικών καμπινών καθώς περισσότεροι επιβάτες αναζητούν την απόλαυση του φυσικού περιβάλλοντος (ήλιο, θάλασσα, σελήνη) καθ' όλη τη διάρκεια της κρουαζιέρας.

Στη δεκαετία του 1990 άρχισαν να ναυπηγούνται πλοία με μεταφορική ικανότητα περίπου 2.000 επιβατών. Πρόκειται για τη γενιά των κρουαζιερόπλοιων που χαρακτηρίζονται ως «μεγαθήρια». Χαρακτηριστικά πλοία είναι το «Sovereign of the Seas» της Royal Caribbean, το «Monarch of the Seas» και το «Majesty of the Seas». Τα κρουαζιερόπλοια αυτά πραγματοποιούσαν επταήμερες

κρουαζιέρες στην Καραϊβική. Το «Sovereign of the Seas», που χαρακτηρίστηκε «πλωτό εμπορικό κέντρο», συμβολίζει και την αλλαγή στη φιλοσοφία της κρουαζιέρας από απλό ταξίδι αναψυχής σε «αυτάρκη-πλήρη εμπειρία διακοπών». Στη γενιά αυτή των κρουαζιερόπλοιων κυριαρχεί το στοιχείο της πολυτέλειας και η υψηλή παροχή υπηρεσιών ξενοδοχειακού τύπου δηλαδή διαμονή, εστίαση, ψυχαγωγία, ημερήσιες και νυχτερινές δραστηριότητες και ξενάγηση στα λιμάνια. Στη δεκαετία του 1990 η αγορά της κρουαζιέρας ήταν ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς τα οικονομίας. Την περίοδο αυτή παρατηρήθηκε αύξηση της ζήτησης για κρουαζιέρες στο Ηνωμένο Βασίλειο και στη υπόλοιπη Ευρώπη και αργότερα στις περιοχές της Ασίας-Ειρηνικού. Η κρουαζιέρα με ετήσια αύξηση που ανέρχεται στο 8% από το 1988 παρουσίασε σχεδόν διπλάσιο ρυθμό ανάπτυξης απ' ότι η τουριστική δραστηριότητα στο σύνολό της. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία των CLIA, PSA και GP Wild στη δεκαετία του 1990 η Βόρεια Αμερική κάλυπτε το 70% της παγκόσμιας ζήτησης για κρουαζιέρες. Η ευρωπαϊκή αγορά ήταν στη δεύτερη θέση (20%) ενώ ο υπόλοιπος κόσμος μοιραζόταν ένα πολύ μικρό ποσοστό (8%).

Οι απολαύσεις της κρουαζιέρας αρχίζουν να προσελκύουν εκατομμύρια πελάτες και οι εταιρείες αρχίζουν να αναζητούν τρόπους να διευρύνουν την πελατεία τους. Έτσι οι εταιρείες στρέφονται στην αναζήτηση μεθόδων προσέλκυσης περισσότερων πελατών, με στόχο αυτούς που δεν έχουν πραγματοποιήσει καμία κρουαζιέρα στη ζωή τους. Από τις έρευνες που διενεργούνται, διαπιστώνεται ότι πολλοί δυνητικοί πελάτες δεν αρκούνται στην άνεση του κρουαζιερόπλοιου, αλλά επιθυμούν να περάσουν τις διακοπές τους, γνωρίζοντας άλλους πολιτισμούς ή δοκιμάζοντας νέες δραστηριότητες. Έτσι, δημιουργούνται νέα προϊόντα όπως οι κρουαζιέρες ειδικών ενδιαφερόντων. Προσφέρονται στους επιβάτες ειδικές εμπειρίες όπως μαθήματα κηπουρικής, χορού, ζωγραφικής, τεχνών κ.λπ. Η Silversea για παράδειγμα οργανώνει κρουαζιέρες κατά τη διάρκεια των οποίων επιβάτες έχουν την ευκαιρία να μάθουν για την γεωγραφία, τον πολιτισμό, την ωκεανογραφία, τη φωτογραφία, παρακολουθώντας διαλέξεις από επαγγελματίες. Επίσης, ειδικοί φωτογράφοι και δημοσιογράφοι από τον National Geographic εκτός από διαλέξεις ξεναγούν τους επιβάτες σε εκδρομές στην ξηρά σε ποικίλους προορισμούς. Συγχρόνως, αυξάνεται το ενδιαφέρον για ιδιαίτερους προορισμούς όπως η Ν. Αμερική (Αμαζόνιος), η Αφρική και η Ασία. Παράλληλα, η δεκαετία του 90' είναι η δεκαετία της παγκοσμιοποίησης και των συγχωνεύσεων. Αρχίζει σταδιακά να διαμορφώνεται ένα νέο τοπίο στην αγορά της κρουαζιέρας. Χαρακτηριστικό στοιχείο της αύξησης της ζήτησης για κρουαζιέρες είναι το γεγονός ότι το 2001 οι επιβάτες των κρουαζιερόπλοιων ανήλθαν παγκοσμίως στα 10,7 εκατομμύρια. Λόγω όμως των τρομοκρατικών επιθέσεων της 11^{ης} Σεπτεμβρίου του 2001 στους Δίδυμους Πύργους της Νέας Υόρκης, μεταβλήθηκε η μορφή της ζήτησης και περιορίστηκε σε κρουαζιέρες στα χωρικά ύδατα των ΗΠΑ και του Καναδά, το λεγόμενο «Homeland Cruising». Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η κρουαζιέρα στα εσωτερικά ύδατα ενός κράτους. Παράλληλα έχει περιοριστεί το «Flying Cruising» δηλαδή η αεροπορική μετάβαση από τον τόπο κατοικίας στο αφετήριο λιμάνι της κρουαζιέρας, καθώς οι Αμερικανοί προτιμούν πλέον να οδηγούν προς το αφετήριο λιμάνι.

Το 2003 η βορειοαμερικανική ήπειρος εξακολουθεί να διατηρεί το προβάδισμα στην αγορά κρουαζιέρας, με 8.195.125 επιβάτες. Ακολουθεί το Ηνωμένο Βασίλειο με πάνω από 1 εκατομμύριο επιβάτες ετησίως, η Γερμανία με 537.000 επιβάτες, η Ιταλία με 346.000 επιβάτες, η Ισπανία με 200.000 επιβάτες και η Γαλλία. Η Γερμανία το 2003 σημείωσε μια αύξηση της τάξης του 23% στην αγορά της ωκεανοπόρου κρουαζιέρας. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη διεύρυνση της πελατείας της σε μικρότερες ηλικιακές ομάδες, στην ανάπτυξη των διευρωπαϊκών γραμμών κρουαζιέρας και στην επέκταση των γερμανικών εταιρειών κρουαζιέρας στην τοπική αγορά. Η Ιταλία σημείωσε αύξηση της τάξης του 10%, ενώ η Γαλλία που παραδοσιακά διατηρούσε την 5^η θέση στην ευρωπαϊκή κατάταξη, το 2003 περιορίστηκε στην 6^η θέση καθώς η Ισπανία αύξησε τη ζήτησή της στους 200.00 επιβάτες. Είναι χαρακτηριστικό στοιχείο, ότι η Βαρκελώνη έγινε ένα από τα πιο πολυσύχναστα αφετήρια

λιμάνια κρουαζιέρας στην Ευρώπη. Το ίδιο έτος σημειώθηκε νέα αύξηση στους επιβάτες κρουαζιερόπλοιων που έφτασαν στα 12,2 εκατομμύρια.

Παράλληλα με την αύξηση της ζήτησης των επιβατών, παρατηρήθηκε και αύξηση της τάσης για ναυπήγηση νέων πλοίων. Σύμφωνα με στοιχεία της PSA, το 2004 ναυπηγήθηκαν 11 νέα πλοία, με μέση χωρητικότητα 3.000 επιβάτες. Ο συνολικός στόλος το 2018 ανήλθε σε 314 πλοία δυναμικότητας 537.000 επιβατών (ετησίως 26 εκατομμύρια). Καθώς όμως υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων για τους οποίους δεν είναι ελκυστική η εμπειρία των διακοπών σε ένα γιγάντιο κρουαζιερόπλοιο, μαζί με χιλιάδες άλλα άτομα, χωρίς καμιά ουσιαστική εμπειρία, έχει δημιουργηθεί μια μικρότερη, αναπτυσσόμενη αγορά. Πρόκειται για μικρότερες εξειδικευμένες εταιρείες που προσφέρουν εξειδικευμένες κρουαζιέρες από μικρότερα πολυτελή κρουαζιερόπλοια 200-300 ατόμων, γιγτο και ιστιοφόρα που μεταφέρουν 10-30 άτομα, που πραγματοποιούν κρουαζιέρες ειδικών ενδιαφερόντων. Τέτοιες εταιρείες είναι η Seabourn και η Windstar. Στον ευρωπαϊκό χώρο αυξήθηκε η ζήτηση για κρουαζιέρες από 2 εκατομμύρια το 2000 στα 5,5 εκατομμύρια το 2010 (αύξηση 175%).

2.2 CLIA (Cruise Lines International Association)

Η Cruise Lines International Association (CLIA) είναι η μεγαλύτερη εμπορική ένωση κρουαζιέρας στον κόσμο, που στόχο έχει την προώθηση και ανάπτυξη του κλάδου της κρουαζιέρας. Ιδρύθηκε αρχικά το 1975 στη Βόρεια Αμερική ως απάντηση στην ανάγκη για μια ένωση για την προώθηση των ειδικών πλεονεκτημάτων της κρουαζιέρας και το 2006 συγχωνεύθηκε με το Διεθνές Συμβούλιο Κρουαζιέρας (ICCL), μια αδελφή ένωση που δημιουργήθηκε το 1990, με σκοπό τη συμμετοχή στη διαδικασία ανάπτυξης πολιτικής και ρυθμίσεων της βιομηχανίας κρουαζιέρας. Αποτελεί μια ενοποιημένη φωνή για την παγκόσμια κοινότητα κρουαζιέρας, μια ομάδα ναυτιλιακών ηγετών που παρέχουν τεχνογνωσία, προϊόντα και υπηρεσίες στον τομέα της κρουαζιέρας. Αποτελείται από περισσότερες από 60 από τις μεγαλύτερες εταιρείες κρουαζιέρας παγκοσμίως και λειτουργεί ως μη κυβερνητικός συμβουλευτικός οργανισμός στον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Η ένωση υποστηρίζει πολιτικές που προωθούν υγιείς, ασφαλείς και βιώσιμες κρουαζιέρες, στρατηγικές που μεγιστοποιούν τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη των ταξιδιών κρουαζιέρας για τις κοινότητες και τεχνολογίες-καινοτομίες που συμβάλλουν στην προώθηση του παγκόσμιου στόλου κρουαζιερόπλοιων, ώστε να είναι πιο ενεργειακά αποδοτικός και φιλικός προς το περιβάλλον. Τα παγκόσμια κεντρικά γραφεία της CLIA βρίσκονται στην Ουάσιγκτον, με περιφερειακά γραφεία σε Βόρεια και Νότια Αμερική, Ευρώπη, Ηνωμένο Βασίλειο και Ιρλανδία, Αυστραλία και Ασία.

Η CLIA έχει διάφορες κατηγορίες μελών:

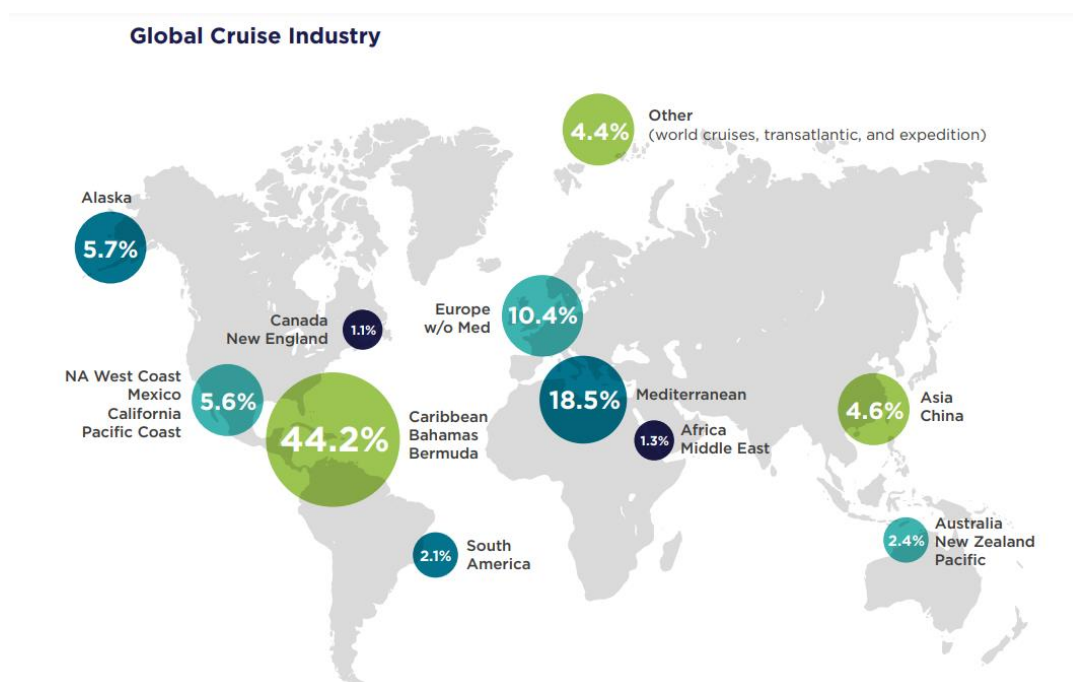
- Πάνω από 50 εταιρείες κρουαζιέρας: αντιπροσωπεύουν πάνω από το 95% της παγκόσμιας βιομηχανίας κρουαζιέρας.
- Πάνω από 350 εκτελεστικοί συνεργάτες: βασικοί προμηθευτές και συνεργάτες των εταιρειών κρουαζιέρας.
- Πάνω από 13.000 παγκόσμια ταξιδιωτικά πρακτορεία και 50.000 ταξιδιωτικά μέλη.

- Τα μέλη εξυπηρετούν πάνω από 30 εκατομμύρια επιβάτες το χρόνο.

Ορισμένοι από τους βασικούς στόχους που έχει θέσει η ένωση για τα επόμενα χρόνια είναι οι εξής:

1. Εξασφάλιση πρόσβασης σε οικονομικά προσιτή, αξιόπιστη, βιώσιμη και σύγχρονη ενέργεια.
2. Εξασφάλιση διαθεσιμότητας και βιώσιμης διαχείρισης νερού και αποχέτευσης.
3. Εξασφάλιση υγείας και ευημερίας για όλους τους επιβάτες.
4. Επίτευξη της ισότητας των φύλων με την ενδυνάμωση του γυναικείου φύλου.
5. Προώθηση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης, χωρίς αποκλεισμούς, και της πλήρους παραγωγικής απασχόλησης και αξιοπρεπούς εργασίας.
6. Εξασφάλιση βιώσιμων προτύπων κατανάλωσης και παραγωγής
7. Επείγουσες δράσεις για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της.
8. Βιώσιμες, ασφαλείς και ανθεκτικές πόλεις και κοινότητες.
9. Προστασία, αποκατάσταση και προώθηση της βιώσιμης χρήσης των χερσαίων οικοσυστημάτων, βιώσιμη διαχείριση των δασών και ανάσχεση της απώλειας βιοποικιλότητας.
10. Διατήρηση και βιώσιμη χρήση των θαλασσών, των ωκεανών και των θαλάσσιων πόρων.

Η εικόνα 1 περιλαμβάνει χάρτη με το ποσοστό επιβατών κρουαζιέρας που ταξιδεύουν σε σημαντικούς προορισμούς για το έτος 2022.



Εικόνα 1. Ποσοστό επιβατών κρουαζιέρας που ταξιδεύουν σε σημαντικούς προορισμούς [Πηγή: CLIA 2022]

2.3 Η Αγορά της Κρουαζιέρας σε διεθνές επίπεδο

Η αγορά της κρουαζιέρας χαρακτηρίζεται ως ένας ταχέως αναπτυσσόμενος κλάδος της ναυτιλίας, παρόλο που ακόμα αποτελεί μόνο το 2% του ταξιδιωτικού και τουριστικού τομέα. Η παγκόσμια βιομηχανία κρουαζιέρας γνωρίζει έντονη άνθιση τις τελευταίες 2 δεκαετίες, με εντυπωσιακή ανάκαμψη μετά την οικονομική κρίση του 2008. Η παγκοσμιοποίηση, οι αναδιαρθρώσεις, οι συγχωνεύσεις και μια ποικιλία ταξιδιωτικών και τουριστικών υπηρεσιών για την κάλυψη διαφορετικών προφίλ επιβατών έχουν ενισχύσει σημαντικά την κερδοφορία την βιομηχανίας αυτής. Οι μεγάλες εταιρείες κρουαζιέρας αναπτύσσουν φιλόδοξα επενδυτικά σχέδια για να επεκταθούν και να ανανεώσουν τον ακριβό στόλο τους με μεγαλύτερα και πιο σύγχρονα σκάφη.

Ενώ παλαιότερα οι υπηρεσίες κρουαζιέρας στόχευαν κυρίως σε πελάτες πολυτελείας με αρκετά μεγάλο κόστος ανά άτομο, εντούτοις τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η διάθεση στον κλάδο να προσελκύσει μαζικά επιβάτες με διαφορετικό οικονομικό, κοινωνικό και ηλικιακό προφίλ. Αυτή η τάση υποστηρίζεται από ελκυστικά πακέτα υπηρεσιών σε λογικές τιμές, καθώς η τεράστια χωρητικότητα των νεότευκτων πλοίων έχει οδηγήσει σε εκτεταμένα οικονομικά στρώματα.

Η κρουαζιέρα είναι το ταχύτερα αναπτυσσόμενο τμήμα στην αγορά των ταξιδιών αναψυχής με υψηλότερα ποσοστά κάλυψης της χωρητικότητας. Στο χώρο δραστηριοποιούνται περισσότερες από 55 εταιρείες κρουαζιέρας, προσφέροντας υπηρεσίες σε ωκεανούς, ποτάμια, καθώς και εξειδικευμένες υπηρεσίες. Πάνω από 340 είναι οι προμηθευτές και οι βασικοί συνεργάτες, συμπεριλαμβανομένων λιμένων και προορισμών, ενώ πάνω από 15.000 είναι τα ταξιδιωτικά πρακτορεία και 25.000 οι ταξιδιωτικοί πράκτορες σε όλον τον κόσμο.

Μετά την οικονομική κρίση του 2008 η παγκόσμια βιομηχανία κρουαζιέρας έχει παρουσιάσει ραγδαία ανάπτυξη σε όρους οικονομίας και φυσικά σε απόλυτους αριθμούς επιβατών. Το 2018 τα έσοδα του κλάδου έφτασαν σε δυσθεώρητα ύψη (\$46,6 δις), την ώρα που το 2008 τα αντίστοιχα έσοδα ήταν κάτω από \$25 δις. Η συνεισφορά της κρουαζιέρας στην οικονομία ανήλθε στα \$150 δις, με 28,5 εκατομμύρια επιβάτες, 1,17 εκατομμύρια θέσεις εργασίας (υπάλληλοι πλήρους απασχόλησης) και \$50,2 δις. σε μισθούς. Οι αντίστοιχες τιμές για το 2022 κυμαίνονται στα \$138 δις. οικονομικό αντίκτυπο σε παγκόσμιο επίπεδο, με 20,4 εκατομμύρια επιβάτες, 1,2 εκατομμύρια εργασίες και \$43 δις. σε μισθούς. Για το 2023 ο αντίκτυπος αναμένεται να είναι ακόμα μεγαλύτερος, δεδομένης της αύξησης κατά 50% των επιβατών σε σχέση με το 2022 (τα ακριβή νούμερα δεν έχουν δημοσιευθεί ακόμα).

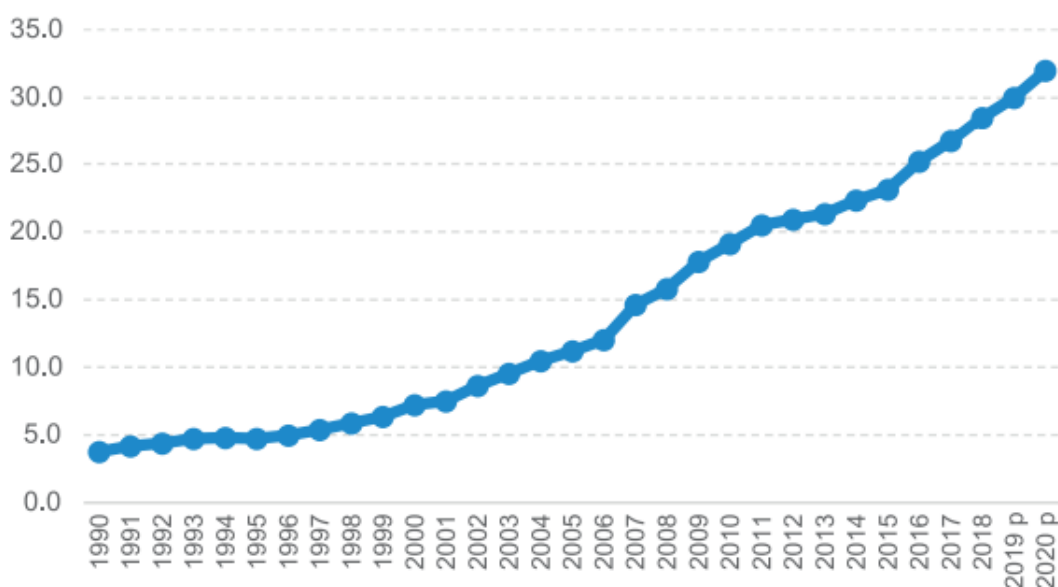
Κατά την περίοδο 2008-2018 ο κλάδος γνώρισε μια άνευ προηγουμένου αύξηση κατά 45% στους επιβάτες κρουαζιέρας. Αυτή η επίδοση αποδίδεται κυρίως στην θεαματική ανάπτυξη από την Ευρωπαϊκή αγορά κατά 60,4%, ακολουθούμενη από την αγορά της Βόρειας Αμερικής κατά 39,4%. Αυτό το ποσοστό ανέρχεται στο 75% αν προσμετρήσουμε την αύξηση του υπόλοιπου κόσμου. Αξίζει να αναφερθεί ότι το 2019 οι ταξιδιώτες ανήλθαν στα 30 εκατομμύρια, όταν το 2008 ο αριθμός αυτός ήταν 16,3 εκατομμύρια. Για την περίοδο 1990-2020 ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των επιβατών εκτιμάται γύρω στο 7%. Πιο συγκεκριμένα, το 2020 μεταφέρθηκαν περίπου 32 εκατομμύρια επιβάτες, έναντι 3,6 εκατομμυρίων το 1990. Το 2027 ο αριθμός αυτός προβλέπεται να φτάσει τα 40 εκατομμύρια.

Στην εικόνα 2 βλέπουμε αναλυτικά τον αριθμό των επιβατών για τα έτη 2019 και 2023 αντίστοιχα σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές, καθώς και την επί τοις εκατό αύξηση του 2023 σε σχέση με το 2019.

Source Region	2023	2019	% Change (2019 to 2023)
Global	31.7 million	29.7 million	+6.8%
North America	18.1million	15.4 million	+17.5%
Europe	8.2 million	7.7 million	+6.5%
Asia	2.3 million	3.7 million	-37.7%
Australasia	1.34 million	1.35 million	-1.0%
South America	996 k	935 k	+6.6%

Εικόνα 2. Όγκος επιβατών κρουαζιέρας για τα έτη 2023-2019. [Πηγή: CLIA 2024]

Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει και το διάγραμμα του όγκου των επιβατών από το 1990 έως το 2020, για να αντιληφθούμε την συνεχή άνοδο της αγοράς της κρουαζιέρας μέσα στα χρόνια αυτά.



Διάγραμμα 1. Αριθμός επιβατών κρουαζιέρας παγκοσμίως 1990-2020 (σε εκατομμύρια) [Πηγή: CLIA 2020]

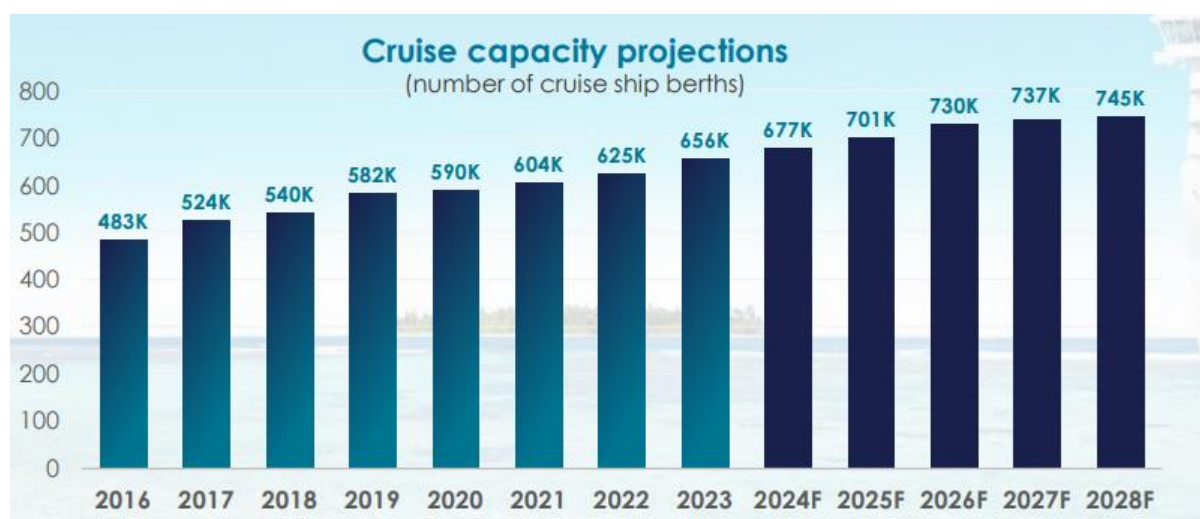
Η αγορά της κρουαζιέρας αναπτύσσεται γύρω από την Καραϊβική, την Αυστραλία, τη Βραζιλία, την Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική, τον Καναδά, την Ασία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία. Η Βόρεια

Αμερική παραμένει μακράν η μεγαλύτερη πηγή προέλευσης, συνεισφέροντας πάνω από τους μισούς επιβάτες της παγκόσμιας ροής. Ακολουθεί η Ευρώπη με 23,7% και η Ασία ως ανερχόμενη δύναμη με 15%.

Στην κορυφή των προτιμήσεων, αγαπημένος προορισμός για τους ταξιδιώτες είναι η Καραϊβική σε ποσοστό πάνω από 30%, ακολουθεί η Μεσόγειος με 17%, η υπόλοιπη Ευρώπη με 11% και περιοχές όπως Κίνα, Αυστραλία, Ασία και Νότια Αμερική με ποσοστά μικρότερα του 5%.

Αξιοσημείωτο είναι ακόμη το γεγονός, ότι στην παγκόσμια αγορά της κρουαζιέρας κυριαρχούν 3 μόνο εταιρείες, καταλαμβάνοντας περίπου το 80% της συνολικής πίτας σε αριθμό επιβατών και το 72,2% σε όρους εσόδων. Η **Carnival Corporation** κατέχει δεσπόζουσα θέση με τα ποσοστά επιβατών και εσόδων να είναι στο 47,4% και 39,4% αντίστοιχα. Η **Royal Caribbean Cruise** καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση με ποσοστά 23% και 20,2% αντίστοιχα. Η **Norwegian Cruise Line Holding** ακολουθεί με ποσοστά 9,5% και 12,6% αντίστοιχα. Άλλοι σημαντικοί παίκτες είναι οι MSC Cruises, TUI Cruises, Disney, Star Cruises, Pullmantur, Dream Cruises, Viking Cruises κ.

Την ανοδική πορεία της κρουαζιέρας σε παγκόσμιο επίπεδο έρχεται να επιβεβαιώσει η έκθεση της CLIA (Μάιος 2024). Σύμφωνα με αυτήν, η παγκόσμια χωρητικότητα κρουαζιέρας πρόκειται να αυξηθεί κατά τουλάχιστον 10% έως το 2028, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3. Πρόβλεψη χωρητικότητας κρουαζιέρας [Πηγή: CLIA 2024]

Οι εταιρείες σχεδιάζουν να επεκτείνουν τον στόλο τους, συμβαδίζοντας με τις ανοδικές τάσεις της παγκόσμιας αγοράς κρουαζιέρας. Για το έτος 2024 έχουν δρομολογηθεί 7 πλοία από τις εταιρείες-μέλη της CLIA, τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.



Sun Princess
Princess Cruises
4,300 lower berths
Launched Feb 2024



Queen Anne
Cunard Line
3,000 lower berths
Launching June 2024



Disney Treasure
Disney Cruise Line
2,500 lower berths
Launching Dec 2024



Explora II
Explora Journeys
922 lower berths
Launching Aug 2024



Utopia of the Seas
Royal Caribbean International
5,714 lower berths
Launching July 2024



Silver Ray
Silversea Cruises
728 lower berths
Launching Aug 2024



Mein Schiff 7
TUI Cruises
2,900 lower berths
Launching June 2024

Εικόνα 4. Οι νέες παραγγελίες-πλοία για το 2024 από εταιρείες-μέλη της CLIA. [Πηγή: CLIA 2024]

Μέχρι το 2028 βρίσκονται ήδη σε παραγγελία 37 πλοία από εταιρείες-μέλη της ένωσης και 54 συνολικά. Στον εικόνα 5 βρίσκεται ο πίνακας με τον κατάλογο παραγγελιών για τα μέλη της CLIA μέχρι το 2028, μαζί με τη χωρητικότητα και την αξία των πλοίων.

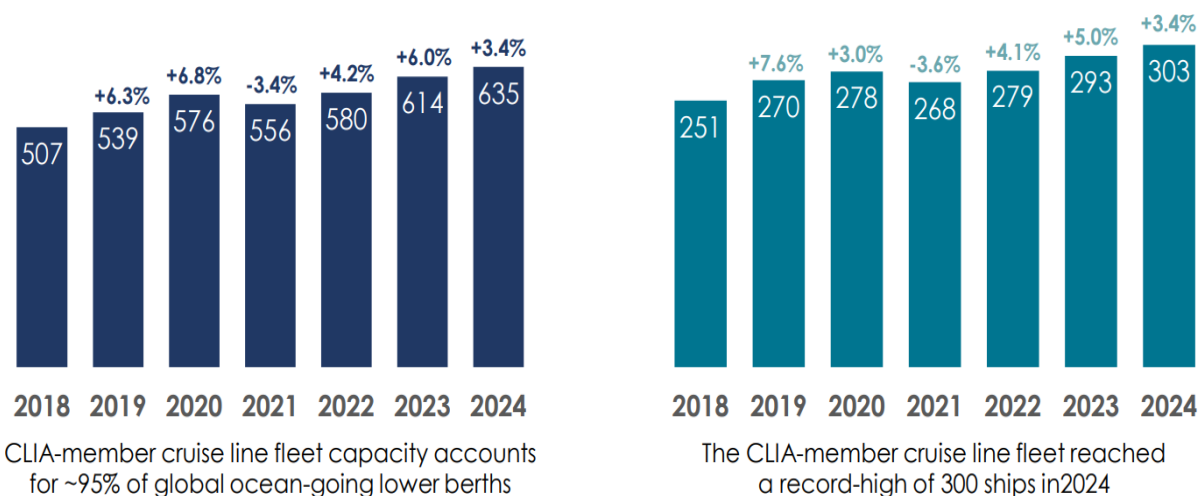
YEAR	SHIPS	CAPACITY (Lower Berths)				VALUE
		Total	Average	Minimum	Maximum	
2024	7	20,064	2,866	728	5,714	\$5.6 billion
2025	12	38,935	3,245	100	6,000	\$10.6 billion
2026	7	20,553	2,936	200	5,610	\$4.9 billion
2027	7	17,944	2,563	200	5,400	\$5.8 billion
2028	4	15,686	3,922	922	5,714	\$4.4 billion

Εικόνα 5. Κατάλογος παραγγελιών έως το 2028 για τα μέλη της CLIA. [Πηγή: CLIA 2024]

Μετά το 2028, 6 πλοία βρίσκονται επί του παρόντος στο βιβλίο παραγγελιών, για παράδοση μεταξύ 2029 έως 2036.

Ο στόλος των εταιρειών-μελών της CLIA ξεπέρασε μέσα στο 2024 για πρώτη φορά τα 300 σκάφη. Στην εικόνα 6 απεικονίζεται το μέγεθος του στόλου από το 2018 έως και σήμερα. Το αριστερό

γράφημα είναι με βάση τις κλίνες (2 κρεβάτια ανά καμπίνα), ενώ το δεξί απεικονίζει τον απόλυτο αριθμό σκαφών.



Εικόνα 6. Το μέγεθος του στόλου των εταιρειών κρουαζιέρας. [Πηγή: CLIA 2024]

Ορισμένες από τις τάσεις που θα κυριαρχήσουν στην παγκόσμια αγορά κρουαζιέρας είναι οι εξής:

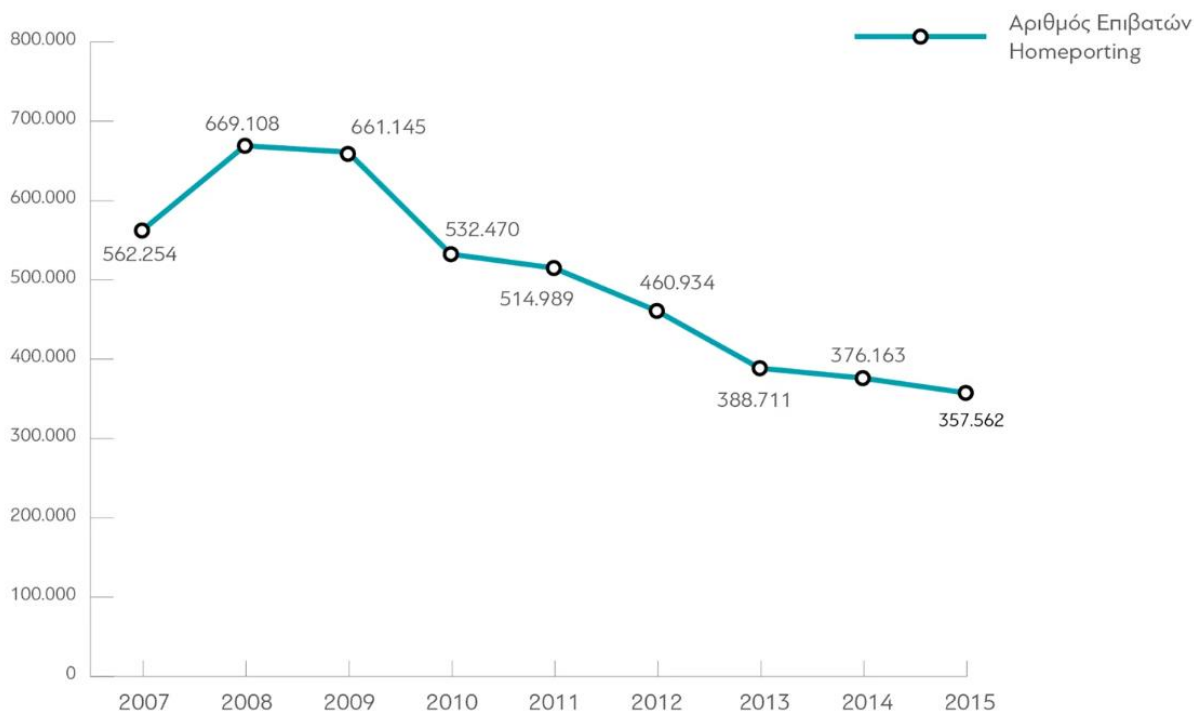
- ✓ **Διακοπές στη θάλασσα:** Όλο και περισσότεροι επιλέγουν την κρουαζιέρα για να περάσουν τις διακοπές τους. Την τελευταία διετία το 27% των επιβατών ήταν νέοι στην κρουαζιέρα, ποσοστό 12% μεγαλύτερο από την προηγούμενη διετία.
- ✓ **Ταξιδιώτες πολλών γενεών:** Το 1/3 των οικογενειών ταξιδεύουν με τουλάχιστον δύο γενιές, ενώ το 28% με τρεις έως 5 γενιές.
- ✓ **Δυνατότητα επίσκεψης πολλαπλών προορισμών, Value For Money.**
- ✓ **Εξορμήσεις-Εξερεύνηση:** τα ταχύτερα αναπτυσσόμενα δρομολόγια κρουαζιέρας που πραγματοποιούνται. Ο αριθμός των επιβατών που εκτελούν τέτοια δρομολόγια έχει αυξηθεί κατά 71% σε σχέση με το 2019 (έτος 2023).
- ✓ **Ιδιωτικά νησιά και παραλιακά κλαμπ:** 5 ιδιωτικά νησιά ή παραλιακά κλαμπ θα ανοίξουν τα επόμενα 2 χρόνια.
- ✓ **Εκδρομές στην ξηρά:** περισσότερες από 100 προσβάσιμες εκδρομές είναι διαθέσιμες σε λιμάνια κρουαζιέρας.

2.4 Η Αγορά της Κρουαζιέρας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα συνδυάζει πολλά πλεονεκτήματα που θα μπορούσαν να την καθιστούν κορυφαίο παίχτη στην αγορά της κρουαζιέρας παγκοσμίως. Η προνομιακή γεωγραφική της θέση (σταυροδρόμι τριών ηπείρων), ο καλός καιρός και ο ήλιος που δεσπόζει τους περισσότερους μήνες του χρόνου, τα αναρίθμητα νησιά με τις μοναδικές παραλίες που διαθέτει, η πλούσια ιστορία του τόπου μας, τα μουσεία, τα αξιοθέατα, οι παραδόσεις μας και συνολικά η φιλοξενία που προσφέρουμε σαν λαός είναι στοιχεία που δύνανται να προσελκύουν στη χώρα μας εκατομμύρια επιβατών κρουαζιέρας κάθε χρόνο. Καταλαβαίνει κανείς, ότι τα οφέλη τα οποία απορρέουν από την ανάπτυξη του κλάδου αυτού είναι σπουδαία για την ελληνική οικονομία και γενικότερα τις τοπικές κοινωνίες που δέχονται κρουαζιερόπλοια. Ας μην ξεχνάμε, ότι είμαστε μια χώρα που ο τουρισμός κατέχει εξέχουσα θέση στην οικονομική μας ατζέντα και είναι προτεραιότητα της εκάστοτε κυβέρνησης ως μέσο που φέρνει σημαντικούς πόρους στα ταμεία του κράτους.

Τα πράγματα όμως δεν είναι ακριβώς έτσι. Η Ελλάδα, κάποτε πρωτοπόρος και πρώτη σε παγκόσμια κλίμακα που ξεκίνησε κρουαζιέρες, έμεινε πολύ πίσω τις δεκαετίες που πέρασαν στον κλάδο της κρουαζιέρας. Ένας κύριος λόγος που συνέβη αυτό είναι το καμποτάζ ("cabotage"). Σύμφωνα με τον επίσημο ορισμό, "cabotage" είναι το καθεστώς παραχώρησης του προνομίου εκτέλεσης περιηγητικών πλοών (η ελληνική ονομασία της κρουαζιέρας) εντός της επικράτειας, αποκλειστικά σε πλοία που φέρουν την εθνική σημαία. Από τη δεκαετία του 1920 μέχρι το 2012 αυτός ο περιορισμός ίσχυε και στην Ελλάδα. Κρουαζιερόπλοια που έφεραν σημαίες ξένων χωρών (πλην χωρών της Ε.Ε. από τη δεκαετία του '90 και μετά) μπορούσαν να επισκεφτούν τα ελληνικά λιμάνια, αλλά δεν επιτρεπόταν να τα χρησιμοποιήσουν ως "home ports", δηλαδή ως λιμάνια αφετηρίας και κατάληξης της κρουαζιέρας, προνόμιο το οποίο είχαν μόνο ελληνικά και κοινοτικά κρουαζιερόπλοια. Τα ξένα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα ελληνικά λιμάνια μόνο ως λιμάνια διέλευσης ("transit ports") στην πορεία τους από και προς τα home ports τους στην Ιταλία, την Τουρκία ή αλλού. Αυτό αποτελούσε πάντα ένα σημαντικό πρόβλημα για την εγχώρια αγορά, γιατί η πλειοψηφία των εσόδων της κρουαζιέρας προέρχεται από τη χρήση των λιμανιών ως home ports -το επονομαζόμενο "homeporting"- και όχι από τα λιμάνια transit. Η άρση του καμποτάζ ήρθε ως μια μνημονιακή υποχρέωση της Ελλάδας αρχικά το 2010 επί κυβέρνησης Παπανδρέου και στη συνέχεια το 2012 -επί κυβέρνησης Παπαδήμου - νομοθετήθηκε πλήρη άρση του καμποτάζ για την ελληνική κρουαζιέρα αίροντας τις προστατευτικές διατάξεις του πρώτου νομοσχεδίου.

Θα περίμενε κανείς ότι με την άρση αυτήν τα πράγματα θα εξελίσσονταν καλύτερα για την ελληνική αγορά της κρουαζιέρας, όμως κάτι τέτοιο –ειδικά τα πρώτα χρόνια- δεν συνέβη. Παρατηρώντας τα νούμερα διαπιστώνει κανείς εύκολα πως, όχι μόνο δεν βελτιώθηκε η κατάσταση στην αγορά, όχι μόνο δεν αυξήθηκαν οι αφίξεις, αλλά υπήρξε και ελαφριά μείωση των homeportings. Από τα περίπου 40 ελληνικά λιμάνια που υποδέχονται κρουαζιερόπλοια, τα εννέα είναι μέλη της της Ένωσης Ευρωπαϊκών Λιμένων Κρουαζιέρας MedCruise, και έτσι γι' αυτά υπάρχουν λεπτομερή στατιστικά στοιχεία. Τα λιμάνια αυτά είναι: Πειραιάς, Θεσσαλονίκης, Κέρκυρας, Ηρακλείου, Σούδας, Καβάλας, Βόλου, Ηγουμενίτσας και Πάτρας. Μια ματιά στο διάγραμμα 2 αρκεί, για να αντιληφθεί κανείς τη μείωση του αριθμού των επιβατών Homeporting στα ελληνικά λιμάνια μέχρι το 2015.



Διάγραμμα 2 Αριθμός επιβατών Homeporting στα 9 ελληνικά λιμάνια-μέλη της Medcruise [Πηγή: CLIA Europe Economic Contribution Reports 2012-2015 & Medcruise Statistical Yearbook 2016]

Ο βασικότερος λόγος γι' αυτήν την εξέλιξη (ή μάλλον στασιμότητα) είναι ότι τα ελληνικά λιμάνια υστερούν πάρα πολύ σε υποδομές. Πρακτικά κανένα από αυτά δεν αποτέλεσε ελκυστικό home port για κρουαζιερόπλοια. Υπάρχουν 81 κριτήρια τα οποία πρέπει να πληροί ένα λιμάνι για να μπορεί να είναι ελκυστικό home port για τις μεγάλες εταιρείες της κρουαζιέρας, τα οποία περιλαμβάνουν από το βάθος του λιμανιού και το μήκος της προβλήτας, μέχρι την πολιτική σταθερότητα και το ύψος των λιμενικών τελών. Στην Ελλάδα υπήρχαν πέντε λιμάνια που, θεωρητικά, που θα μπορούσαν να αναμορφωθούν για να πληρούν αρκετά από αυτά τα κριτήρια, και να αποτελούν ελκυστικά home ports: Του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης, της Κέρκυρας, της Ρόδου και του Ηρακλείου. Αυτά είχαν κάποια βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία (επαρκή χώρο για υποδομές, πρόσβαση σε διεθνές αεροδρόμιο, αξιοθέατα πολιτιστικού και ιστορικού ενδιαφέροντος κ.α.), αλλά είχαν ακόμα πολύ σοβαρές ελλείψεις (αρκετά ακόμα και σήμερα). Σε αυτά θα πρέπει να προστεθεί και το μετέωρο τότε πολιτικό και φορολογικό πλαίσιο της Ελλάδας, πράγμα που δεν την καθιστούσε ελκυστικό προορισμό για επενδύσεις. Την ίδια στιγμή, ο τομέας της κρουαζιέρας γνώριζε αλματώδη ανάπτυξη τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και στην περιοχή της Μεσογείου. Στην αγορά της Μεσογείου η Ελλάδα είναι ο τρίτος δημοφιλέστερος προορισμός αλλά, τα έσοδά της εξακολουθούν να παραμένουν δυσανάλογα μικρά. Παρ' όλο που η κρουαζιέρα φέρνει πάνω από το 10% των συνολικών αφίξεων τουριστών στη χώρα μας (ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα της Ιταλίας ή της Ισπανίας), κατά κανόνα φέρνει και μόνο γύρω στο 5% των εσόδων -περί τα 600 εκ. ευρώ ετησίως. Κύρια αιτία αυτού, το γεγονός ότι, όπως προαναφέρθηκε, τα ελληνικά λιμάνια δεν ήταν ελκυστικά home ports, με αποτέλεσμα να μην έχουμε έσοδα από τις δαπάνες των επιβατών και των εταιρειών κρουαζιέρας στα home ports (εξοπλισμός, προμήθειες και όλα τα έξοδα που κάνει ένα κρουαζιερόπλοιο στα home ports), καθώς και τις δαπάνες για επισκευή και συντήρηση των κρουαζιερόπλοιων. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η σημασία του homeporting, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι transit επιβάτες ξοδεύουν 40-50€ ανά άτομο ανά λιμάνι, ενώ οι homeporting επιβάτες ξοδεύουν περίπου 120-200€.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η κατάσταση έχει αλλάξει άρδην και ο κλάδος της κρουαζιέρας γνωρίζει τη δική του άνθιση και στη χώρα μας, με εξαίρεση τις 2 χρονιές του COVID-19 (2020-2021). Το 2022 ξεπεράστηκε το ρεκόρ του 2019 σε αφιξο-αναχωρήσεις πλοίων, όχι όμως και σε αριθμό επιβατών καθώς τα πλοία είχαν ακόμη χαμηλή πληρότητα. Το 2022 καταγράφηκαν 4.780 προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων σε ελληνικά λιμάνια με 4.629.650 επιβάτες κρουαζιέρας έναντι 3.979 αφιξο-αναχωρήσεων το 2019 με 5.552.384 επιβάτες. Η Ελλάδα αποτελεί πλέον σημαντικό κόμβο κρουαζιέρας στη Μεσόγειο, έχοντας μάλιστα αναπτύξει δραστικά τις δυνατότητες homeporting καθώς υπολογίζεται ότι το 2022 πάνω από το 65% ήταν homeporting, έναντι 54% της προηγούμενης χρονιάς. Αυτό έχει επιφέρει, όπως ήταν αναμενόμενο, πολύ υψηλότερο οικονομικό όφελος για τη χώρα, αφού το ίδιο έτος η κρουαζιέρα συνεισέφερε €1,4 δις. στην ελληνική οικονομία, προσφέροντας πάνω από 14.300 θέσεις εργασίας. Τα ρεκόρ όμως δεν σταματούν εδώ.

Σύμφωνα με την Ένωση Λιμένων Ελλάδος το έτος 2023 αποτέλεσε μια εκπληκτική χρονιά για την κρουαζιέρα στη χώρα μας ξεπερνώντας κάθε ιστορικό προηγούμενο στις συνολικές αφίξεις επιβατών. Ειδικότερα σε 49 ελληνικά λιμάνια οι συνολικές αφίξεις κρουαζιερόπλοιων ανήλθαν σε 5.230 και ο αριθμός επιβατών σε 7.003.150, δηλαδή επιπλέον 450 αφίξεις πλοίων με 2.373.500 επιβάτες έναντι του 2022. Αντίστοιχα σε ποσοστιαία βάση το 2023 έναντι του 2022 είχαμε αύξηση 9,41% στις προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων και αύξηση 51,26% στον αριθμό των επιβατών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το προηγούμενο καταγεγραμμένο ιστορικό ρεκόρ αφίξεων σημειώθηκε το 2011 με 5.261 προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων και 6.121.360 επιβάτες και πλέον σημειώνεται νέο ρεκόρ ως προς τον αριθμό των επιβατών με αύξηση κατά 14,4% από το 2011. Η διαφορά των ποσοστιαίων μεταβολών μεταξύ πλοίων και επιβατών, τόσο για τα έτη 2023-2022 όσο και για τα ιστορικά ρεκόρ 2023-2011, δείχνει ότι κατά μέσο όρο τα κρουαζιερόπλοια που προσέγγισαν τα ελληνικά λιμάνια το 2023 είχαν μεγαλύτερη πληρότητα επιβατών ανά πλοίο. Έτσι σε κάθε άφιξη του 2023 αντιστοιχούν 1.339 επιβάτες έναντι των 969 το 2022 και 1.164 επιβάτες ανά πλοίο το 2011. Πρωτοπόρος σε σχέση με τον αριθμό των επιβατών κρουαζιέρας αναδεικνύεται για μια ακόμη χρονιά ο Πειραιάς με 1.500.000 περίπου επιβάτες και ακολουθούν η Σαντορίνη με 1.298.968, η Μύκονος με 1.192.822 και στη συνέχεια η Κέρκυρα, η Ρόδος, το Κατάκολο και το Ηράκλειο. Αναφορικά με τις προσεγγίσεις πλοίων η Σαντορίνη παίρνει την πρώτη θέση με 800 προσεγγίσεις, ακολουθεί ο Πειραιάς με 760, η Μύκονος με 749 και στη συνέχεια η Ρόδος, η Κέρκυρα, το Ηράκλειο και η Πάτμος.

Τα περισσότερα λιμάνια παρουσίασαν σημαντικές αυξήσεις επιβατών έναντι του 2022 με πρωτοπόρο στην κατάταξη σε απόλυτους αριθμούς τον Πειραιά με 619.514 (+70,37%) και ακολούθως τη Μύκονο με 506.904 (+73,90%), τη Σαντορίνη με 472.366 (+57,15%), το Κατάκολο με 139.360 (+55,57%) και τη Ζάκυνθο με 130.050 επιβάτες και την εντυπωσιακή αύξηση 510,96% έναντι του 2022. Σημαντικές επίσης ποσοστιαίες αυξήσεις (άνω του 100%) των επιβατών κρουαζιέρας παρουσίασαν οι λιμένες της Αστυπάλαιας (+1106,52%), της Χίου (+571,47%), της Πάρου (+251,61%), της Νάξου (+237,13%), του Ρεθύμνου (+163,68%), της Τήνου (+157,09%), του Αγίου Νικολάου (+127,30%), της Σίφνου (+112,07%), και της Ύδρας (102,32%), ενώ μπαίνουν στο χάρτη της κρουαζιέρας η Πρέβεζα, η Άνδρος και η Ίος. Η περασμένη χρονιά της κρουαζιέρας, παρά τη θετικότητα της δεν ευνόησε τη Φολέγανδρο (-61,68%), την Πάτρα (-41,02%), το Βόλο (-28,36%), την Κω (-6,13%), τη Σάμο (-9,63%), τη Σύρο (-7,18%) και την Ηγουμενίτσα (-3,63%).

Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο για τη χρονιά που πέρασε για την αγορά κρουαζιέρας είναι η επιλογή των ελληνικών λιμανιών για homeporting. Όπως είναι αναμενόμενο το λιμάνι του Πειραιά πρωτοστατεί στο homeporting με 525 αφίξεις και 880.800 επιβάτες που ξεκίνησαν και τελείωσαν το ταξίδι τους από τον Πειραιά. Ακολουθεί το λιμάνι της Κέρκυρας με 54 αφίξεις και 194.792 επιβάτες, το Λαύριο με 99 αφίξεις και 123.383 επιβάτες, το Ηράκλειο με 6 αφίξεις και 14.106 επιβάτες και η Θεσσαλονίκη με 31 αφίξεις και 10.000 επιβάτες. Όπως αποδεικνύεται και από τα προαναφερθέντα,

η αγορά της κρουαζιέρας στη χώρα μας αποτελεί σημαντική παράμετρο ανάπτυξης τόσο για τις τοπικές κοινωνίες όσο και για την εθνική οικονομία. Σε συνδυασμό με την περαιτέρω αύξηση του homeporting, αλλά και την εξέλιξη των υποδομών μπορεί να δώσει ακόμη μεγαλύτερες προοπτικές για επιπλέον θέσεις εργασίας και ευκαιρίες στην αγορά. Ευοίωνες είναι οι προβλέψεις με βάση τα στοιχεία των προκρατήσεων των κρουαζιερόπλοιων στα ελληνικά λιμάνια για το 2024 με τις εκτιμήσεις να κυμαίνονται σε αύξηση γύρω στο 10% στις αφίξεις και γύρω στο 15% στον αριθμό των επιβατών που αναμένονται φέτος στα λιμάνια μας.

Την συνεχιζόμενη αυτή ανάπτυξη αγκαλιάζει και η ένωση CLIA, η οποία φέρνει στο προσκήνιο μια πρόταση σχεδίου δράσης για την ανάπτυξη της κρουαζιέρας στην Ελλάδα για τα επόμενα πέντε χρόνια, που ως βασικό στόχο έχει να βοηθήσει τον τομέα της κρουαζιέρας να ανθίσει περαιτέρω στη χώρα.

Το Σχέδιο Δράσης της CLIA βασίζεται σε πέντε πυλώνες:

1. Επέκταση της τουριστικής σεζόν και ανάδειξη νέων προορισμών σε τοπικό επίπεδο καθώς και ενθάρρυνση συνεργασιών μεταξύ των χωρών της Ανατολικής Μεσογείου.
2. Δημιουργία λιμενικών υποδομών και περιβάλλοντος λειτουργίας, που περιλαμβάνουν την ανάπτυξη συστήματος και πολιτικής κατανομής θέσεων ελλιμενισμού (berth management system) σε τοπικό επίπεδο για τον προσεκτικό σχεδιασμό των αφίξεων και αναχωρήσεων κρουαζιερόπλοιων.
3. Ανάπτυξη πρακτικών βιώσιμου τουρισμού, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για σχέδια διαχείρισης προορισμών για τους δημοφιλείς προορισμούς.
4. Ανάπτυξη λύσεων παράκτιας ενεργειακής υποστήριξης που θα συνεργάζονται με τις περιβαλλοντικές τεχνολογίες που αναπτύσσονται πάνω στα πλοία και παράλληλη υποστήριξη της παραγωγής και της προμήθειας βιώσιμων καυσίμων πλοίων, στα οποία η Ελλάδα μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο ως ναυτικό έθνος.
5. Την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των Ελλήνων για το ναυτικό επάγγελμα και τις ευκαιρίες απασχόλησης στον κλάδο της κρουαζιέρας, καθώς και την ταυτόχρονη ανάπτυξη των δεξιοτήτων της επόμενης γενιάς ναυτικών.

Στον πίνακα 1 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα στοιχεία αφίξεων κρουαζιέρας για τα έτη 2022 και 2023 σε όλη τη χώρα, όπως έχουν δημοσιευθεί από την Ένωση Λιμένων Ελλάδος.

 ΕΝΩΣΗ ΛΙΜΕΝΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ					
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΦΙΞΕΩΝ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΑΣ 2023 - 2022 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΧΩΡΑΣ					
α/α	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΙ	2023		2022	
		Αριθμός αφίξεων κ/ζ 01/01 έως 31/12/2023	Αριθμός αφίξεων επιβατικών κρουαζιέρας 01/01/ έως 31/12/2023	Αριθμός αφίξεων κ/ζ 01/01 έως 31/12/2022	Αριθμός αφίξεων επιβατικών κρουαζιέρας 01/01 έως 31/12/2022
1	ΠΕΙΡΑΙΑΣ *	760	1.500.000	677	880.416
2	ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	800	1.298.968	686	826.602
3	ΜΥΚΟΝΟΣ	749	1.192.822	608	685.918
4	ΚΕΡΚΥΡΑ	353	667.182	392	527.609
5	ΡΟΔΟΣ	371	453.832	381	370.343
6	ΚΑΤΑΚΟΛΟ	206	390.153	198	250.793
7	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	253	382.981	227	304.257
8	ΧΑΝΙΑ (ΣΟΥΔΑ)	122	217.552	121	179.681
9	ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑ-ΙΘΑΚΗ	112	160.478	132	145.373
10	ΠΑΤΜΟΣ	231	131.326	214	98.530
11	ΛΑΥΡΙΟ	99	123.383	86	94.948
12	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	74	123.218	26	20.168
13	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ *	68	60.900	61	36.670
14	ΝΑΥΠΛΙΟ	127	44.710	112	28.651
15	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	43	35.879	40	15.785
16	ΜΗΛΟΣ	81	27.315	49	14.209
17	ΒΟΛΟΣ	35	26.123	45	36.464
18	ΠΑΡΟΣ	54	24.015	62	6.830
19	ΚΑΒΑΛΑ	36	21.052	35	13.315
20	ΣΥΡΟΣ	71	14.161	75	15.257
21	ΥΔΡΑ	50	13.707	54	6.775
22	ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑ	82	13.054	66	7.432
23	ΓΥΘΕΙΟ	25	9.276	35	7.378
24	ΕΚΙΑΘΟΣ	19	7.234	27	7.143
25	ΚΙΣ	27	6.925	42	8.257
26	ΔΗΜΝΟΣ	22	6.805	27	5.551
27	ΕΥΜΗ	32	6.100	31	4.514
28	ΣΠΕΤΣΕΣ	21	5.348	35	4.937
29	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	9	4.463	14	3.676
30	ΙΤΕΑ	46	4.326	38	3.599
31	ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	7	4.166	11	4.323
32	ΠΥΛΟΣ	17	3.825	23	3.092
33	ΝΑΞΟΣ	32	2.987	6	886
34	ΧΙΟΣ	15	2.612	10	389
35	ΣΙΦΝΟΣ	29	2.477	18	1.168
36	ΠΑΡΓΑ	9	2.125	13	1.348
37	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	7	1.876	13	1.115
38	ΡΕΘΥΜΝΟ	29	1.764	14	669
39	ΣΚΟΠΕΛΟΣ	9	1.721	9	905
40	ΣΑΜΟΣ	8	1.126	9	1.246
41	ΚΑΛΥΜΝΟΣ	24	983	13	504
42	ΚΥΘΗΡΑ	16	839	12	788
43	ΤΗΝΟΣ	4	761	9	296
44	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	6	555	1	46
45	ΠΙΡΕΒΕΖΑ	9	479	0	0
46	ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ	9	425	10	1.109
47	ΠΑΤΡΑ	13	404	13	685
48	ΑΝΔΡΟΣ	3	399	0	0
49	ΙΟΣ	6	338	0	0
50	ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	0	0	0	0
51	ΣΗΤΕΙΑ	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ:		5.230	7.003.150	4.780	4.629.650

* Τα στατιστικά των Λιμανιών του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης δίνονται κατά προσέγγιση

Πίνακας 1. Συνολικά Στοιχεία αφίξεων κρουαζιέρας 2022-2023 στην Ελλάδα [Πηγή: Ένωση Λιμένων Ελλάδος]

Κεφάλαιο 3: Ατμοσφαιρική Ρύπανση και μετάβαση στην Πράσινη Ναυτιλία

3.1 Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κρουαζιέρας

Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις, οι κρουαζιέρες συνεχίζουν να αποτελούν πηγή ρύπανσης που επηρεάζει τα οικοσυστήματα και εγκυμονεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Η πλεύση τους κοντά σε ακτογραμμές, η κίνησή τους εντός των λιμανιών, η παραμονή τους σε αυτά με όλες τις λειτουργίες που φέρουν, οι εργασίες συντήρησης, κατασκευής, μετασκευής και απόσυρσης σε ναυπηγεία που είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές είναι λόγοι για τους οποίους η βιομηχανία της κρουαζιέρας επιβαρύνει σημαντικά το θαλάσσιο περιβάλλον και την ατμόσφαιρα.

Θα καταγράψουμε αρχικά διάφορες πηγές ρύπανσης για να γίνει πλήρως αντιληπτό το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνει η κρουαζιέρα και στη συνέχεια θα ρίξουμε μια ματιά στα τεκταινόμενα των τελευταίων χρόνων στην Ευρώπη.

Στερεά απόβλητα, λύματα και έρμα

Αν και αποτελεί ποσοστό μικρότερο από 1% της παγκόσμιας ναυτιλιακής βιομηχανίας, εντούτοις το 25% όλων των απορριμμάτων που παράγονται από τη ναυτιλία προέρχονται από τον τομέα της κρουαζιέρας. Οι πρακτικές διαχείρισης των απορριμμάτων δεν πληρούν πάντα τις βασικές τεχνικές προϋποθέσεις, κάτι που επιφέρει εκπομπές επικίνδυνων ουσιών όπως διοξίνες, πλωτά μακροαπόβλητα, μικροπλαστικά και νανοπλαστικά, με επακόλουθες επιπτώσεις στην θαλάσσια πανίδα. Τα λύματα, συμπεριλαμβανομένων των «μαύρων υδάτων» (μολυσμένα λύματα από τουαλέτες) και «γκρίζων υδάτων» (λύματα που παράγονται από το μπάνιο και το πλύσιμο επί του σκάφους), αποτελούν επίσης ένα αυξανόμενο πρόβλημα. Τα λύματα μπορεί να προκαλέσουν μείωση του διαθέσιμου διαλυμένου οξυγόνου και την πιθανότητα για ανάπτυξη φυκιών όταν απελευθερώνονται, ιδιαίτερα σε ρηχά ή κλειστά νερά. Η παρουσία μικροοργανισμών κοπράνων και αντιβιοτικών ενώσεων στα λύματα των κρουαζιερόπλοιων θα μπορούσαν δυνητικά να οδηγήσουν στη δημιουργία βακτηρίων και άλλων επιβλαβών οργανισμών. Πολλά κρουαζιερόπλοια εξακολουθούν να επεξεργάζονται τα λύματα με παραδοσιακές συσκευές θαλάσσιας υγιεινής, οι οποίες συχνά δεν αποδίδουν τα αναμενόμενα και περιέχουν σημαντικές ποσότητες βακτηρίων, βαρέων μετάλλων και άλλων ουσιών που υπερβαίνουν τα πρότυπα ποιότητας καθαρού νερού. Ως εκ τούτου οι μεγάλες εταιρείες κρουαζιέρας έχουν κακή βαθμολογία όσον αφορά στην επεξεργασία λυμάτων, όταν για παράδειγμα το 2020 και οι 18 εταιρείες που εξετάστηκαν στην Κάρτα Αναφοράς Κρουαζιερόπλοιων (Cruise Ship Report Card) αναφέρουν βαθμολογία κάρτας «C» ή χαμηλότερα σε κλίμακα από A έως F. Άλλη πηγή μόλυνσης είναι η απόρριψη του νερού από τις σεντίνες (περιέχει υγρά από τους χώρους του μηχανοστασίου και εσωτερικών συστημάτων αποστράγγισης), το οποίο αποτελεί πηγή εκκένωσης υδρογονανθράκων ακόμα κι αν υποβάλλεται σε επεξεργασία για να μειωθεί η περιεκτικότητα σε λάδι και άλλες επιβλαβείς ουσίες. Παγκοσμίως, η χρόνια ρύπανση που προέρχεται από τα νερά από τις σεντίνες και τα καύσιμα που απελευθερώνονται στις τυπικές λειτουργίες του πλοίου είναι έως και τρεις φορές μεγαλύτερη από τη ρύπανση σε σχέση με τις καταγεγραμμένες οξείες πετρελαιοκηλίδες και συγκρούσεις. Οι εύθραυστοι βιότοποι όπως τα

λιβάδια με θαλάσσιο χόρτο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στους υδρογονάνθρακες, οι οποίοι θέτουν επίσης σε κίνδυνο πληθυσμούς θαλάσσιων πτηνών, θηλαστικών και χελωνών.

Επιπλέον, το νερό έρματος (δηλαδή το νερό που συγκρατείται από τις δεξαμενές έρματος και χρησιμοποιείται για την ευστάθεια του πλοίου στα ταξίδια του) μπορεί να περιέχει λύματα, πετρέλαιο, υδρογονάνθρακες και μικρόβια. Η απόρριψη έρματος στη θάλασσα λειτουργεί ως όχημα για την παγκόσμια κατανομή παθογόνων μικροοργανισμών και υδατογενών ασθενειών, οι οποίες μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο, στα θαλάσσια ζώα και στο υδάτινο οικοσύστημα στο σύνολό του. Τα νερά έρματος και η ρύπανση του κύτους των σκαφών γενικά (όταν τα θαλάσσια είδη προσκολλώνται στο κύτος του πλοίου), είναι μεταξύ των κύριων φορέων για την εισαγωγή μη αυτόχθονων ειδών, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν μείωση της αφθονίας και τοπικές εξαφανίσεις ιθαγενών ειδών. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι η μόλυνση των υδάτων από το θαλάσσιο έρμα και τα απόβλητα του πλοίου αυξάνει τις υδατογενείς ασθένειες, θέτοντας σε κίνδυνο όχι μόνο την ανθρώπινη υγεία, αλλά και την υγεία των φυτών και των ζώων.

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Τα λιμάνια και οι κατοικημένες παράκτιες περιοχές με μεγάλη κίνηση πλοίων επιβαρύνονται με αέρια σωματίδια που εκπέμπονται μεταξύ άλλων κι από τα κρουαζιερόπλοια. Οι εκπομπές αυτές αποτελούν μια μεγάλη, και μέχρι στιγμής ανεπαρκώς ρυθμιζόμενη, πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συγκεντρώνονται κυρίως κατά μήκος των διαδρομών των πλοίων, καθώς και κοντά σε ακτογραμμές. Για το λόγο αυτό υπάρχουν μεγάλες ανησυχίες σχετικά με τη συμβολή της ναυτιλιακής βιομηχανίας στην τοπική και παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση, με τις επιπτώσεις των εκπομπών των πλοίων να είναι πολύ μεγαλύτερες κοντά στις ακτογραμμές παρά στον ανοιχτό ωκεανό. Η ναυτιλία είναι ένας σημαντικός τομέας μεταφορών που βασίζεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων (ιδιαίτερα του βαρέος μαζούτ) ως κύρια πηγή ενέργειας. Σε αντίθεση με άλλους τρόπους μεταφοράς, τα καύσιμα πλοίων είναι λιγότερο καθαρά και τα πρότυπα για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων είναι λιγότερο αυστηρά. Τα καυσάερια που παράγονται από την καύση του βαρέος μαζούτ περιέχουν υψηλά επίπεδα **οξειδίων του θείου (SOx)**, **οξείδια του αζώτου (NOx)**, βαρέα μέταλλα και υδρογονάνθρακες. Στοιχεία από νέες μελέτες έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια, τονίζοντας το πρόβλημα της παγκόσμιας ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την κρουαζιέρα και άλλα πλοία (Transport and Environment, 2019). Η εικόνα 7 δείχνει το Heatmap των εκτιμώμενων εκπομπών NOx από κρουαζιερόπλοια στα ευρωπαϊκά ύδατα που μπορεί να χρησιμεύσει ως ένδειξη των ευρύτερων επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



Εικόνα 7. Heatmap εκπομπών NOx από Κρουαζιερόπλοια σε αποκλειστικές οικονομικές ζώνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. [Πηγή: Transport and Environment (2019)]

Η όξινη βροχή που προκαλείται από τις εκπομπές SOx και NOx μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις από την τοποθεσία εκπομπής και να βλάψει την πράσινη κάλυψη σε παράκτιες περιοχές. Επιπλέον, τα NOx και SOx που εκπέμπονται από τα πλοία συμβάλλουν στην μεταβολή του pH του νερού των ωκεανών, ενώ το NOx είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη ρύπανση του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους. Επίπεδα NOx σε ζώνες έντονης κυκλοφορίας κρουαζιέρας όπως τα φιόρδ της Νορβηγίας πολλές φορές υπερβαίνουν τις τιμές που θα μπορούσαν να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία, την ώρα που τα NOx μαζί με σωματίδια αιθάλης και υδρατμών συμβάλλουν επίσης στο σχηματισμό νεφών καπνού. Οι εκτιμήσεις στην Ευρώπη δείχνουν ότι παρά τις σημαντικές μειώσεις, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του παγκόσμιου ορίου σε 0,5% περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα πλοίων από το 2020, οι αναμενόμενες συνεισφορές από τις εκπομπές αυτές στα κρουαζιερόπλοια θα παραμείνουν πολύ μεγαλύτερες σε αναλογία με το στόλο των ιδιωτικών αυτοκινήτων. Πρόσφατες μελέτες που ανατέθηκαν από τις εταιρείες κρουαζιέρας υποστηρίζουν, ότι τα πλοία που λειτουργούν με προηγμένα συστήματα ποιότητας αέρα (συστήματα καθαρισμού καυσαερίων ή «scrubbers») ανταποκρίνονται σταθερά ή και υπερτερούν των βιομηχανικών κριτηρίων αναφοράς για τον αέρα και το νερό που έχουν καθοριστεί από διεθνείς οργανισμούς όπως ο IMO, η Ευρωπαϊκή Ένωση ή η Περιβαλλοντική Υπηρεσία Προστασίας των Η.Π.Α. Ωστόσο, άλλες μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα καυσαέρια κρουαζιερόπλοιων εξακολουθούν να περιέχουν τοξικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων και υδρογονανθράκων, και υπογραμμίζουν τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που συνδέονται με το νερό απόρριψης από τις πλυντρίδες. Στην πραγματικότητα, η νομοθεσία για την εκκένωση από τις πλυντρίδες είναι ασυνεπής μεταξύ των χωρών και συχνά θεωρείται ανεπαρκής για την προστασία του περιβάλλοντος.

Επιπρόσθετα, η χρήση καυσίμων όπως Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil, απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες **διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)** στην ατμόσφαιρα, το οποίο

είναι ένα από τα κύρια αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου δημιουργούνται από τουρίστες κρουαζιερόπλοιων γενικότερα, με ιδιαίτερα ψηλά επίπεδα για όσους επισκέπτονται την ανταρκτική. Η έρευνα για τους συντελεστές εκπομπών για επιμέρους τομείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας, όπως για παράδειγμα ο υπολογισμός των εκπομπών άνθρακα ανά επιβάτη ανά χιλιόμετρο (p-km) για κρουαζιερόπλοια, είναι περιορισμένη. Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι η κρουαζιέρα είναι δραστηριότητα υψηλής έντασης άνθρακα. Στην πραγματικότητα, η κρουαζιέρα έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας τρόπος διεθνούς μεταφοράς με μεγαλύτερη ένταση άνθρακα από την αεροπορία. Οι μεγάλες εταιρείες κρουαζιέρας θεωρείται ότι έχουν χαμηλές επιδόσεις στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2020 όλες εκτός από μία από τις 18 εταιρείες που εξετάστηκαν στην Κάρτα Αναφοράς Κρουαζιερόπλοιων, πέτυχαν βαθμολογία κάρτας «C» ή χαμηλότερη. Παρά το όριο 0,5% για το θείο στα καύσιμα πλοίων που απαιτείται παγκοσμίως από το 2020 σύμφωνα με τη Σύμβαση MARPOL, μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει ιδιαίτερα συστηματική παρακολούθηση από τις δημόσιες αρχές για τις απορρίψεις πλοίων και η ποιότητα των καυσίμων παρακολουθείται σπάνια. Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει συνδεθεί στενά με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία όπως αναπνευστικές παθήσεις (π.χ. πνευμονοπάθεια, άσθμα), καρδιαγγειακές παθήσεις, εγκεφαλικό κ.α. Κάθε ένα από τα αέρια και σωματιδιακά συστατικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από κρουαζιέρες μπορεί να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, τα SO_x και NO_x μπορούν να προκαλέσουν πρόωρο θάνατο, μεταξύ άλλων από καρκίνο του πνεύμονα ή καρδιακές παθήσεις.

Ηχορύπανση

Η ηχορύπανση είναι μια μία πανταχού παρούσα μορφή θαλάσσιας ρύπανσης, ιδιαίτερα οξεία σε πολυσύχναστες θαλάσσιες διαδρομές. Η μακροχρόνια έκθεση σε υψηλής έντασης ήχους έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της συμπεριφοράς και της χρήσης του ενδιαιτήματος από ορισμένα είδη ψαριών και θηλαστικών. Ο θόρυβος που δημιουργείται από ένα κρουαζιερόπλοιο καθώς και οι σχετικές λειτουργίες του τερματικού, επηρεάζουν όχι μόνο τη θαλάσσια πανίδα, αλλά και τα άτομα που βρίσκονται στο σκάφος (πλήρωμα και επιβάτες, άμεσα εκτεθειμένα σε επίπεδα ηχητικής πίεσης), τους εργαζόμενους στο λιμάνι και τους κατοίκους στις περιοχές κοντά στην ακτογραμμή και τα λιμάνια. Οι υπάρχουσες απαιτήσεις που αφορούν στην αξιολόγηση της άνεσης και της υγείας του πληρώματος και των επιβατών, συχνά στηρίζονται σε απλούς δείκτες που βασίζονται στα επίπεδα θορύβου, χωρίς προβλέψεις για το χρόνο έκθεσης στο θόρυβο. Υπάρχουν λίγες μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις του θορύβου και των κραδασμών που δημιουργούνται από τις κρουαζιέρες στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Είναι πάντως ένα κρίσιμο θέμα που αξίζει περαιτέρω διερεύνηση. Αν και κάποιες μελέτες που έγιναν από λιμενικές αρχές όπως π.χ. του Αμβούργου και της Βαρκελώνης δείχνουν ότι ο θόρυβος από την κρουαζιέρα δεν φαίνεται σημαντικό πρόβλημα, άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε άλλα λιμάνια όπως το Korper στη Σλοβενία ή το Charleston στις Ηνωμένες Πολιτείες υποστηρίζουν το αντίθετο. Σε κάθε περίπτωση, ο περιβαλλοντικός θόρυβος που δημιουργείται από τα αγκυροβολημένα πλοία είναι υπαρκτό πρόβλημα σε αρκετές πόλεις και λιμάνια, γι' αυτό θα πρέπει να αντιμετωπιστεί διεθνώς.

Διάλυση πλοίου

Έντονη είναι η ανησυχία για τα βαρέα μέταλλα και τις τοξικές ουσίες που προκύπτουν από τη βιομηχανία διάλυσης πλοίων –συμπεριλαμβανομένων των κρουαζιερόπλοιων- η οποία διαλύει παλιά και παροπλισμένα πλοία, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση πολύτιμων υλικών. Σήμερα τα 2/3 ή περισσότερα των πλοίων αποσυναρμολογούνται σε παραλίες και όχθες ποταμών αναπτυσσόμενων χωρών όπως το Μπαγκλαντές, η Ινδία και η Τουρκία. Η ανακύκλωση μετάλλων scrap από πλοία μειώνει την ανάγκη για εξόρυξη και γίνεται ζωτικό μέρος της κυκλικής οικονομίας. Ωστόσο, καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας διάλυσης, οι εργαζόμενοι είναι εκτεθειμένοι σε τοξικά υπολείμματα και βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδος, κάδμιο, χρώμιο και υδράργυρος και άλλες τοξικές ουσίες όπως PCB, αμίαντος και λάδι. Όλες αυτές οι ουσίες θέτουν σε κίνδυνο τόσο την υγεία των εργατών, όσο και αυτή των κατοίκων στις γύρω περιοχές. Οι εκπομπές μεταδίδονται στην ατμόσφαιρα και στο θαλάσσιο περιβάλλον και μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση ακόμα και στο πόσιμο νερό. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία μεγεθύνονται, αν λάβουμε υπόψη ότι η αγορά της διάλυσης κρουαζιερόπλοιων έχει ανθίσει λόγω της κρίσης που έφερε στον κλάδο η πανδημία του Covid-19. Καθώς όμως η ευαισθητοποίηση σχετικά με τη βιομηχανία αυτή έχει αυξηθεί, υπάρχει έντονη πίεση για επενδύσεις στη βιωσιμότητα της διάλυσης πλοίων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα επιβατηγά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια που περιέχουν ένα ευρύ φάσμα σύνθετων υλικών που είναι πολύ δύσκολα σε διαχωρισμό και ανακύκλωση.

Ατυχήματα

Τα ατυχήματα κρουαζιερόπλοιων αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό κίνδυνο και όχι μόνο. Οι πετρελαιοκηλίδες που δύνανται να μολύνουν εύθραυστους βιότοπους καθώς και πιθανή ανθρώπινη τραγωδία, είναι περιπτώσεις που πάντα είναι ορατές. Πολύ λίγες μελέτες έχουν ασχοληθεί με τον κίνδυνο αυτό. Ωστόσο, υπάρχουν υποψίες ότι ορισμένες εταιρείες κρουαζιέρας έχουν σκόπιμα παραβιάσει νόμους, κανόνες και κανονισμούς, γι' αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε τις ανησυχίες για τη συντριπτική πλειοψηφία των θαλασσών που δεν παρακολουθούνται επαρκώς.

Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η κατασκευή λιμενικών υποδομών για κρουαζιερόπλοια και άλλες δραστηριότητες θαλάσσιων μεταφορών μπορούν επίσης να οδηγήσουν στην επιδείνωση των φυσικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της εκάστοτε τοποθεσίας. Έχουν κατασκευαστεί νέα λιμάνια ή έχουν επεκταθεί υπάρχοντα για να εξυπηρετούν τον ελλιμενισμό και όλες τις ανάγκες των κρουαζιερόπλοιων. Αυτό περιλαμβάνει τη βυθοκόρηση του βυθού με αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας του νερού λόγω της αιώρησης των ιζημάτων, τα οποία αντιπροσωπεύουν μία από τις σημαντικότερες απειλές για την τοπική θαλάσσια χλωρίδα.

3.1.1 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη λόγω Κρουαζιέρας

Σύμφωνα με την έρευνα της “Transport and Environment”, η μόλυνση από τα κρουαζιερόπλοια στα πολυσύχναστα λιμάνια της Ευρώπης, έχει επανέλθει στα προ-Covid επίπεδα, αφήνοντας έτσι πολλές πόλεις εκτεθειμένες στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Σε σύγκριση με το έτος 2019, ο αριθμός των κρουαζιερόπλοιων, ο χρόνος που πέρασαν στα λιμάνια και τα καύσιμα που κατανάλωναν αυξήθηκαν κατά περίπου ένα τέταρτο (23-24%). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της τάξης του 9% σε εκπομπές SO_x, 18% σε NO_x, και 25% στις εκπομπές PM_{2.5}. Η ανάλυση δείχνει ότι παρά την εισαγωγή του ορίου θείου (0,5%) το 2020, τα 218 κρουαζιερόπλοια της Ευρώπης εξέπεμψαν περισσότερα οξείδια του θείου από 1 δισεκατομμύριο αυτοκίνητα το 2022, ή περίπου 4,5 φορές περισσότερο από όλα τα αυτοκίνητα της ηπείρου.

Πιο αναλυτικά για το έτος 2022, οι εκπομπές από 214 κρουαζιερόπλοια έφτασαν τους 509 τόνους SO_x, 19,125 τόνους NO_x και 448 τόνους PM_{2.5} γύρω από ευρωπαϊκά λιμάνια. Η δραστηριότητα των κρουαζιερόπλοιων στην Ευρώπη σαφώς συνεχίζει να αυξάνεται χρόνο με το χρόνο και το ίδιο συμβαίνει και με την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς τα πρότυπα θαλάσσιων ρύπων γύρω από τα λιμάνια δεν έχουν βελτιωθεί εδώ και πολλά χρόνια. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων για το 2022, σε σύγκριση με το 2019 αντίστοιχα για τα ευρωπαϊκά λιμάνια.

Year	Number of cruise ships	Time spent around ports (hours)	Total fuel consumption (t)	Total SO _x (t)	Total NO _x (t)	Total PM _{2.5} (t)
2019	173	263,624	332,124	465	16,140	360
2022	214	324,387	411,023	509	19,125	448

Πίνακας 2. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στα ευρωπαϊκά λιμάνια για τα έτη 2019-2022. [Πηγή: Transport and Environment]

Ο λόγος για τον οποίο τα SO_x και NO_x δεν αυξήθηκαν τόσο όσο η κατανάλωση καυσίμου είναι ότι περισσότερα πλοία χρησιμοποίησαν scrubbers ή LNG με την πάροδο του χρόνου. Ένα από τα πολλά προβλήματα με τα πλυντήρια όμως είναι, ότι η χρήση τους με HFO (2,6% θείο) για συμμόρφωση με τα πρότυπα θείου (0,1%) αυξάνει τις εκπομπές PM_{2.5} κατά 61% σε σύγκριση με τη χρήση MGO (0,1% θείο). Αυτό εξηγεί γιατί οι εκπομπές PM_{2.5} έχουν αυξηθεί ακόμη περισσότερο από την κατανάλωση καυσίμου. Αυτό που είναι χειρότερο ωστόσο, είναι ότι παρά την αύξηση της κίνησης και των εκπομπών των κρουαζιερόπλοιων, ο συνολικός αριθμός επιβατών κρουαζιέρας έχει μειωθεί. Έτσι, η βιομηχανία της κρουαζιέρας μόλυνε περισσότερο το περιβάλλον για να μεταφέρει λιγότερους ανθρώπους το 2022 από ό,τι το 2019. Ο πίνακας 3 κατατάσσει τις πιο μολυσμένες πόλεις-λιμάνια στην Ευρώπη με βάση την ποσότητα SO_x που εκπέμπουν τα κρουαζιερόπλοια που μετακινούνται από και προς αυτές το 2022. Συγκρίνεται το SO_x που εκπέμπουν τα κρουαζιερόπλοια με αυτό του στόλου αυτοκινήτων σε κάθε πόλη. Ομοίως με το 2019, η ρύπανση SO_x από κρουαζιέρες γύρω από πόλεις-λιμάνια το 2022 παρέμεινε πολλές φορές υψηλότερη σε σύγκριση με τη ρύπανση από αυτοκίνητα σε αυτές τις πόλεις. Αυτό αναδεικνύει την αργή πρόοδο για τη μείωση της ρύπανσης που σχετίζεται με

τις κρουαζιέρες στις περισσότερες τουριστικές πόλεις. Οι εκπομπές NOx από κρουαζιερόπλοια - και η ρύπανση από PM_{2.5} σε μικρότερο βαθμό - αντιπροσωπεύουν επίσης ένα σημαντικό μερίδιο παρόμοιων ρύπων με στόλους αυτοκινήτων. Η κατάταξη εξακολουθεί να κυριαρχείται από ισπανικές και ιταλικές πόλεις, ακολουθούμενες πλέον από ελληνικές, ως συνέπεια της αυξανόμενης κίνησης κρουαζιέρας κατά μήκος των ελληνικών ακτών.

Ranking	Country	Port cities	Number of cruise ships calling at port	Time spent around ports (hours)	SO _x from cruise ships (kg)	Number of registered LDVs in port cities	SO _x from registered LDVs (kg)	Ratio of SO _x from cruise ships and LDVs
1	ESP	Barcelona	106	10,693	18,277	531,749	6,481	2.82
2	ITA	Civitavecchia	103	9,793	16,307	34,139	416	39.19
3	GRC	Piraeus	84	8,776	12,418	-	-	-
4	ESP	Palma Mallorca	79	6,930	12,285	248,207	3,025	4.06
5	PRT	Lisbon	108	5,407	11,132	374,855	4,569	2.44
6	DEU	Hamburg	47	3,993	10,445	813,847	9,919	1.05
7	GBR	Southampton	45	6,690	9,676	93,390	1,138	8.50
8	GRC	Mykonos	56	5,716	9,670	-	-	-
9	GRC	Thira	69	5,771	9,221	-	-	-
10	PRT	Funchal	96	5,275	9,041	-	-	-
11	ITA	Napoli	68	4,860	8,863	551,373	6,720	1.32
12	FRA	Marseille	75	4,744	8,763	369,433	4,503	1.95
13	ITA	Genova	31	3,595	8,546	267,822	3,264	2.62
14	SWE	Stockholm	49	3,433	7,815	358,540	4,370	1.79
15	DEU	Kiel	39	2,690	7,530	87,057	1,061	7.10
16	ITA	Livorno	53	4,192	7,262	87,723	1,069	6.79
17	MLT	Valletta	69	3,467	6,900	313,177	3,817	1.81
18	FRA	Le Havre	40	1,758	6,538	74,649	910	7.19
19	NOR	Port of Bergen	79	5,260	6,433	77,654	946	6.80
20	ESP	Santa Cruz De Tenerife	80	5,138	6,380	119,464	1,456	4.38
21	GRC	Rodhos	50	3,742	6,190	-	-	-
22	ESP	Malaga	107	3,453	5,743	275,888	3,362	1.71
23	GRC	Corfu (Kerkira)	55	3,573	5,540	-	-	-
24	DNK	Kobenhavn	70	4,261	5,535	169,654	2,068	2.68
25	EST	Tallinn	45	2,087	5,408	145,426	1,772	3.05
26	DEU	Rostock	30	1,847	5,302	128,424	1,565	3.39
27	ESP	Cadiz	97	3,210	5,195	44,288	540	9.62
28	BEL	Zeebrugge	51	1,698	5,110	56,880	693	7.37
29	ESP	Valencia	73	2,819	4,725	361,390	4,405	1.07
30	HRV	Split	44	2,745	4,559	89,473	1,090	4.18

Πίνακας 3. Εκπομπές SO_x από κρουαζιερόπλοια και αυτοκίνητα στις 30 πιο μολυσμένες από κρουαζιερόπλοια πόλεις-λιμάνια της Ευρώπης για το 2022 [Πηγή: Transport and Environment]

3.2 Κανονισμοί και συμβάσεις του IMO

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO: International Maritime Organization) είναι ένας εξειδικευμένος οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών που είναι υπεύθυνος για τη βελτίωση της ασφάλειας της διεθνούς ναυτιλίας και την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία. Εμπλέκεται επίσης σε νομικά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένων θεμάτων ευθύνης, αποζημίωσης και διευκόλυνσης της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας. Καθιερώθηκε μέσω μιας σύμβασης που εγκρίθηκε υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών στη Γενεύη στις 6 Μαρτίου 1948 και συνήλθε για πρώτη φορά τον Ιανουάριο του 1959. Ο IMO έχει επί του παρόντος 176 κράτη μέλη. Υπάρχουν 66 διακυβερνητικές οργανώσεις που έχουν καθεστώς παρατηρητή και 85 διεθνείς μη κυβερνητικές οργανώσεις με συμβουλευτικό καθεστώς. Ο Οργανισμός διευθύνεται από τον Γενικό Γραμματέα που υποστηρίζεται από μια Γραμματεία και περίπου 300 μέλη διεθνές προσωπικό που εδρεύει στα κεντρικά γραφεία του IMO στο Λονδίνο. Οι Γενικοί Γραμματείς διορίζονται για δύο το πολύ θητείες, η καθεμία διάρκειας τεσσάρων ετών. Η Συνέλευση του IMO αποτελείται από όλα τα κράτη μέλη και είναι το ανώτατο διοικητικό όργανο του Οργανισμού. Είναι αρμόδιο για την έγκριση του προγράμματος εργασίας, την ψήφιση του προϋπολογισμού και τον καθορισμό των οικονομικών ρυθμίσεων του IMO. Το Συμβούλιο του IMO εκλέγεται από τη Συνέλευση για θητεία δύο ετών. Λειτουργεί ως εκτελεστικό όργανο του IMO και είναι υπεύθυνο, υπό τη Συνέλευση, για την εποπτεία του έργου του Οργανισμού. Ο IMO έχει πέντε κύριες επιτροπές:

- 1) Επιτροπή Ασφάλειας στη Θάλασσα (MSC)
- 2) Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC)
- 3) Νομική Επιτροπή
- 4) Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας
- 5) Επιτροπή Διευκόλυνσης

Η ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα αποτελεί βασική προτεραιότητα για τον IMO από τότε που ξεκίνησε τις εργασίες του το 1959. Με τα χρόνια, ιδιαίτερα μέσω της Επιτροπής Ασφάλειας στη Θάλασσα (MSC), έχει διαμορφώσει τον τρόπο λειτουργίας της διεθνούς ναυτιλίας. Οι κώδικες, οι συμβάσεις και οι οδηγίες αγγίζουν κάθε πτυχή της ασφάλειας της ζωής στη θάλασσα, από σωτήριες εφαρμογές, ασφάλεια πλοίων στους πόλους, οδηγίες φθορές, έως τις επικοινωνίες και πολλά άλλα.

Οι κύριοι στόχοι του IMO είναι:

1. Η βελτίωση των επιπέδων ασφάλειας στη θάλασσα και στην ξηρά.
2. Η διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού της εμπορικής ναυτιλίας.
3. Η πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης.

Για τους τρεις αυτούς βασικούς πυλώνες της δραστηριότητάς του ο IMO έχει θεσπίσει τις αντίστοιχες συμβάσεις που παρέχουν το κεντρικό πλαίσιο γύρω από το οποίο κινείται η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι 3 κυριότερες από αυτές είναι οι εξής:

- Η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα, 1974, (SOLAS 74)
- Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης της Θάλασσας από Πλοία του 1973, όπως τροποποιήθηκε από το Πρωτόκολλο του 1978, (MARPOL 73/78)

- Η Διεθνής Σύμβαση περί Προτύπων Εκπαίδευσης, Έκδοσης Πιστοποιητικών και Τήρησης Φυλακών των Ναυτικών του 1978, όπως αναθεωρήθηκε το 1995 (STCW 95).

SOLAS 74

Η κύρια Σύμβαση του IMO που εξετάζει το ζήτημα της αξιοπλοΐας των πλοίων είναι η **Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (Safety Of Life At Sea – SOLAS)**. Αφορμή για την πρώτη έκδοση της σύμβασης αυτής στάθηκε το ναυάγιο του επιβατηγού (Ε/Γ) πλοίου Τιτανικός. Η SOLAS είναι μία από τις παλαιότερες χρονολογικά συμβάσεις που αφορούν σε τεχνικά ναυτιλιακά θέματα. Σε τακτική βάση αναθεωρείται και εκσυγχρονίζεται με βάση τις ανάγκες που προκύπτουν. Οι προσπάθειες δημιουργίας της αρχικής SOLAS στη Συνδιάσκεψη του Λονδίνου (1914) κατέληξαν στην υιοθέτηση νέων διεθνών απαιτήσεων για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας για όλα τα εμπορικά πλοία: δηλαδή η παροχή στεγανών και ανθεκτικών στη φωτιά διαφραγμάτων, η παροχή σωστικών μέσων, η πρόληψη πυρκαγιών με τη χρήση συσκευών πυροσβέσεως στα Ε/Γ πλοία και η μεταφορά ραδιοτηλεγραφικού εξοπλισμού για πλοία που μεταφέρουν πάνω από 50 άτομα. Στη Συνδιάσκεψη μετείχαν 13 κράτη και η σύμβαση υιοθετήθηκε στις 20 Ιανουαρίου 1914, αλλά δεν τέθηκε σε ισχύ μέχρι τον Ιούλιο του 1915, εξαιτίας του πολέμου στην Ευρώπη. Παρόλο που τη σύμβαση υπέγραψαν μόνο 5 κράτη, υπήρξαν αρκετά από τα συμμετέχοντα κράτη που εφάρμοσαν σε μεγάλο βαθμό τους νέους κανονισμούς (Βρετανία, Γαλλία, ΗΠΑ και οι Σκανδιναβικές χώρες). Η πρώτη προσπάθεια του IMO για κατάρτιση της SOLAS, έγινε το 1960 και τέθηκε σε ισχύ το 1965, αλλά αντιμετώπισε δυσκολίες στην καθιέρωση των τροποποιήσεων της παρά την πρόθεση του οργανισμού να αναβαθμίζεται περιοδικά η σύμβαση με τον εκμοντερνισμό των διατάξεων. Η SOLAS του 1960 υποβλήθηκε σε αρκετές τροποποιήσεις τα επόμενα έτη, καμιά από τις οποίες όμως δεν τέθηκε σε ισχύ, διότι οι διαδικασίες είχαν μεγάλη καθυστέρηση. Η SOLAS του 1960 περιείχε κανονισμούς για την υποδιαίρεση και ευστάθεια των πλοίων, τις μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, την προστασία και κατάσβεση πυρκαγιάς, τα σωστικά μέσα, τη μεταφορά σιτηρών, τη μεταφορά επικινδύνων φορτίων και τα πυρηνοκίνητα πλοία. Εξαιτίας όμως των υψηλών απαιτήσεων για ενδεχόμενες τροποποιήσεις της αντικαταστάθηκε πλήρως από τη νέα Σύμβαση του 1974. Ο (τότε) γενικός γραμματέας του IMO υποστήριξε ότι η ΔΣ SOLAS μαζί με τις τροποποιήσεις της αποτελούσε τον λόγο υπάρξεως του IMO μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Η συνδιάσκεψη για τη νέα ΔΣ SOLAS πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο από την 21η Οκτωβρίου μέχρι την 1η Νοεμβρίου 1974 με τη συμμετοχή 71 κρατών. Η σύμβαση που υιοθετήθηκε είναι αυτή που σήμερα παραμένει σε ισχύ και είναι σχεδόν απίθανο να αντικατασταθεί από μία νέα έκδοσή της, διότι πλέον υπάρχει η διαδικασία «tacit acceptance» που περιλαμβάνεται στο άρθρο VIII. Τέθηκε σε ισχύ το 1980.

Ο κύριος σκοπός της SOLAS είναι να καθορίζει τις ελάχιστες προδιαγραφές για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων που είναι συμβατές με τα επίπεδα ασφαλείας. Τα κράτη της σημαίας είναι υπεύθυνα για να εξασφαλίσουν ότι τα πλοία υπό τη σημαία τους συμμορφώνονται με τις διατάξεις της, και ένας αριθμός πιστοποιητικών περιγράφονται στη σύμβαση ως απόδειξη ότι αυτό έχει ήδη γίνει. Οι διατάξεις που αφορούν σε θέματα ελέγχου, επιτρέπουν στα κράτη-μέλη της συμβάσεως να επιθεωρούν πλοία που ανήκουν σε άλλα κράτη-μέλη, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν υπόνοιες ότι το πλοίο και ο εξοπλισμός του δεν συμμορφώνονται ουσιαστικά με τις απαιτήσεις της συμβάσεως (το γνωστό port state control). Άλλωστε, η σύγχρονη αντίληψη των ΔΣ προϋποθέτει ότι, ανεξάρτητα αν η δικαιοδοσία ελέγχου ενός πλοίου ανήκει στο κράτος της σημαίας του πλοίου, θα πρέπει και το παράκτιο κράτος να ασκεί έναν βαθμό ελέγχου, στην περίπτωση που αλλοδαπά πλοία φέρουν τη σημαία κάποιου άλλου συμβαλλόμενου κράτους, εφόσον χρησιμοποιούν τα λιμάνια του. Αυτή η επισήμανση καθορίζει το γεγονός ότι, αν ένα εμπορικό πλοίο

δεν τηρεί τις προϋποθέσεις της SOLAS, οι αρμόδιες αρχές του παράκτιου κράτους μπορούν να παίρνουν τα αναγκαία μέτρα, ώστε να μην επιτραπεί ο απόπλους, εκτός εάν ο προορισμός του πλοίου είναι κάποιο λιμάνι για επισκευές χωρίς να προκαλείται κίνδυνος στο πλοίο και στο πλήρωμα.

MARPOL 73/78

Η ιδέα της δημιουργίας μίας ΔΣ που να καλύπτει όλες τις μορφές της θαλάσσιας ρύπανσης τέθηκε για πρώτη φορά το 1968 κατά τη διάρκεια της 23ης Συνόδου της ΓΣ του ΟΗΕ. Η συνέλευση του IMO αποφάσισε να συγκαλέσει μία διεθνή Συνδιάσκεψη για τη θαλάσσια ρύπανση (1973), με σκοπό την προετοιμασία μίας σύμβασης για τη μείωση της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Σ' αυτήν την πρωτοβουλία βοήθησε η διεξαγωγή της Συνδιασκέψεως των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον της Στοκχόλμης (Stockholm Agreement – SA) το 1972, όπου αναφέρθηκε ρητά ότι ήταν απαραίτητη η συμμετοχή των κρατών-μελών στη Συνδιάσκεψη του IMO, που επρόκειτο να ακολουθήσει. Η προετοιμασία της Συνδιασκέψεως ανατέθηκε στην Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας του IMO (MSC). Η διεθνής Συνδιάσκεψη για τη θαλάσσια ρύπανση πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο από τις 8-10 έως τις 2-11-1973. Οι αντιπρόσωποι των κρατών-μελών ήταν 77, ενώ άλλα 7 κράτη συμμετείχαν ως παρατηρητές. Η Συνδιάσκεψη υιοθέτησε τη **Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από τα Πλοία (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships–MARPOL)** αρχικά με τα πέντε Παραρτήματά της. Η MARPOL αντικατέστησε την προηγούμενη Σύμβαση του IMO, την OILPOL (1954) και τις τροποποιήσεις της (των ετών 1962, 1969 και 1971) και θεωρείται μία από τις σπουδαιότερες στον τομέα της θαλάσσιας ρύπανσης. Περιλαμβάνει πλέον (από το 1997) έξι Παραρτήματα και δύο Πρωτόκολλα. Τα Πρωτόκολλα της αναφέρονται σε: υποχρεωτικές αναφορές περιστατικών ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες (άρθ. 8 της Συμβάσεως) και διαδικασία διαιτησίας για διακανονισμό διαφωνιών (άρθ. 10 της Συμβάσεως). Η MARPOL είναι Σύμβαση παγκόσμιας εμβέλειας για δύο λόγους: 1) Εφαρμόζεται σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές δίχως γεωγραφικούς περιορισμούς. 2) Οι διαδικασίες υπογραφής, επικύρωσης και αποδοχής της Συμβάσεως είναι ανοιχτές για οποιοδήποτε κράτος.

Τα Παραρτήματα της Διεθνούς Συμβάσεως MARPOL 1973/1978, καθώς και η ημερομηνία η οποία τέθηκαν σε ισχύ είναι τα εξής:

- I. την αποφυγή ρύπανσης από πετρελαιοειδή (2-10-1983)
- II. τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς χημικές ουσίες χύδην (2-10-1983)
- III. την πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται δια θαλάσσης από πλοία σε συσκευασμένη μορφή (1-7-1992)
- IV. την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από τα λύματα των πλοίων (27-9-2003)
- V. V. την αποφυγή ρύπανσης από τα απορρίμματα των πλοίων (31-12-1988)
- VI. την πρόληψη ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τα πλοία (19-5-2005)

Παράρτημα I: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο.

Το Παράρτημα I της MARPOL διατηρεί τα κριτήρια απορρίψεως πετρελαίου στη θάλασσα που ορίστηκαν από την OILPOL στις τροποποιήσεις του 1969 εκτός από κάποιες εξαιρέσεις. Ο γενικός κανόνας είναι ότι απαγορεύονται οι απορρίψεις στη θάλασσα, εκτός αν πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις, τις οποίες θέτει το παράρτημα αυτό. Ορισμένες από αυτές είναι ο τύπος και το μέγεθος του πλοίου, ο χαρακτηρισμός της θαλάσσιας περιοχής, η απόσταση από τις ακτές, ο εξοπλισμός του πλοίου για τον έλεγχο της ρύπανσης, τα είδη και η προέλευση των ελαιωδών μιγμάτων/υπολειμμάτων, η περιεκτικότητα πετρελαίου στα ελαιώδη μίγματα/υπολείμματα, καθώς και ο ρυθμός και η ποσότητα του απορριπτόμενου πετρελαίου. Το παράρτημα I απευθύνεται σε κράτη, λιμενικές αρχές, φορτωτές και παραλήπτες φορτίων, πλοιοκτήτες και κυρίως τον πλοίαρχο και τους αξιωματικούς του πλοίου.

Παράρτημα II: Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύδην

Σε αυτό το Παράρτημα περιλαμβάνονται τα κριτήρια απορρίψεως και οι μέθοδοι ελέγχου της θαλάσσιας ρύπανσεως από χημικές ή/και τοξικές υγρές ουσίες, που μεταφέρονται σε χύδην μορφή. Περίπου 250 ουσίες έχουν εκτιμηθεί και περιέχονται στη σχετική λίστα του Παραρτήματος. Η απόρριψη των καταλοίπων που δημιουργούν τα πλοία επιτρέπεται να γίνεται μόνο στους ΕΥΚ (σταθμούς ή ευκολίες υποδοχής καταλοίπων), με την προϋπόθεση ότι λαμβάνεται υπόψη η κατηγορία των ουσιών. Σε κάθε περίπτωση, καμία απόρριψη τοξικών ουσιών δεν μπορεί να γίνει σε απόσταση μικρότερη των 12 ν.μ. από την πλησιέστερη ακτή. Αυστηρότερες ρυθμίσεις υπάρχουν για τη Βαλτική και τη Μαύρη Θάλασσα.

Παράρτημα III: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή

Το Παράρτημα III είναι το πρώτο προαιρετικό παράρτημα της σύμβασης. Τα κράτη που είναι μέλη στη σύμβαση υποχρεούνται να δεχτούν τα Παραρτήματα I και II, αλλά μπορεί να επιλέξουν να μην αποδεχτούν τα υπόλοιπα παραρτήματα και για τον λόγο αυτόν πήρε πολύ περισσότερο χρόνο για να τεθούν σε ισχύ. Το Παράρτημα III είναι σχετικά μικρό και περιέχει λεπτομερείς κανόνες σχετικά με τη συσκευασία, τη σήμανση, την τοποθέτηση ετικετών, τα φορτωτικά έγγραφα, την τεκμηρίωση, την αποθήκευση, τους περιορισμούς στην ποσότητα και τις εξαιρέσεις, για την πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή, σε δοχεία, σε εμπορευματοκιβώτια, φορητές δεξαμενές ή οδικά και σιδηροδρομικά βυτιοφόρα οχήματα.

Παράρτημα IV: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα λύματα των πλοίων

Το πλήρωμα ενός εμπορικού πλοίου που πραγματοποιεί υπερπόντια ταξίδια (20-25 άτομα) δημιουργεί λύματα (sewage) οικιακής μορφής σε σταθερή βάση. Αυτά μπορεί να είναι απόβλητα αποχετεύσεων, νιπτήρων και λουτρών, χώρων του πλοίου στους οποίους υπάρχουν ζώα, ακάθαρτα νερά κάθε είδους κ.λπ.. Ευνόητο είναι ότι πολύ γρήγορα προκύπτει το πρόβλημα της διαθέσεώς τους. Σύμφωνα με αυτό το Παράρτημα ισχύουν τα εξής:

- 1) Τα λύματα θα απορρίπτονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 12 ν.μ. από την πλησιέστερη ακτή.

- 2) Επιτρέπεται όμως να απορριφθούν σε απόσταση μεγαλύτερη των 4 ν.μ. με την προϋπόθεση να πολτοποιούνται και να απολυμαίνονται με συστήματα εγκεκριμένα από τις αρμόδιες κρατικές αρχές.
- 3) Θα μπορούν να απορρίπτονται οπουδήποτε εάν το πλοίο διαθέτει εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, αλλά με αργό ρυθμό και όταν η ταχύτητα του πλοίου είναι μεγαλύτερη από 4 knots/h.

Επιπρόσθετα σύμφωνα με το Παράρτημα IV, τα πλοία υπόκεινται σε επιθεωρήσεις ώστε να πιστοποιείται ότι συμμορφώνονται με τις διατάξεις του παραρτήματος. Συγκεκριμένα, υπόκεινται σε μια αρχική επιθεώρηση προτού τεθούν σε υπηρεσία ή πριν από την έκδοση του Πιστοποιητικού Πρόληψης της Ρύπανσης από τα Λύματα, στην οποία εξασφαλίζονται τα ακόλουθα:

1. Το πλοίο διαθέτει εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, η οποία ικανοποιεί τις λειτουργικές απαιτήσεις που βασίζονται στα πρότυπα και τις μεθόδους δοκιμής που αναπτύσσονται από τον Οργανισμό.
2. Το πλοίο διαθέτει σύστημα πολτοποίησης και απολύμανσης των λυμάτων, το οποίο είναι εγκεκριμένο από την Αρχή.
3. Το πλοίο διαθέτει δεξαμενή συγκράτησης, η χωρητικότητά της οποίας είναι ικανοποιητική για τη συγκράτηση όλων των λυμάτων, έχοντας υπόψη τη λειτουργία του πλοίου και τον αριθμό των ατόμων που επιβαίνουν σε αυτό. Η δεξαμενή συγκράτησης πρέπει επίσης να διαθέτει μέσα οπτικής ένδειξης της ποσότητας του περιεχομένου της.
4. Το πλοίο εξοπλίζεται με σωλήνωση που καταλήγει στο εξωτερικό, κατάλληλη για παράδοση λυμάτων σε εγκαταστάσεις υποδοχής και η σωλήνωση αυτή διαθέτει πρότυπο σύνδεσμο ξηράς.

Παράρτημα V: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα απορρίμματα των πλοίων

Το πλήρωμα ενός εμπορικού πλοίου παράγει μεγάλη ποσότητα απορριμμάτων (garbage) κάθε είδους. Αυτά μπορεί να είναι υπολείμματα τροφών, κουτιά, χαρτιά, πλαστικά, σακούλες κ.ά., τα οποία κάθε άλλο παρά αποτελούν αμελητέα ποσότητα. Ευνόητο είναι ότι η απευθείας απόρριψη τόσο μεγάλων ποσοτήτων και σε σταθερή μάλιστα βάση, θα διατάρασσε αργά ή γρήγορα το θαλάσσιο οικοσύστημα. Εξάλλου πολλές φορές έχουμε γίνει μάρτυρες αντιαισθητικών εικόνων σε παράκτιες περιοχές από τη συσσώρευση απορριμμάτων. Σύμφωνα με αυτό το Παράρτημα ισχύουν τα εξής:

1) Μέσα σε ειδικές περιοχές:

- Απαγορεύεται η απόρριψη όλων των ειδών απορριμμάτων εκτός των τροφίμων.
- Επιτρέπεται η απόρριψη, σε απόσταση μεγαλύτερη των 12 ν.μ. απ' την πλησιέστερη ακτή, υπολειμμάτων τροφίμων.

2) Έξω από ειδικές περιοχές:

- Απαγορεύεται αυστηρά η απόρριψη πλαστικών σε οποιαδήποτε θαλάσσια περιοχή. Εδώ περιλαμβάνονται τα συνθετικά σχοινιά, τα δίχτυα αλιείας και οι σάκοι απορριμμάτων.
- Επιτρέπεται η απόρριψη, σε απόσταση μεγαλύτερη των 3 ν.μ. από την ακτή, υπολειμμάτων τροφίμων κονιοποιημένων ή αλεσμένων, χαρτικών, κουρελιών, γυαλιών.

- Επιτρέπεται η απόρριψη, σε απόσταση μεγαλύτερη των 12 ν.μ. από την ακτή, υπολειμμάτων τροφίμων όχι κονιοποιημένων ή αλεσμένων καθώς και χαρτικών, κουρελιών, γυαλιών μεταλλικών φιαλών και παρομοίων απορριμμάτων.
- Επιτρέπεται η απόρριψη υλικών στοιβασίας, επενδύσεων, συσκευασίας, που επιπλέον, με την προϋπόθεση ότι το πλοίο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 25 ν.μ. από την ακτή.

Συμπληρωματικά στις πλωτές εξέδρες επιτρέπεται η απόρριψη μόνο κονιοποιημένων ή αλεσμένων υπολειμμάτων τροφίμων σε απόσταση μεγαλύτερη των 12 ν.μ. από την ακτή. Εδώ επίσης ανήκουν όλα τα πλοία που βρίσκονται σε απόσταση 500 m από τις ακτές. Όμως, οι κανονισμοί του Παραρτήματος δεν εφαρμόζονται όταν:

- Η απόρριψη είναι αναγκαία για την ασφάλεια του πλοίου, του πληρώματος και των επιβατών και για τη διάσωση ανθρώπου στη θάλασσα.
- Διαφύγουν απορρίμματα λόγω ζημιάς του πλοίου ή του εξοπλισμού του και εφόσον έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή ρυπάνσεως πριν και μετά τη ζημιά.
- Λόγω ατυχήματος απωλεσθούν συνθετικά αλιευτικά δίκτυα και εφόσον έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή της απώλειας

Ο IMO έχει εκδώσει οδηγίες για την ελάττωση των απορριμμάτων επί του πλοίου, για τη διαχείριση και αποθήκευσή τους στο πλοίο με τις μεθόδους συγκέντρωσης και διαχωρισμού, επεξεργασίας, αποθήκευσης και παράδοσης στην ξηρά ή απόρριψης στη θάλασσα. Το 2011 ο IMO υιοθέτησε εκτεταμένες τροποποιήσεις στο εν λόγω Παράρτημα, οι οποίες τέθηκαν σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2013 και ουσιαστικά απαγορεύουν την απόρριψη όλων των απορριμμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον εκτός, εάν προβλέπεται κάποια εξαίρεση, υπό ιδιαίτερες συνθήκες.

Παράρτημα VI : Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τα πλοία

Στο πλαίσιο του νέου πρωτοκόλλου στη σύμβαση της MARPOL 73/78, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ενέκρινε το 1997 το Παράρτημα VI το οποίο περιλαμβάνει κανονισμούς για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Με τις διατάξεις του εν λόγω παραρτήματος θεσπίζονται ενιαίοι κανόνες που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Ειδικότερα, περιλαμβάνονται ρυθμίσεις με τις οποίες καθορίζονται οι ανώτατα επιτρεπόμενες περιεκτικότητες σε θείο στα καύσιμα πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα πλοία, τα επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου για τις μηχανές πετρελαίου των πλοίων, καθώς και τα μέτρα που έχουν ληφθεί σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την υποδοχή πλοίων στα οποία μπορεί να απαιτηθεί η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).

STCW 95

Η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας συμβαδίζει με την εκπαίδευση των ναυτικών στην εφαρμοζόμενη τεχνολογία και στην πρόληψη/καταπολέμηση της θαλάσσιας ρυπάνσεως με τεχνολογικά μέσα. Εξίσου σημαντική με την θέσπιση τεχνικών χαρακτηριστικών και κανόνων λειτουργίας των πλοίων, είναι και η απόδοση των ναυτικών στην επαγγελματική τους ζωή. Είναι υψίστης σημασίας να διασφαλίζεται, ότι κάθε ναυτικός είναι επαρκώς εκπαιδευμένος για την εκτέλεση των καθηκόντων του, καθώς και ότι οι συνθήκες εργασίας και διαβίωσης στο πλοίο είναι οι κατάλληλες. Ας μην ξεχνάμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ναυτικών ατυχημάτων οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος. Προκειμένου να διασφαλίζεται ότι το πλήρωμα κάθε πλοίου είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο και

πιστοποιημένο, ότι διαθέτει τις απαραίτητες ώρες ανάπαυσης και ότι εργάζεται υπό κατάλληλες συνθήκες, δημιουργήθηκε η Σύμβαση για τα Πρότυπα Πιστοποιητικών Εκπαιδύσεως και Τηρήσεως Φυλακών των Ναυτικών (Convention on the Standards of Training, Certification and Watchkeeping of Seafarers – STCW). Η Σύμβαση αυτή υιοθετήθηκε στις 7 Ιουλίου 1978 και τέθηκε σε ισχύ το 1984. Οι προηγούμενες προσπάθειες για την καθιέρωση μίας τέτοιας Σύμβασης συνάντησαν την αντίδραση δύο πλευρών, αρχικά των πλοιοκτητών, οι οποίοι βέβαια ενδιαφέρονταν άμεσα για τα επίπεδα των μισθών, αλλά και των συνδικάτων των ναυτικών, των οποίων κύριο μέλημα ήταν η προστασία της εργασίας. Η Συνδιάσκεψη TSPP (1978) δεν επέστρεψε μόνο τις διαδικασίες επικυρώσεως των ΔΣ MARPOL και SOLAS, αλλά αποτέλεσε και την αφορμή, τέσσερεις μήνες αργότερα, να υιοθετήσει ο IMO τη STCW.

Ο σκοπός της κατάρτισης της STCW 1978 ήταν και παραμένει να είναι η καθιέρωση διεθνώς υποχρεωτικών απαιτήσεων για τη χορήγηση πιστοποιητικών (ελάχιστα όρια) σε πλοίαρχους, αξιωματικούς και πληρώματα, ιδίως γι' αυτά των αναπτυσσόμενων χωρών που βρίσκονταν στο στάδιο της ανάπτυξης των στόλων τους. Η δικαιοδοσία παραμένει στο κράτος της σημαίας του πλοίου, αλλά και το παράκτιο κράτος έχει το δικαίωμα να ασκεί έλεγχο στο αλλοδαπό πλοίο για τα πιστοποιητικά ικανότητας του πληρώματος, όπως ορίζει η εν λόγω Σύμβαση. Η STCW 1978 ήταν η πρώτη σύμβαση που έθεσε τις βασικές απαιτήσεις σε θέματα εκπαίδευσης, πιστοποίησης και τήρησης φυλακών των ναυτικών (τόσο για τους αξιωματικούς όσο και τα κατώτερα πληρώματα) σε διεθνές επίπεδο. Κατά το παρελθόν αυτά τα πρότυπα είχαν καθιερωθεί από ανεξάρτητες αρχές συνήθως δίχως αναφορά στις πρακτικές άλλων κρατών. Αυτό οδήγησε στην υπόθεση ότι τα πρότυπα και οι διαδικασίες ποικίλλουν σε ευρύ πεδίο, παρόλο που η εμπορική ναυτιλία είναι μία από τις βιομηχανίες με πιο διεθνή χαρακτήρα.

Η STCW 1978 τροποποιήθηκε και αναθεωρήθηκε (STCW 1995) με τέτοιον τρόπο, ώστε να θεωρείται σχετικά ως μία νέα Σύμβαση, που στοχεύει με εκσυγχρονισμένο τρόπο στην προαγωγή της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής και της παρουσίας στη θάλασσα αλλά και στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Μέχρι το 2001 είχαν πραγματοποιηθεί οι εξής δύο τροποποιήσεις της αναθεωρημένης Συμβάσεως: Οι τροποποιήσεις του 1997, που τέθηκαν σε ισχύ την 1/1/1999 και αφορούν στις απαιτήσεις εκπαίδευσης για πλοίαρχους, αξιωματικούς και όλες τις ειδικότητες Ε/Γ και Ε/Γ-Ο/Γ (Ro-Ro) πλοίων και οι τροποποιήσεις του 1998, οι οποίες τέθηκαν σε ισχύ την 1/1/2003 και αφορούν στα θέματα χειρισμού και στοιβασίας του φορτίου στα πλοία. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της STCW 1995 ήταν ένα τεχνικής υφής παράρτημα, που εμπεριείχε τους νέους κανονισμούς, οι οποίοι διαχωρίζονταν σε κεφάλαια όπως η προηγούμενη σύμβαση του 1978, και έναν Κώδικα, ο οποίος χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο περιλαμβάνονται τα υποχρεωτικά ελάχιστα κριτήρια τεχνογνωσίας και στο δεύτερο παρέχονται οδηγίες για την αρωγή των ατόμων-φορέων που εμπλέκονται στη διαδικασία εκπαίδευσης και αξιολόγησης της ικανότητας των ναυτικών (και γενικότερα αυτών που εμπλέκονται στην εφαρμογή των διατάξεων της STCW 1995). Ο σκοπός της τροποποιημένης STCW 1995 είναι να καθιερώσει ενιαία εκπαίδευση, πιστοποίηση, επικύρωση και αξιολόγηση των γνώσεων (δηλ. της ικανότητας, της κατανόησης και της αποδεδειγμένης δεξιότητας) των ναυτικών. Με αυτά τα πρότυπα, οι ναυτικοί θα μπορούν να εκτελούν τα καθήκοντά τους με περισσότερο ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο.

Ειδικότερα, ο Κώδικας εμπεριέχει διατάξεις που θα πιστοποιούν ότι κάθε ναυτικός έχει τις κατάλληλες ειδικές γνώσεις, την εμπειρία και την απαιτούμενη εξειδίκευση, τόσο στον χειρισμό των εξαρτημάτων πάνω στο πλοίο όσο και στις μεθόδους πρακτικής για την ενδεχόμενη αντιμετώπιση περιστατικών ασφάλειας της ναυσιπλοΐας και προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η «νέα» Σύμβαση προβλέπει ότι οι αξιωματικοί πρέπει να γνωρίζουν τις σοβαρές επιδράσεις της θαλάσσιας ρύπανσης, που προκαλείται από τις λειτουργικές απορρίψεις των πλοίων και αυτής που προκαλείται

από ατυχήματα, και να λαμβάνουν τα απαραίτητα προληπτικά μέτρα σύμφωνα με τους διεθνείς και λιμενικούς κανονισμούς.

3.2.1 Βασικοί Κανονισμοί του Παραρτήματος VI της MARPOL: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τα πλοία

Στην συνέχεια θα κάνουμε μια εκτενή αναφορά σε κάποιους από τους κανονισμούς του παραρτήματος VI της MARPOL που αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία, κομμάτι το οποίο μας ενδιαφέρει στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας.

Κανονισμός 6: Έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης της Ρύπανσης του Αέρα (IAPPC - International Air Pollution Prevention Certificate)

Εκδίδεται Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, μετά από αρχική ή ανανεωμένη έρευνα σύμφωνα με τις διατάξεις του κανονισμού 5 του παρόντος Παραρτήματος, σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 τόνων και άνω που εκτελεί ταξίδια σε λιμάνια ή υπεράκτιους τερματικούς σταθμούς υπό τη δικαιοδοσία άλλων μερών. Ένα πλοίο που ναυπηγήθηκε πριν από την ημερομηνία έναρξης ισχύος του παραρτήματος VI για τέτοια πλοία θα εκδίδεται με Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης σύμφωνα με την παράγραφο I του παρόντος κανονισμού το αργότερο μέχρι τον πρώτο προγραμματισμένο δεξαμενισμό μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος, αλλά σε καμία περίπτωση αργότερα από τρία έτη μετά την ημερομηνία αυτή. Το IAPPC εκδίδεται είτε από την Αρχή, είτε από οργανισμό εξουσιοδοτημένο από αυτήν.

Απαιτήσεις για τον έλεγχο εκπομπών από τα πλοία:

Κανονισμός 12: Ουσίες που καταστρέφουν το όζον

Με την επιφύλαξη των διατάξεων του κανονισμού 3.1, απαγορεύονται οποιεσδήποτε σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Οι σκόπιμες εκπομπές περιλαμβάνουν εκπομπές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια συντήρησης, επισκευής ή απόρριψης συστημάτων ή εξοπλισμού, εκτός από σκόπιμες εκπομπές που δεν περιλαμβάνουν ελάχιστες εκλύσεις που σχετίζονται με την ανάκτηση ή την ανακύκλωση μιας ουσίας που καταστρέφει το όζον. Εκπομπές που προκύπτουν από διαρροές ουσιών που καταστρέφει το όζον, είτε οι διαρροές είναι σκόπιμες είτε όχι, μπορούν να ρυθμίζονται από τα Μέρη. Κάθε πλοίο που υπόκειται στον κανονισμό 6.1 θα διατηρεί κατάλογο εξοπλισμού που περιέχει ουσίες που καταστρέφουν το όζον.

Κανονισμός 13: Οξείδια του αζώτου (NOx)

Ο Κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε κάθε μηχανή πετρελαίου με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, η οποία εγκαθίσταται σε ένα πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2000 και κάθε μηχανή πετρελαίου με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, η οποία υπόκειται σε μετασκευή ευρείας έκτασης μετά την 1η Ιανουαρίου 2000. Ο κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται σε μηχανές πετρελαίου έκτακτης ανάγκης (ηλεκτρογεννήτριες), μηχανές πρόωσης σωσίβιων λέμβων και σε οποιαδήποτε συσκευή ή εξοπλισμό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Η λειτουργία κάθε μηχανής πετρελαίου, στην οποία εφαρμόζεται αυτός ο κανονισμός, εγκατεστημένη σε πλοίο που ναυπηγήθηκε μετά την 1^η Ιανουαρίου 2000 και πριν από την 1^η Ιανουαρίου 2011, επιτρέπεται εφόσον οι εκπομπές NOx βρίσκονται μεταξύ των ακόλουθων ορίων, όπου n = η ονομαστική ταχύτητα της μηχανής (περιστροφές στροφαλοφόρου ανά λεπτό):

- 17.0 g/KWh όταν το n είναι μικρότερο από 130 rpm
- $45.0 \times n^{(-0.2)}$ g/KWh όταν το n είναι μεγαλύτερο ή ίσο από 130 αλλά μικρότερο από 2000 rpm
- 9.8 g/KWh όταν το n είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 2000 rpm

Οι αντίστοιχες τιμές για πλοία που ναυπηγήθηκαν μετά την 1^η Ιανουαρίου 2011 είναι οι εξής:

- 14.4 g/kWh όταν το n είναι μικρότερο από 130 rpm
- $44 \times n^{(-0.23)}$ g/kWh όταν το n είναι μεγαλύτερο ή ίσο από 130 αλλά μικρότερο από 2000 rpm
- 7.7 g/kWh όταν το n είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 2000 rpm

Οι αντίστοιχες τιμές για πλοία που ναυπηγήθηκαν μετά την 1η Ιανουαρίου 2016 είναι οι εξής:

- 3.4 g/kWh όταν το n είναι μικρότερο από 130 rpm
- $9 \times n^{(-0.2)}$ g/kWh όταν το n είναι μεγαλύτερο ή ίσο από 130 αλλά μικρότερο από 2000 rpm
- 2.0 g/kWh όταν το n είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 2000 rpm

Επίσης η λειτουργία μιας μηχανής πετρελαίου επιτρέπεται όταν παράλληλα λειτουργεί και ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο από τον Τεχνικό Κώδικα NOx ή εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη μέθοδος, εγκεκριμένη από την Αρχή, για τη μείωση των εκπομπών NOx στο πλοίο, τουλάχιστον μέχρι τα όρια που προαναφέρθηκαν.

Κανονισμός 14: Οξείδια του θείου (SOx)

Η περιεκτικότητα σε θείο οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιείται στα πλοία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα ακόλουθα όρια:

- 4.50% m/m πριν από την 1^η Ιανουαρίου 2012
- 3.50% m/m μετά την 1^η Ιανουαρίου 2012
- 0.50% m/m μετά την 1^η Ιανουαρίου 2020

Απαιτήσεις εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών:

- 1.50% m/m πριν τη 1^η Ιουλίου 2010

- 1.00% m/m μετά την 1^η Ιουλίου 2010
- 0.1 0% m/m μετά την 1^η Ιανουαρίου 2015

Κανονισμός 15: Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Στον Κανονισμό αυτό καθορίζονται γενικές απαιτήσεις και υποχρεώσεις στην περίπτωση που ένα Μέρος στο Πρωτόκολλο του 1997 σκοπεύει να καθορίσει λιμάνια ή τερματικούς σταθμούς που ανήκουν στη δικαιοδοσία του και στα οποία οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από δεξαμενόπλοια πρόκειται να αποτελέσουν αντικείμενο ρύθμισης. Στην περίπτωση αυτή το Μέρος στο εν λόγω Πρωτόκολλο θα πρέπει να διασφαλίζει ότι στα λιμάνια και στους τερματικούς σταθμούς, στους οποίους ισχύουν ειδικά μέτρα για εκπομπές VOCs, διατίθενται συστήματα ελέγχου των ατμών συγκεκριμένων πτητικών φορτίων, που λειτουργούν με ασφάλεια και χωρίς να προκαλούν αδικαιολόγητη καθυστέρηση στα δεξαμενόπλοια.

3.3 Ο ενεργός ρόλος του κλάδου της Κρουαζιέρας στην Πράσινη Ναυτιλία

Η βιωσιμότητα των κρουαζιερόπλοιων έχει γίνει αντικείμενο συζήτησης για περιβαλλοντολόγους, φορείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας, κυβερνήσεις και άλλους λόγω της πολύπλευρης επίδρασής τους στον πλανήτη και τις κοινότητες. Η ναυτιλιακή βιομηχανία προβληματίζεται για το σημαντικό αποτύπωμα άνθρακα, τη δημιουργία αποβλήτων και τον αντίκτυπο της στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Οι πόλεις-λιμάνια εξετάζουν όλο και περισσότερο την απαγόρευση ή τον περιορισμό των κρουαζιερόπλοιων λόγω ανησυχιών για τη ρύπανση. Για να ευθυγραμμιστούν τα κρουαζιερόπλοια με ευρύτερους στόχους βιωσιμότητας, θα απαιτηθούν συντονισμένες προσπάθειες από τη βιομηχανία, τις κυβερνήσεις και τους ταξιδιώτες.

Η CLIA δημοσίευσε τον Σεπτέμβριο του 2024 την ετήσια Έκθεση για τις Περιβαλλοντικές Τεχνολογίες και Πρακτικές Παγκόσμιας Βιομηχανίας Κρουαζιέρας, που δείχνει τη συνεχή πρόοδο του κλάδου στην προώθηση της περιβαλλοντικής και αειφόρου ατζέντας του, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων σε πλοία και τεχνολογίες για την απορρόφηση μεταβατικών και εναλλακτικών καυσίμων. Οι γραμμές κρουαζιέρας συνεχίζουν να μειώνουν τις εκπομπές τους στη θάλασσα επιδιώκοντας μηδενικές καθαρές εκπομπές έως το 2050. Η έκθεση περιβαλλοντικών τεχνολογιών καταδεικνύει την πρόδοό τους, με τη βιομηχανία να επενδύει σε τεχνολογίες κινητήρων με δυνατότητες μετατροπής που θα επιτρέψουν στα πλοία να χρησιμοποιούν περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς γίνονται διαθέσιμες και να κάνει σημαντικά βήματα για να χρησιμοποιήσει μια σειρά από άλλες περιβαλλοντικές τεχνολογίες και πρακτικές, ώστε να προωθήσει τις ευρύτερες πρωτοβουλίες βιωσιμότητας του κλάδου.

Τα κυριότερα σημεία από την Έκθεση Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Πρακτικών του 2024 του κλάδου περιλαμβάνουν:

Προφίλ Στόλου:

Ο στόλος της CLIA περιλαμβάνει 303 πλοία και συνολική χωρητικότητα 635.000 κλίνες που λειτουργούν από 45 εταιρείες κρουαζιέρας που αντιπροσωπεύουν το 90% της χωρητικότητας — αύξηση 3,6% και 3,34% αντίστοιχα, σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος.

Η ανάλυση του τρέχοντος στόλου των γραμμών κρουαζιέρας των μελών της CLIA δείχνει ότι η πλειονότητα των ποντοπόρων πλοίων που εκμεταλλεύονται οι κρουαζιέρες μέλη της CLIA είναι πλοία μικρού έως μεσαίου μεγέθους, με κατανομή μεγέθους πλοίου σε ολόκληρο τον στόλο ως εξής:

- Το 35% των πλοίων είναι μικρά πλοία (λιγότερες από 1.000 κλίνες)
- Το 38% των πλοίων είναι πλοία μεσαίου μεγέθους (1.000 έως λιγότερες από 3.000 κλίνες)
- Το 26% των πλοίων είναι μεγάλα πλοία (πάνω από 3.000 κλίνες)

Ευελιξία Καυσίμου:

Οι εταιρείες κρουαζιέρας της CLIA επενδύουν σε νέα πλοία και κινητήρες που επιτρέπουν ευελιξία στα καύσιμα. Αυτό περιλαμβάνει τη δυνατότητα χρήσης βιοκαυσίμων, επενδύσεις στη δυνατότητα χρήσης πράσινης μεθανόλης όταν είναι διαθέσιμη και υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Τα πλοία που έχουν σχεδιαστεί με κινητήρες και συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου ικανά να λειτουργούν με LNG θα μπορούν στο μέλλον να αλλάζουν σε μηδενικά ή σχεδόν μηδενικά καύσιμα, όπως βιολογικό ή συνθετικό LNG, χωρίς τροποποιήσεις στον κινητήρα. Αυτήν τη στιγμή 19 πλοία (που αντιπροσωπεύουν το 7% του στόλου και το 13% της παγκόσμιας χωρητικότητας του στόλου) χρησιμοποιούν LNG για κύρια πρόωση. Το LNG έχει ουσιαστικά μηδενικές εκπομπές θείου και εκπομπές σωματιδίων, μειώνει τις εκπομπές NOx κατά περίπου 85% και επιτυγχάνει έως και 20% μείωση των εκπομπών GHG. Πολλαπλές αναφορές επιβεβαιώνουν ότι η ολίσθηση μεθανίου (μικρές ποσότητες διαφυγόντος μεθανίου, ή methane slip) - ένα αναγνωρισμένο πρόβλημα με τους κινητήρες LNG - βρίσκεται σε τροχιά που σχεδόν πρέπει να εξαλειφθεί, με ορισμένους ενδιαφερόμενους φορείς του κλάδου να ισχυρίζονται ότι τιμές ολίσθησης κάτω του 1% είναι εφικτές μέσα στα επόμενα χρόνια.

Τεχνολογία Καταλύτη Επιλεκτικής Αναγωγής (SCR):

71 πλοία, που αντιπροσωπεύουν το 25% του στόλου και περισσότερο από το 20% της παγκόσμιας χωρητικότητας, διαθέτουν συστήματα SCR. Αυτό ισοδυναμεί με αύξηση 34% από το 2023. Η τεχνολογία Selective Catalytic Reduction (SCR) μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων και οξειδίων του αζώτου, βοηθώντας έτσι τα πλοία να πληρούν τα πρότυπα ταξινόμησης του IMO για τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx).

Σε ευρεία εφαρμογή βρίσκεται πλέον και η Τροφοδοσία στην ξηρά (Onshore Power Supply, OPS), όπου αναφέρεται επίσης ως Δυνατότητα Παράκτιας Τροφοδοσίας Ηλεκτρισμού (Shoreside Electricity (SSE) Capability).

Η σύνδεση στο OPS όταν τα πλοία βρίσκονται σε λιμάνι επιτρέπει την απενεργοποίηση των μηχανών των πλοίων, επιτυγχάνοντας σημαντικές συνολικές μειώσεις των ρυπογόνων εκπομπών έως και 98%,

ανάλογα με το μείγμα των πηγών ενέργειας, σύμφωνα με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από ορισμένα λιμάνια του κόσμου και την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ.

Σε όλο τον στόλο μελών της γραμμής κρουαζιέρας CLIA:

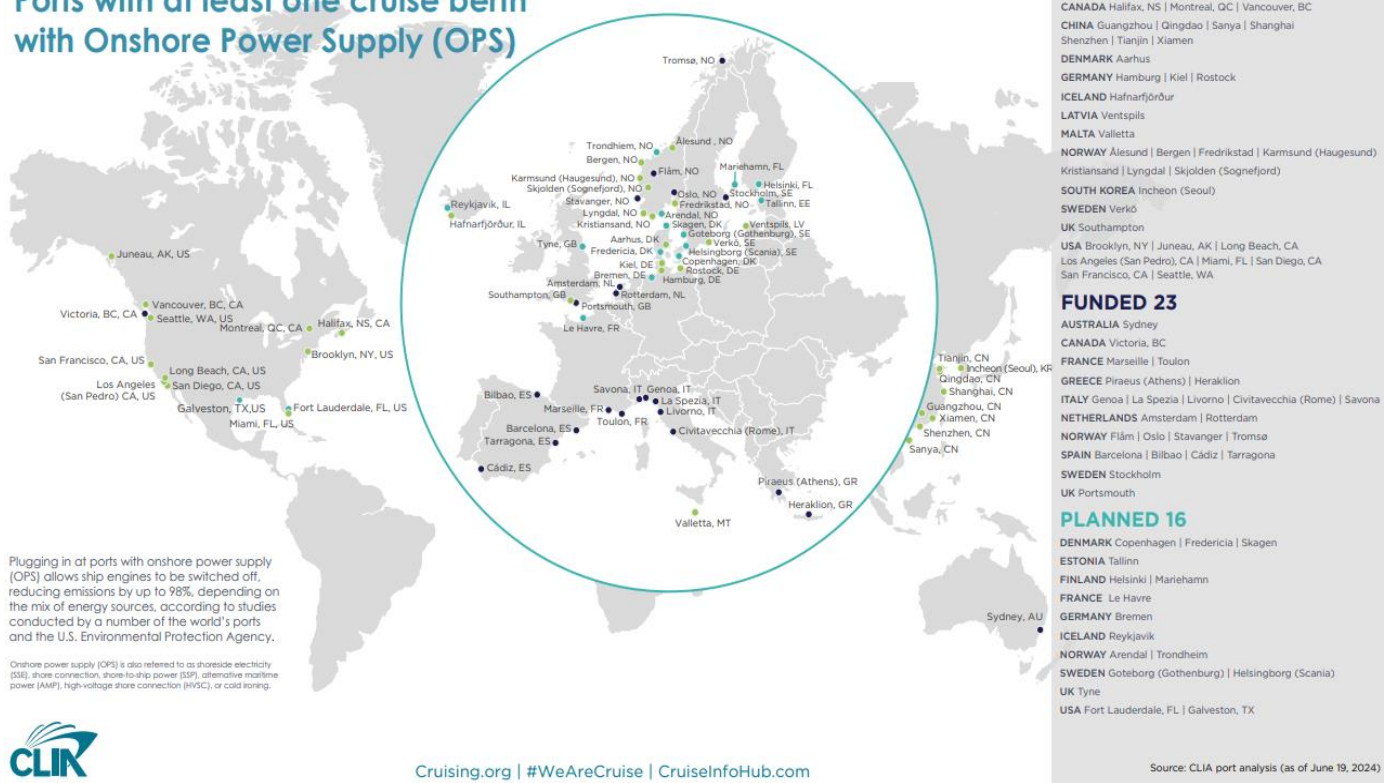
- 147 πλοία μπορούν να συνδεθούν στο OPS (52% του συνολικού αριθμού πλοίων και 61% της χωρητικότητας), 23% περισσότερα από το προηγούμενο έτος και 167% περισσότερα από το 2018.
- Μέχρι το 2028, 239 πλοία που θα μπορούν να συνδεθούν με το OPS αναμένεται να είναι σε υπηρεσία (με βάση τον αριθμό των πλοίων που έχει προγραμματιστεί να μετασκευαστούν και τα νέα πλοία στο βιβλίο παραγγελιών που καθορίζεται για συνδεσιμότητα OPS). Αυτό περιλαμβάνει 64 πλοία σε υπηρεσία και καθένα από τα 28 κρουαζιερόπλοια μέλη της CLIA στο βιβλίο παραγγελιών το διάστημα 2024-2028, καθώς όλα προορίζονται για συνδεσιμότητα OPS.

Η CLIA υπερασπίζεται την πρόοδο της χερσαίας υποδομής ενέργειας ως σημαντική συνιστώσα στο έργο του κλάδου για τη μείωση των εκπομπών και υποστηρίζει τη συνεχή ανάπτυξη οικονομικής αποδοτικής υποδομής για καθαρή παράκτια ηλεκτρική ενέργεια σε λιμάνια κρουαζιέρας, όταν ο καθαρός αντίκτυπος προσφέρει συνολική μείωση των εκπομπών. Επί του παρόντος, 35 από τα λιμάνια παγκοσμίως τα οποία προσεγγίζουν κρουαζιερόπλοια (λιγότερο από 3%) διαθέτουν θέση ελλιμενισμού με OPS. 22 επιπλέον λιμάνια κρουαζιέρας χρηματοδοτούνται για την υποδομή OPS και 16 λιμάνια κρουαζιέρας σχεδιάζουν να εγκαταστήσουν το OPS.

Το 2022, η CLIA ανακοίνωσε ότι τα μέλη της γραμμής κρουαζιέρας δεσμεύτηκαν ότι όλα τα πλοία που καταπλέουν σε λιμάνια ικανά να παρέχουν OPS θα είναι εξοπλισμένα είτε να χρησιμοποιούν ενέργεια στην ξηρά έως το 2035, είτε να μπορούν να χρησιμοποιούν εναλλακτικές τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπου είναι διαθέσιμες, για τη μείωση εκπομπές στο λιμάνι. Ως μέρος των κανονισμών της Ε.Ε. για την απαλλαγή από τις εκπομπές άνθρακα, έως το 2030 τα μεγάλα λιμάνια της Ευρώπης θα πρέπει να διαθέτουν παράκτια ενέργεια, γεγονός που θα επιταχύνει περαιτέρω τις επενδύσεις σε λιμενικές υποδομές σε αυτήν την περιοχή.

Η εικόνα 8 περιλαμβάνει έναν πολύ ενδιαφέρον χάρτη που δημοσίευσε η CLIA με όλα τα λιμάνια τα οποία έχουν, χρηματοδοτούνται ή σχεδιάζεται να φτιάξουν θέσεις παράκτιας τροφοδοσίας OPS στις εγκαταστάσεις τους.

Ports with at least one cruise berth with Onshore Power Supply (OPS)



Εικόνα 8. Λιμάνια με τουλάχιστον μια θέση κρουαζιέρας με παράκτια τροφοδοσία OPS. [Πηγή: CLIA 2024]

Προηγμένα Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων (AWTS):

Η πλειονότητα των κρουαζιερόπλοιων μελών της CLIA που πλέουν σήμερα χρησιμοποιούν προηγμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων (AWTS), τα οποία είναι ικανά να καλύψουν τις απαιτήσεις του παραρτήματος IV της MARPOL και να αποδίδουν καλύτερα από τις παράκτιες μονάδες επεξεργασίας σε ορισμένες παράκτιες πόλεις. Επιπλέον, ως μέρος της συνολικής τους εστίασης στη βιωσιμότητα, οι εταιρείες κρουαζιέρας έχουν δεσμευτεί να μην απελευθερώνουν ακατέργαστα λύματα πουθενά στον κόσμο κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας. Σε όλο τον στόλο της γραμμής κρουαζιέρας CLIA, 225 πλοία (80% του συνόλου, που αντιπροσωπεύουν το 84% της παγκόσμιας χωρητικότητας επιβατών) είναι εξοπλισμένα με AWTS κάτι που σημαίνει αύξηση 11% από το 2023 και αύξηση 65% από το 2018. Περισσότερο από το ένα τρίτο των πλοίων που είναι εξοπλισμένα με AWTS είναι ικανά να πληρούν τα αυστηρότερα πρότυπα απελευθέρωσης λυμάτων της Ειδικής Περιοχής της Βαλτικής Θάλασσας.

Παραγωγή καθαρού νερού:

Η πλειονότητα των μελών της CLIA παράγει το δικό της καθαρό νερό στα πλοία τους, με 267 πλοία (που αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 94% των πλοίων αναφοράς και το 96% της παγκόσμιας χωρητικότητας) σε θέση να το κάνουν, από τα οποία τα 172, σχεδόν το 60% του στόλου, είναι ικανά να παράγουν αρκετό νερό ώστε να καλύπτουν τη συνολική τους κατανάλωση.

Η πραγματική επανάσταση όμως και η μετάβαση στην Πράσινη Ναυτιλία θα έρθει μέσα από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με καύσιμα, φιλικά προς το περιβάλλον που θα εκπέμπουν έως και μηδενικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Η βιομηχανία κρουαζιέρας βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της έρευνας τέτοιων βιώσιμων καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων και άλλων προηγμένων προσεγγίσεων όπως το βιοντίζελ, η μεθανόλη, η αμμωνία, το υδρογόνο και οι ηλεκτρικές μπαταρίες. Με όλα αυτά θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4: Εναλλακτικά Καύσιμα στη Ναυτιλία και στην Κρουαζιέρα

Ολόκληρος ο ναυτιλιακός τομέας, συμπεριλαμβανομένης της κρουαζιέρας, θα χρειαστεί βιώσιμα εναλλακτικά καύσιμα σε ποσότητα για την επίτευξη των στόχων όπως το «Fit for 55» της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο επιβάλλει 2% χρήση εναλλακτικών καυσίμων το 2025 και 6% το 2030. Η αναθεωρημένη στρατηγική του IMO περιλαμβάνει στόχο 5% (προσπάθεια για 10%) απορρόφηση εναλλακτικών καυσίμων σε όλη τη ναυτιλιακή βιομηχανία έως το 2030. Η παγκόσμια κοινότητα των κυβερνήσεων και ευρύτερα ενδιαφερόμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών κινητήρων και οι προμηθευτές καυσίμων, θα διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στην παροχή απαραίτητων τεχνολογιών και διαθέσιμων καυσίμων. Η αναθεωρημένη στρατηγική που συμφωνήθηκε στον IMO στέλνει ένα ισχυρό μήνυμα προς τις αγορές και τους προμηθευτές καυσίμων, οι οποίοι καλούνται να εισάγουν προηγμένες τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα προκειμένου ο ναυτιλιακός τομέας να πετύχει τους στόχους της αναθεωρημένης στρατηγικής για μηδενικές GHG εκπομπές έως ή περίπου το 2050.

Τα καύσιμα που θα μας απασχολήσουν τα επόμενα χρόνια και θα βοηθήσουν στη μετάβαση στην πράσινη ναυτιλία είναι κυρίως το **Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)**, το **Υδρογόνο**, η **Αμμωνία**, η **Μεθανόλη**, τα **Βιοκαύσιμα** καθώς και η χρήση **Μπαταριών**. Κάποια από αυτά βρίσκονται ήδη πλήρως σε εφαρμογή, κάποια σχεδιάζεται να εισέλθουν στη ζωή της ναυτιλίας τα προσεχή χρόνια, ενώ σε άλλα περιμένουμε να ωριμάσουν οι συνθήκες για να γίνουν βασικό κομμάτι στο δρόμο προς την απανθρακοποίηση.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα παραπάνω καύσιμα και θα ερευνήσουμε σε ποιο στάδιο βρίσκεται το καθένα από αυτά, δηλαδή πόσο ώριμες είναι οι συνθήκες για την ένταξη τους τόσο στη βιομηχανία της ναυτιλίας γενικά, αλλά και της κρουαζιέρας ειδικότερα.

4.1 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Liquefied Natural Gas, LNG) είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρή κατάσταση ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί. Αποτελεί το πιο διαδεδομένο και ευρέως εφαρμοσμένο πράσινο καύσιμο στον κλάδο της ναυτιλίας. Είναι ένα καθαρό, ασφαλές, φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, συμβατό με όλους τους τρέχοντες και αναμενόμενους κανονισμούς που αφορούν στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων. Χαρακτηρίζεται ως η πιο σημαντική εναλλακτική λύση καυσίμου, όσον αφορά την τρέχουσα χρήση, που μπορεί να προσφέρει έως και 30% μειωμένες εκπομπές CO₂ και είναι ανταγωνιστικό από πλευράς κόστους έναντι άλλων επιλογών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η τεχνολογία που απαιτείται για τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίου είναι άμεσα διαθέσιμη. Οι εμβολοφόροι κινητήρες περιλαμβάνουν 2χρονους κινητήρες χαμηλής και υψηλής πίεσης και τετράχρονους κινητήρες χαμηλής πίεσης. Αρκετοί τύποι δεξαμενών αποθήκευσης LNG, καθώς και ο εξοπλισμός διεργασίας, είναι επίσης διαθέσιμοι στο εμπόριο. Το σημείο βρασμού του LNG είναι περίπου -163°C σε απόλυτη πίεση 1 bar. Υγροποιείται, έτσι ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά του σε μακρινές αποστάσεις και η αποθήκευσή του σε μεγάλες ποσότητες. Αυτό σημαίνει ότι το LNG πρέπει να αποθηκεύεται σε μονωμένες δεξαμενές για κρυογονική εφαρμογή, η οποία όμως συνδέεται με υψηλό κόστος σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα αποθήκευσης και προμήθειας με βάση το πετρέλαιο. Το κύριο συστατικό του

υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) είναι το μεθάνιο (CH_4), το καύσιμο υδρογονάνθρακα με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και επομένως με τις υψηλότερες δυνατότητες μείωσης των εκπομπών CO_2 . Ωστόσο, το μεθάνιο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου και η ολίσθηση του μεθανίου πρέπει να διατηρείται υπό έλεγχο προκειμένου να διασφαλιστεί η μείωση στις εκπομπές GHG κατά τη χρήση LNG. Η ενεργειακή πυκνότητα ανά μάζα (MJ/kg) είναι περίπου 18% υψηλότερη από αυτή του HFO, αλλά η ογκομετρική πυκνότητα είναι μόνο το 43% του HFO (kg/m^3). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα περίπου διπλάσιο όγκο σε σύγκριση, για την ίδια ενέργεια που αποθηκεύεται με τη μορφή HFO. Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις χώρου που σχετίζονται με το σχήμα, οι κυλινδρικές δεξαμενές LNG συνήθως καταλαμβάνουν τρεις έως τέσσερις φορές τον όγκο μιας ισοδύναμης ποσότητας ενέργειας που αποθηκεύεται με τη μορφή βαρέως καυσίμου. Ωστόσο, το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι πολύ ασφαλέστερο από τους υπόλοιπους υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιούνται. Είναι μη τοξικό, έχει πολύ μικρό εύρος ευφλεκτότητας και μόνο το 5 % - 15 % των μιγμάτων του είναι επιρρεπή στην καύση. Οι κύριοι κίνδυνοι στη χρήση του LNG είναι η περίπτωση παγώματός του λόγω της υπερβολικά χαμηλής θερμοκρασίας, καθώς και ο κίνδυνος ασφυξίας διότι είναι άοσμο και περίπου 1.5 φορά βαρύτερο από τον αέρα σε θερμοκρασία βρασμού. Όμως, καθώς η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται γίνεται ελαφρύτερο από τον αέρα και διαχέεται γρήγορα.

Οι σπουδαιότεροι λόγοι για τους οποίους το LNG αποτελεί μια ιδανική λύση καυσίμου για τα πλοία είναι συνοπτικά οι εξής:

- ✓ Τα παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου είναι πολύ περισσότερα από εκείνα του αργού πετρελαίου
- ✓ Χαμηλότερες εκπομπές ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα
- ✓ Χαμηλότερες τιμές σε σύγκριση με άλλα φιλικά προς το περιβάλλον καύσιμα
- ✓ Η χρήση του συμμορφώνεται πλήρως με τους διεθνείς κανονισμούς, καθώς δεν υπάρχει περιεκτικότητα σε θείο.
- ✓ Το κόστος συντήρησης και χειρισμού των μηχανημάτων είναι χαμηλό, λόγω της καθαρής καύσης του φυσικού αερίου.

ΤΟ LNG από οικονομική σκοπιά

Οι τιμές φυσικού αερίου παγκοσμίως (εκτός από ορισμένες περιοχές της Ανατολικής Ασίας) είναι κάτω από την τιμή του αργού πετρελαίου και του HFO τα τελευταία 15 χρόνια. Στην τελική τιμή του καυσίμου LNG στα πλοία πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη το κόστος υγροποίησης, κόστος διανομής και τα ισχύοντα περιθώρια κέρδους. Σε σύγκριση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα, το LNG φαίνεται να έχει φτάσει στο πιο ανταγωνιστικό επίπεδο τιμών πρώτης ύλης ιστορικά μεταξύ όλων των εναλλακτικών καυσίμων. Επί του παρόντος, το επίπεδο τιμών είναι ανταγωνιστικό ακόμα και με τα συμβατικά καύσιμα.

Υποδομές

Οι υποδομές για τον αποκλειστικό ανεφοδιασμό LNG για τα πλοία βελτιώνονται αρκετά γρήγορα. Ένα μεγάλο μερίδιο του ανεφοδιασμού καθώς και της διανομής LNG σε τοποθεσίες ανεφοδιασμού εξακολουθεί να πραγματοποιείται από δρόμο. Αρκετά πλοία καυσίμων LNG έχουν παραδοθεί για λειτουργία σε βασικές τοποθεσίες όπως το Άμστερνταμ, το Ρότερνταμ, η Αμβέρσα, η Βόρεια Θάλασσα, η Βαλτική Θάλασσα και η ακτή της Φλόριντα. Πλοία αποθήκης για άλλα βασικές τοποθεσίες όπως η δυτική Μεσόγειος, ο Κόλπος του Μεξικού, η Μέση Ανατολή, η Σιγκαπούρη, η

Κίνα, η Νότια Κορέα και η Ιαπωνία παραγγέλθηκαν πρόσφατα. Παράλληλα έχουν υλοποιηθεί σημαντικές παραγγελίες για πλοία βαθέων υδάτων με καύσιμα LNG. Το LNG είναι ουσιαστικά διαθέσιμο παγκοσμίως (σε τερματικούς σταθμούς εισαγωγής και εξαγωγής μεγάλης κλίμακας) και επενδύσεις βρίσκονται σε εξέλιξη σε πολλές από αυτές τις τοποθεσίες για να διατεθεί το LNG στα πλοία. Επιπλέον, αναμένεται αυξημένη εστίαση στην ανάπτυξη πλοίων-αποθηκών για ποντοπόρα πλοία στο εγγύς μέλλον. Αποθήκευση με φορτηγά και από μόνιμες τοπικές αποθήκες επίσης συνεχίζουν να αναπτύσσονται για ορισμένες συναλλαγές.

Κανονισμοί

Την 1η Ιανουαρίου 2017 τέθηκε σε ισχύ ο Κώδικας IGC (International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels) του IMO για LNG και CNG (Compressed Natural Gas), ώστε να υπάρχει διεθνής κανονιστική βάση για το σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων LNG. Άλλες πτυχές, όπως ο ανεφοδιασμός με καύσιμα LNG, υπόκεινται σε εθνικούς κανονισμούς και ως εκ τούτου πρέπει να αξιολογούνται κατά περίπτωση. Για παράδειγμα, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός λιμένων έχει θεσπίσει τοπικούς κανόνες για ανεφοδιασμό LNG. Εξάλλου, οι απαιτήσεις και οι οδηγίες για ανεφοδιασμό LNG έχουν αναπτύχθηκε από φορείς όπως ο IACS (International Association of Classification Societies). Παρ' όλο που η περαιτέρω εναρμόνιση και ανάπτυξη προτύπων και εργαλείων για τις εργασίες ανεφοδιασμού ΥΦΑ είναι αναγκαία, η τρέχουσα κανονιστική βάση δεν θα πρέπει να θεωρείται εμπόδιο για περαιτέρω ευρεία χρήση LNG.

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Το φυσικό αέριο από το LNG είναι το καθαρότερο ορυκτό καύσιμο που διατίθεται σήμερα. Δεν υπάρχουν εκπομπές SO_x που σχετίζονται με αυτό, οι εκπομπές σωματιδίων είναι πολύ χαμηλές, οι εκπομπές NO_x είναι χαμηλότερες από αυτές του MGO ή του HFO και άλλων και εκπομπές όπως HC, CO ή φορμαλδεΰδη είναι χαμηλές και μπορούν να μετριαστούν εάν είναι απαραίτητο από την μετεπεξεργασία καυσαερίων. Παρόλα αυτά, η ολίσθηση μεθανίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν αξιολογούμε την προοπτική μείωσης του CO₂ με τη χρήση του καυσίμου LNG (η μέγιστη τιμή είναι περίπου 26% σε σύγκριση στο HFO). Μηχανές αερίου Otto χαμηλής πίεσης (δηλαδή όλοι οι τετράχρονοι και όλοι οι δίχρονοι χαμηλής πίεσης κινητήρες) που καίνε LNG συμμορφώνονται με τα όρια του IMO για τις εκπομπές NO_x χωρίς να απαιτείται επεξεργασία καυσαερίων.

Από την άποψη της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι οι κατασκευαστές κινητήρων έχουν δοκιμάσει με επιτυχία υδρογόνο αναμεμειγμένο με φυσικό αέριο σε υπάρχοντες ναυτικούς κινητήρες διπλού καυσίμου. Τα συνδυασμένα οφέλη της αντικατάστασης ορισμένου μεριδίου μεθανίου με ανανεώσιμο υδρογόνο και της επίδρασης που αυτό μπορεί να έχει στη διαδικασία καύσης με τη διαρροή μεθανίου είναι σημαντικά.

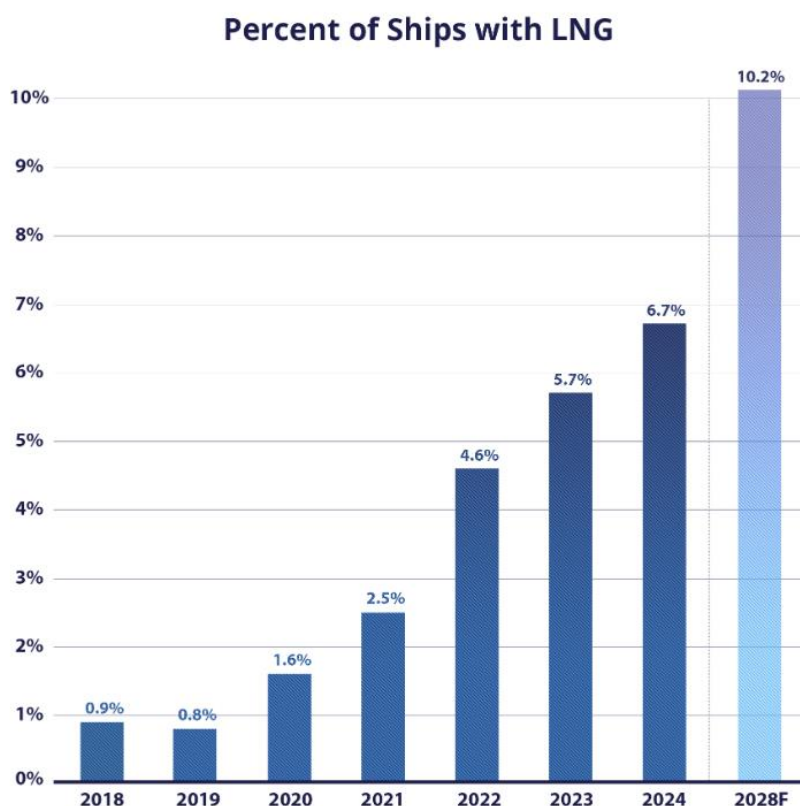
Τεχνολογία και Εφαρμογή

Κινητήρες αερίου, αεριοστρόβιλοι, συστήματα αποθήκευσης και επεξεργασίας LNG διατίθενται για εγκαταστάσεις στην ξηρά εδώ και δεκαετίες. Η μεταφορά LNG μέσω της θάλασσας υπάρχει επίσης από τον περασμένο αιώνα. Οι εφαρμογές όμως για τη χρήση καυσίμου LNG στη ναυτιλία ξεκίνησαν στις αρχές του τρέχοντος αιώνα. Σήμερα, η τεχνολογία που απαιτείται για τη χρήση LNG ως καύσιμο

για πλοία είναι άμεσα διαθέσιμη. Εμβολοφόροι κινητήρες και αεριοστρόβιλοι, αρκετοί τύποι δεξαμενών αποθήκευσης LNG καθώς και ο εξοπλισμός διεργασίας είναι επίσης διαθέσιμοι στο εμπόριο.

LNG στην Κρουαζιέρα

Καθώς η βιομηχανία κρουαζιέρας προσδοκά τη μετάβαση σε ένα μέλλον βιώσιμων, ανανεώσιμων καυσίμων, αρκετά κρουαζιερόπλοια χρησιμοποιούν υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Τα πλοία που έχουν σχεδιαστεί με κινητήρες LNG και συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου μπορούν να στραφούν σε βιολογικό ή συνθετικό LNG στο μέλλον, με ελάχιστες ή καθόλου τροποποιήσεις στον κινητήρα. Το LNG έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές θείου και εκπομπές σωματιδίων, μειώνει τις εκπομπές NOx κατά περίπου 85% και επιτυγχάνει έως και 20% μείωση των εκπομπών GHG. Αυτήν τη στιγμή στο στόλο της CLIA 19 πλοία (που αντιπροσωπεύουν το 7% του στόλου και το 13% της παγκόσμιας χωρητικότητας του στόλου) χρησιμοποιούν LNG για κύρια πρόωση. Σε παραγγελία βρίσκονται ακόμα 13 πλοία μέχρι το 2028. Οι εταιρείες κρουαζιέρας αναζητούν ευελιξία στα καύσιμα, επενδύοντας σήμερα σε τεχνολογίες πρόωσης με δυνατότητες μετατροπής στο μέλλον. Σε αυτό το πλαίσιο 41 πλοία με κινητήρες που κινούνται με ορυκτό LNG θα λειτουργούν έως το 2028 και θα είναι ευέλικτα για χρήση bioLNG ή συνθετικού LNG όταν αυτά τα καύσιμα διατεθούν στην αγορά σε ευρεία κλίμακα.



Εικόνα 9. Ποσοστό Κρουαζιερόπλοιων του στόλου της CLIA που χρησιμοποιούν LNG [Πηγή: CLIA 2024]

4.2 Υδρογόνο

Το υδρογόνο είναι ένα καθαρό καύσιμο, το οποίο όταν καταναλώνεται σε κυψέλες καυσίμου, παράγει μόνο νερό. Μπορεί να παραχθεί από μία ποικιλία πηγών όπως το φυσικό αέριο, η πυρηνική ενέργεια και η βιομάζα, καθώς και από ανανεώσιμη ενέργεια όπως αιολική και ηλιακή. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν το υδρογόνο ως μία ελκυστική επιλογή καυσίμου στον χώρο της ναυτιλίας. Σήμερα το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με διάφορες μεθόδους. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η αναμόρφωση φυσικού αερίου και η ηλεκτρόλυση.

Επειδή το υδρογόνο έχει υψηλή ανωτέρα θερμογόνο δύναμη και υψηλή ενεργειακή περιεκτικότητα, δεν είναι μόνο καθαρότερο, αλλά και πιο αποτελεσματικό από τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα. Μάλιστα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC), η ενεργειακή περιεκτικότητα του υδρογόνου είναι 120 MJ/kg, περίπου δηλαδή τρεις φορές υψηλότερη από εκείνη των υπολοίπων εναλλακτικών καυσίμων.

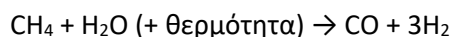
Θερμικές διεργασίες

Οι θερμικές διαδικασίες για την παραγωγή υδρογόνου τυπικά περιλαμβάνουν την αναμόρφωση με ατμό, κατά την οποία υπό υψηλές θερμοκρασίες, ατμός αντιδρά με καύσιμο υδρογονανθράκων για να παραχθεί υδρογόνο. Κάποια από τα καύσιμα αυτά είναι το φυσικό αέριο, το diesel, το αεριοποιημένο κάρβουνο κ.α. Σήμερα το 95% του παραγόμενου υδρογόνου προέρχεται από την αναμόρφωση ατμού του φυσικού αερίου. Πιο συγκεκριμένα, το φυσικό αέριο περιέχει μεθάνιο (CH_4), το οποίο μέσω θερμικών διαδικασιών όπως η αναμόρφωση μεθανίου με ατμό και η μερική οξείδωση, παράγει υδρογόνο.

Αναμόρφωση μεθανίου με ατμό:

Το μεθάνιο (CH_4), μέσω της αντίδρασης του με ατμό υπό πίεση 3-25 bar σε θερμοκρασία 700-1000° C και με την παρουσία καταλύτη, παράγει υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα. Η αναμόρφωση με ατμό είναι ενδόθερμη, επομένως χρειάζεται θερμότητα για την πραγματοποίηση της αντίδρασης.

Η αντίστοιχη χημική εξίσωση της παραπάνω διαδικασίας έχει ως εξής:



Επιπλέον, το μονοξείδιο του άνθρακα που περισσεύει αντιδρά επίσης με ατμό και, παρουσία καταλύτη, παράγει διοξείδιο του άνθρακα και επιπλέον ποσότητα υδρογόνου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση:

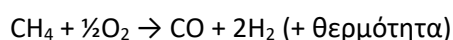


Στο τέλος της διαδικασίας, το διοξείδιο του άνθρακα και λοιποί ρύποι, αφαιρούνται από το αέριο, με σκοπό την παραμονή του καθαρού υδρογόνου.

Μερική οξείδωση:

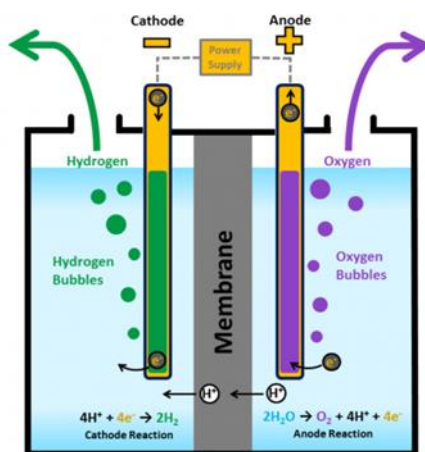
Το μεθάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες που υπάρχουν στο φυσικό αέριο, αντιδρούν με μία περιορισμένη ποσότητα οξυγόνου (που προέρχεται συνήθως από τον αέρα), η οποία δεν είναι αρκετή για να γίνει η πλήρης οξείδωση των υδρογονανθράκων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Με λιγότερη από την στοιχειομετρική ποσότητα του οξυγόνου διαθέσιμη, τα προϊόντα της αντίδρασης αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα (και άζωτο, εάν η αντίδραση διεξαχθεί με αέρα, αντί για καθαρό οξυγόνο). Επίσης, όπως και στην αναμόρφωση με ατμό, παράγεται και μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα.

Η μερική οξείδωση είναι εξώθερμη, δηλαδή παράγει θερμότητα. Επομένως, η διαδικασία είναι αρκετά πιο γρήγορη σε σχέση με την αναμόρφωση του μεθανίου, και απαιτεί μικρότερο δοχείο αντίδρασης. Ωστόσο, όπως παρατηρείται και στην παρακάτω χημική εξίσωση, σε αυτήν την περίπτωση παράγεται μικρότερη ποσότητα υδρογόνου, για σταθερή ποσότητα μεθανίου:



Ηλεκτρολυτικές διεργασίες

Το νερό μπορεί να διασπαστεί σε οξυγόνο και υδρογόνο μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Οι ηλεκτρολυτικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα σε ηλεκτρολυτικές κυψέλες, οι οποίες αποτελούνται από μία άνοδο, μία κάθοδο, και έναν ηλεκτρολύτη ανάμεσά τους. Γίνονται προσπάθειες για να βελτιωθεί η απόδοση των ηλεκτρολυτικών κυψελών, συσκευών που διαχωρίζουν το νερό σε δύο στοιχεία, το υδρογόνο και το οξυγόνο. Κατόπιν το υδρογόνο καθαρίζεται και αποθηκεύεται επί τόπου.



Εικόνα 10. Μέθοδος Ηλεκτρόλυσης

Οι ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές κυψέλες είναι συνήθως:

- Πολυμερείς μεμβράνες (polymer electrolyte membrane ή PEM)
- Υγροί αλκαλικοί οροί από νάτριο ή κάλιο
- Στερεό κεραμικό υλικό

Η μέθοδος της ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή υδρογόνου, έχει ως αποτέλεσμα μηδενικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ανάλογα με την πηγή ηλεκτρισμού που χρησιμοποιείται. Ωστόσο η εκπλήρωση των απαιτήσεων για ασφαλείς για το περιβάλλον πηγές ηλεκτρισμού, είναι ιδιαίτερα δύσκολη (πολλά επιβλαβή αέρια, μεγάλα κόστη, μικρή απόδοση ηλεκτρόλυσης) οπότε η έρευνα έχει στραφεί σε μεθόδους ανανεώσιμης (κυρίως αιολικής) και πυρηνικής ενέργειας.

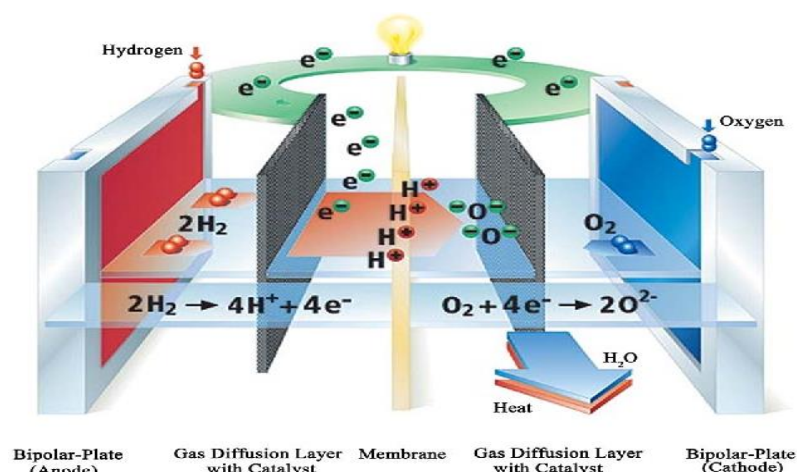
Κυψέλες Καυσίμου vs Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου αλλά και σε κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι κυψέλες καυσίμου είναι προτιμότερες όσον αφορά την απόδοση, αφού αυτή φθάνει συνήθως το 50-60%, και πιθανώς υψηλότερα για ορισμένους τύπους με σύστημα ανάκτησης θερμότητας, ενώ σε κινητήρες καύσης η απόδοση φθάνει συνήθως το 40-50%. Επίσης οι κινητήρες καύσης πρέπει να δεχτούν προσαρμογές επειδή η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του υδρογόνου είναι διαφορετική από αυτή της βενζίνης.

Αν και υπάρχουν αρκετοί τύποι κυψελών καυσίμου που έχουν ήδη αναπτυχθεί, μόνο τρεις από αυτούς έχουν χρησιμοποιηθεί σε θαλάσσιες εφαρμογές μέχρι στιγμής. Αυτοί είναι οι κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC), οι κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC) και οι κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC).

- Κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC)

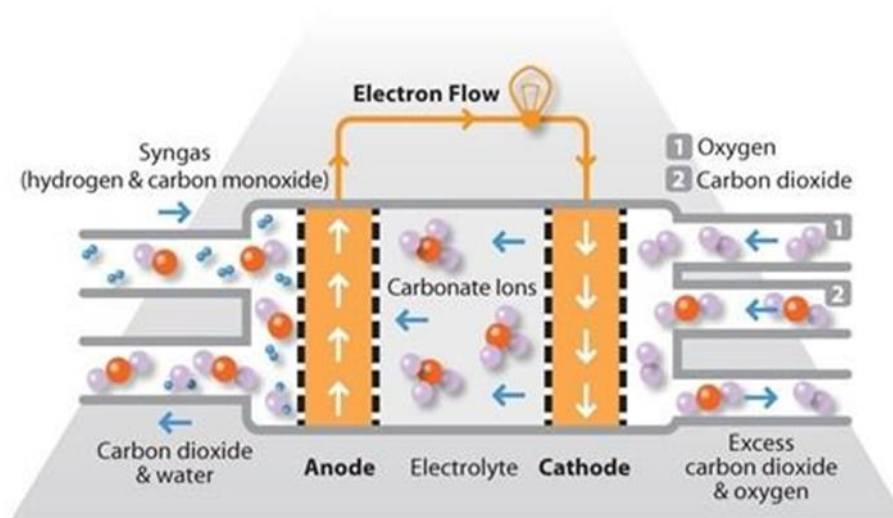
Η κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης έχει ηλεκτρόδια με βάση λευκόχρυσου και ο ηλεκτρολύτης είναι μια υγρή πολυμερή μεμβράνη που παίζει ρόλο ηλεκτρικού μονωτή. Η θερμοκρασία λειτουργίας πρέπει να είναι από 50 έως 100 ° C. Αν η θερμοκρασία υπερβεί τους 100 ° C διακόπτεται η λειτουργία του συστήματος επειδή η μεμβράνη πρέπει να διατηρείται υγρή. Η PEMFC αντιδρά με υδρογόνο και οξυγόνο και παράγει νερό μαζί με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Μπορεί να λειτουργήσει σε χαμηλή θερμοκρασία, κάτι που επιτρέπει ευέλικτη λειτουργία και λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις υλικού. Η απόδοση του συστήματος PEMFC κυμαίνεται από 50% έως 60%. Ωστόσο, το κόστος του καταλύτη λευκόχρυσου είναι σχετικά υψηλό και μπορεί να επηρεαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα κατά τη λειτουργία. Επίσης απαιτείται το υδρογόνο που τροφοδοτείται σε αυτές να έχει παραχθεί από καθαρές πηγές.



Εικόνα 11. Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC)

- Κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)

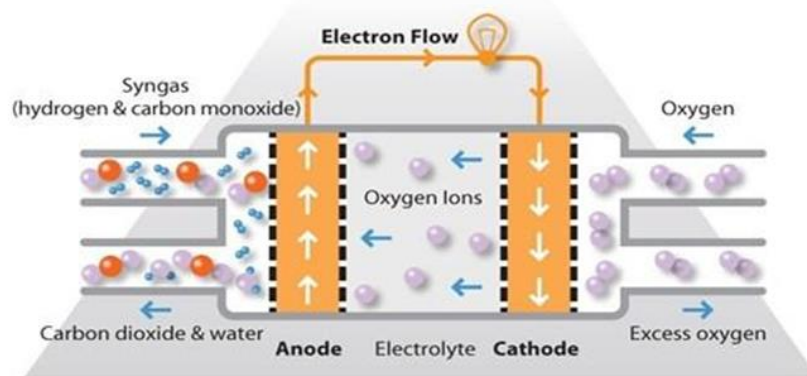
Η κυψέλη τηγμένων ανθρακικών αλάτων έχει ένα τηγμένο ανθρακικό άλας ηλεκτρολύτη. Μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλές θερμοκρασίες μεταξύ 600-700 ° C. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, είναι σκόπιμο να γίνεται χρήση συστήματος ανάκτησης θερμότητας. Επομένως, η συνολική απόδοση για μια MCFC θα μπορούσε να είναι σχετικά υψηλή, από 85% έως και 90%. Ωστόσο, η λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες καθιστά μια τέτοια κυψέλη ευάλωτη στην διάβρωση και σε ρωγμές εξαρτημάτων.



Εικόνα 12. Κυψέλη καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)

- Κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC)

Οι κυψέλες στερεών οξειδίων μπορούν να λειτουργήσουν και αυτές σε υψηλή θερμοκρασία, όπως και οι κυψέλες τηγμένων ανθρακικών αλάτων, μεταξύ 500-1000 °C. Ένα πορώδες κεραμικό υλικό χρησιμοποιείται στους ηλεκτρολύτες. Η απόδοση των SOFC θα μπορούσε να είναι μέχρι και 85% ή ακόμα μεγαλύτερη, εάν μπορεί να εφαρμοστεί σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Υπάρχουν δύο είδη SOFC, επίπεδες και σωληνοειδείς. Η σωληνοειδής SOFC είναι πιο σταθερή από την άποψη της θερμικής ανακύκλωσης, ενώ η επίπεδη SOFC αναγνωρίζεται ως ο πιο κατάλληλος σχεδιασμός λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας του υδρογόνου.



Εικόνα 13. Κυψέλη Καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC)

Αποθήκευση

Η αποθήκευση του υδρογόνου θεωρείται ένα από τα κύρια εμπόδια στην υιοθέτηση του ως ναυτιλιακό καύσιμο. Το υδρογόνο έχει υψηλή ειδική ενεργειακή πυκνότητα, αλλά έχει και χαμηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, που σημαίνει ότι ένας τόνος υδρογόνου στα 700 bar θα περιέχει 3 φορές την ενέργεια ενός τόνου ντίζελ, αλλά καταλαμβάνει 6 φορές περισσότερο χώρο. Το υδρογόνο σε υγρή μορφή (LH_2) έχει περίπου την διπλάσια ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα του αερίου υδρογόνου, αλλά εξακολουθεί να είναι 1,5 φορά χαμηλότερη από το υγραέριο. Αναγκαστικά πρέπει να αναζητηθούν εναλλακτικές λύσεις αποθήκευσης. Στον ναυτιλιακό τομέα γίνεται αποθήκευση υγροποιημένου υδρογόνου. Ουσιαστικά αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την αποθήκευση υδρογόνου σε υγρή κατάσταση με ψύξη ατμών υδρογόνου σε κρυογονικές θερμοκρασίες (-240°C). Η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει αποκτήσει εμπειρία με κρυογενή καύσιμα λόγω του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Βέβαια οι προκλήσεις με την αποθήκευση του υγρού υδρογόνου είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το LNG αφού απαιτεί πολύ περισσότερο χώρο, αλλά από τη διαδικασία ανάπτυξης και εδραίωσης του LNG μπορούμε να λάβουμε πολλά δεδομένα και να τα υιοθετήσουμε για τη χρήση υγρού υδρογόνου.

Τεχνολογία και Εφαρμογή

Τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται στο H_2 μπορεί να είναι μια ακόμη εναλλακτική λύση στα σημερινά συστήματα που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα. Ενώ οι κυψέλες καυσίμου θεωρούνται το κλειδί στην τεχνολογία για το υδρογόνο, άλλες εφαρμογές είναι επίσης υπό εξέταση, όπως αυτές των αεριοστρόβιλων και των κινητήρων εσωτερικής καύσης σε αυτόνομη λειτουργία ή με ρυθμίσεις που ενσωματώνουν κυψέλες καυσίμου. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης με υδρογόνο για θαλάσσιες εφαρμογές θεωρείται ότι είναι λιγότερο αποτελεσματικές από τους κινητήρες ντίζελ. Εμβολοφόροι κινητήρες με υδρογόνο για πλοία δεν είναι διαθέσιμα στην αγορά. Στην ξηρά, η ανάπτυξη είναι σε εξέλιξη. Πιθανώς μεγαλύτερης κλίμακας βιομηχανικές και ναυτιλιακές εφαρμογές σε συνδυασμό με λύσεις ανάκτησης θερμότητας μπορεί να είναι καταλληλότερες για υψηλής θερμοκρασίας τεχνολογίες όπως οι κυψέλες καυσίμου στερεών

οξειδίων (SOFC) ή ακόμη και βιομηχανικά συστήματα που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων.

Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα

Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται στις κυψέλες καυσίμου ως μετατροπείς ενέργειας δεν παράγει εκπομπές CO₂, ενώ παράλληλα θα μπορούσαν να εξαλειφθούν οι εκπομπές NO_x, SO_x και σωματιδίων (PM) από πλοία. Κινητήρες εσωτερικής καύσης με υδρογόνο για θαλάσσιες εφαρμογές θα μπορούσαν επίσης να ελαχιστοποιήσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG), χωρίς όμως να μπορούν να αποφευχθούν οι εκπομπές NO_x.

Το υδρογόνο από οικονομική σκοπιά

Το κόστος της παραγωγής H₂ ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης) ή του φυσικού αερίου (σε περίπτωση αναμόρφωσης), και της κλίμακας της μονάδας παραγωγής. Η ανάγκη για μεταφορά και η συμπίεση ή η υγροποίηση επηρεάζει επίσης την τιμή αγοράς από την πλευρά του καταναλωτή. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, η τιμή των ηλεκτρολυτών θα πέσει στο εγγύς μέλλον, μειώνοντας το CAPEX και κατά συνέπεια το κόστος παραγωγής του υδρογόνου. Η τοποθεσία των εγκαταστάσεων παραγωγής μπορεί επίσης να διαδραματίζει κάποιο ρόλο στο κόστος του H₂. Για παράδειγμα, η ηλεκτρόλυση σε περιοχές όπως η Νορβηγία με χαμηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος παραγωγής.

Κανονισμοί

Το υδρογόνο είναι ένα καύσιμο χαμηλού σημείου ανάφλεξης για τον Διεθνή Κώδικα Ασφάλειας Πλοίων που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης (IGF Code). Η έκδοση του κώδικα IGF δεν καλύπτει την αποθήκευση υδρογόνου. Κανόνες για τη χρήση υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου είναι υπό ανάπτυξη και θα ενταχθούν σε μελλοντική τροποποίηση του κώδικα IGF. Προς το παρόν, η αποθήκευση και χρήση υδρογόνου πρέπει να ακολουθεί την εναλλακτική προσέγγιση σχεδιασμού σύμφωνα με τον Κανονισμό SOLAS II-1/55 για την επίδειξη ενός ισοδύναμου επιπέδου ασφάλειας.

Το Υδρογόνο στην Κρουαζιέρα

Σύμφωνα με το Industry Report της CLIA το Μάιο του 2024, 2 πλοία είναι στο βιβλίο παραγγελιών που θα χρησιμοποιούν πράσινο Υδρογόνο ή πράσινο Μεθανόλη. Μέχρι το 2028 προβλέπεται το 15% του στόλου να έχει κυψέλες καυσίμου μαζί με σύστημα Μπαταριών, ώστε να εφαρμόζεται παραγωγή υβριδικής ενέργειας. Στον κλάδο αναμένονται μεγάλες επενδύσεις με στόχο την απανθρακοποίηση και ένα από τα κύρια όπλα για να επιτευχθεί αυτό θα είναι μεταξύ άλλων η στροφή στις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

4.3 Αμμωνία

Στην βιομηχανία παραγωγής αμμωνίας, έχει εδραιωθεί ένα σύστημα, με βάση τα χρώματα, που καθορίζει την ποσότητα άνθρακα που εκλύεται από τις διάφορες μεθόδους παραγωγής.

Γκρι

Ονομαζόμενη και «καφέ» αμμωνία, αποτελεί την συμβατική αμμωνία που παράγεται εδώ και 100 χρόνια. Η μέθοδος Haber-Bosch, υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό των 180 εκατομμυρίων τόνων της ετήσιας παραγωγής αμμωνίας, βασίζεται στην αντίδραση του υδρογόνου με ατμοσφαιρικό άζωτο. Όπως προαναφέρθηκε, όταν το υδρογόνο παράγεται από την αναμόρφωση μεθανίου με ατμό, εκλύονται ποσότητες CO₂.

Μπλε

Η μπλε αμμωνία είναι η συμβατική αμμωνία, με την διαφορά πως η περίσσεια του CO₂ αποθηκεύεται, μειώνοντας έτσι το αντίκτυπο στο περιβάλλον, σε σχέση με την γκρι αμμωνία.

Πράσινη

Η πράσινη αμμωνία παράγεται από υδρογόνο που προέρχεται από ηλεκτρόλυση νερού, μέσω ανανεώσιμης ενέργειας. Η μέθοδος αυτή δεν έχει εδραιωθεί, ωστόσο έχουν ξεκινήσει πολλά εγχειρήματα, με στόχο την παραγωγή μικρών ποσοτήτων, σε σχέση με τις τωρινές παραγόμενες ποσότητες συμβατικής αμμωνίας.

Τιρκουάζ

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί πυρόλυση για να μετατρέψει το μεθάνιο σε αγνό άνθρακα και υδρογόνο, το οποίο μαζί με άζωτο παράγει αμμωνία. Η βιομηχανία κατατάσσει την τιρκουάζ αμμωνία ανάμεσα στην μπλε και την πράσινη.

Η χρήση αμμωνίας ως καύσιμο είναι νέα στην ναυτιλία. Έχει παρατηρηθεί ότι η αμμωνία από μόνη της έχει χαμηλή αποδοτικότητα ως καύσιμο λόγω της δυσκολίας καύσης της. Αυτό οφείλεται στο ότι η αμμωνία έχει υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης, χαμηλή ταχύτητα φλόγας και περιορισμένα όρια αναφλεξιμότητας. Για να αναφλεγεί, απαιτεί πολύ υψηλό βαθμό συμπίεσης και υψηλή θερμοκρασία, οδηγώντας επίσης σε υψηλή παραγωγή NOx. Οπότε πρέπει να λάβουμε υπόψη την περίπτωση ανάμειξης της με δεύτερο καύσιμο (πχ υδρογόνο) είτε την χρήση φλόγας εναύσματος .

Κυψέλες Καυσίμου vs Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Η αμμωνία μπορεί να καεί είτε σε κινητήρα εσωτερικής καύσης είτε να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου.

- Κινητήρας εσωτερικής καύσης

Πολλοί κατασκευαστές εργάζονται για την ανάπτυξη κινητήρα που τροφοδοτείται με αμμωνία. Μέσα από έρευνες έχει παρατηρηθεί ότι μια καλή λύση για τη μετατροπή σε αμμωνία θα ήταν η οικογένεια κινητήρων έγχυσης υγρού (LGI). Αυτοί οι κινητήρες είναι εδραιωμένοι στην αγορά με δεκάδες χιλιάδες ώρες λειτουργίας με εναλλακτικά καύσιμα, παρέχοντας έτσι μια αξιόπιστη λύση.

- Κυψέλες καυσίμου

Η χρήση κυψελών καυσίμου μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη θερμική απόδοση, λιγότερο θόρυβο και χαμηλότερες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Υπάρχουν όμως περιορισμένες επιλογές για χρήση συστημάτων κυψελών που χρησιμοποιούν κατευθείαν ως καύσιμο την αμμωνία. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης που είναι ήδη εμπορικά άμεσα διαθέσιμες αλλά θα χρησιμοποιούν καθαρό υδρογόνο ή εναλλακτικά μπορεί να γίνει χρήση κυψελών καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC) που θα χρησιμοποιούν κατευθείαν αμμωνία, παρ' όλα αυτά η εμπορευματοποίηση τους είναι ακόμα μακριά.

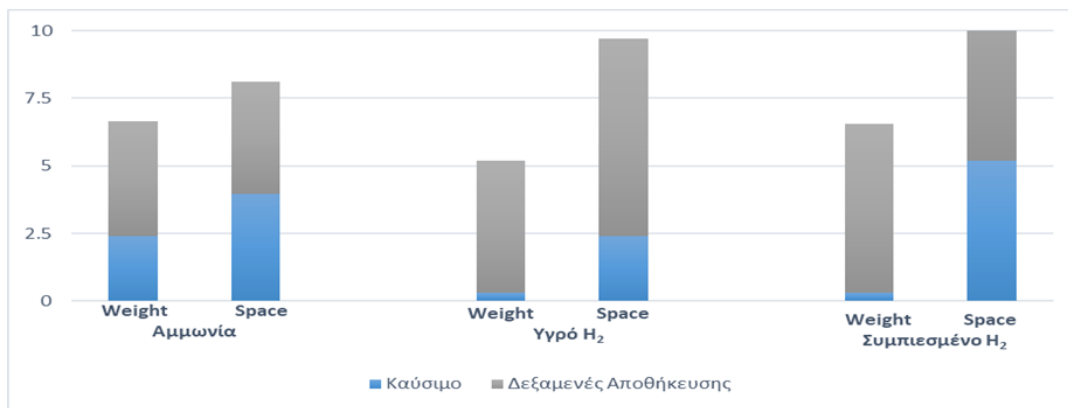
Αποθήκευση

- Ως καύσιμο

Η αμμωνία και το υγραέριο (LPG) μπορούν να αποθηκευτούν σε παρόμοιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Όπως το LPG, η αμμωνία έχει τάση ατμών χαμηλότερη από 10 bar στους 20 ° C. Η πίεση αποθήκευσης αυξάνεται με τη θερμοκρασία, επομένως τόσο το υγραέριο όσο και η αμμωνία μπορούν να αποθηκευτούν επί του σκάφους σε δεξαμενές τύπου C για να παραμείνουν υγρά επίσης σε υψηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον. Η δεξαμενή τύπου C έχει ευέλικτη εγκατάσταση και μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε ενοποιημένο σχεδιασμό ενός εμπορικού πλοίου. Το αναμενόμενο όριο εφαρμογής της δεξαμενής τύπου C είναι 2.000 m³. Η αμμωνία μπορεί επίσης να αποθηκευτεί στο πλοίο σε σχεδόν ατμοσφαιρική πίεση και σε συνθήκες ψύξης, όπως το υγραέριο. Σε αυτήν την περίπτωση, το κύριο πλεονέκτημα σε σχέση με το LNG και το υδροποιημένο υδρογόνο είναι ότι η θερμοκρασία αποθήκευσης σε ψυγείο αμμωνίας (-33 °C) είναι πολύ πάνω από τις κρυογονικές συνθήκες του LNG και του LH₂ (-162 έως - 240 °C)

- Ως μέσο μεταφοράς υδρογόνου

Μια εναλλακτική εφαρμογή της αμμωνίας θα ήταν η χρήση της ως μέσο μεταφοράς υδρογόνου. Η αμμωνία θα αποθηκεύεται και θα μεταφέρεται όπως την παραπάνω περίπτωση αλλά θα μετατρέπεται ξανά σε υδρογόνο το οποίο θα χρησιμοποιείται ως το κύριο καύσιμο. Υπάρχουν πολλές χημικές ουσίες που θα μπορούσαν ενδεχομένως να είναι φορείς υδρογόνου, αλλά μόνο αμμωνία δεν έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα θα είναι ότι σε σχέση με ένα πλοίο με υδρογόνο θα έχουμε λιγότερο περίπλοκη αποθήκευση, εφόσον η αποθήκευση της αμμωνίας δεν παρουσιάζει τα προβλήματα που έχει αυτή του υδρογόνου και η μετατροπή από αμμωνία σε υδρογόνο είναι απλή διαδικασία. Στην εικόνα 14 φαίνεται η ενδεικτική αύξηση σε χώρο και βάρος της αμμωνίας, του LH₂ και του συμπιεσμένου υδρογόνου σε σχέση με το ντίζελ (ο χώρος και το βάρος που απαιτούνται για το Diesel έχει οριστεί ως 1).



Εικόνα 14. Ενδεικτική αύξηση σε χώρο και βάρος της αμμωνίας, του LH₂ και του συμπιεσμένου υδρογόνου σε σχέση με το ντίζελ (ο χώρος και το βάρος που απαιτούνται για το diesel έχει οριστεί ως 1).

Τεχνολογία και εφαρμογή

Η έγχυση αμμωνίας σε αγωγό εισαγωγής είναι τεχνικά απλούστερη και απαιτεί μικρές τροποποιήσεις κινητήρα για την ανάπτυξη ενός πειραματικού προτύπου που μπορεί επιτρέπει τις απαραίτητες έρευνες. Ως εκ τούτου, διεξήχθησαν αρκετές μελέτες χρησιμοποιώντας έγχυση στον αγωγό εισαγωγής εστιάζοντας στο βαθμό υποκατάστασης του καυσίμου ντίζελ που μπορεί να επιτευχθεί και στην απόδοση καύσης. Για το λόγο αυτό, θεωρείται ότι η χρήση άμεσης έγχυσης αμμωνίας μπορεί να αποτελεί μια κατάλληλη λύση, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικούς στόχους: υψηλός βαθμός υποκατάστασης καυσίμου ντίζελ, απόδοση, μείωση εκπομπών ρύπων (CO₂, SO_x, PM).

Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα

Η αμμωνία είναι μια ένωση αζώτου και υδρογόνου. Καθώς η αμμωνία δεν περιέχει άνθρακα και θείο, δεν εκπέμπει ούτε CO₂ ούτε SO_x όταν χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό δημιουργεί τη δυνατότητα για μηδενικές εκπομπές άνθρακα και θείου. Βέβαια αυτό εξαρτάται και από τον τρόπο παραγωγής της αμμωνίας. Σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό αμμωνίας παράγεται από φυσικό αέριο και έτσι υπάρχουν σημαντικές εκπομπές ρύπων, κάτι που πρέπει να αντιμετωπίσει η βιομηχανία. Επιπλέον, η καύση της αμμωνίας στους κινητήρες απελευθερώνει νιτρώδες οξείδιο (N₂O), ένα αέριο θερμοκηπίου ακόμη πιο ισχυρό από το CO₂. Με αυτόν τον τρόπο, θα χρειαστεί επιπλέον εξοπλισμός για τον έλεγχο των εκπομπών NO_x.

Προκλήσεις

Η χρήση της αμμωνίας ως ναυτιλιακό καύσιμο στο μέλλον θα απαιτήσει νέες υποδομές στα πλοία για τροφοδοσία και συντήρηση. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι οι λιμένες που διαθέτουν τερματικούς σταθμούς αμμωνίας και επί του παρόντος διαχειρίζονται το εμπόριο αμμωνίας που διαθέτει τον απαραίτητο εξοπλισμό και εγκαταστάσεις αποθήκευσης για αμμωνία, μπορούν να γίνουν τα θεμέλια του δικτύου διανομής αμμωνίας ως καυσίμου πλοίου στο μέλλον. Προφανώς, τα

πρώτα πλοία με αμμωνία ως καύσιμο μπορούν να είναι εκείνα που μεταφέρουν τώρα αμμωνία ως φορτίο σύμφωνα με την προηγούμενη εμπειρία με το LNG, τη μεθανόλη και το υγραέριο.

Στην περίπτωση ενός πλοίου που μεταφέρει αμμωνία ως φορτίο η μετάβαση είναι φυσικά πολύ ευκολότερη. Οι μόνες προσαρμογές που θα γίνουν πιθανότατα θα περιορίζονται στην εγκατάσταση ενός αποκλειστικού συστήματος παροχής καυσίμου NH_3 και στην απαραίτητη αναβάθμιση του κινητήρα. Σε αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν ρύπανση του ίδιου του φορτίου που προκαλείται από ρύπους που προέρχονται από τον κινητήρα.

Στην περίπτωση πλοίου που δεν μεταφέρει αμμωνία ως φορτίο, πρέπει να εγκατασταθούν οι υποδομές τροφοδοσίας και αποθήκευσης επί του πλοίου, καθώς και οι προαναφερθείσες προσαρμογές συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου και κινητήρα. Ο σχεδιασμός και η ασφάλειά τους αναμένεται να ρυθμίζονται από τον κώδικα IGF, μαζί με την περιγραφή των διαδικασιών για ασφαλή φόρτωση, αποθήκευση και λειτουργία ολόκληρου του συστήματος αμμωνίας επί του πλοίου.

Σύστημα παροχής καυσίμων (FSS)

Το FSS είναι το σύστημα που εξασφαλίζει ότι η αμμωνία που παρέχεται στον κινητήρα είναι στις κατάλληλες συνθήκες. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος πιθανών διαρροών αμμωνίας στο μηχανοστάσιο, το FSS μπορεί να εγκατασταθεί στο κατάστρωμα και να συνδεθεί με τον κινητήρα μέσω σωληνώσεων διπλού τοιχώματος. Η εγκατάσταση στο μηχανοστάσιο είναι επίσης δυνατή, με τις απαραίτητες όμως προφυλάξεις, όπως ένα σύστημα αεροφράκτη που αποτρέπει οποιαδήποτε διάχυση της αμμωνίας στο μηχανοστάσιο.

Κίνδυνοι και υπάρχοντα μέτρα ασφάλειας

- Τοξικότητα

Κατά την χρήση της αμμωνίας προκύπτουν σημαντικοί κίνδυνοι τόσο για την κατασκευαστική ακεραιότητα του πλοίου όσο και για την υγεία και την ασφάλεια επιβατών και πληρώματος. Ο σημαντικότερος κίνδυνος οφείλεται σε ένα από τα βασικά μειονεκτήματα της: την τοξικότητα. Η αμμωνία είναι τοξική για τους ανθρώπους. Η έκθεση των ανθρώπων στην αμμωνία είναι ασφαλής μέχρι συγκεκριμένα επιτρεπτά όρια. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις η αμμωνία μπορεί να είναι επιβλαβής για τα μάτια, τους πνεύμονες και το δέρμα, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις ή μέσω απευθείας επαφής είναι επικίνδυνη για την ίδια την ζωή του ανθρώπου. Η επαφή μεγάλης ποσότητας αμμωνίας με το δέρμα μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένα και βαριά εγκαύματα. Επίσης αν έρθει σε επαφή με τα μάτια προκαλεί από έντονο πόνο και δάκρυα μέχρι και την βλάβη του κερατοειδούς.

Για να αποφευχθούν επικίνδυνες συγκεντρώσεις αμμωνίας σε κλειστούς χώρους που περιλαμβάνουν συστήματα που περιέχει αμμωνία, λειτουργεί συνεχώς ένα σύστημα εξαερισμού παράλληλα με ειδικούς αισθητήρες αμμωνίας. Μάλιστα, σε περίπτωση διαρροής ο εξαερισμός του αέρα εντείνεται με σκοπό να κρατηθεί η συγκέντρωση της αμμωνίας σε χαμηλά επίπεδα. Σε ανοιχτούς χώρους από την άλλη, αν συμβεί κάποια διαρροή, ψεκάζεται νερό με σκοπό τη διάλυση της αέριας αμμωνίας σε αυτό. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η διασπορά της. Προσθέτοντας επιπλέον νερό, η συγκέντρωση της αμμωνίας μειώνεται ακόμη περισσότερο ελαττώνοντας τους κινδύνους που προκύπτουν από την τοξικότητα της.

- Πυρασφάλεια

Επιπρόσθετα, η αμμωνία όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι μια εύφλεκτη ουσία με στενή περιοχή αναφλεξιμότητας. Γι' αυτόν τον λόγο ο κίνδυνος να προκύψει πυρκαγιά λόγω της αμμωνίας είναι μικρότερος συγκριτικά με άλλα καύσιμα. Ωστόσο, είναι πιθανό να συμβεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Επιπλέον, η αμμωνία μπορεί να αντιδράσει με αλογόνα και οξειδωτικά και να προκαλέσει βίαιες αντιδράσεις ακόμη και εκρήξεις.

Λόγω αυτού οι διάφορες προδιαγραφές ασφαλείας επιβάλλουν η αμμωνία να αποθηκεύεται σε ψυχρούς, καλώς εξαερισμένους χώρους μακριά από πηγές ανάφλεξης και ξεχωριστά από άλλα χημικά, και συγκεκριμένα οξειδωτικά αέρια και οξέα. Ακόμη, συστήματα αραίωσης της αμμωνίας χρησιμοποιούνται ώστε να μην βρίσκεται στην περιοχή αναφλεξιμότητάς της. Σε περίπτωση μικρής πυρκαγιάς, η κατάσβεσή της γίνεται με χρήση ξηρών χημικών ή διοξειδίου του άνθρακα. Από την άλλη, αν ξεσπάσει εκτεταμένη πυρκαγιά συνήθως χρησιμοποιούνται σπρέι νερού, ομίχλη και αφρός, αλλά χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να μην υπάρξει μόλυνση του περιβάλλοντος από το αραιωμένο νερό.

- Διάβρωση

Ένας επιπλέον κίνδυνος που προκύπτει κατά την χρήση και την αποθήκευση της αμμωνίας είναι το γεγονός πως η αμμωνία είναι ασύμβατο με διάφορα βιομηχανικά υλικά και υπό την παρουσία υγρασίας αντιδρά με τον χαλκό, τον ορείχαλκο, τον ψευδάργυρο και τα διαβρώνει, σχηματίζοντας ένα πράσινο χρώμα. Τέλος, όταν στην υγρή αμμωνία τα επίπεδα οξυγόνου είναι λίγο μεγαλύτερα από μερικά ppm, η διάβρωση του μετάλλου οδηγεί σε δημιουργία ρωγμών που επεκτείνονται γρήγορα σε υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να προκαλέσουν τη θραύση του.

Είναι επομένως προφανές πως η επιλογή των υλικών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή λαμβάνοντας υπόψη τις αντιδράσεις που θα επέλθουν από την επαφή της αμμωνίας με αυτά. Συγκεκριμένα ο σίδηρος, ο χάλυβας και ορισμένα μη σιδηρούχα κράματα που δεν αντιδρούν με την αμμωνία, χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή των δεξαμενών, των σωληνώσεων και των διαφόρων δομικών στοιχείων όταν χρησιμοποιείται η αμμωνία.

Κανονισμοί

Εκτεταμένη χρήση της αμμωνίας γίνεται από τη βιομηχανία των λιπασμάτων και των ψυκτικών μέσων. Επομένως, οι περισσότεροι κανονισμοί που αφορούν τη χρήση της σχετίζονται με αυτές τις βιομηχανίες. Στη ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν αναπτυχθεί διάφοροι κανονισμοί. Ωστόσο, οι περισσότεροι σχετίζονται με τη χρήση γενικότερα εναλλακτικών καυσίμων στα πλοία, ένα από τα οποία είναι και η αμμωνία. Μερικοί από αυτούς τους κανονισμούς αναλύονται στη συνέχεια.

IGC Code- International Code for the construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk

Ο βασικός σκοπός του IGC Code, είναι να προσδώσει ορισμένα διεθνή στάνταρ για την ασφαλή μεταφορά, μέσω των πλοίων, υγροποιημένων αερίων και διαφόρων άλλων ουσιών που αναγράφονται στο κεφάλαιο 19 του κώδικα. Λαμβάνοντας υπ' όψη το προϊόν που μεταφέρεται, ο κώδικας περιγράφει τις βασικές σχεδιαστικές και κατασκευαστικές αρχές για τα πλοία και τον εξοπλισμό που πρέπει να διαθέτουν με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κινδύνου για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον.

Ο κώδικας περιλαμβάνει επίσης ένα ξεχωριστό κεφάλαιο για τη χρήση του φορτίου ως καύσιμο αλλά δεν επιτρέπει τη χρήση τοξικών προϊόντων, όπως η αμμωνία, γι' αυτόν τον σκοπό. Στην παρούσα του μορφή δηλαδή ο κώδικας δεν επιτρέπει τη χρήση της αμμωνίας ως καύσιμο. Ωστόσο θέτει με σαφήνεια τις βασικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται για τον σχεδιασμό συστημάτων αποθήκευσης καυσίμου για την αμμωνία.

IGF Code- International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels

Ο IGF Code, όπως έχει προαναφερθεί, παρέχει διεθνή πρότυπα για την ασφάλεια των πλοίων που χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης, εκτός από αυτά που καλύπτει ήδη ο IGC Code. Αναλυτικότερα, απαιτεί η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η ανεξαρτησία των συστημάτων να είναι ισοδύναμες με τα αντίστοιχα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, τη μεταφορά και την καύση συμβατικών καυσίμων. Παρουσιάζει επίσης ορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις για όλα τα είδη καυσίμων που καλύπτει ο ίδιος, αλλά περιλαμβάνει ειδικές σχεδιαστικές απαιτήσεις μόνο για το LNG. Τέτοιες προδιαγραφές για άλλα καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης, όπως είναι η αμμωνία, θα προστεθούν στον κώδικα όταν θεσμοθετηθούν από τον IMO.

Αμμωνία από οικονομική σκοπιά

Όπως έχουμε τονίσει από την αρχή, η αμμωνία από μόνη της χαρακτηρίζεται από χαμηλή αποδοτικότητα λόγω της δυσκολίας καύσης της. Αυτό κάνει τη διαφορά και στο κόστος των καυσίμων. Όταν το φυσικό αέριο είναι φθηνό, ήταν δυνατή η αγορά αμμωνίας για 400 \$/τόνο στις ΗΠΑ. Καθώς το πετρέλαιο με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO) έχει κατά μέσο όρο 350 \$/τόνο, αυτό φαίνεται σαν μια λογική τιμή. Αλλά θα χρειαζόταν δύομισι φορές περισσότερη αμμωνία, που συνεπάγεται ότι απαιτούνται 1.000 \$ για την ίδια ανάγκη, δηλαδή τρεις φορές υψηλότερο κόστος. Με την ενεργειακή κρίση, οι τιμές αυτές παγκοσμίως έχουν ανέβει κατακόρυφα, με την τιμή της αμμωνίας να γίνεται ακόμα πιο ασύμφορη. Ωστόσο η ανάγκη για μια πιο πράσινη ναυτιλία, φέρνει συνεχώς νέες εξελίξεις και επενδύσεις στο χώρο, κάτι που μακροπρόθεσμα είναι ικανό να ρίξει την τιμή της αμμωνίας σε πολύ λογικότερα επίπεδα.

Η Αμμωνία στην Κρουαζιέρα

Η βιομηχανία κρουαζιέρας συμμετέχει σε μια σειρά από πρωτοβουλίες για πράσινη ενέργεια, με σκοπό να αντιμετωπίσει τις μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές προκλήσεις και να προωθήσει την υιοθέτηση καυσίμων επόμενης γενιάς όπως η αμμωνία. Αυτό το εναλλακτικό καύσιμο μπορεί να είναι έτοιμο για χρήση στο μέλλον, αλλά είναι απαραίτητη η συνέχιση της έρευνας, αφού υπάρχουν ανησυχίες για τις απαιτήσεις αποθήκευσης, για την ασφάλεια και για το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο μεταξύ άλλων. Ας μην ξεχνάμε ότι η αμμωνία μπορεί να αξιοποιηθεί συνδυαστικά με άλλα καύσιμα, μειώνοντας έτσι το κόστος και τους κινδύνους που απορρέουν από τη χρήση της ως μοναδικό καύσιμο πρόωσης.

4.4 Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα είναι μια ακόμη πολλά υποσχόμενη επιλογή καυσίμου πλοίων που παράγεται από μια σειρά ανανεώσιμων πηγών βιομάζας που μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών από τη ναυτιλία και στη μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Η ενέργεια που παράγεται από τη βιομάζα θεωρείται μία από τις πρώτες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι ελκυστική λόγω της άρτιας διανομής της γεωγραφικά. Στην πραγματικότητα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1897, όταν κατασκευάστηκε ο πρώτος κινητήρας ντίζελ του Rudolf με φυσικέλαιο ως καύσιμο και είχε περίπου 75% απόδοση.

Η πρώτη ύλη βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων περιλαμβάνει εκτός των άλλων: υπολείμματα από τη γεωργία, στερεά απόβλητα από δήμους, χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, χαρτοπολτό και χαρτί, υδρόβιες και χερσαίες ενεργειακές καλλιέργειες. Για παράδειγμα, το σογιέλαιο και το κραμβέλαιο χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιοντίζελ στις Ηνωμένες Πολιτείες και την ΕΕ, ενώ χρησιμοποιείται φοινικέλαιο σε τροπικές χώρες όπως η Νιγηρία, η Μαλαισία, η Ινδονησία και η Ταϊλάνδη.

Τα βιοκαύσιμα μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες: πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς. Πιο αναλυτικά:

- Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς είναι εκείνα των οποίων η πρώτη ύλη βιομάζας είναι γεωργική καλλιέργειες (όπως σιτηρά, άμυλο και ελαιούχοι σπόροι) και ζωικά λίπη. Ένα κρίσιμο ζήτημα στο θέμα της σκοπιμότητας της πρώτης γενιάς είναι η επίδρασή της στα συνολικά τρόφιμα παραγωγής, καθώς μπορεί να προκαλέσει άμεσο ανταγωνισμό όσον αφορά τη χρήση της γης για τρόφιμα, καθώς το δυναμικό παραγωγής τους είναι περιορισμένο.
- Η πρώτη ύλη βιομάζας βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς προέρχεται από λιγνοκυτταρινικά υλικά όπως απόβλητα που παράγονται από δήμους, βιομηχανίες, δασοκομία. Αυτή η κατηγορία έχει τη δυνατότητα να παραχθεί σε μεγάλη κλίμακα χωρίς άμεσο ανταγωνισμό με τις καλλιέργειες τροφίμων και μπορεί να ανταποκριθεί στις τωρινές και μελλοντικές απαιτήσεις για ναυτιλιακά καύσιμα.
- Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς παράγονται από βιομάζα φυκιών, η οποία θεωρείται λιγότερο ανταγωνιστική από την παραγωγή τροφίμων.

Χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους παραγωγής, ορισμένες ποικιλίες βιοκαυσίμων έχουν αναπτυχθεί ως πιθανά εναλλακτικά καύσιμα πλοίων. Για παράδειγμα, πολλές μελέτες έδειξαν ότι το βιοντίζελ, ειδικά το Υδροεπεξεργασμένο Φυτικό Έλαιο (HVO) είναι πολλά υποσχόμενο λόγω της υψηλής του ογκομετρικής ενεργειακής πυκνότητας και της συμβατότητας με τους υπάρχοντες ναυτικούς κινητήρες ντίζελ. Η βιομεθανόλη θεωρείται επίσης μια εφικτή εναλλακτική λύση στα συμβατικά καύσιμα πλοίων δεδομένης της διαθεσιμότητάς της, της συμβατότητάς της με υπάρχοντες κινητήρες με ελάχιστες ή καθόλου τροποποιήσεις. Το Bio-LNG θα μπορούσε να είναι μια βιώσιμη αντικατάσταση του σημερινού LNG με βάση τα ορυκτά, αλλά το υψηλό κόστος παραγωγής και η περιορισμένη δυνατότητα για μείωση των εκπομπών GHG θα μπορούσε να εμποδίσει την υιοθέτησή του.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων προβλέπεται να αυξηθεί κατά μεγάλο ποσοστό την επόμενη πενταετία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτόνομο καύσιμο σε κινητήρες πλοίων ή ως μείγμα με HFO ή οποιοδήποτε άλλο συμβατό ορυκτό καύσιμο. Για παράδειγμα, ο μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων (FAME) είναι ένα βιοντίζελ που παράγεται από φυτικά έλαια ή μαγειρικά έλαια, που μπορεί να αναμειγνύεται αποτελεσματικά με αποστάγματα θαλάσσιων καυσίμων σε όγκο 7%.

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Η θετική εξέταση των βιοκαυσίμων σε μελλοντικά μείγματα βασίζεται στη δυνατότητά τους να εξουδετερώνουν τον άνθρακα χρησιμοποιώντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής, γιατί απελευθερώνουν την ίδια ποσότητα CO₂ που απορροφάται για την ανάπτυξή τους. Είναι ορατά επίσης τα περιβαλλοντικά τους οφέλη, από τη στιγμή που εξυπηρετούν τη μείωση των εκπομπών ρύπων όπως SO_x, PM, Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (PAHs), μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Από την άλλη πλευρά, οι έρευνες επιβεβαιώνουν το ζήτημα της αύξησης των εκπομπών NO_x από τη χρήση των βιοκαυσίμων (Lloyds Register, 2021). Οι Ηνωμένες Πολιτείες μέσω του Υπουργείου Ενέργειας ανακοίνωσαν κονδύλια έρευνας ύψους 61,4 εκατομμυρίων δολαρίων το 2021, για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τα βιοκαύσιμα ως καύσιμα για την τροφοδοσία των πλοίων με στόχο τη μείωση των εκπομπών ρύπων.

Η δυναμική των βιοκαυσίμων κατά τη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα πλοίων εξαρτάται από την τεχνική βιωσιμότητα, την οικονομική ανταγωνιστικότητα, την περιβαλλοντική καταλληλότητα και την ευρεία διαθεσιμότητα των καυσίμων. Αναφέρεται επίσης σε πολλές βιβλιογραφικές και τεχνικές εκθέσεις ότι τα βασικά οφέλη των βιοκαυσίμων ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο βρίσκονται στην ανανεωσιμότητά τους, τη χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, την καλύτερη απόδοση καύσης και τον υψηλότερο αριθμό κετανίων.

Μια άλλη δυναμική των βιοκαυσίμων είναι οι συμβατές ιδιότητες με τα συμβατικά ορυκτά ναυτιλιακά καύσιμα, που παρέχει στη ναυτιλιακή βιομηχανία την ευκαιρία να συνδυάσει βιοκαύσιμα σε ορισμένα ποσοστά με HFO και LSFO με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂, αλλά οι περισσότερες μελέτες εξακολουθούν να θεωρούν χαμηλό ποσοστό βιοκαυσίμων στο μείγμα καυσίμων (μεταξύ 5% και 30%).

Οι πραγματικές δυνατότητες των βιοκαυσίμων εξετάστηκαν από τη δοκιμή απανθρακοποίησης της Maersk British Petroleum με την υποστήριξη της Danish Maritime Authority το 2021. Έγινε χρήση 30% βιοκαυσίμου μεθυλεστέρα αναμειγμένο με 70% LSFO. Η δοκιμή του βιοκαυσίμου έδειξε τη χρησιμότητά του ως βιώσιμο ναυτιλιακό καύσιμο κατάλληλο για χρήση ως «drop-in-fuel», ενώ μελέτη από το Kesime et al. το 2019 επίσης επιβεβαιώνει την καταλληλότητά του για χρήση με τα υπάρχοντα συστήματα αποθήκευσης/διανομής των ορυκτών καυσίμων. Επίσης, στη Νορβηγία, πολλά πορθμεία εκτελούν δρομολόγια με HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) χωρίς να έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις.

Τα βιοκαύσιμα από οικονομική σκοπιά

Επί του παρόντος, τα HVO, FAME και LBG (liquefied biogas) είναι πιο ακριβά από τα αντίστοιχα ορυκτά. Η αγορά για αυτά τα καύσιμα είναι σε πρώιμο στάδιο και οι πληροφορίες για τις τιμές είναι πολύ περιορισμένη. Υπάρχουν επίσης μεγάλες τοπικές και περιφερειακές διακυμάνσεις στην τιμή και τη διαθεσιμότητα. Ωστόσο, η αγορά βιοκαυσίμων αναμένεται να αναπτυχθεί, με σημαντική

δυνατότητα μείωσης του κόστους. Η μείωση του κόστους παραγωγής αναμένεται να είναι υψηλότερη για τα HVO παρά για τα FAME. Συνεχείς βελτιώσεις της διαδικασίας, τεχνολογικές εξελίξεις και κλιμάκωση της παραγωγής θα καταστήσουν τα βιοκαύσιμα πολύ ευνοϊκότερα στο μέλλον.

Κανονισμοί

Υπάρχουν πολλά πρότυπα που καλύπτουν τα βιοκαύσιμα που αφορούν είτε τεχνικές είτε πτυχές βιωσιμότητας. Το πρώτο είναι το ISO 8217:2017, ένα εμπορικό πρότυπο ποιότητας που καθορίζει τις απαιτήσεις για καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες και λέβητες ντίζελ πλοίων και την συμβατική επεξεργασία τους επί του σκάφους (καθίζηση, φυγοκέντρηση, φιλτράρισμα) πριν από τη χρήση. Ενώ αυτό το πρότυπο δεν επέτρεψε το FAME να αναμειχθεί με απόσταγμα καυσίμου ή υπολειμματικά καύσιμα στο παρελθόν, η έκτη έκδοσή του εισάγει τους βαθμούς DF (Distillate FAME) DFA, DFZ και DFB. Αυτοί οι βαθμοί επιτρέπουν έως και 7% σε περιεχόμενο FAME κατ' όγκο και καλύπτονται επίσης από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN590. Οι περιορισμοί που αναφέρονται παραπάνω δεν ισχύουν για το HVO, το οποίο ταξινομείται ως DM (απόσταγμα) σύμφωνα με το πρότυπο ISO, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Το Διεθνές Συμβούλιο για Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης (CIMAC) παρέχει σε πλοιοκτήτες και χειριστές μια κατευθυντήρια γραμμή για τη διαχείριση αποσταγμάτων καυσίμου που περιέχουν έως και 7% FAME. Μεταξύ των προτύπων που αφορούν τη βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων είναι και η Οδηγία της ΕΕ για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπως επίσης και το ISO 13065, το οποίο καθορίζει αρχές, κριτήρια και δείκτες για την εφοδιαστική αλυσίδα βιοενέργειας για διευκόλυνση της αξιολόγησης των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών πτυχών βιωσιμότητας.

Ενώ υπάρχουν πρότυπα, εντούτοις υπάρχει έλλειψη σε παγκόσμιο επίπεδο σε αποδεκτά πρότυπα βιοκαυσίμων ειδικά για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ο IMO προς το παρόν κάνει αναφορά μόνο σε τεχνικά πρότυπα ISO που διέπουν τα καύσιμα.

Τα βιοκαύσιμα στην Κρουαζιέρα

Οι εταιρείες κρουαζιέρας βλέπουν τα βιοκαύσιμα ως μια σημαντική λύση στο δρόμο για μια πιο πράσινη ναυτιλία. Οι ενέργειες στρέφονται στα βιοκαύσιμα από μη βρώσιμη βιομάζα όπως είναι τα φυτικά υλικά και τα ζωικά απόβλητα. Αυτήν την εποχή 4 κρουαζιερόπλοια χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα, ενώ άλλα 4 νέα πλοία αναμένεται να διαμορφωθούν για χρήση βιοκαυσίμων. Γίνονται επίσης δοκιμές σε άλλα 24 πλοία. Η CLIA βρίσκεται σε διάλογο με τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής σχετικά με την ανάγκη για ένα ρυθμιστικό περιβάλλον που υποστηρίζει την παραγωγή, διανομή και χρήση βιοκαυσίμων. Η απαλλαγή από τις εκπομπές άνθρακα της κρουαζιέρας θα βασίζεται στη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, συμπληρωμένη με τη χρήση βιοκαυσίμων και βιοαερίου.

4.5 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες και οι υβριδικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής αντιπροσωπεύουν μια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται και διανέμεται η ενέργεια στο σκάφος. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν μπαταρίες είναι πιο ελεγχόμενα και πιο εύκολο να βελτιστοποιηθούν από άποψη απόδοσης, ασφάλειας και απόδοσης καυσίμου. Όσο τα συστήματα παραγωγής ενέργειας ηλεκτροδοτούνται ολοένα και περισσότερο, και καθώς η τεχνολογία της μπαταρίας βελτιώνεται και γίνεται περισσότερο προσιτή, νέες ευκαιρίες εμφανίζονται. Τα πλήρως ηλεκτρικά πλοία αντιπροσωπεύουν ένα άλμα προς τα εμπρός στο σχεδιασμό παραγωγής ενέργειας, αλλά προς το παρόν είναι εφικτές μόνο σε περιορισμένες εφαρμογές όπως πορθμεία και ακτοπλοϊκές ακτές. Η σκοπιμότητα της αμιγώς ηλεκτρικής λειτουργίας για άλλα σκάφη συνήθως περιορίζεται είτε από το μέγεθος του απαιτούμενου συστήματος μπαταρίας είτε από το κόστος του. Τους ίδιους περιορισμούς έχουν ακόμα και πολλές άλλες χρήσεις των συστημάτων αυτών. Απαιτούνται επειγόντως περαιτέρω εργασίες έρευνας και ανάπτυξης για να επιτευχθούν σημαντικές βελτιώσεις σε αυτήν την τεχνολογία και οι προσπάθειες είναι πολυεπίπεδες και σε πολλούς κλάδους.

Τεχνολογία

Οι εξελίξεις τα τελευταία χρόνια έχουν προκύψει κυρίως ως αποτέλεσμα βελτιωμένων διαδικασιών παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου, καθώς και σταδιακές βελτιώσεις στις υπάρχουσες χημείες και συνδυασμούς. Είναι σημαντικό να σημειωθεί που υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη χημικών που θεωρούνται «ιόντα λιθίου» και μπορεί να υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην απόδοση. Εξάλλου, ανάλογα με τον πωλητή, ακόμη και μπαταρίες με την ίδια ονομαστική χημική σύσταση μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Οι μπαταρίες φωσφορικού σιδήρου (LFP) και οι μπαταρίες NCM (Nickel Cobalt Manganese) έχει αποδειχθεί ότι ηγούνται της αγοράς. Αυτές οι μπαταρίες έχουν παραλληλιστεί με τη συνεχή βελτίωση της γνώσης σχετικά με το συγκρότημα ηλεκτροχημικών διεργασιών των μπαταριών, που οδηγούν σε βελτιστοποιημένο σχεδιασμό και χρήση. Επιπλέον, νέες εφαρμογές έχουν πλέον εισέλθει στην αγορά, αντιπροσωπεύοντας τις εξελίξεις από την πλευρά της ανόδου – τη χρήση από πυρίτιο ή τιτάνιο – που αποτελεί το αντίπαλο αντικείμενο για πιο προσιτή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή απόδοση.

Ο πίνακας 4 παρέχει τα κυριότερα χαρακτηριστικά για τους πιο γνωστούς τύπους μπαταριών, όπως την ενεργειακή πυκνότητα, την ισχύ, την απόδοση, τους κύκλους ζωής και το κόστος.

Battery Type	Energy density (kWh/kg)	Power density (kW/kg)	Efficiency	Lifetime (Cycle)	Capital Cost (\$/kWh)
Lead - Acid	$30-50 \times 10^{-3}$	$75-300 \times 10^{-3}$	70-90%	500-1000	70
Nickel-Cadmium	$50-75 \times 10^{-3}$	$150-300 \times 10^{-3}$	60-65%	2000-2500	300
Nickel Metal Hydride	$60-100 \times 10^{-3}$	$200-1500 \times 10^{-3}$	65-90%	750	300-500
Lithium - Ion	$100-200 \times 10^{-3}$	$80-2000 \times 10^{-3}$	85-90%	600-2000	200-700

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων Μπαταρίας [Πηγή: Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges]

Οι αυστηρές απαιτήσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας έχουν προχωρήσει πολύ το επίπεδο ασφάλειας που τα συστήματα μπαταριών ιόντων λιθίου μπορούν να παρέχουν. Οι τεχνολογίες στερεών ηλεκτρολυτών είναι από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες που εκκρεμούν και ενδέχεται να

παρουσιαστούν σημαντικά πλεονεκτήματα, ειδικά όσον αφορά την ασφάλεια. Αν και αυτή η μέθοδος θα πρέπει να αποδειχθεί ικανή να ανταπεξέλθει στις σκληρές απαιτήσεις της ναυτιλιακής απόδοσης, το βελτιωμένο επίπεδο ασφάλειας που μπορεί να παρέχει είναι σίγουρα ένα πλεονέκτημα για τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Οι ναυτιλιακές εφαρμογές είναι συχνά πολύ πιο απαιτητικές σχετικά με την απόδοση των μπαταριών ιόντων λιθίου σε σχέση με άλλες βιομηχανίες, όπως ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης ή δίκτυα υποστήριξης. Αυτές οι ανάγκες εξαρτώνται από την εφαρμογή, αλλά πολλά ναυτικά συστήματα απαιτούν πολύ μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος και πολύ μεγαλύτερους κύκλους ζωής από όσο μπορεί να είναι αποδεκτό για άλλα συστήματα μπαταριών ιόντων λιθίου. Αυτές οι απαιτήσεις αντιπροσωπεύουν μια ανάγκη στα ναυτικά συστήματα για βελτίωση του κόστους και της ενεργειακής πυκνότητας, η οποία οδηγεί σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Υποδομές

Δεδομένης της απουσίας κόστους κατανάλωσης, οι μπαταρίες δεν αντιμετωπίζουν τον ίδιος απαιτήσεις προμήθειας ή υποδομής όπως άλλες, πιο παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Η υποδομή που απαιτείται για τα συστήματα μπαταριών επί του πλοίου συνίσταται κυρίως στην παροχή επαρκούς πλέγματος φόρτισης. Ανάλογα με την εφαρμογή, το μέγεθος της μπαταρίας και τους απαιτούμενους χρόνους φόρτισης μπορεί να αυξηθεί η ζήτηση ισχύος. Για παράδειγμα, η φόρτιση 1.000 kWh (περίπου ισοδυναμεί με 100 λίτρα καυσίμου με βάση το πετρέλαιο) σε 30 λεπτά απαιτεί 2.000 kW ισχύος. Φορτίζοντας την ίδια ποσότητα ενέργειας σε 10 λεπτά απαιτούνται 6.000 kW ισχύος στην ξηρά. Αυτό συχνά επιβαρύνει σημαντικά τα τοπικά δίκτυα ηλεκτρισμού και μπορεί να απαιτούνται πρόσθετες πηγές.

Σε γενικές γραμμές, η υπάρχουσα υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία. Μια άλλη βασική πτυχή είναι ότι ένα σύστημα μπαταριών είναι ουσιαστικά μια συσκευή που αποθηκεύει ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος και διασυνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο με τυποποιημένο υλικό ηλεκτρονικής ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι από τη στιγμή που το ηλεκτρικό σύστημα έχει δημιουργηθεί για μια δεδομένη εγκατάσταση, είναι μια απλή διαδικασία η αντικατάσταση των μπαταριών με νέα, ενημερωμένη τεχνολογία ή τεχνολογία αντικατάστασης. Επομένως οι υποδομές ηλεκτρισμού για συστήματα μπαταριών επαναχρησιμοποιούνται εύκολα και η φύση της τεχνολογίας επιτρέπει υψηλό βαθμό εναλλαξιμότητας.

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Οι μπαταρίες παράγουν μηδενικές εκπομπές κατά τη λειτουργία, αλλά όπως σε κάθε παραγωγική διαδικασία, η κατασκευή των μπαταριών είναι ενεργοβόρα. Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τις εκπομπές ισοδύναμου CO₂ των κύκλων ζωής τόσο συμβατικών συστημάτων, όσο και συστημάτων μπαταριών. Για το ναυτιλιακό τομέα, το περιβαλλοντικό όφελος των μπαταριών είναι συντριπτικό. Παρόμοιες μελέτες αποδεικνύουν ότι η χρήση μπαταριών έχει ανάλογα πλεονεκτήματα και στη μείωση των εκπομπών NO_x.

Επιπλέον, η ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου έχει αποδειχθεί ότι είναι εφικτή, με αρκετές εταιρείες να παρέχουν αυτήν την υπηρεσία. Η τρέχουσα εστίαση είναι στην ανάκτηση αλουμινίου και χαλκού, καθώς αυτά παρέχουν τα μεγαλύτερα έσοδα, με τη χαμηλή τιμή του ορυκτού λιθίου να

αποδεικνύεται όμως άκρως ανταγωνιστική. Το δυναμικό τέτοιων διεργασιών περιορίζεται κυρίως στην τρέχουσα χαμηλή εισροή από ανακυκλωμένες, χρησιμοποιημένες ή παροπλισμένες μπαταρίες.

Κανονισμοί

Ο πρωταρχικός στόχος των σχετικών κανονισμών είναι η ασφάλεια συστημάτων και εγκαταστάσεων μπαταριών. Το DNV·GL ήταν ο πρώτος νηογνώμονας που ανέπτυξε τέτοιους κανόνες και συμμετέχει ενεργά σε ερευνητικά προγράμματα για να συνεχίσει τη βελτίωση και την ανάπτυξη αυτών των απαιτήσεων. Άλλοι νηογνώμονες ανέπτυξαν δικούς τους κανόνες, αλλά δεν υπάρχει τίποτα αξιοσημείωτο που έχει επιτευχθεί μέχρι στιγμής σε επίπεδο IMO.

Οι Μπαταρίες από οικονομική σκοπιά

Οι τιμές των μπαταριών μειώνονται πολύ γρήγορα, ενώ βελτιώσεις απόδοσης μπορούν να παρατηρηθούν σε ορισμένες περιοχές της αγοράς. Αυτές οι μειώσεις κόστους καθοδηγούνται κυρίως από τη ζήτηση στην αυτοκινητοβιομηχανία και στις βιομηχανίες ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης. Οι τιμές παρουσιάζουν διακύμανση ευρέως, ανάλογα με την απόδοση, την τεχνολογία και την εφαρμογή. Οι τιμές για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, όπως στη ναυτιλία, περιλαμβάνουν τόσο τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, όσο και το κόστος της ολοκλήρωσης του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής, μηχανήματα υπολογιστών και λογισμικού ελέγχου των μπαταριών, ηλεκτρονικά ισχύος, θερμική διαχείριση και δοκιμές.

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν θέσει ως στόχο τιμή 100 USD/kWh, για μπαταρίες ιόντων λιθίου, και σύμφωνα με τις προβλέψεις της αγοράς, αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί. Αυτό μπορεί να επηρεάσει το κόστος του ναυτιλιακού συστήματος που βρίσκεται έως και 200 USD/kWh, αν και επιπλέον κόστος ενδέχεται να παραμείνουν σε ισχύ σε αυτό το τμήμα της αγοράς. Ένας πρωταρχικός στόχος για τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών θα είναι η περαιτέρω αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας για νέες εφαρμογές, ακολουθούμενη από τη συνεχιζόμενη καθοδική τάση των τιμών.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι αυτήν τη στιγμή η κορυφαία τεχνολογία. Άλλες τεχνολογίες ενδέχεται να ωριμάσουν και να αντικαταστήσουν την υπάρχουσα τεχνολογία, εφόσον είναι ανταγωνιστική και η τιμή τους. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι πηγές ιόντων λιθίου φαίνονται επαρκείς μακροπρόθεσμα. Οι κυριότερες χώρες προέλευσης είναι η Χιλή, η Κίνα και η Αυστραλία.

Οι Μπαταρίες στην Κρουαζιέρα

Σύμφωνα με τις εξαγγελίες της ένωσης Κρουαζιέρας, περισσότερο από το 15% των κρουαζιερόπλοιων που θα τεθούν σε υπηρεσία τα επόμενα πέντε χρόνια θα είναι εξοπλισμένα με αποθηκευτικό χώρο μπαταριών για να επιτρέπουν την παραγωγή υβριδικής ενέργειας μόλις είναι διαθέσιμη.

Ήδη αρκετές εταιρείες έχουν επενδύσει στη λύση των συστημάτων μπαταριών. Η AIDA CRUISES χρησιμοποιεί τη μεγαλύτερη μπαταρία που έχει τοποθετηθεί σε μεγάλο κρουαζιερόπλοιο. Λόγω του μεγέθους της (10 MWh), το πλοίο αναγκάστηκε να αφαιρέσει μια από τις χρησιμοποιητές δεξαμενές νερού. Στα νέα πλοία η εγκατάσταση μπαταρίας θα είναι προφανώς ευκολότερη, αφού θα έχει προβλεφθεί ο χώρος ήδη από τη σχεδίαση. Η ίδια εταιρεία έχει ως στόχο στο μέλλον να χρησιμοποιεί μπαταρίες μεγέθους 50-100 MWh.



Εικόνα 15. Το πλοίο AIDA perla που χρησιμοποιεί μπαταρία 10 MWh για την πρόωσή του. [Πηγή: Aida Cruises]

Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογία και Δεδομένα της Οικονομικής Αξιολόγησης των Εναλλακτικών Καυσίμων

Όπως έχει επισημανθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο κλάδος της κρουαζιέρας καταβάλλει μεγάλες προσπάθειες για τη μετάβαση σε μια πιο πράσινη ναυτιλία, ύστερα και από τις κατευθύνσεις του IMO. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν επενδυθεί μεγάλα ποσά σε μελέτες ώστε να αξιολογηθεί, ποια είναι αυτά τα καύσιμα στα οποία μπορεί να βασιστεί η ναυτιλιακή βιομηχανία για τη μετάβαση αυτή. Οι βασικοί τομείς που ερευνώνται είναι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, η οικονομική σκοπιμότητα και η εγγενής ασφάλεια των νέων συστημάτων.

Στο παρόν κεφάλαιο εισάγεται η μεθοδολογία της οικονομικής αξιολόγησης των εναλλακτικών καυσίμων, εφαρμοσμένα στα κρουαζιερόπλοια και παρατίθενται τα δεδομένα που έχουμε λάβει από τη βιβλιογραφία ώστε να κάνουμε τους δικούς μας υπολογισμούς. Επιλέχθηκαν για μελέτη το Υδροποιημένο Φυσικό Αέριο, οι Μπαταρίες, το Υδρογόνο, η Μεθανόλη, η Αμμωνία και τα Βιοκαύσιμα. Εκτιμήθηκε το κέρδος που θα έχουμε σε σχέση με τη χρήση ενός συμμορφούμενου καυσίμου, του MGO (Marine Gas Oil), με σκοπό να εξάγουμε συμπεράσματα για το ποια από αυτά τα καύσιμα είναι πιο συμφέροντα οικονομικά για να επενδύσει ένας πλοιοκτήτης. Άλλωστε η οικονομική απόδοση ενός οποιουδήποτε καυσίμου είναι ένας από τους βασικούς άξονες, πάνω στον οποίο μια εταιρεία επιλέγει τα καύσιμα που θα χρησιμοποιήσει στα πλοία της για πρόωση. Για την αξιολόγηση επιλέχθηκαν οικονομικά εργαλεία όπως το OPEX (Operational Expenditures), το CAPEX (Capital Expenditures), το NPV (Net Present Value), το Κόστος Κεφαλαίου και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return, IRR) μιας επένδυσης, καθώς και η Απόσβεση.

- Capex (Capital Expenditures)

Είναι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες που οφείλει να καταβάλλει ένας πλοιοκτήτης για την εφαρμογή μιας επένδυσης. Μπορεί να περιλαμβάνει τα έξοδα για την απόκτηση του εξοπλισμού, των εγκαταστάσεων και της τεχνολογίας της επένδυσης αυτής. Για παράδειγμα, στην περίπτωση επένδυσης σε ένα νέο εναλλακτικό καύσιμο, τα αρχικά κεφαλαιουχικά κόστη μπορεί να αναφέρονται στην απόκτηση ενός νέου κινητήρα, δεξαμενών αποθήκευσης του καυσίμου, συστήματα καθαρισμού, γεννήτριες κ.α. Ένας πλοιοκτήτης μπορεί να επιλέξει υψηλότερα κεφαλαιουχικά κόστη για μια επένδυση, αν πιστεύει ότι αυτή στο μέλλον δύναται να του αποφέρει μεγαλύτερα κέρδη και να κάνει σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα απόσβεση της επένδυσης αυτής. Συνολικά, το CAPEX είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που αναλύουμε για να κατανοήσουμε τις επενδυτικές προτεραιότητες μιας εταιρείας και να αξιολογήσουμε τη στρατηγική της για βιώσιμη ανάπτυξη.

- Opex (Operational Expenditures)

Είναι οι λειτουργικές δαπάνες που οφείλει να καταβάλλει ένας πλοιοκτήτης στο διάστημα κάποιου χρόνου. Συχνότερα αναφέρεται σε μηνιαία ή ετήσια κόστη. Μιλώντας για επένδυση σε ένα συγκεκριμένο καύσιμο, οι λειτουργικές δαπάνες μπορεί να περιλαμβάνουν έξοδα όπως το κόστος καυσίμου, τη συντήρηση των εξαρτημάτων, τους φόρους που πληρώνονται για τις εκπομπές αερίων του πλοίου κ.α. Τα λειτουργικά έξοδα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή μιας επένδυσης για τους αρμόδιους, καθώς πολύ υψηλά λειτουργικά κόστη δύναται να καταστήσουν μια επένδυση ασύμφορη σε βάθος χρόνου, ακόμα κι αν το αρχικό κεφαλαιουχικό κόστος ήταν μικρό. Ο

υπολογισμός του Orex είναι κομβικός για έναν πλοιοκτήτη, γιατί με το εργαλείο αυτό μπορεί να υπολογίσει ποιες είναι οι μελλοντικές οικονομικές του υποχρεώσεις και εν τέλει ποια θα είναι τα καθαρά έσοδα που προκύπτουν από την επιλογή μιας επένδυσης.

- Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value)

Όπως σε κάθε σημαντικό τομέα της οικονομίας, έτσι και στις θαλάσσιες μεταφορές μεγάλη σημασία έχει η δυνατότητα ορθολογικής αξιολόγησης επενδύσεων. Η Καθαρά Παρούσα Αξία (ΚΠΑ ή Net Present Value NPV) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να πραγματοποιηθεί ή όχι.

Η ιδέα για την ανάπτυξη της μεθόδου αυτής έχει να κάνει με τη Διαχρονική Αξία Χρήματος δηλαδή τη διαπίστωση πως ένα χρηματικό ποσό σήμερα έχει μεγαλύτερη χρησιμότητα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη αξία από ένα ίδιο χρηματικό ποσό στο μέλλον. Αυτό έχει να κάνει κυρίως με τον πληθωρισμό και τις ανθρώπινες προτιμήσεις καθώς και άλλες οικονομικές παραμέτρους.

Για τον υπολογισμό της ΚΠΑ χρειάζεται να γνωρίζουμε:

- το αρχικό κόστος της επένδυσης.
- Τα έσοδα $ΕΣ_t$ και έξοδα $ΕΞ_t$ (ταμειακές ροές) που συνδέονται με τη σχεδιαζόμενη επένδυση κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου t .
- Την οικονομική διάρκεια ζωής της επένδυσης N για την οποία θα εξεταστεί η επένδυση, δηλαδή σε τι βάθος χρόνου θέλουμε να δούμε αν κρίνεται συμφέρουσα ή όχι και τι αξία έχει η επένδυση μετά το τέλος της περιόδου αυτής.
- Το κόστος κεφαλαίου r στη χρονική περίοδο t .

Ο τύπος υπολογισμού της Καθαρής Παρούσας Αξίας μιας σειράς ταμειακών ροών, δέχεται ως μεταβλητές τις ταμειακές ροές και ένα επιτόκιο αναγωγής r (κόστος κεφαλαίου) και έχει ως αποτέλεσμα μια τιμή:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{ΕΣ_t - ΕΞ_t}{(1 + r)^t} - Αρχικό Κόστος Επένδυσης$$

Όπου:

t η χρονική περίοδος της επένδυσης,

N η διάρκεια ζωής της επένδυσης,

$ΕΣ_t$ τα έσοδα της επένδυσης σε μια χρονική περίοδο t ,

Εξτ τα έξοδα της επένδυσης σε μια χρονική περίοδο t ,

r το κόστος κεφαλαίου στη χρονική περίοδο t .

Ως προς την τιμή της ΚΠΑ ισχύουν τα εξής:

- Μηδενική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ = 0) σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή.
- Θετική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ > 0) σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα.
- Αρνητική καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ < 0) σημαίνει ότι η επένδυση είναι ζημιογόνα.

Αν δηλαδή μία παραγωγική μονάδα έχει να επιλέξει ανάμεσα σε ένα ολόκληρο φάσμα από πιθανές επενδύσεις, το κριτήριο της ΚΠΑ προτείνει το συνδυασμό εκείνο των επενδύσεων με τη μεγαλύτερη ΚΠΑ.

- Κόστος Κεφαλαίου r

Ως κόστος κεφαλαίου ορίζουμε το πόσο αποφέρει στο εισόδημά της μονάδας η χρήση μιας ακόμα μονάδας κεφαλαίου μεταξύ δύο διαδοχικών περιόδων. Εναλλακτικά, το κόστος κεφαλαίου μπορεί να ορισθεί και σαν κόστος ευκαιρίας, δηλαδή το πόσο θα μειωθεί το εισόδημά της μονάδας αν αυτή απωλέσει τη χρήση μιας μονάδας κεφαλαίου μεταξύ δύο διαδοχικών περιόδων (στην περίπτωση μιας επιχείρησης για την οποία η μοναδική ευκαιρία αξιοποίησης των κεφαλαίων της είναι η κατάθεσή τους στην τράπεζα -πράγμα σπάνιο- μία έξτρα μονάδα κεφαλαίου θα αποφέρει στην επιχείρηση έξτρα εισόδημα ίσο με τον τόκο που θα λάβει μεταξύ δύο διαδοχικών περιόδων). Για τις ανάγκες της εργασίας, θα υποθέσουμε ότι το κόστος κεφαλαίου είναι γνωστό.

- Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return ή IRR)

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR - Internal Rate of Return) είναι η τιμή του κόστους κεφαλαίου r που μηδενίζει την καθαρά παρούσα αξία μιας επένδυσης. Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το IRR. Το IRR χρησιμοποιείται για να συγκρίνει επενδύσεις. Η βασική διαφορά του από τη καθαρή παρούσα αξία είναι ότι μετράει και το χρόνο των ταμειακών ροών, όχι μόνο το συνολικό όγκο. Αν για παράδειγμα, δύο επενδύσεις με ίδια καθαρή παρούσα αξία έχουν διαφορετικά IRR, η επένδυση με το μεγαλύτερο IRR επιστρέφει χρήματα γρηγορότερα από αυτή με το χαμηλότερο IRR. Ο υπολογισμός του IRR γίνεται μέσω της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας που έχει προαναφερθεί.

- Απόσβεση

Είναι το πλασματικό και υποθετικό έξοδο που αντιπροσωπεύει τη μείωση της αξίας ενός εξοπλισμού, λόγω χρήσης, φθοράς κ.λ.π. Είναι ποσό που η εφορία επιτρέπει στη μονάδα να αφαιρεί από το εισόδημά της για φορολογικούς λόγους. Επομένως δεν υπεισέρχεται άμεσα στους υπολογισμούς της Κ.Π.Α. αλλά έμμεσα για τον υπολογισμό των φόρων. Ο υπολογισμός της απόσβεσης κανονίζεται από τη φορολογική νομοθεσία της εκάστοτε χώρας.

5.1 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG) και MGO (Marine Gas Oil)

Η πρώτη εκτίμηση κέρδους που πραγματοποιήθηκε μεταξύ των καυσίμων LNG και MGO, βασίστηκε στη μελέτη με τίτλο «Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies».

Όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι τεχνολογίες συστημάτων καυσίμου που βασίζονται στο LNG δείχνουν να έχουν καλύτερη απόδοση βιωσιμότητας από τις συμβατικές τεχνολογίες καυσίμων. Τα σχετικά περιβαλλοντικά οφέλη που συνδέονται με τα συστήματα καυσίμου LNG υποδεικνύουν τον κρίσιμο ρόλο τους στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, πράγμα που κάνει επιτακτική την ανάγκη σχεδιασμού καινοτόμων συστημάτων καυσίμου LNG.

Ένα τέτοιο σύστημα, που προτείνεται παρακάτω, είναι το σύστημα χαμηλής πίεσης διπλού καυσίμου, το οποίο θα χρησιμοποιεί LNG και MGO. Σε αυτό στηρίζονται και αρκετές ακόμα μελέτες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια. Οι συνολικές εκπομπές SO_x της τεχνολογίας που βασίζεται στο LNG μειώνονται κατά περισσότερο από 95% σε σύγκριση με τα πλοία που λειτουργούν με MGO, οι εκπομπές NO_x σημειώνουν επίσης σημαντική μείωση, περισσότερο από 60%, ενώ οι ετήσιες εκπομπές CO₂ είναι χαμηλότερες κατά 30%. Τα χαρακτηριστικά του πλοίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	
Ολική Χωρητικότητα	125.572 t.
Πλάτος	38 m.
Μήκος	300 m.
Αριθμός Επιβατών	3.300
Ώρες ταξιδιών	6264 h.
Ισχύς	36 MW

Πίνακας 5. Στοιχεία Πλοίου που λειτουργεί με LNG-MGO

Οι μέθοδοι που θα μελετήσουμε είναι

- α) σύστημα χαμηλής πίεσης διπλού καυσίμου LNG-MGO
- β) χρήση μόνο MGO

Όλα τα κόστη που αφορούν τη μελέτη μας φαίνονται στον πίνακα 6.

Cost Item			
LNG technologies			
Gas dual fuel engine		350 €/kW	
Generators and electric system		400 €/kW	
Installation costs		100 €/kW	
LNG fuel supply system (including tanks)		130 €/kW	
Maintenance		0,015 €/kWh	
Fuel price		517 €/t	
Environmental tax e CO ₂		75 €/t CO ₂	
MGO technology			
MGO engine		180 €/kW	
Generators and electric system		240 €/kW	
MGO fuel system		100000 €	
SCR investment (including installation)		45 €/kW	
Maintenance		0,014 €/kWh	
Fuel price		733 €/t	
Environmental tax e CO ₂		75 €/t CO ₂	

Πίνακας 6. Τα κόστη του πλοίου που λειτουργεί με LNG-MGO

Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) έχουν υπολογιστεί από την ίδια μελέτη και είναι 35.280.000 € για την πρώτη μέθοδο και 16.840.000 € για τη δεύτερη μέθοδο.

5.2 Μπαταρίες

Στη συνέχεια εισάγεται η χρήση μπαταριών, ως μια επιπλέον λύση για τις ανάγκες πρόωσης ενός πλοίου (εν προκειμένω ενός κρουαζιερόπλοιου). Η ανάλυση έχει βασιστεί στη μελέτη με τίτλο «Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships». Αυτό που εξετάζεται είναι ένα υβριδικό σύστημα COGES (Combined Gas Electric and Steam) που συνδυάζει ηλεκτρική ενέργεια από αέριο και ατμό, παλινδρομικούς κινητήρες και μπαταρίες ιόντων λιθίου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια ολοκληρωμένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει τη συνδυασμένη ηλεκτρική ενέργεια αερίου και ατμού, σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (EES), κινητήρες Dual-Fuel (DF) και φυσικού αερίου (NG) και χρήση μπαταριών.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	
Ολική Χωρητικότητα	114.000 t.
Αριθμός Επιβατών	3.780
Ώρες ταξιδιών	7680 h.
Ισχύς	48,89 MW

Πίνακας 7. Στοιχεία Πλοίου που λειτουργεί με Μπαταρίες

Τα στοιχεία του πλοίου της μελέτης δίνονται στον πίνακα 7. Αξίζει εδώ να αναφέρουμε, ότι η σύγκριση που θα πραγματοποιήσουμε στη συνέχεια μεταξύ Μπαταριών και LNG-MGO γίνεται σε διαφορετικά πλοία. Παρόλα αυτά θεωρούμε πως είναι δόκιμη, καθώς αυτά ανήκουν στην ίδια κατηγορία μεγέθους (μεγάλα Κρουαζιερόπλοια) και έχουν πολύ κοντινά χαρακτηριστικά σε ολική χωρητικότητα, ισχύ και αριθμό επιβατών. Σκοπός άλλωστε της εργασίας είναι η οικονομική μελέτη διαφορετικών τεχνολογιών πρόωσης και η συγκεκριμένη σύγκριση, με ορισμένες παραδοχές, γίνεται μόνο για να εξάγει κάποια συμπεράσματα σε όρους οικονομικούς.

Η διαμόρφωση του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής που υιοθετήθηκε για την παρούσα μελέτη περιλαμβάνει έναν αεριοστρόβιλο LM2500, δύο κινητήρες διπλού καυσίμου 9LMAN51/60 DF της 'MAN' και τρεις κινητήρες φυσικού αερίου R-R Bergen C26L9, που χρησιμοποιούνται ως μικρού μεγέθους ηλεκτρικές γεννήτριες.

Prime mover main characteristics.

GT	P_{net} [MW]	$\eta_{el,GT}$ [%]	T_{ex} [°C]
LM2500	25.06	37	566
9L MAN 51/60	8.42	45.5	309
R-R Bergen C26L9	2.33	45	-

Πίνακας 8. Κύρια χαρακτηριστικά των κύριων κινητήρων του πλοίου που λειτουργεί με Μπαταρίες. [Πηγή: *Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships*]

Στο σύστημα πρόωσης περιλαμβάνονται επίσης 2.000 μπαταρίες ιόντων λιθίου, 20 kWh η καθεμία. Οι μπαταρίες συμβάλλουν στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν σε όλες τις συνθήκες ελιγμών και λειτουργίας στον λιμένα. Κατά τη διάρκεια των ελιγμών παρέχεται ισχύς από

τις μπαταρίες που κυμαίνεται από 3 έως 10 MW κι έτσι βοηθούν το σύστημα COGES να καλύψει αποτελεσματικά ολόκληρη τη ζήτηση. Το σύστημα COGES σε συνδυασμό με τις μπαταρίες είναι σε θέση να παρέχει την υψηλότερη απόδοση συνδυασμένης παραγωγής ισχύος. Από την άλλη πλευρά, οι μπαταρίες σε συνδυασμό με τους κινητήρες DF παρέχουν οφέλη όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας σε συνθήκες ελλιμενισμού, όπου παρέχεται 2 MW ισχύς από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Παράλληλα, η λειτουργία φόρτισης για τις μπαταρίες είναι ενεργοποιημένη σε συνθήκες πλοήγησης, κατά μήκος ορισμένων διαδρομών του πλοίου. Δεδομένου ότι η πλοήγηση αποτελεί τον περισσότερο χρόνο κατά τη διάρκεια της κρουαζιέρας, απαιτείται μικρή ποσότητα ισχύος για να φορτίσει πλήρως τις μπαταρίες. Μια περαιτέρω φάση φόρτισης εμφανίζεται στο τελευταίο στάδιο των ελιγμών, όπου απαιτείται πρόσθετη ισχύς από κινητήρες NG για να αποθηκευτεί ενέργεια στις μπαταρίες, καθώς το σύστημα COGES λειτουργεί στο μέγιστο φορτίο. Έχει ενδιαφέρον το γεγονός, ότι η φάση φόρτισης του EES τοποθετείται κατά τη διάρκεια του πλοίου σε συνθήκες λειτουργίας που χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση συνδυασμένης παραγωγής ακόμη και με απουσία μπαταριών, ενώ η λειτουργία εκφόρτισης λαμβάνει χώρα όταν η εξοικονόμηση ενέργειας είναι χαμηλότερη. Έτσι, οι μπαταρίες φαίνεται να αυξάνουν την αποδοτικότητα συμπαραγωγής ενέργειας τόσο κατά τις φάσεις φόρτισης όσο και εκφόρτισης.

Μελέτες έχουν δείξει, ότι η χρήση μπαταριών συνδυαστικά με ένα σύστημα COGES μειώνουν δραστικά τόσο τις εκπομπές CO₂, όσο και του NO_x. Επιπλέον η ανάγκη για μικρότερες ποσότητες καυσίμου, αλλά και η βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος με τη βοήθεια των μπαταριών, καθιστούν αυτήν την επιλογή ιδιαίτερα επωφελή οικονομικά.

Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες καθορίζονται από τον πίνακα 9, σύμφωνα με την μελέτη «Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships»:

COMPONENT	CAPEX
Reciprocating engines [€/kW]	365–420
Gas Turbines [€/kW]	380
Li-ion batteries [€/kWh]	200
HRSG + ST [€/kW]	127
Tanks [€/kWh]	0.94
Electrical Generators [€/kW]	90
Electrical Motors [€/kW]	80
AC/DC-DC/AC converters [€/kW]	100
Propellers [€/kW]	30

Πίνακας 9. Τα κεφαλαιουχικά κόστη (CAPEX) του συστήματος COGES με χρήση Μπαταριών. [Πηγή: Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships]

Τα λειτουργικά κόστη σύμφωνα με την έρευνα παρατίθενται στον πίνακα 10.

COMPONENT	OPEX
LNG fuel [€/t]	398
MDO fuel [€/t]	575
Reciprocating engine OM [€/kWh]	0.015
COGES OM [€/kWh]	0.002
Boiler OM [€/kWh]	0.006
CO ₂ price [€/kg]	0.115

Πίνακας 10. Τα λειτουργικά κόστη (OPEX) του συστήματος COGES με χρήση Μπαταριών. [Πηγή: Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships]

5.3 Υδρογόνο-Μεθανόλη-Αμμωνία

Στο επόμενο σενάριο θα εξετάσουμε το κατά πόσο τα εναλλακτικά καύσιμα υδρογόνου, μεθανόλης και αμμωνίας είναι οικονομικώς εφικτά για την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων. Η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί με βάση τη μελέτη με τίτλο «Energy, environmental and economic investigations of cruise ships powered by alternative fuels».

Το σύστημα COGES αξιοποιείται και εδώ, με χρήση LNG, σε συνδυασμό με ένα από τα παραπάνω καύσιμα ανά περίπτωση.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ	
Ολική Χωρητικότητα	114.000 t.
Αριθμός Επιβατών	3.700
Ώρες ταξιδιών	7680 h.
Ισχύς	60,1 MW

Πίνακας 11. Στοιχεία του πλοίου που χρησιμοποιεί Υδρογόνο, Μεθανόλη ή Αμμωνία

Τα στοιχεία του πλοίου παρουσιάζονται στον πίνακα 11. Να σημειωθεί και εδώ πως η εκτίμηση θα γίνει σε σχέση με το πλοίο αναφοράς του πρώτου σεναρίου που χρησιμοποιεί MGO, με αποκλειστικό στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων από οικονομική σκοπιά.

Οι κύριοι κινητήρες του πλοίου αυτού είναι ένας αεριοστρόβιλος TITAN250 (21,75 MW), 3 κινητήρες 12VMAN51/60 (11,23 MW) και 2 κινητήρες R-R Bergen C26 L9 (2,33 MW).

Το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ισχύος κατά την πλοήγηση θα καλύπτεται από το σύστημα COGES. Πιο συγκεκριμένα, τον Χειμώνα 24 MW ισχύος θα καλύπτονται κατά μέσο όρο από το σύστημα COGES και 6 MW από τους κινητήρες 12VMAN51/60 και R-R Bergen C26 L9. Στο λιμάνι τη ζήτηση ισχύος θα παρέχει αποκλειστικά η 12VMAN51/60.

Αντίστοιχα το καλοκαίρι, όπου οι απαιτήσεις είναι λίγο μεγαλύτερες, κατά την πλοήγηση 25 MW ισχύος θα καλύπτονται κατά μέσο όρο από το σύστημα COGES και 9 MW από τους κινητήρες 12VMAN51/60. Στο λιμάνι τη ζήτηση ισχύος θα παρέχει αποκλειστικά η 12VMAN51/60.

Όσον αφορά στις κεφαλαιουχικές δαπάνες, αυτές προκύπτουν από τη μελέτη «Energy, environmental and economic investigations of cruise ships powered by alternative fuels» και παρουσιάζονται στον πίνακα 12.

CAPEX costs.	
Component	[€/kW]
RE CH ₄ – H ₂ [€/kW]	470
RE CH ₃ OH [€/kW]	265
RE NH ₃ [€/kW]	370
GTs [€/kW]	368
HRSG + ST [€/kW]	150
SCR [€/kW]	126
Reformer-Evaporator [€/kW]	360
H ₂ tanks [€/kWh]	1.71
CH ₃ OH tanks [€/kWh]	0.14
NH ₃ tanks [€/kWh]	0.29
Electrical Generators [€/kW]	90
Electrical Motors [€/kW]	80
AC/DC converters [€/kW]	100
Propellers [€/kW]	30

Πίνακας 12. Κεφαλαιουχικές δαπάνες για το πλοίο αναφοράς με καύσιμα το Υδρογόνο, τη Μεθανόλη και την Αμμωνία [Πηγή: Energy, environmental and economic investigations of Cruise ships powered by alternative fuels.]

5.4 Βιοκαύσιμα

Το τελευταίο καύσιμο που μελετάται από οικονομική σκοπιά –και ένα από τα πιο ελπιδοφόρα– είναι τα βιοκαύσιμα. Στην αγορά υπάρχει πληθώρα επιλογών που εξετάζονται όπως το βιοντίζελ, η βιομεθανόλη, το bioLNG. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει μια οικονομική μελέτη με βάση τα υδρο-επεξεργασμένα φυτικά έλαια ή HVO (Hydro-treated Vegetable Oil). Η ανάλυση βασίζεται σε χρήσιμα στοιχεία που αντλήθηκαν από τη μελέτη με τίτλο «Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships».

Το HVO μπορεί να παραχθεί από υδρο-αποξυγόνωση σε φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Είναι ένα καύσιμο drop-in με χαρακτηριστικά παρόμοια με του ορυκτού ντίζελ, που σημαίνει ότι δεν απαιτείται προσαρμογή του κινητήρα ή του συστήματος καυσίμου. Μπορούν δηλαδή να αναμειχθούν με προϊόντα πετρελαίου ή να λειτουργήσουν ως αυτόνομα καύσιμα στις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές. Αυτό προσφέρει το πλεονέκτημα χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης, κάτι που ωφελεί τους πλοιοκτήτες όταν εξετάζουν νέες λύσεις στο δρόμο προς την πλήρη απανθρακοποίηση.

Ένας σημαντικός περιορισμός στην παραγωγή HVO είναι η διαθεσιμότητα πρώτης ύλης. Το φοινικέλαιο ήταν ιστορικά μια σημαντική πρώτη ύλη, αλλά υπάρχουν ανησυχίες για τη βιωσιμότητά του στο μέλλον. Αν και θεωρητικά η πρώτη ύλη μπορεί να είναι οποιαδήποτε υλικό που περιέχει λιπαρά οξέα, πρέπει να τονιστεί ότι τέτοιες πρώτες ύλες είναι αρκετά περιορισμένες, με την παγκόσμια διαθεσιμότητα σε HVO να εκτιμάται μόνο σε περίπου 10 εκατομμύρια τόνους/έτος, σύμφωνα με τις γνωστές πρώτες ύλες επί του παρόντος. Αυτή η ποσότητα είναι αρκετά μικρή σε σχέση με τις ανάγκες που διαμορφώνονται έως το 2050, την ώρα που η φύση του καυσίμου ως drop-in μπορεί να μειώσει κι άλλο τη διαθεσιμότητά του. Και όλα αυτά ενώ η τιμή του HVO βρίσκεται πολύ κοντά με τις τιμές των συμβατικών καυσίμων στην αγορά, με αποτέλεσμα να ενισχύεται το ενδιαφέρον για την περίπτωση του.

Για την οικονομική ανάλυση που θα διεξαχθεί λήφθηκαν υπόψιν από τη μελέτη «Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships» για τον υπολογισμό του Capex τα εξής:

- Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που θα εφαρμοστεί στο πλοίο κοστίζει 240 €/kW και στο κόστος περιλαμβάνεται η μηχανή και τα διάφορα εξαρτήματα για το σύστημα πρόωσης.
- Για το σύστημα πρόωσης θα χρειαστούν αναμορφωτής καυσίμου και εξατμιστήρας αξίας 360 €/kW.
- Το κόστος των δεξαμενών αποθήκευσης του καυσίμου επί του πλοίου αντιστοιχεί σε 0,09 €/kWh

Όσον αφορά τις ετήσιες λειτουργικές δαπάνες λαμβάνεται κόστος καυσίμου 85 €/MWh και κόστος συντήρησης που αντιστοιχεί στο 2,5 % της συνολικής αρχικής επένδυσης (Capex).

Κεφάλαιο 6: Οικονομική ανάλυση για την αξιολόγηση εναλλακτικών καυσίμων για πρόωση σε Κρουαζιερόπλοια

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση για να αξιολογηθούν οικονομικά τα εναλλακτικά καύσιμα που επιλέχθηκαν, τα οποία θα συμβάλλουν στη μετάβαση στην πράσινη ναυτιλία. Θα αποκτήσουμε εικόνα για τις τάσεις σε καύσιμα όπως το LNG, οι μπαταρίες, το υδρογόνο, η αμμωνία, η μεθανόλη, καθώς και τα βιοκαύσιμα. Τι επίδραση έχουν αυτά στην οικονομική ζωή του πλοίου; Πόσο κοντά βρισκόμαστε στην πλήρη αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων από εναλλακτικά καύσιμα, φιλικά προς το περιβάλλον; Σε ποια από αυτά αξίζει να επενδύσει ο κλάδος της κρουαζιέρας;

Μέχρι τώρα, οι πλοιοκτήτες προτιμούσαν τη χρήση συμβατικών ή συμμορφούμενων καυσίμων (όπως είναι το MGO, Marine Gasoil), γιατί αυτά απαιτούσαν μικρότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX). Μελέτες όμως έχουν δείξει ότι τα νέα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να κερδίσουν τη μάχη στα λειτουργικά κόστη (OPEX), κάτι που δίνει το περιθώριο στους πλοιοκτήτες να κάνουν απόσβεση της επένδυσής τους στο μέλλον. Είναι πολύ βασικό να αναφερθεί, ότι η εδραίωση των νέων καυσίμων στην αγορά προσφέρει μεγάλα περιθώρια ακόμα καλύτερων μελλοντικών οικονομικών όρων.

Ο βασικός άξονας της ανάλυσης είναι η εκτίμηση κέρδους των εναλλακτικών καυσίμων που προαναφέρθηκαν σε σχέση με τη χρήση ενός συμβατικού καυσίμου, του Marine Gas Oil. Αφού εργαστήκαμε πάνω στα δεδομένα που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία, στη συνέχεια υπολογίσαμε την Καθαρά Παρούσα Αξία σε βάθος 25 ετών για κάθε επένδυση που προτείνεται. Έπειτα, βρήκαμε τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης κάθε επένδυσης, για να γίνει αντιληπτό με περισσότερα εργαλεία πόσο γρήγορα γίνεται απόσβεση της επένδυσης και εν τέλει πόσο συμφέρουσα είναι κάθε επένδυση για τον πλοιοκτήτη. Για όλα τα αποτελέσματα παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα ή πίνακες για την καλύτερη απεικόνιση των εκτιμήσεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά πλοία, με παρόμοια χαρακτηριστικά σε μέγεθος και ζήτηση ισχύος. Αυτό που εξετάζουμε στην ουσία είναι ξεχωριστές επιλογές, στις οποίες μπορεί ένας πλοιοκτήτης να επενδύσει στο δρόμο προς την πλήρη απανθρακοποίηση. Γι' αυτό και προσπαθήσαμε οι όροι της σύγκρισης να είναι όσο το δυνατόν πιο δόκιμοι. Στο πλαίσιο αυτό, σε όλα τα σενάρια το κόστος κεφαλαίου είναι 12%.

6.1 Κέρδος από τη χρήση LNG αντί MGO

Κατά τον υπολογισμό των λειτουργικών δαπανών (OPEX) έχουμε θεωρήσει ίδια με τη μελέτη, το κόστος συντήρησης και τους περιβαλλοντικούς φόρους και έχουμε αλλάξει τις τιμές των καυσίμων με βάση τις σημερινές τιμές στο Rotterdam γιατί είναι ένα από τα λιμάνια που προσεγγίζει το πλοίο μας.

Για την 1^η μέθοδο καταναλώνονται 36.456,48 τόνοι LNG το χρόνο και 405,91 τόνοι MGO το χρόνο. Οι τιμές LNG και MGO είναι 517 €/t και 733 €/t αντίστοιχα. Άρα το κόστος καυσίμων υπολογίζεται ως $36.456,48 \cdot 517 + 405,91 \cdot 733 = 19.145.532,19$ € το χρόνο.

Για την 2^η μέθοδο καταναλώνονται μόνο 39.914,21 τόνοι MGO το χρόνο. Άρα το κόστος καυσίμου είναι $39.914,21 \cdot 733 = 29.257.115,93$ € το χρόνο.

Έτσι λοιπόν τα OpeX είναι 26.785.532,19 € και 40.767.115,93 € αντίστοιχα για τις 2 μεθόδους μας.

Συγκεντρωτικά οι τιμές φαίνονται και στους πίνακες 13 και 14:

ΜΕΘΟΔΟΣ 1		
Maintenance Cost	6900000	€/y
Fuel Cost	19145532,19	€/y
Environmental Tax	740000	€/y
OPEX	26785532,19	€/y
CAPEX	35280000	€/y

Πίνακας 13. OPEX και CAPEX για χρήση LNG-MGO

ΜΕΘΟΔΟΣ 2		
Maintenance Cost	9500000	€/y
Fuel Cost	29257115,93	€/y
Environmental Tax	2010000	€/y
OPEX	40767115,93	€/y
CAPEX	16840000	€/y

Πίνακας 14. OPEX και CAPEX για χρήση μόνο MGO

Παρατηρούμε λοιπόν ότι με τη χρήση καυσίμου LNG έχουμε σημαντικά λιγότερα λειτουργικά κόστη κάθε χρόνο.

Τα εικονικά έσοδα που θα είχαμε αν επιλέγαμε την πρώτη αντί τη δεύτερη μέθοδο ανέρχονται στα 40.767.115,93-26.785.532,19=13.981.583,74 € το χρόνο. Αυτό υποθέτουμε ότι είναι η ταμειακή ροή κάθε έτος, ξεκινώντας από το έτος t=1.

Θεωρούμε έτος t=0 με ταμειακή ροή -18.440.000,00 €, που είναι η διαφορά που θα πληρώσουμε παραπάνω στο Carrex, για να εφαρμόσουμε την πρώτη μέθοδο (λογίζεται ως αρχικό κόστος επένδυσης).

Το κόστος κεφαλαίου είναι 12%.

Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV-Net Present Value) για να γίνει μια αναλυτικότερη αξιολόγηση της επένδυσης. Η Καθαρά Παρούσα Αξία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sum_{t=1}^N \frac{\text{ταμειακές ροές}}{(1+r)^t} - \text{αρχικό κόστος επένδυσης},$$

όπου t το έτος επένδυσης (1,2,3...) και r το κόστος κεφαλαίου.

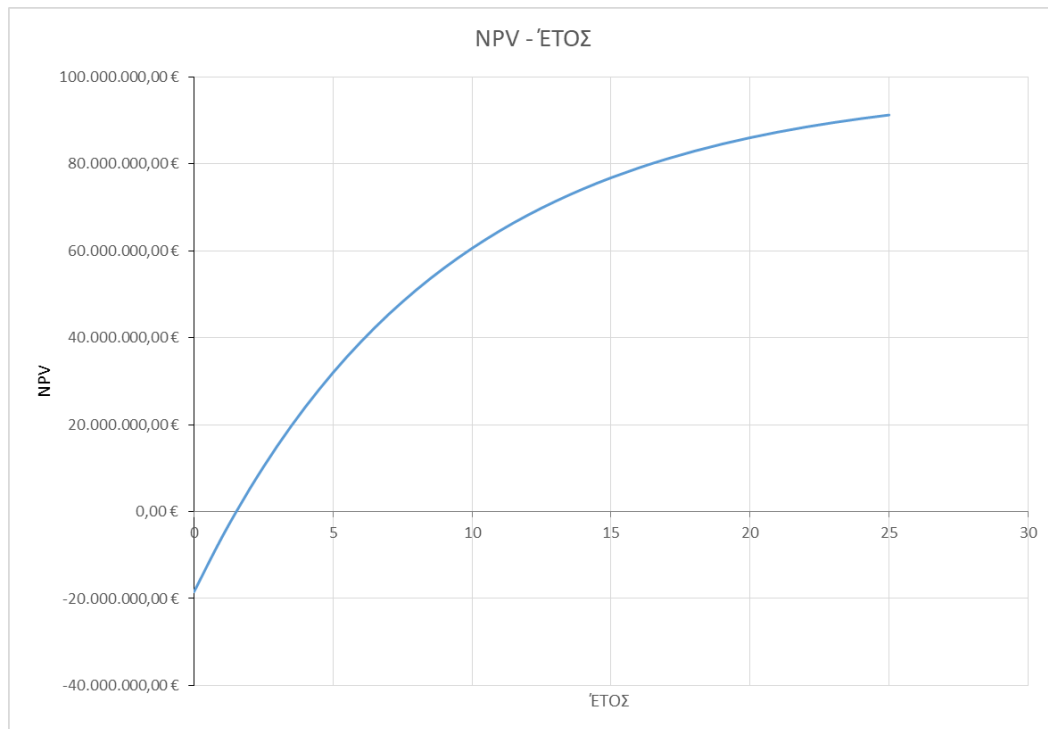
Με τη βοήθεια του προγράμματος Excel βρήκαμε την NPV για κάθε ένα από τα 25 έτη επένδυσης. Η επένδυση μοιάζει να είναι αρκετή καλή και η απόσβεση θα γίνει πριν το 2^ο χρόνο.

Αναλυτικά:

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV)				
Έτος	Ταμειακή Ροή	Κόστος Κεφαλαίου	Καθαρή Παρούσα Αξία κάθε έτους	
0	-18.440.000,00 €	12 %	-18.440.000,00 €	
1	13.981.583,74		-5.956.443,09 €	
2	13.981.583,74		5.189.589,87 €	
3	13.981.583,74		15.141.405,01 €	
4	13.981.583,74		24.026.954,24 €	
5	13.981.583,74		31.960.480,34 €	
6	13.981.583,74		39.043.985,78 €	
7	13.981.583,74		45.368.544,22 €	
8	13.981.583,74		51.015.471,39 €	
9	13.981.583,74		56.057.370,65 €	
10	13.981.583,74		60.559.066,42 €	
11	13.981.583,74		64.578.437,64 €	
12	13.981.583,74		68.167.161,95 €	
13	13.981.583,74		71.371.380,08 €	
14	13.981.583,74		74.232.289,13 €	
15	13.981.583,74		76.786.672,20 €	
16	13.981.583,74		79.067.371,38 €	
17	13.981.583,74		81.103.709,93 €	
18	13.981.583,74		82.921.869,34 €	
19	13.981.583,74		84.545.225,97 €	
20	13.981.583,74		85.994.651,52 €	
21	13.981.583,74		87.288.781,49 €	
22	13.981.583,74		88.444.254,67 €	
23	13.981.583,74		89.475.927,15 €	
24	13.981.583,74		90.397.063,29 €	
25	13.981.583,74		91.219.506,28 €	

Πίνακας 15. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση LNG αντί MGO

Βλέπουμε ότι στην πραγματικότητα για κόστος κεφαλαίου 12%, η απόσβεση της επένδυσής μας γίνεται σε κάτι λιγότερο από 2 έτη ($NPV > 0$ για $t > 1$), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που παρατίθεται παρακάτω:



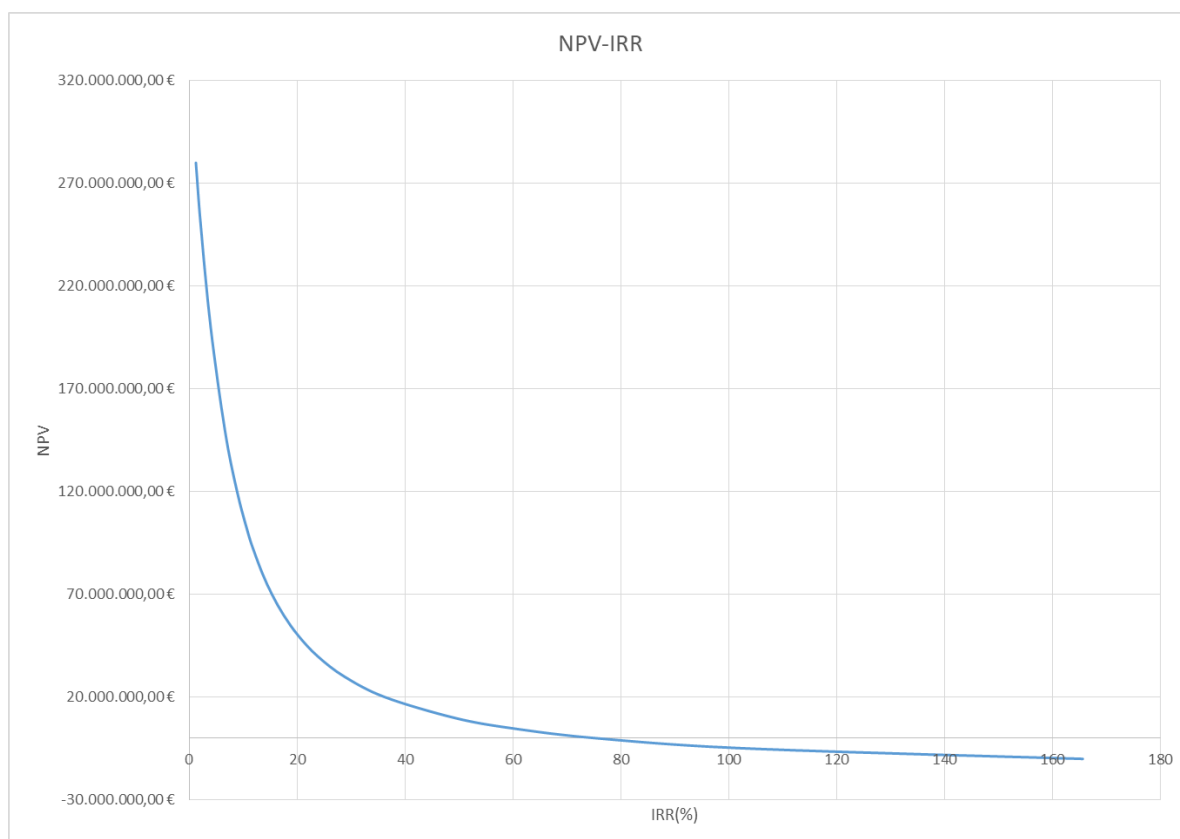
Διάγραμμα 3. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσεως του Έτους στη χρήση LNG αντί MGO.

Έπειτα θα υπολογίσουμε τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (IRR-Internal Rate of Return), ο οποίος είναι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία μιας επένδυσης. Πάλι με τη βοήθεια του προγράμματος Excel βρίσκουμε ότι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία είναι 75,82 %. Είναι επίσης προφανές, ότι για κόστος κεφαλαίου 12% παίρνουμε την Καθαρή Παρούσα Αξία στο τέλος της επένδυσης που είναι 91.219.506,28 € ($t=25$). Ο πολύ μεγάλος εσωτερικός βαθμός απόδοσης επιβεβαιώνει και πάλι, ότι η επένδυση μας είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα και μας επιστρέφει τα χρήματά μας πολύ γρήγορα.

Ο πίνακας 16 περιλαμβάνει τις διάφορες τιμές του NPV σε σχέση με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης, όπως και το διάγραμμα 4 (NPV-IRR):

Εύρεση Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης	NPV
1,25 %	280.000.000,00 €
2,14 %	250.000.000,00 €
4,00 %	200.000.000,00 €
6,63 %	150.000.000,00 €
8,90 %	120.000.000,00 €
10,92 %	100.000.000,00 €
12,00 %	91.219.506,28 €
13,62 %	80.000.000,00 €
15,37 %	70.000.000,00 €
17,51 %	60.000.000,00 €
20,22 %	50.000.000,00 €
23,81 %	40.000.000,00 €
28,81 %	30.000.000,00 €
36,36 %	20.000.000,00 €
49,16 %	10.000.000,00 €
59,65 %	5.000.000,00 €
75,82 %	0,00 €
104,03 %	-5.000.000,00 €
165,66 %	-10.000.000,00 €
IRR(NPV=0)=75,82%	

Πίνακας 16. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση LNG αντί MGO



Διάγραμμα 4. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτῆσει της Καθαρῆς Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση LNG αντί MGO.

6.2 Μπαταρίες

Από τη μελέτη «Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships» αντλήθηκαν τα οικονομικά στοιχεία που χρειαζόμαστε για να προχωρήσουμε σε υπολογισμούς του Carrex και του Orex της επένδυσης με μπαταρίες.

Όσον αφορά στο Carrex προέκυψαν τα εξής:

Reciprocating engines: Θεωρήσαμε 390 €/kW για 2 κινητήρες * 8,42 * 1000 kW = 6.567.600,00 €

Gas Turbine: 380 €/kW * 25,06 * 1000 = 9.522.800,00 €

Li-ion batteries: 200 €/kWh * 2.000 * 20 kWh = 8.000.000,00 €

HRSG + ST: 127 €/kW * 25060 kW = 3.182.620,00 € (συνδέεται με τον σύστημα COGES)

Tanks: από την έρευνα στην οποία βασιζόμαστε γνωρίζουμε ότι η απαίτηση για ισχύ στη δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή το χειμώνα είναι συνολικά 59,311 MW για 48 ώρες συμπεριλαμβανομένης της πλοήγησης και του ελλιμενισμού.

Άρα έχουμε κόστος 0,94 €/kWh * 59,311 * 1000 * 48 = 2.676.112,32 €

Electrical Generators: 90 €/kW για 3 κινητήρες * 2,33 * 1000 = 629.100,00 €

Electrical Motors: 80 €/kW * (8,42 * 2 * 1000 + 2,33 * 3 * 1000) = 1.906.400,00 €

AC/DC-DC/AC converters: 100 €/kW * 2,33 * 3 * 1000 = 699.000,00 € (συνδέονται με τις γεννήτριες)

Propellers: 30 €/kW * (8,42 * 2 * 1000 + 2,33 * 3 * 1000) = 714.900,00 €

Καταλήγουμε έτσι σε κεφαλαιουχικές δαπάνες ύψους 33.898.532,32 €

Από την έρευνα γνωρίζουμε επίσης ότι το λειτουργικό κόστος για 8 ημέρες λειτουργίας του πλοίου τον Χειμώνα είναι 549.120 € και αντίστοιχα το Καλοκαίρι για 8 ημέρες 534.410 €. Στον παρόν σενάριο θεωρούμε ότι το πλοίο λειτουργεί 320 ημέρες το χρόνο. Με αναγωγή βρίσκουμε ότι τα λειτουργικά κόστη για τις μέρες αυτές ανέρχονται στα 21.670.600,00 €.

6.2.1 Κέρδος από τη χρήση Μπαταριών αντί LNG

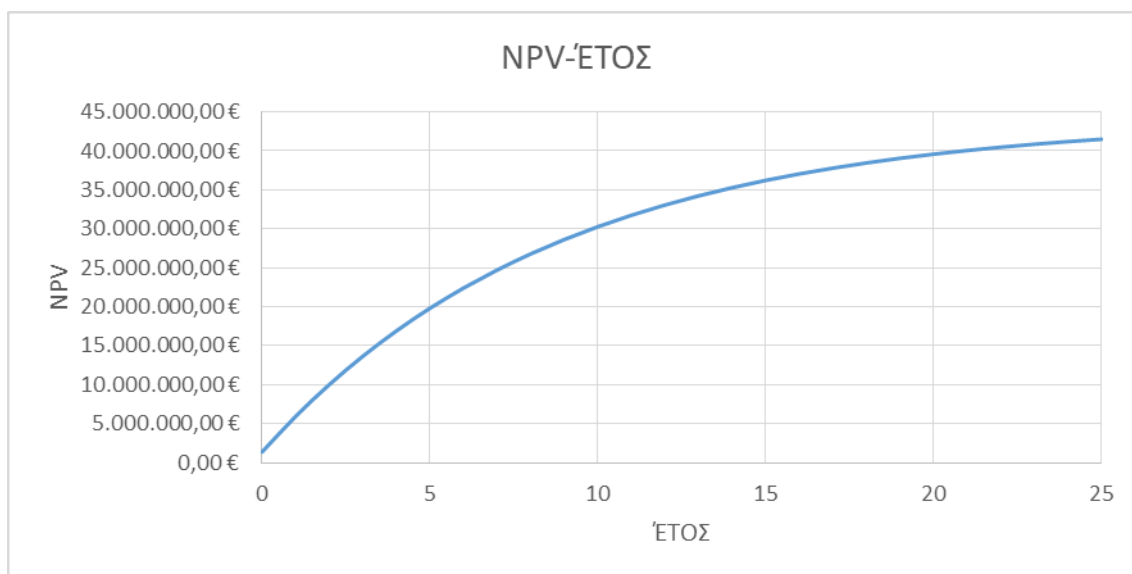
Πρόκειται να συγκρίνουμε τις 2 επενδύσεις με προεξοφλητικό επιτόκιο 12%, όσο ήταν και στο προηγούμενο σενάριο.

Τα εικονικά έσοδα που θα είχαμε αν επιλέγαμε να επενδύσουμε στο σύστημα με Μπαταρίες αντί αυτού με το LNG θα ήταν 26.785.532,19-21.670.600=5.114.932,19 € το χρόνο. Θεωρούμε έτος t=0 με ταμειακή ροή 1.381.467,68 €, που είναι η διαφορά που θα πληρώσουμε λιγότερη στο Carrex, για να εφαρμόσουμε την μέθοδο των Μπαταριών.

Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για να γίνει μια αναλυτικότερη αξιολόγηση της επένδυσης σε βάθος 25ετίας.

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV)			
Έτος	Ταμειακή Ροή	Κόστος Κεφαλαίου	NPV
0	1.381.467,68 €	12 %	1.381.467,68 €
1	5.114.932,19 €		5.948.371,42 €
2	5.114.932,19 €		10.025.964,05 €
3	5.114.932,19 €		13.666.671,75 €
4	5.114.932,19 €		16.917.303,63 €
5	5.114.932,19 €		19.819.653,52 €
6	5.114.932,19 €		22.411.037,35 €
7	5.114.932,19 €		24.724.772,91 €
8	5.114.932,19 €		26.790.608,23 €
9	5.114.932,19 €		28.635.104,06 €
10	5.114.932,19 €		30.281.975,33 €
11	5.114.932,19 €		31.752.396,11 €
12	5.114.932,19 €		33.065.271,80 €
13	5.114.932,19 €		34.237.482,24 €
14	5.114.932,19 €		35.284.098,71 €
15	5.114.932,19 €		36.218.577,70 €
16	5.114.932,19 €		37.052.933,94 €
17	5.114.932,19 €		37.797.894,87 €
18	5.114.932,19 €		38.463.038,55 €
19	5.114.932,19 €		39.056.916,84 €
20	5.114.932,19 €		39.587.165,32 €
21	5.114.932,19 €		40.060.601,45 €
22	5.114.932,19 €		40.483.312,29 €
23	5.114.932,19 €		40.860.732,68 €
24	5.114.932,19 €		41.197.715,17 €
25	5.114.932,19 €		41.498.592,39 €

Πίνακας 17. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Μπαταριών αντί LNG



Διάγραμμα 5. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του Έτους στη χρήση Μπαταριών αντί LNG

Βλέπουμε ότι στην πραγματικότητα η επένδυση αυτή επιστρέφει κέρδος από την αρχή, αφού τόσο τα κεφαλαιουχικά όσο και τα λειτουργικά κόστη είναι μικρότερα. Γι' αυτό η Καθαρά Παρούσα Αξία είναι πάντα θετική. Δεδομένων όμως των αρκετών παραδοχών που έχουμε κάνει, σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να πούμε ότι η συγκεκριμένη επένδυση είναι οικονομικά καλύτερη. Μπορούμε ωστόσο να πούμε με ασφάλεια, ότι αποτελεί μια εξίσου καλή οικονομική λύση όπως και αυτή του LNG, σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Αυτό αποδεικνύεται και στο αμέσως επόμενο σενάριο.

6.2.2 Κέρδος από τη χρήση Μπαταριών αντί MGO

Η επένδυση στο σύστημα Μπαταριών σε σχέση με τη μέθοδο καυσίμου MGO, είναι εξίσου ευνοϊκή λόγω των πολύ κοστοβόρων ετήσιων λειτουργικών εξόδων που έχει η δεύτερη.

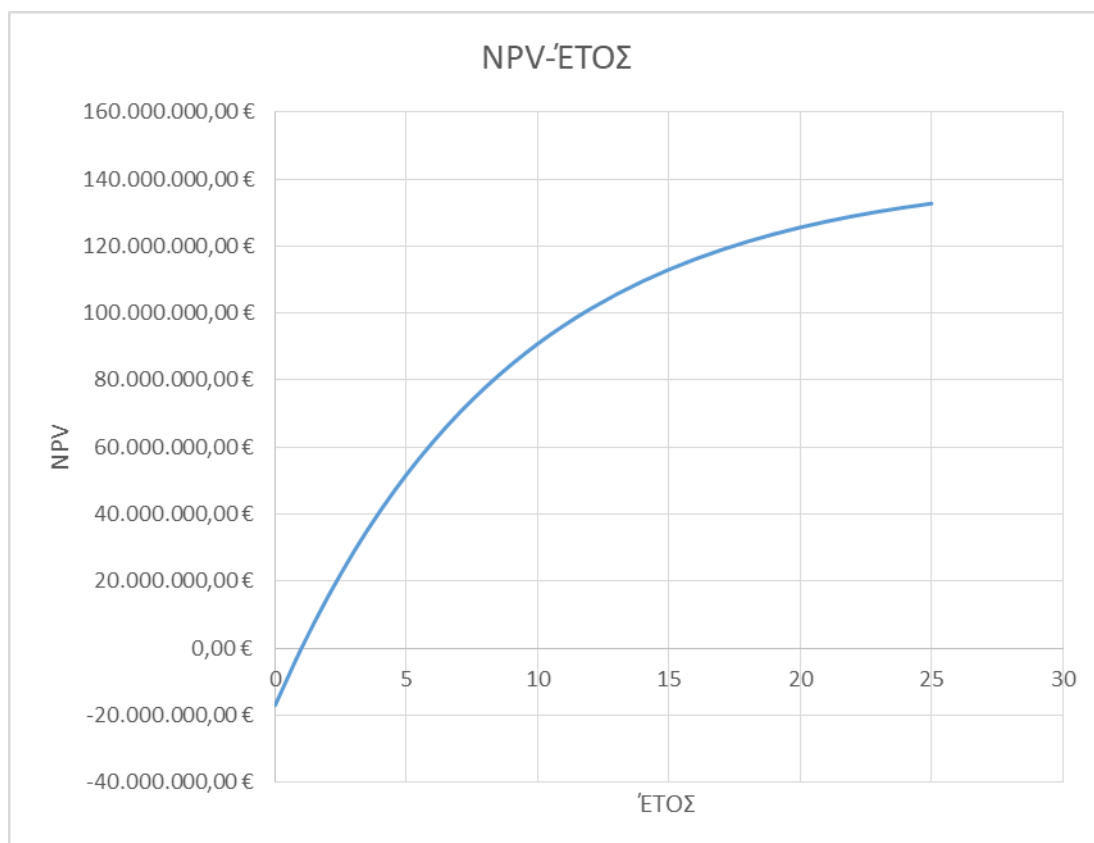
Τα εικονικά έσοδα κάθε χρόνο ανέρχονται στα $40.767.115,93 - 21.670.600 = 19.096.515,93$ €. Θεωρούμε έτος $t=0$ με ταμειακή ροή $-17.058.532,32$ €, που είναι η διαφορά που θα πληρώσουμε παραπάνω στο Carrex, για να εφαρμόσουμε την μέθοδο των Μπαταριών.

Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για να γίνει μια αναλυτικότερη αξιολόγηση της επένδυσης.

Εργαζόμαστε με τον ίδιο τρόπο με τη βοήθεια του Excel και προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV)			
Έτος	Ταμειακή Ροή	Κόστος Κεφαλαίου	NPV
0	-17.058.532,32 €	12 %	-17.058.532,32 €
1	19.096.515,93 €		-8.071,67 €
2	19.096.515,93 €		15.215.553,91 €
3	19.096.515,93 €		28.808.076,75 €
4	19.096.515,93 €		40.944.257,86 €
5	19.096.515,93 €		51.780.133,85 €
6	19.096.515,93 €		61.455.023,13 €
7	19.096.515,93 €		70.093.317,12 €
8	19.096.515,93 €		77.806.079,62 €
9	19.096.515,93 €		84.692.474,71 €
10	19.096.515,93 €		90.841.041,75 €
11	19.096.515,93 €		96.330.833,75 €
12	19.096.515,93 €		101.232.433,75 €
13	19.096.515,93 €		105.608.862,33 €
14	19.096.515,93 €		109.516.387,84 €
15	19.096.515,93 €		113.005.249,90 €
16	19.096.515,93 €		116.120.305,31 €
17	19.096.515,93 €		118.901.604,79 €
18	19.096.515,93 €		121.384.907,89 €
19	19.096.515,93 €		123.602.142,81 €
20	19.096.515,93 €		125.581.816,84 €
21	19.096.515,93 €		127.349.382,94 €
22	19.096.515,93 €		128.927.566,96 €
23	19.096.515,93 €		130.336.659,83 €
24	19.096.515,93 €		131.594.778,46 €
25	19.096.515,93 €		132.718.098,67 €

Πίνακας 18. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Μπαταριών αντί LNG



Διάγραμμα 6. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσεως του Έτους στη χρήση Μπαταριών αντί ΜΓΟ

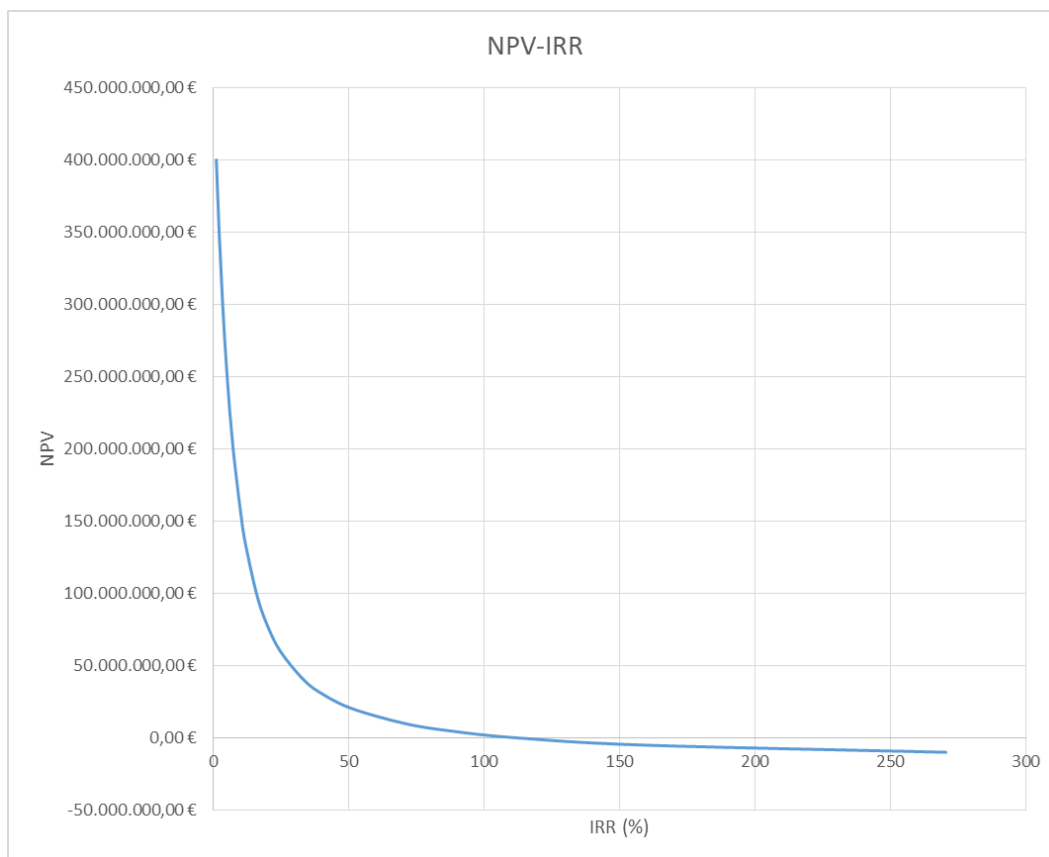
Βλέπουμε ότι στην πραγματικότητα για κόστος κεφαλαίου 12%, η απόσβεση της επένδυσής μας γίνεται σε κάτι λιγότερο από 2 έτη, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ($NPV > 0$ για $t > 1$), κάτι που καθιστά και την επιλογή των μπαταριών ιδιαίτερα επωφελή σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

Έπειτα θα υπολογίσουμε τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR). Πάλι με τη βοήθεια του προγράμματος Excel βρίσκουμε ότι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία είναι 111,947 %. Ο πολύ μεγάλος εσωτερικός βαθμός απόδοσης επιβεβαιώνει ξανά, ότι η επένδυση μας είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα και μας επιστρέφει τα χρήματά μας πολύ γρήγορα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας για τις διάφορες τιμές του NPV σε σχέση με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης και το σχετικό διάγραμμα (IRR-NPV):

Εύρεση Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης	
1,07 %	400.000.000,00 €
2,13 %	350.000.000,00 €
3,43 %	300.000.000,00 €
5,08 %	250.000.000,00 €
7,28 %	200.000.000,00 €
10,49 %	150.000.000,00 €
12 %	132.718.098,67 €
15,9 %	100.000.000,00 €
19,44 %	80.000.000,00 €
24,68 %	60.000.000,00 €
33,44 %	40.000.000,00 €
40,57 %	30.000.000,00 €
51,53 %	20.000.000,00 €
70,575 %	10.000.000,00 €
86,572 %	5.000.000,00 €
111,947 %	0,00 €
158,37 %	-5.000.000,00 €
270,55 %	-10.000.000,00 €
	IRR (NPV=0)=114,947%

Πίνακας 19. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση Μπαταριών αντί MGO



Διάγραμμα 7. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτῆσει της Καθαρῆς Παρούσας Αξία (NPV) στη χρήση Μπαταριών αντί MGO.

6.3 Υδρογόνο-Μεθανόλη-Αμμωνία

Η ανάλυσή μας για το υδρογόνο, τη μεθανόλη και την αμμωνία βασίστηκε όπως προαναφέρθηκε στη μελέτη με τίτλο «Energy, environmental and economic investigations of cruise ships powered by alternative fuels», όπου λήφθηκαν τα απαραίτητα οικονομικά στοιχεία για να προχωρήσουμε στις δικές μας εκτιμήσεις.

Πρακτικά οι διαφορές στο τελικό CAPEX για επένδυση στο κάθε καύσιμο βρίσκονται στους κινητήρες και στο σύστημα αποθήκευσης, ανάλογα με το εκάστοτε καύσιμο που χρησιμοποιείται. Οι υπολογισμοί στο Excel και οι τελικές τιμές CAPEX παρουσιάζονται στους πίνακες 20 και 21, για το κάθε καύσιμο που επιλέγεται στο σενάριο αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι οι Κιλοβατώρες θα υπολογιστούν ανάμεσα σε 2 διαδοχικές επισκέψεις σε λιμάνι, ενώ τα Κιλοβάτ αφορούν την ανάλογη εγκατεστημένη ισχύ.

COMPONENT								
					CH4-H2		CH3OH	NH3
RE CH4 – H2	470 [€/kW]	38350 kW	18.024.500,00 €			0,00 €		0,00 €
RE CH3OH	265 [€/kW]	38350 kW	0,00 €			10.162.750,00 €		0,00 €
RE NH3	370 [€/kW]	38350 kW	0,00 €			0,00 €		14.189.500,00 €
GTs	368 [€/kW]	21750 kW	8.004.000,00 €			8.004.000,00 €		8.004.000,00 €
HRSR + ST	150 [€/kW]	21750 kW	3.262.500,00 €			3.262.500,00 €		3.262.500,00 €
SCR	126 [€/kW]	60100 kW	7.572.600,00 €			7.572.600,00 €		7.572.600,00 €
Reformer-Evaporator	360 [€/kW]	21750 kW	7.830.000,00 €			7.830.000,00 €		7.830.000,00 €
H2 tanks	1,71 [€/kWh]	112000 kWh	191.520,00 €			0,00 €		0,00 €
CH3OH tanks	0,14 [€/kWh]	112000 kWh	0,00 €			15.680,00 €		0,00 €
NH3 tanks	0,29 [€/kWh]	112000 kWh	0,00 €			0,00 €		32.480,00 €
Electrical Generators	90 [€/kW]	38350 kW	3.451.500,00 €			3.451.500,00 €		3.451.500,00 €
Electrical Motors	80 [€/kW]	60100 kW	4.808.000,00 €			4.808.000,00 €		4.808.000,00 €
AC/DC converters	100 [€/kW]	60100 kW	6.010.000,00 €			6.010.000,00 €		6.010.000,00 €
Propellers	30 [€/kW]	60100 kW	1.803.000,00 €			1.803.000,00 €		1.803.000,00 €
					CAPEX	60.957.620,00 €	52.920.030,00 €	56.963.580,00 €

Πίνακας 20. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) για κάθε επιλογή από τα καύσιμα Υδρογόνο, Μεθανόλη, Αμμωνία

Όσον αφορά στα λειτουργικά κόστη, οι διαφορές εντοπίζονται μόνο στις τιμές κάθε καυσίμου, καθώς και στην τιμή που θα πληρώσει το πλοίο ως πέναλτι για τις εκπομπές CO₂.

OPEX COSTS								
COMPONENT								
			CH4-H2		CH3OH		NH3	
LNG fuel	0,517 [€/kg]	18278400 kg	9.449.932,80 €		18278400 kg	9.449.932,80 €	18278400 kg	9.449.932,80 €
H2 fuel	5,35 [€/kg]	10752000 kg	57.523.200,00 €		0 kg	0,00 €	0 kg	0,00 €
CH3OH fuel	0,4 [€/kg]	kg	0,00 €		10752000 kg	4.300.800,00 €	0 kg	0,00 €
NH3 fuel	0,7 [€/kg]	kg	0,00 €		0 kg	0,00 €	10752000 kg	7.526.400,00 €
RE OM	0,014 [€/kWh]	35840000 kWh	501.760,00 €		35840000 kWh	501.760,00 €	35840000 kWh	501.760,00 €
COGES OM	0,002 [€/kWh]	107520000 kWh	215.040,00 €		107520000 kWh	215.040,00 €	107520000 kWh	215.040,00 €
SCR OM	0,006 [€/kWh]	143360000 kWh	860.160,00 €		143360000 kWh	860.160,00 €	143360000 kWh	860.160,00 €
CO2 price	0,115 [€/kg]	1129200 kg	129.858,00 €		3631500 kg	417.622,50 €	27000 kg	3.105,00 €
			OPEX	68.679.950,80 €		15.745.315,30 €		18.556.397,80 €

Πίνακας 21. Τα λειτουργικά κόστη (OPEX) για κάθε επιλογή από τα καύσιμα Υδρογόνο, Μεθανόλη, Αμμωνία.

Όπως βλέπουμε στον πίνακα 21, τις λιγότερες εκπομπές CO₂ εκπέμπει το υδρογόνο. Αναφερόμαστε στο πράσινο υδρογόνο το οποίο παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η τιμή όμως του πράσινου υδρογόνου είναι ακόμα πάρα πολύ ακριβή σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα, κάτι που καθιστά τη χρήση του σχεδόν απαγορευτική, όπως θα αναλύσουμε και στη συνέχεια. Ως τιμή LNG έχουμε θεωρήσει ίδια με του πρώτου σεναρίου, ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτεροι οι όροι σύγκρισης των σεναρίων. Να τονιστεί επίσης, ότι οι τιμές των καυσίμων κάθε άλλο παρά σταθερές είναι, εξαιτίας των γεωπολιτικών και κοινωνικών εξελίξεων των τελευταίων χρόνων.

6.3.1 Χρήση Υδρογόνου αντί MGO

Όπως είδαμε, για το παρόν σενάριο οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) για την επιλογή υδρογόνου ανέρχονται 60.957.620,00 €, ενώ οι λειτουργικές (OPEX) στα 68.679.950,80 €. Οι αντίστοιχες τιμές για την επιλογή του συμβατικού καυσίμου (MGO) στο 1^ο σενάριο ήταν 16.840.000,00 € και 40.767.115,93 €. Βλέπουμε δηλαδή ότι αν επιλέγαμε τη χρήση πράσινου υδρογόνου για πρόωση θα χρειαζόμασταν και μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης και περισσότερα ετήσια λειτουργικά κόστη. Αυτό καθιστά την συγκεκριμένη επένδυση ασύμφορη, τουλάχιστον από οικονομικής πλευράς. Τη μεγάλη διαφορά στο CAPEX κάνουν οι κινητήρες που είναι πολύ ακριβότεροι για να καίνε υδρογόνο, ενώ παράλληλα στο OPEX η τιμή του πράσινου υδρογόνου αυτήν τη στιγμή στην αγορά είναι από 5 έως 10 φορές ακριβότερη σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα καύσιμα, συμβατικά ή ανανεώσιμα. Και όλα αυτά, όχι για την εξ' ολοκλήρου κάλυψη ισχύος από υδρογόνο, αλλά χρησιμοποιώντας ένα σύνθετο σύστημα που το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων καλύπτεται από ένα σύστημα COGES και χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η χρήση πράσινου υδρογόνου βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και οι συνθήκες της αγοράς δεν επιτρέπουν να επενδύσει ένας πλοιοκτήτης σε αυτό. Σίγουρα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την εδραίωση του καυσίμου αυτού στην αγορά, θα δημιουργηθούν ευνοϊκότεροι οικονομικοί όροι, η τιμή του θα μειωθεί και θα το καταστήσει μια πολύ καλή –φιλική προς το περιβάλλον- λύση στο μέλλον.

Είναι προφανές, ότι δεν χρειάζεται κάνουμε χρήση της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης, καθώς η επένδυση αυτή είναι ζημιογόνα σε όλα τα στάδιά της.

6.3.2 Κέρδος από τη χρήση Μεθανόλης αντί MGO

Μεγάλο ενδιαφέρον στο σενάριο που εξετάζουμε, παρουσιάζει η επιλογή Μεθανόλης ως εναλλακτικό καύσιμο συνδυαστικά με το σύστημα COGES. Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε εκπομπές SO_x, NO_x και άλλων σωματιδίων, η μεθανόλη κερδίζει επί του παρόντος την προσοχή για την πρόωση πλοίων, παρόλο που λίγες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί ακόμη. Αν και το κόστος επένδυσης στο συγκεκριμένο σενάριο είναι υπολογίσιμο και ανέρχεται στα 52.920.030,00 €, το μικρότερο ετήσιο λειτουργικό κόστος που κυμαίνεται στα 15.745.315,30 € προσδίδει σαφές πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών καυσίμων.

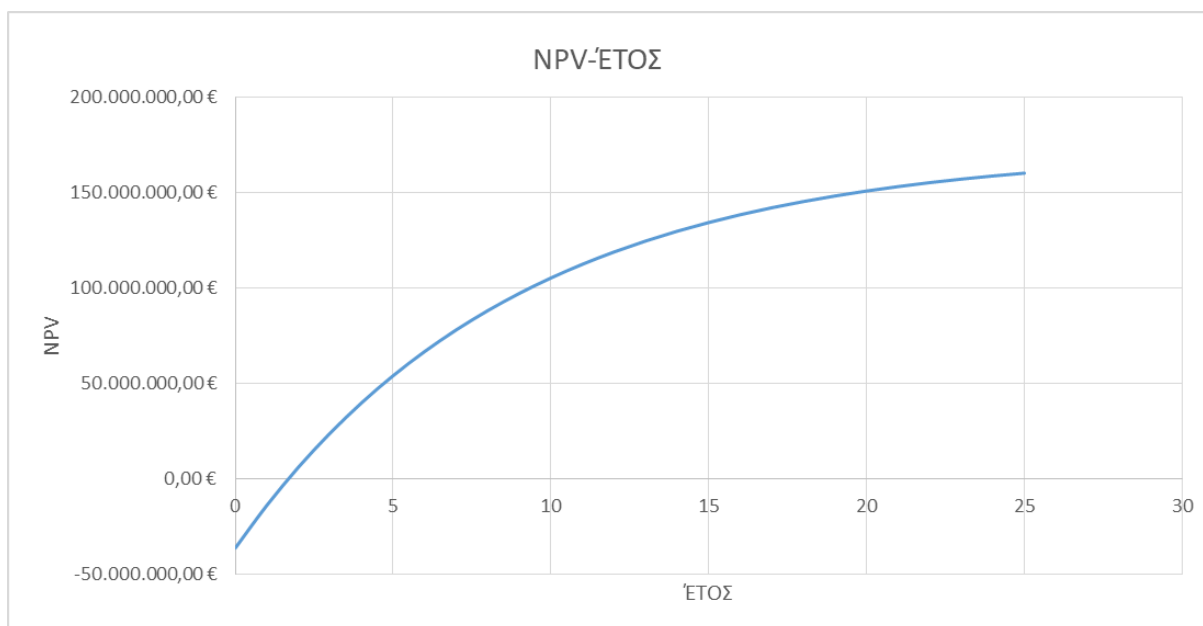
Θα προχωρήσουμε σε εκτίμηση κέρδους της επένδυσης αυτής σε σχέση με τη χρήση MGO του πρώτου σεναρίου με τη βοήθεια της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης.

Τα εικονικά έσοδα που θα είχαμε αν επιλέγαμε μεθανόλη έναντι MGO ανέρχονται στα 25.021.800,63 € το χρόνο. Η διαφορά των 2 Capex ορίζει το αρχικό κεφάλαιο στα 36.080.030,00 € (έτος 0). Το κόστος κεφαλαίου λαμβάνεται όπως και στο πρώτο σενάριο 12%, ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτεροι οι όροι σύγκρισης των σεναρίων.

Ο πίνακας 22 και το διάγραμμα 8 περιλαμβάνουν το NPV συναρτήσει του έτους για την συγκεκριμένη επένδυση:

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) [ΜΕΘΑΝΟΛΗ]			
Έτος	Ταμειακή Ροή	Κόστος Κεφαλαίου	NPV
0	-36.080.030,00 €	12 %	-36.080.030,00 €
1	25.021.800,63 €		-13.739.136,58 €
2	25.021.800,63 €		6.208.089,69 €
3	25.021.800,63 €		24.018.113,14 €
4	25.021.800,63 €		39.919.919,79 €
5	25.021.800,63 €		54.117.961,45 €
6	25.021.800,63 €		66.794.784,36 €
7	25.021.800,63 €		78.113.376,24 €
8	25.021.800,63 €		88.219.261,85 €
9	25.021.800,63 €		97.242.374,00 €
10	25.021.800,63 €		105.298.724,13 €
11	25.021.800,63 €		112.491.893,89 €
12	25.021.800,63 €		118.914.366,90 €
13	25.021.800,63 €		124.648.717,79 €
14	25.021.800,63 €		129.768.673,95 €
15	25.021.800,63 €		134.340.063,37 €
16	25.021.800,63 €		138.421.661,07 €
17	25.021.800,63 €		142.065.944,74 €
18	25.021.800,63 €		145.319.769,43 €
19	25.021.800,63 €		148.224.970,06 €
20	25.021.800,63 €		150.818.899,18 €
21	25.021.800,63 €		153.134.907,33 €
22	25.021.800,63 €		155.202.771,75 €
23	25.021.800,63 €		157.049.079,27 €
24	25.021.800,63 €		158.697.568,13 €
25	25.021.800,63 €		160.169.433,18 €

Πίνακας 22. Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) για κάθε έτος της επένδυσης Μεθανόλης σε σχέση με το MGO



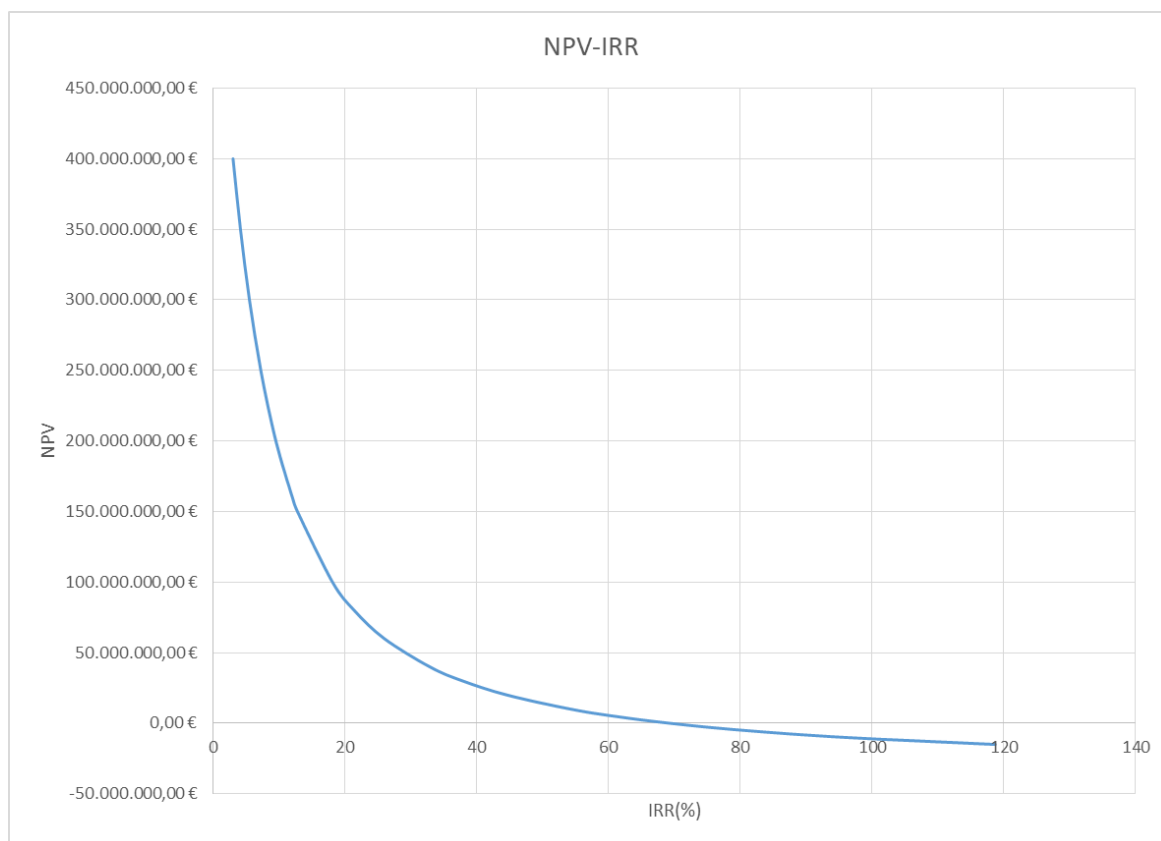
Διάγραμμα 8. NPV συναρτήσεως του Έτους για την επένδυση Μεθανόλης σε σχέση με το MGO

Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι έχει γίνει απόσβεση της επένδυσης ήδη από το 3^ο έτος, κάτι που την καθιστά επικερδή και χωρίς ιδιαίτερο ρίσκο σε βάθος 25ετίας.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το κόστος κεφαλαίου το οποίο μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία. Ακολουθεί ο πίνακας και το διάγραμμα του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR) συναρτήσεως του NPV:

Εύρεση Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης	NPV
3 %	400.000.000,00 €
4,12 %	350.000.000,00 €
5,49 %	300.000.000,00 €
7,21 %	250.000.000,00 €
9,5 %	200.000.000,00 €
12 %	160.169.433,18 €
12,78 %	150.000.000,00 €
18,1 %	100.000.000,00 €
21,39 %	80.000.000,00 €
25,96 %	60.000.000,00 €
32,86 %	40.000.000,00 €
37,85 %	30.000.000,00 €
44,61 %	20.000.000,00 €
54,3 %	10.000.000,00 €
60,9 %	5.000.000,00 €
69,35 %	0,00 €
80,51 %	-5.000.000,00 €
95,94 %	-10.000.000,00 €
118,7 %	-15.000.000,00 €
IRR(NPV=0)=69,35%	

Πίνακας 23. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση Μεθανόλης αντί MGO



Διάγραμμα 9. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Μεθανόλης αντί MGO.

Βλέπουμε ότι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία είναι 69,35%. Ο αρκετά μεγάλος εσωτερικός βαθμός απόδοσης επιβεβαιώνει ξανά, ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα και επιστρέφει τα χρήματά της πολύ γρήγορα.

6.3.3 Κέρδος από τη χρήση Αμμωνίας αντί MGO

Το τρίτο καύσιμο του σεναρίου που μελετάμε είναι η Αμμωνία, η οποία αν και ακριβότερη από τη μεθανόλη προσφέρει άλλη μια καλή οικονομικά επιλογή αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων. Όπως προαναφέρθηκε, καθώς η αμμωνία δεν περιέχει άνθρακα και θείο, δεν εκπέμπει ούτε CO₂ ούτε SO_x όταν χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία κινητήρα εσωτερικής καύσης, κάτι που εντείνει το ενδιαφέρον γι' αυτήν. Το γεγονός όμως ότι είναι τοξική και εύφλεκτη ενισχύει τις αμφιβολίες και την ανάγκη για πολύ ασφαλείς τεχνολογίες στα πλοία.

Από οικονομικής άποψης η χρήση αμμωνίας στο σενάριό μας σίγουρα προϋποθέτει υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες ύψους 56.963.580,00 €, αλλά τα ετήσια λειτουργικά κόστη ύψους 18.556.397,80 € είναι σημαντικά χαμηλότερα, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα όπως το MGO.

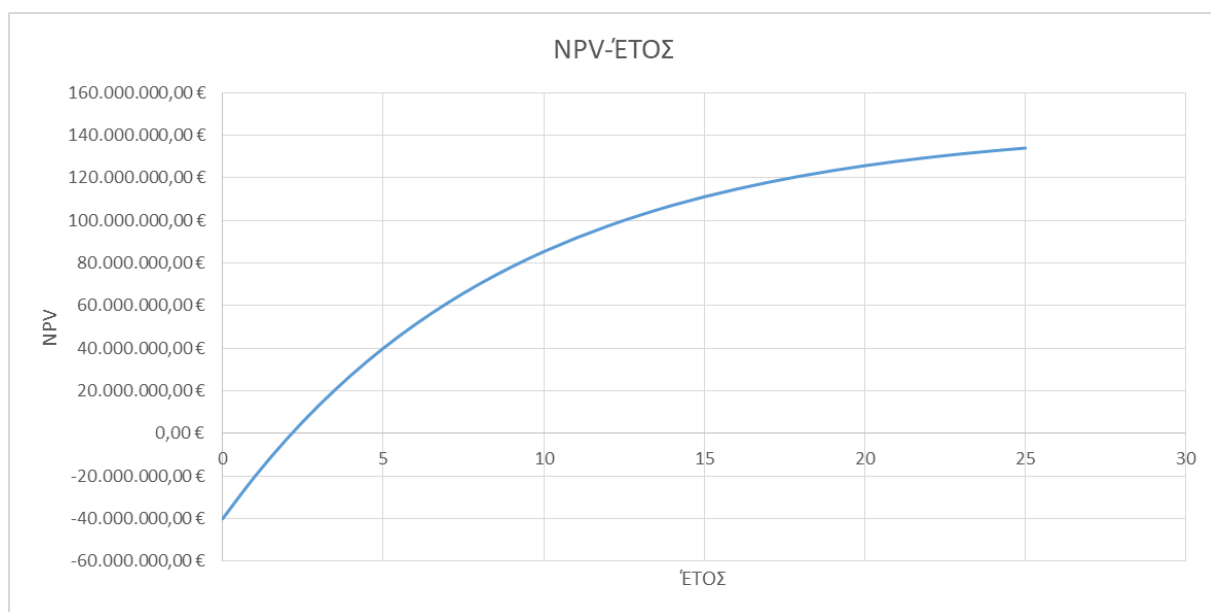
Θα προχωρήσουμε σε εκτίμηση κέρδους της επένδυσης αυτής σε σχέση με τη χρήση MGO του πρώτου σεναρίου με τη βοήθεια της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης.

Τα εικονικά έσοδα που θα είχαμε αν επιλέγαμε Αμμωνία έναντι MGO ανέρχονται στα 22.210.718,13 € το χρόνο. Η διαφορά των 2 Capex ορίζει το αρχικό κεφάλαιο στα 40.123.580,00 € (έτος 0). Το κόστος κεφαλαίου λαμβάνεται όπως και στο πρώτο σενάριο 12%, ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτεροι οι όροι σύγκρισης των σεναρίων.

Ο πίνακας 24 και το διάγραμμα 10 περιλαμβάνουν το NPV συναρτήσει του έτους για την συγκεκριμένη επένδυση.

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) [ΑΜΜΩΝΙΑ]			
Έτος	Ταμειακή Ροή	Κόστος Κεφαλαίου	NPV
0	-40.123.580,00 €	12 %	-40.123.580,00 €
1	22.210.718,13 €		-20.292.581,67 €
2	22.210.718,13 €		-2.586.333,16 €
3	22.210.718,13 €		13.222.817,29 €
4	22.210.718,13 €		27.338.130,20 €
5	22.210.718,13 €		39.941.088,15 €
6	22.210.718,13 €		51.193.729,18 €
7	22.210.718,13 €		61.240.730,10 €
8	22.210.718,13 €		70.211.266,63 €
9	22.210.718,13 €		78.220.674,25 €
10	22.210.718,13 €		85.371.931,06 €
11	22.210.718,13 €		91.756.981,77 €
12	22.210.718,13 €		97.457.919,91 €
13	22.210.718,13 €		102.548.043,25 €
14	22.210.718,13 €		107.092.796,23 €
15	22.210.718,13 €		111.150.611,40 €
16	22.210.718,13 €		114.773.660,65 €
17	22.210.718,13 €		118.008.526,05 €
18	22.210.718,13 €		120.896.798,73 €
19	22.210.718,13 €		123.475.613,63 €
20	22.210.718,13 €		125.778.126,93 €
21	22.210.718,13 €		127.833.942,37 €
22	22.210.718,13 €		129.669.491,88 €
23	22.210.718,13 €		131.308.375,36 €
24	22.210.718,13 €		132.771.664,19 €
25	22.210.718,13 €		134.078.172,07 €

Πίνακας 24. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Αμμωνίας αντί MGO



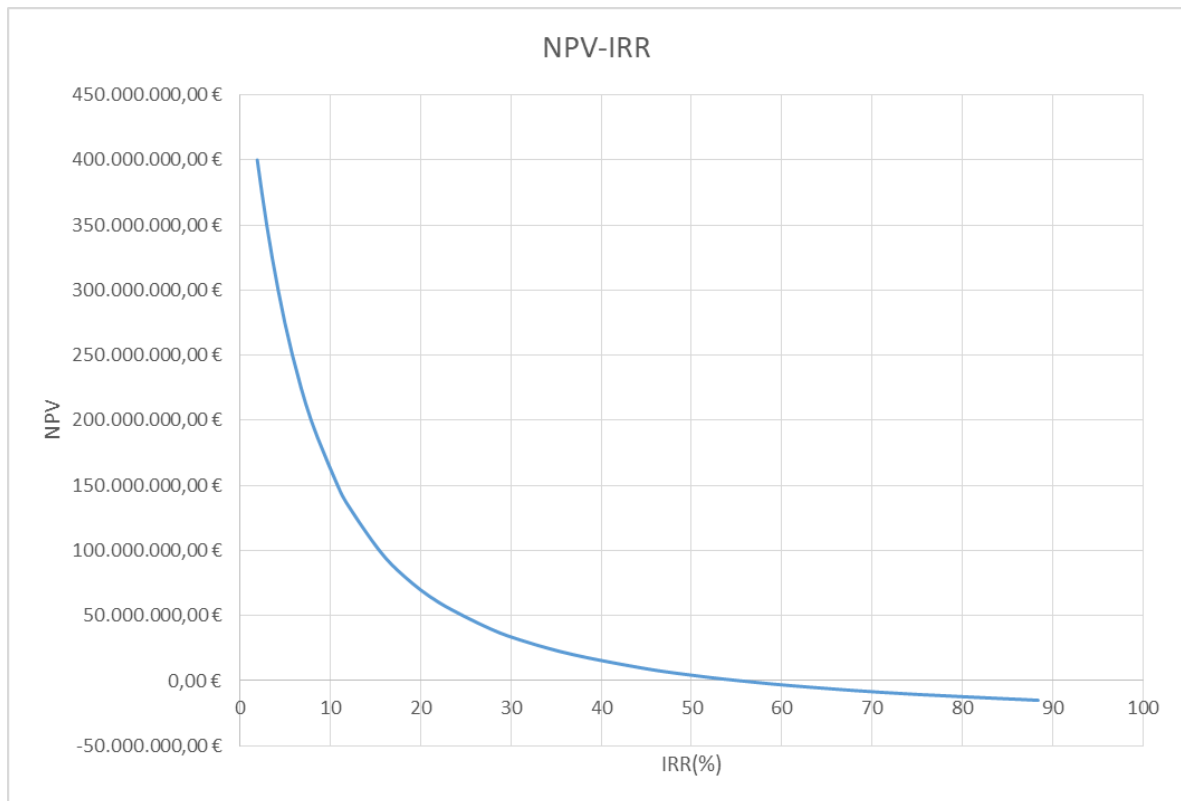
Διάγραμμα 10. NPV συναρτήσεως του Έτους για την επένδυση Αμμωνίας σε σχέση με το MGO

Από τον πίνακα 24 συμπεραίνουμε ότι έχει γίνει απόσβεση της επένδυσης ήδη από το 4ο έτος, κάτι που την καθιστά επικερδή και χωρίς ιδιαίτερο ρίσκο σε βάθος 25ετίας.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το κόστος κεφαλαίου το οποίο μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία. Ο πίνακας 25 και το διάγραμμα 11 παρουσιάζουν τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (IRR) συναρτήσει του NPV.

Εύρεση Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης	NPV
1,87 %	400.000.000,00 €
2,92 %	350.000.000,00 €
4,19 %	300.000.000,00 €
5,77 %	250.000.000,00 €
7,85 %	200.000.000,00 €
10,78 %	150.000.000,00 €
12 %	134.078.172,07 €
15,41 %	100.000.000,00 €
18,2 %	80.000.000,00 €
22,03 %	60.000.000,00 €
27,66 %	40.000.000,00 €
31,64 %	30.000.000,00 €
36,93 %	20.000.000,00 €
44,31 %	10.000.000,00 €
49,22 %	5.000.000,00 €
55,35 %	0,00 €
63,24 %	-5.000.000,00 €
73,73 %	-10.000.000,00 €
88,4 %	-15.000.000,00 €
	IRR(NPV=0)=55,35 %

Πίνακας 25. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση Αμμωνίας αντί MGO



Διάγραμμα 11. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση Αμμωνίας αντί MGO.

Βλέπουμε ότι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία είναι 55,35 %. Ο αρκετά μεγάλος εσωτερικός βαθμός απόδοσης επιβεβαιώνει ξανά, ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα και επιστρέφει τα χρήματά της πολύ γρήγορα.

6.4 Κέρδος από τη χρήση Βιοκαυσίμων αντί MGO

Για να πραγματοποιήσουμε την οικονομική ανάλυση για τη χρήση βιοκαυσίμων σε κρουαζιερόπλοιο αντλήσαμε πληροφορίες από τη μελέτη με τίτλο «Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships».

Στο πλαίσιο αυτό, θα γίνει πάλι μια εκτίμηση κέρδους σε σχέση με την επιλογή MGO του πρώτου σεναρίου.

θα προχωρήσουμε σε αρκετές παραδοχές, αφενός για να γίνει η σύγκριση όσο πιο ασφαλής γίνεται κι αφετέρου για να αξιοποιηθούν σωστά τα δεδομένα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

Λαμβάνεται ως πλοίο αναφοράς, αυτό του πρώτου σεναρίου. Η εγκατεστημένη ισχύς του θα είναι 44 MW, που θα παρέχεται από 4 τετράχρονες μηχανές εσωτερικής καύσης με χωρητικότητα 11 MW η καθεμία. Το πλοίο θα βρίσκεται 15 ώρες σε κατάσταση πλοήγησης και 10 ώρες σε λιμάνι (σε αυτές περιλαμβάνεται και η κατάσταση ελιγμών). Αυτό σημαίνει για τις 300 ημέρες το χρόνο συνολικής δραστηριότητας, τις 200 μέρες θα βρίσκεται σε πλοήγηση και τις 100 μέρες σε λιμάνι. Σε φάση πλοήγησης λειτουργεί στο 75% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, ενώ στο λιμάνι λειτουργεί στο 10% αυτής.

Όσον αφορά στις κεφαλαιουχικές δαπάνες, αυτές περιλαμβάνουν τις 4 τετράχρονες μηχανές, αναμορφωτή και εξατμιστήρα καυσίμου, καθώς και το σύστημα αποθήκευσης του HVO. Στο κόστος των κινητήρων (240 €/kW) έχουν συμπεριληφθεί και τα αντίστοιχα εξαρτήματα για το σύστημα πρόωσης.

Για το σύστημα αποθήκευσης λαμβάνονται υπόψιν οι κιλοβατώρες ανάμεσα σε δύο διαδοχικές επισκέψεις σε λιμάνι (δηλαδή αντιστοιχούν σε 15 ώρες πλοήγησης στο 75% της συνολικής ισχύος), όπου θεωρούμε ότι γίνεται ανεφοδιασμός. Ο πίνακας 26 περιλαμβάνει τα στοιχεία για τον υπολογισμό του CAPEX.

COMONENT				
HVO ICE (enclusing engines and components)	240 [€/kW]	44000 kW		10.560.000,00 €
Fuel Reformer and Evaporator	360 [€/kW]	44000 kW		15.840.000,00 €
HVO Storage on board	0,09 [€/kWh]	495000 kWh		44.550,00 €
			CAPEX	26.444.550,00 €

Πίνακας 26. Υπολογισμός CAPEX για την επιλογή HVO

Παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος επένδυσης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό, κάτι που οφείλεται στην ευκολία εφαρμογής του συγκεκριμένου καυσίμου στα πλοία.

Όσον αφορά στις ετήσιες λειτουργικές δαπάνες, αυτές έχουν να κάνουν με το κόστος του καυσίμου (85 €/MWh), καθώς και τις λειτουργίες συντήρησης του πλοίου που ισοδυναμούν με το 2,5 % της συνολικής επένδυσης, δηλαδή σε 661.113,75 €. Ο πίνακας 27 περιλαμβάνει τα στοιχεία για τον υπολογισμό του OPEX.

COMPONENT				
Fuel cost	85 [€/MWh]	168960 MWh		14.361.600,00 €
OM costs	2,5% of total capex cost	26444550 €		661.113,75 €
			OPEX	15.022.713,75 €

Πίνακας 27. Υπολογισμός OPEX για την επιλογή HVO

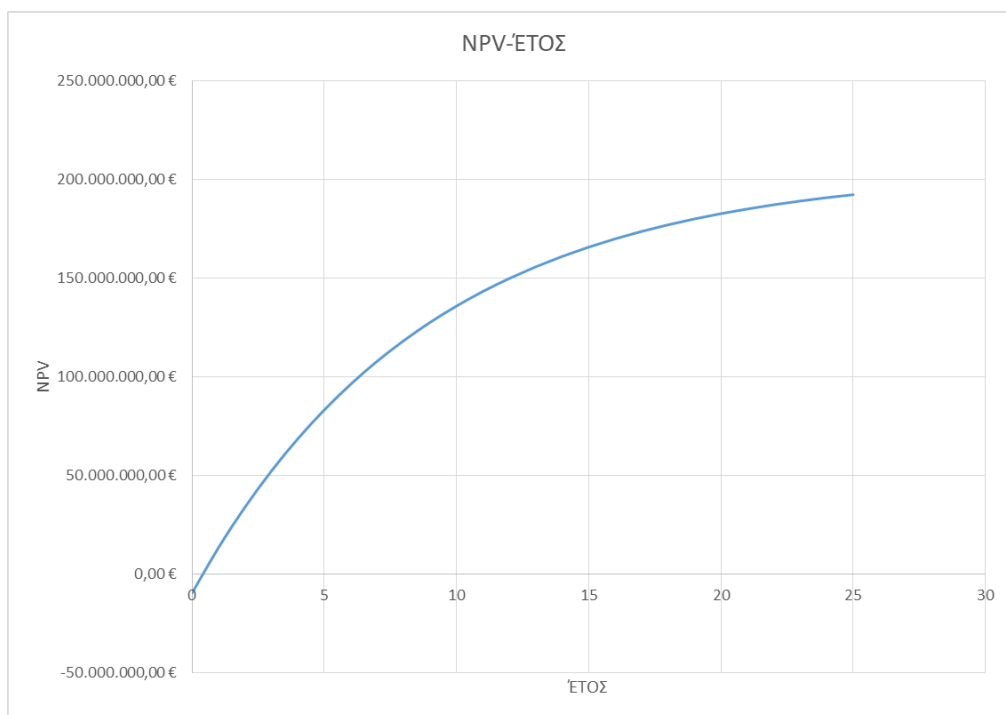
Εδώ παρατηρείται μια σημαντική διαφορά στο OPEX, που οφείλεται στο πολύ μικρότερο κόστος συντήρησης, σε σχέση με αυτό που χρειάζεται το πλοίο που χρησιμοποιεί MGO, καθώς και στο κόστος καυσίμων.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας για να συγκριθούν αναλυτικά οι 2 επενδύσεις.

Τα εικονικά έσοδα που θα είχαμε αν επενδύαμε στη χρήση HVO αντί MGO είναι 25.744.402,18 € το χρόνο. Η διαφορά των 2 CAPEX ορίζει το αρχικό κεφάλαιο στα 9.604.550,00 € (έτος 0). Το κόστος κεφαλαίου λαμβάνεται όπως και στο πρώτο σενάριο 12%, ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτεροι οι όροι σύγκρισης των σεναρίων). Ο πίνακας 28 και το αντίστοιχο διάγραμμα 12 περιλαμβάνουν τους υπολογισμούς με τη βοήθεια του Excel για τα 25 έτη της επένδυσης.

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV)				
Έτος	Ταμειακή Ροή	Κόστος Κεφαλαίου	Καθαρή Παρούσα Αξία κάθε έτους	
0	-9.604.550,00 €	12 %	-9.604.550,00 €	
1	25.744.402,18 €		13.381.523,38 €	
2	25.744.402,18 €		33.904.803,17 €	
3	25.744.402,18 €		52.229.160,14 €	
4	25.744.402,18 €		68.590.193,14 €	
5	25.744.402,18 €		83.198.258,32 €	
6	25.744.402,18 €		96.241.173,66 €	
7	25.744.402,18 €		107.886.633,79 €	
8	25.744.402,18 €		118.284.366,04 €	
9	25.744.402,18 €		127.568.055,56 €	
10	25.744.402,18 €		135.857.064,05 €	
11	25.744.402,18 €		143.257.964,49 €	
12	25.744.402,18 €		149.865.911,31 €	
13	25.744.402,18 €		155.765.863,83 €	
14	25.744.402,18 €		161.033.678,58 €	
15	25.744.402,18 €		165.737.084,61 €	
16	25.744.402,18 €		169.936.554,28 €	
17	25.744.402,18 €		173.686.080,77 €	
18	25.744.402,18 €		177.033.872,27 €	
19	25.744.402,18 €		180.022.971,83 €	
20	25.744.402,18 €		182.691.810,73 €	
21	25.744.402,18 €		185.074.702,59 €	
22	25.744.402,18 €		187.202.284,62 €	
23	25.744.402,18 €		189.101.911,43 €	
24	25.744.402,18 €		190.798.006,79 €	
25	25.744.402,18 €		192.312.377,65 €	

Πίνακας 28. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση HVO αντί MGO



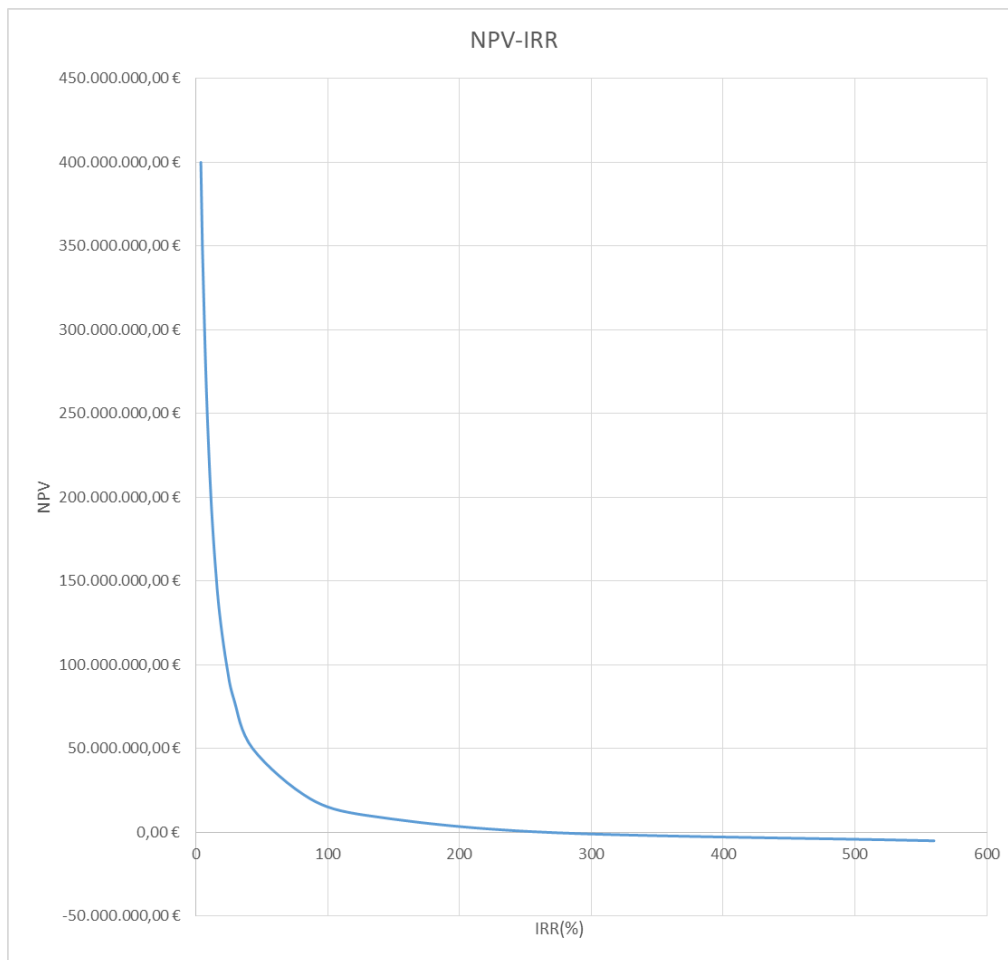
Διάγραμμα 12. NPV συναρτήσεως του Έτους για την επένδυση HVO σε σχέση με το MGO

Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι έχει γίνει απόσβεση της επένδυσης ήδη από το 1ο έτος, κάτι που την καθιστά επικερδή και χωρίς ρίσκο σε βάθος 25ετίας.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το κόστος κεφαλαίου το οποίο μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία. Ο πίνακας 29 και το διάγραμμα 13 περιλαμβάνουν τους υπολογισμούς για την εύρεση του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR) συναρτήσεως του NPV.

Εύρεση Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης	NPV
3,83 %	400.000.000,00 €
5 %	350.000.000,00 €
6,65 %	300.000.000,00 €
8,68 %	250.000.000,00 €
12 %	192.312.377,65 €
15,7 %	150.000.000,00 €
18,87 %	125.000.000,00 €
23,37 %	100.000.000,00 €
28,68 %	80.000.000,00 €
43,19 %	50.000.000,00 €
86,96 %	20.000.000,00 €
131 %	10.000.000,00 €
268 %	0,00 €
560 %	-5.000.000,00 €
	IRR(NPV=0)=268%

Πίνακας 29. Υπολογισμός Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης στη χρήση HVO αντί MGO



Διάγραμμα 13. Το Κόστος Κεφαλαίου (IRR) συναρτήσει της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) στη χρήση ΗVΟ αντί ΜGΟ.

Βλέπουμε ότι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία είναι 268 %.

Ο αρκετά μεγάλος εσωτερικός βαθμός απόδοσης επιβεβαιώνει ξανά, ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα και επιστρέφει τα χρήματά της πολύ γρήγορα. Παρ' όλα αυτά η μικρή διαθεσιμότητα που υπάρχει στην αγορά καθιστά την συγκεκριμένη επιλογή βιοκαυσίμου άκρως επισφαλής για μακροχρόνια επένδυση.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με στόχο να παρουσιάσει τα νέα εναλλακτικά καύσιμα που έχουν προκριθεί, για να βοηθήσουν τη μετάβαση σε μια πιο πράσινη ναυτιλία και να αξιολογήσει με οικονομικούς όρους την εφαρμογή τους στον κλάδο της κρουαζιέρας.

Στο 1^ο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στο χώρο της ναυτιλίας, όπου αναλύθηκε η σημασία της τόσο σε εμπορικό επίπεδο, όσο και για τη μετακίνηση των ανθρώπων σε όλα τα πλάτη της γης. Καθώς όμως τα πλοία μεταφέρουν πάνω από το 80% του παγκόσμιου εμπορίου, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν είναι δυσβάσταχτο. Η ναυτιλία ευθύνεται σε ποσοστό 2-3% για τις εκπομπές CO₂ παγκοσμίως, ενώ ανάλογα αυξημένες είναι και οι εκπομπές SO_x, NO_x και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Παρόλο που οι πλοιοκτήτες έχουν κάνει προσπάθειες μείωσης των εκπομπών ρύπων τα τελευταία χρόνια, το πρόβλημα παραμένει. Έτσι κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για πιο δραστικά μέτρα. Η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων φαίνεται να είναι η αποφασιστική λύση, πάνω στην οποία θα ρίξουν το βάρος της έρευνας, της εξέλιξης της τεχνολογίας και των επενδύσεων όλοι οι αρμόδιοι φορείς της ναυτιλίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στην ναυτιλιακή αγορά της κρουαζιέρας. Μετά από την απαραίτητη ιστορική αναδρομή για να γίνει αντιληπτή η πορεία της κρουαζιέρας στο χρόνο, στη συνέχεια δόθηκε μια εικόνα για την κατάσταση του κλάδου αυτού σε διεθνές και ελληνικό επίπεδο. Πρόκειται για έναν κλάδο ο οποίος αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια, με μεγάλη οικονομική συνεισφορά στις τοπικές κοινωνίες σε όλον τον κόσμο. Η παγκοσμιοποίηση, η γνωριμία νέων λαών και πολιτισμών, η διαφορετικότητα στο είδος αναψυχής, οι προσιτές τιμές για όλο το φάσμα των ηλικιών είναι μερικοί λόγοι για τους οποίους η κρουαζιέρα γνωρίζει έντονη άνθιση στις μέρες μας, σε όλα τα μήκη και πλάτη της γης, από την Αυστραλία μέχρι την Βόρεια Αμερική, τον Καναδά, την Καραϊβική, τη Μεσόγειο Θάλασσα και τη Βόρεια Ευρώπη. Η Ελλάδα παρόλο που πέρασε μια περίοδο ξηρασίας στον κλάδο την εποχή της οικονομικής κρίσης, εντούτοις τα τελευταία χρόνια γίνεται πιο εξωστρεφής, προσελκύοντας όλο και περισσότερους επιβάτες κρουαζιέρας στα λιμάνια της, τόσο transit όσο και home porting. Φυσικά τη μερίδα του λέοντος σε απόλυτα νούμερα επισκεπτών καταλαμβάνει το λιμάνι του Πειραιά και ακολουθούν η Σαντορίνη, η Μύκονος, η Κέρκυρα και η Ρόδος. Εξέχοντα ρόλο στη προώθηση και την ανάπτυξη της κρουαζιέρας σε διεθνές επίπεδο έχει η CLIA (Cruise Lines International Association), η οποία είναι η μεγαλύτερη εμπορική ένωση κρουαζιέρας στον κόσμο. Η ένωση, που περιλαμβάνει πάνω από 50 εταιρείες κρουαζιέρας με αναρίθμητους συνεργάτες και πρακτορεία σε όλον τον κόσμο, προάγει την ασφαλή και βιώσιμη κρουαζιέρα και εισάγει νέες τεχνολογικές καινοτομίες με σκοπό οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη για τους πλοιοκτήτες, τους εργαζόμενους και τους επιβάτες της κρουαζιέρας.

Στο 3^ο κεφάλαιο καταγράφεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κρουαζιέρας και οι πηγές ρύπανσης που προκύπτουν από αυτήν. Εδώ εμφανίζεται ο IMO (International Maritime Organization), για να θεσπίσει το θεσμικό πλαίσιο και να ορίσει τα αποδεκτά όρια ρύπανσης, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος από τον τομέα της ναυτιλίας. Είναι γεγονός ότι οι διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για το 3% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions) κι αυτό επιβάλλεται να αλλάξει. Στόχος του IMO είναι μέχρι το 2050 ο ναυτιλιακός κλάδος να έχει περιορίσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 50% και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 70% σε σχέση με τιμές του 2008. Έχει θέσει επίσης περιορισμούς για τις εκπομπές του οξειδίου του θείου (SO_x), όπου από το 2015 η περιεκτικότητα σε θείο οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιείται στα πλοία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,1% (κ.β.) στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECAs) της Βόρειας Αμερικής, της Βαλτικής και της

Βόρειας Θάλασσας στην Ευρώπη, ενώ από το 2020 δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5% (κ.β.) σε όλα τα πλοία. Η κρουαζιέρα διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στη μετάβαση στην πράσινη ναυτιλία, επενδύοντας σε καινοτόμες τεχνολογίες πρόωσης με εναλλακτικά καύσιμα όπως το LNG, οι Μπαταρίες και τα βιοκαύσιμα. Επιλέγει ακόμη τεχνολογίες όπως συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (Scrubbers), συστήματα SCR (Selective Catalytic Reduction) που μειώνουν τις εκπομπές σωματιδίων και οξειδίων του αζώτου (NO_x), καθώς και Τροφοδοσία στην ξηρά (Onshore Power Supply, OPS).

Στο 4^ο κεφάλαιο δόθηκε μία συνολική εικόνα για τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών καυσίμων, όπως το Υδροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG), το Υδρογόνο, η Αμμωνία, τα Βιοκαύσιμα και οι Μπαταρίες. Αναλύθηκαν θέματα όπως η φυσική και χημική τους σύσταση, το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, το θεσμικό πλαίσιο, οι υποδομές, η εφαρμογή τους στην κρουαζιέρα, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προβάλλουν.

Το LNG είναι το πιο διαδεδομένο αυτή τη στιγμή στην αγορά, με ήδη αρκετά πλοία να το χρησιμοποιούν ως αποκλειστικό καύσιμο πρόωσης και πολλά ακόμη πλοία να βρίσκονται υπό παραγγελία. Είναι σε γενικές γραμμές ένα ασφαλές, φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, με μεγάλα αποθέματα φυσικού αερίου, που μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε μεγάλο βαθμό και δεν περιέχει θείο. Η ανταγωνιστική τιμή του σε συνδυασμό με όλα τα άλλα πλεονεκτήματά του, το καθιστούν πολύ αξιόλογη επιλογή που χρησιμοποιείται ήδη από το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς κρουαζιέρας.

Το υδρογόνο είναι επίσης ένα πολύ φιλικό καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε κυψέλες καυσίμου, είτε σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Η δυσκολία αποθήκευσής του στα πλοία (λόγω του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνει) και η υψηλή τιμή του είναι 2 βασικοί λόγοι για τους οποίους το υδρογόνο δεν έχει εδραιωθεί ακόμα στη ναυτιλιακή αγορά και χρειάζονται περισσότερες επενδύσεις από τους πλοιοκτήτες που θα το καταστήσουν ανταγωνιστικό.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η αμμωνία, καθώς δεν περιέχει άνθρακα και θείο, με αποτέλεσμα να μην ευθύνεται για εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του θείου. Οι έντονες ανησυχίες λόγω της τοξικότητας, της αναφλεξιμότητας, του κινδύνου διάβρωσης και του ρυθμιστικού πλαισίου είναι θέματα που καλούνται να λύσουν οι ειδικοί, ώστε να δούμε αυτό το καύσιμο να χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της ναυτιλίας και της κρουαζιέρας.

Σπουδαίες προοπτικές φαίνεται να έχουν τα βιοκαύσιμα, τα οποία μπορούν να παραχθούν από πολλές πηγές και είναι ικανά να μειώσουν τις εκπομπές άνθρακα και θείου στην ατμόσφαιρα. Κάποια από αυτά όπως τα Υδροεπεξεργασμένα Φυτικά Έλαια (HVO) είναι συμβατά με τους υπάρχοντες ναυτικούς κινητήρες ντίζελ, κάτι που κάνει πιο εύκολη τη χρήση του. Όμως, το ζήτημα της διαθεσιμότητας είναι αυτό που προβληματίζει αυτήν τη στιγμή την αγορά. Η βιομεθανόλη και το bio-LNG είναι ορισμένες από τις λύσεις που εξετάζονται.

Οι μπαταρίες και οι υβριδικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έρχονται να φέρουν επανάσταση στην παραγωγή ενέργειας για τα πλοία. Οι μηδενικές εκπομπές ρύπων που προσφέρουν είναι στοιχείο που εξιτάρει τους πλοιοκτήτες και όλους όσους εργάζονται στη ναυτιλία. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν ένα προβάδισμα αυτήν τη στιγμή στην αγορά. Το μέγεθος του απαιτούμενου συστήματος μπαταριών και το κόστος τους είναι θέματα που καλούνται να λύσουν οι αρμόδιοι, αλλά ήδη στον κλάδο της κρουαζιέρας γίνονται επενδύσεις ώστε να υπάρχει ο αναγκαίος χώρος στα μελλοντικά πλοία για συστήματα μπαταριών, ενώ κάποιες εταιρείες χρησιμοποιούν ήδη αυτήν την τεχνολογία σε υπάρχοντα πλοία μικρού μεγέθους και αποστάσεων.

Στο 5^ο κεφάλαιο εισάγεται η μεθοδολογία και τα οικονομικά δεδομένα της οικονομικής ανάλυσης που θα ακολουθήσει. Προκειμένου να αξιολογηθούν τα ενδιαφερόμενα εναλλακτικά καύσιμα, αντλήθηκαν τεχνικά και οικονομικά στοιχεία από μελέτες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, οι οποίες και παρουσιάστηκαν. Επιπλέον, παρατέθηκαν και ορίστηκαν τα οικονομικά εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε, όπως το OPEX, το CAPEX, η Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV), το Κόστος Κεφαλαίου, ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) και η Απόσβεση, με τη βοήθεια των οποίων θα γίνει η οικονομική αξιολόγηση των καυσίμων και θα προκύψουν τα ανάλογα συμπεράσματα.

Στο 6^ο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα η οικονομική αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων ως προς την εφαρμογή τους στην κρουαζιέρα. Αναλύθηκαν διαφορετικές τεχνολογίες και καύσιμα, στα οποία εκτιμήθηκε το κέρδος που θα έχουμε σε σχέση με τη χρήση ενός συμμορφούμενου καυσίμου, του Marine Gasoil (MGO). Παρόλο που οι επιλογές δεν αφορούσαν όλες το ίδιο πλοίο, έγινε προσπάθεια να γίνει σύγκριση σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια με παρόμοια χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα η ζήτηση ισχύος, η ολική χωρητικότητα και οι επιβάτες που μεταφέρονται, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο δόκιμη αυτή η διαδικασία. Είναι κρίσιμο επιπλέον να τονιστεί, ότι μια τέτοια οικονομική ανάλυση πάντα παρουσιάζει σφάλματα, καθώς οι οικονομικές τιμές δεν παραμένουν σταθερές στην πορεία του χρόνου, πόσο μάλλον τη συγκεκριμένη περίοδο που λαμβάνουν χώρα δύο πόλεμοι και οι γεωπολιτικές, οικονομικές και κοινωνικές εξελίξεις μεταβάλλονται συνεχώς. Παρ' όλα αυτά η παρούσα εργασία προσπάθησε να προσδώσει μια σαφή εικόνα για τις τάσεις στην αγορά που αφορούν στα καύσιμα που μελετήθηκαν.

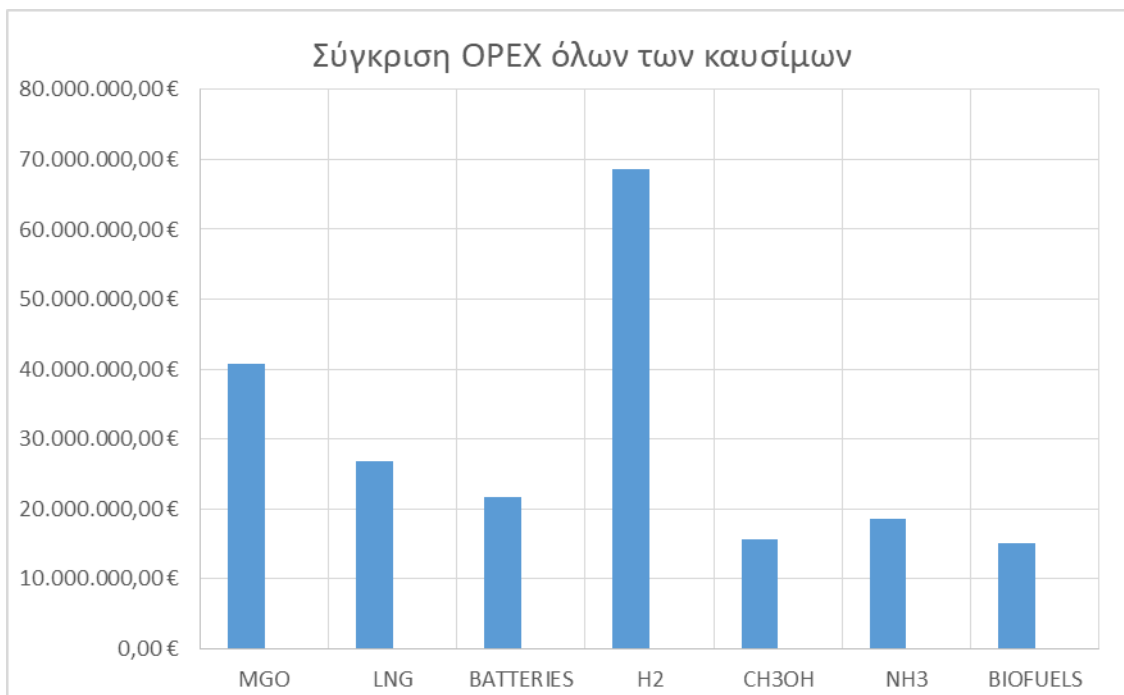
Όπως ήταν αναμενόμενο από τη γνώση μας στα μέχρι τώρα δεδομένα, η χρήση υδροποιημένου φυσικού αερίου παρουσιάζει σαφή οικονομικά πλεονεκτήματα ως προς τη χρήση του Marine Gasoil, τα οποία μεταφράζονται σε λιγότερα κόστη καυσίμου, συντήρησης και περιβαλλοντικών τελών. Έτσι, ακόμα κι αν χρειάζεται μεγαλύτερο αρχικό κόστος επένδυσης, η επιλογή χρήσης του LNG μπορεί να κάνει γρήγορα απόσβεση της επένδυσης από τα πρώτα χρόνια. Αντίστοιχη ενθαρρυντική εικόνα παρουσιάζει και η χρήση Μπαταριών ιόντων λιθίου, συνδυαζόμενη με ένα υβριδικό σύστημα COGES (Combined Gas Electric and Steam) που συνδυάζει ηλεκτρική ενέργεια από αέριο και ατμό και παλινδρομικούς κινητήρες διπλού καυσίμου. Η συμπαραγωγή ενέργειας με την αξιοποίηση των μπαταριών, έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερα λειτουργικά κόστη σε σχέση με τις παραδοσιακές επιλογές συμβατικών καυσίμων όπως το MGO, κάτι που καθιστά μια τέτοια επένδυση επωφελή από τα πρώτα χρόνια με πολύ μεγάλο εσωτερικό βαθμό απόδοσης. Οι μπαταρίες σε σύγκριση με το LNG παρουσιάζουν ένα μικρό οικονομικό πλεονέκτημα, ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι πρόκειται για ένα πιο περίπλοκο σύστημα και αυτό παίζει ρόλο όταν οι πλοιοκτήτες καλούνται να επιλέξουν.

Η επόμενη επιλογή που εξετάστηκε, είναι ένα σύστημα GOGES με χρήση LNG, παράλληλα με τη συμβολή ενός επιπλέον εναλλακτικού καυσίμου. Αυτά είναι το Πράσινο Υδρογόνο, η Μεθανόλη και η Αμμωνία. Όσον αφορά στο υδρογόνο, έγινε σαφές ότι η περίπτωση του δεν είναι ακόμα συμφέρουσα οικονομικά. Το μεγαλύτερο εμπόδιο αυτή τη στιγμή είναι η υψηλή τιμή καυσίμου, που συναντάται από 5 έως 10 φορές μεγαλύτερη από όλα τα υπόλοιπα καύσιμα στην αγορά. Είναι όμως σίγουρο, ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ωρίμανση των συνθηκών στην αγορά μπορούν να καταστήσουν το συγκεκριμένο καύσιμο οικονομικά ανταγωνιστικό στο προσεχές μέλλον. Φυσικά γι' αυτό απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις από τα κράτη, τους πλοιοκτήτες, τους προμηθευτές και γενικότερα όποιους έχουν άμεση ή έμμεση επιρροή στη ναυτιλιακή αγορά. Αντίθετα, οι επιλογές της Μεθανόλης και της Αμμωνίας φαίνεται να παρουσιάζουν έντονο ενδιαφέρον, καθώς οι τιμές τους είναι πιο κοντά σε αυτές των συμβατικών καυσίμων. Αν και χρειάζονται υπολογίσιμα αρχικά κόστη για την αξιοποίησή τους, τη δεδομένη στιγμή μοιάζουν μια καλή επιλογή που συνδυαστικά με τη χρήση άλλων καυσίμων, όπως για παράδειγμα του LNG, μπορούν να προσφέρουν οικονομικά οφέλη

μακροπρόθεσμα στους πλοιοκτήτες. Δεδομένου ότι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες είναι από 3 έως 4 φορές ψηλότερες σε σχέση με αυτές των συμβατικών καυσίμων και οι τιμές στην αγορά μεταβάλλονται συνεχώς, μια τέτοια επένδυση κρίνεται συμφέρουσα αν σχεδιάζεται για μακροπρόθεσμη χρήση. Ανάμεσα στις δύο αυτές επιλογές (Μεθανόλης – Αμμωνίας), επικρατέστερη οικονομικά είναι η Μεθανόλη, η οποία αυτή τη στιγμή κοστίζει χαμηλότερα στην αγορά, ενώ οι έντονες ανησυχίες για την ασφάλεια της αμμωνίας στα πλοία ενισχύουν ακόμα περισσότερη την πρώτη επιλογή. Παράλληλα είναι θετικό το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα μεθανόλης στην αγορά, γιατί είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα χημικά προϊόντα σε όλον τον κόσμο.

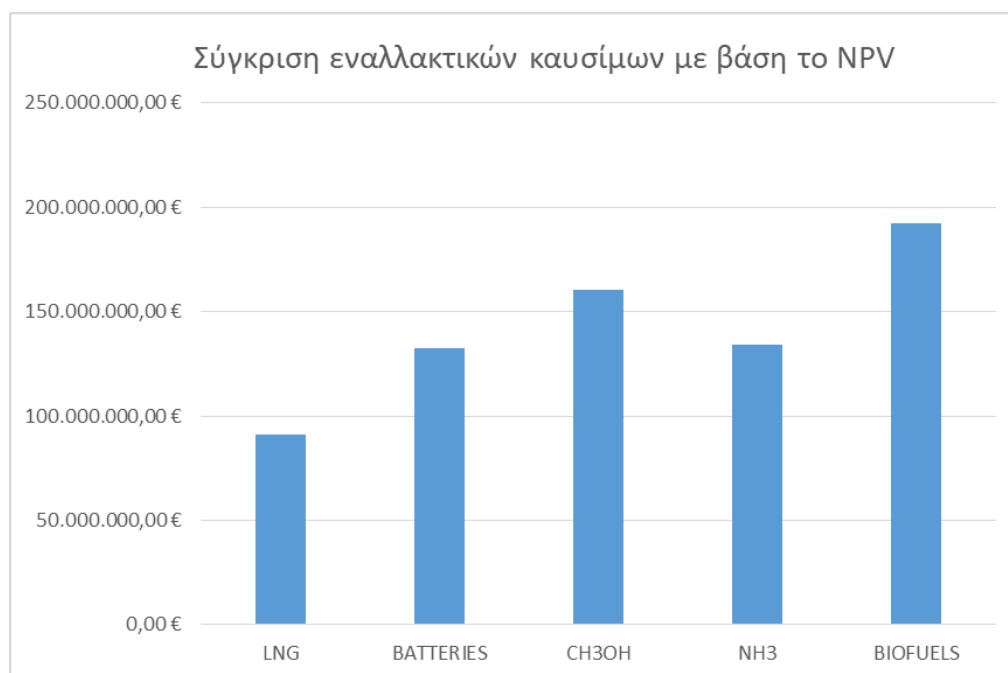
Τέλος εξετάστηκε η χρήση βιοκαυσίμων και πιο συγκεκριμένα τα υδρο-επεξεργασμένα φυτικά έλαια ή HVO (Hydro-treated Vegetable Oil). Το βιοκαύσιμο αυτό παρουσιάζει σαφή οικονομικά πλεονεκτήματα. Η ανταγωνιστική τιμή του σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, τα μικρότερα περιβαλλοντικά κόστη και το κόστος συντήρησης προσφέρουν τη δυνατότητα για πολύ χαμηλότερες ετήσιες λειτουργικές δαπάνες σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Εκτός από αυτό, η ευκολία εφαρμογής του καθώς είναι συμβατό με τους ήδη υπάρχοντες ναυτικούς κινητήρες μειώνει επίσης τις αρχικές κεφαλαιουχικές δαπάνες, καθιστώντας το άμεσα ανταγωνιστικό σε σχέση με τη χρήση MGO. Όμως, λόγω της μικρής διαθεσιμότητάς τους στην αγορά, οι πλοιοκτήτες πρέπει να πάρουν ένα μεγάλο ρίσκο αν επιλέξουν τα βιοκαύσιμα για μακροχρόνια χρήση. Η αγορά δεν είναι ακόμα έτοιμη για να καλύψει τις πολύ υψηλές ενεργειακές ανάγκες στο χώρο της κρουαζιέρας και γενικότερα της ναυτιλίας μέχρι το 2050.

Παρατηρώντας πιο σφαιρικά τα λειτουργικά κόστη για όλα τα καύσιμα παρατηρεί ότι οι τιμές του LNG, της μεθανόλης, της αμμωνίας, των βιοκαυσίμων και των μπαταριών είναι αρκετά ανταγωνιστικές μεταξύ τους και σίγουρα συμφέρουν περισσότερο σε σχέση με τη χρήση ενός συμμορφούμενου καυσίμου όπως το Marine Gas Oil. Στο Διάγραμμα 14 αποτυπώνονται οι τιμές OPEX για όλα τα καύσιμα. Αντιλαμβάνεται κανείς ότι το πράσινο υδρογόνο, το οποίο έχουμε μελετήσει είναι πολύ ακριβότερο από όλα τα υπόλοιπα καύσιμα και η περίπτωση του ακόμα χρειάζεται περισσότερη έρευνα. Από τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα, η περίπτωση της μεθανόλης φαντάζει η πιο ιδανική οικονομικά, αν και οι παραδοχές που έχουμε κάνει στα σενάρια μας δεν μπορούν να μας προσδώσουν απόλυτη σιγουριά. Επίσης πρέπει να αναφερθεί, ότι τα λειτουργικά κόστη για την περίπτωση του LNG είναι λίγο υψηλότερα από τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα πλην του υδρογόνου εξαιτίας της παράλληλης χρήσης μικρής ποσότητας MGO. Σίγουρα η αποκλειστική χρήση LNG για πρόωση σε ένα πλοίο, συνεπάγεται ακόμα μικρότερα λειτουργικά κόστη, πράγμα που καθιστά το LNG εξίσου ανταγωνιστικό οικονομικά σε σχέση με τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα.



Διάγραμμα 14. Σύγκριση OPEX όλων των καυσίμων.

Όσον αφορά την Καθαρά Παρούσα Αξία στο τελευταίο έτος της επένδυσης βλέπουμε ότι τα βιοκαύσιμα φαντάζουν η ιδανικότερη επιλογή και ακολουθούν η μεθανόλη, η αμμωνία, οι μπαταρίες και το LNG. Αυτό οφείλεται όχι μόνο στην ανταγωνιστική τιμή τους στην αγορά, αλλά και στο γεγονός ότι αρκετά βιοκαύσιμα όπως το HVO είναι συμβατά με κινητήρες Diesel, κάτι που συνεπάγεται απλούστερη εγκατάσταση και άρα μικρότερα αρχικά κεφαλαιουχικά κόστη. Στο διάγραμμα 15 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα NPV όλων των επενδύσεων που προτάθηκαν για τα εναλλακτικά καύσιμα που προαναφέραμε.



Διάγραμμα 15. Σύγκριση εναλλακτικών καυσίμων με βάση το NPV

Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι υπάρχει πληθώρα εναλλακτικών καυσίμων για την αντικατάσταση των συμβατικών και την εφαρμογή τους στην κρουαζιέρα. Αυτή τη στιγμή, το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο βρίσκεται ένα βήμα μπροστά από τα υπόλοιπα, όπως μαρτυρά ο υπάρχων στόλος και το βιβλίο παραγγελιών. Επιλογές όπως οι Μπαταρίες, τα Βιοκαύσιμα και η Μεθανόλη δείχνουν συμφέρουσες οικονομικά για να αποκτήσουν το δικό τους ρόλο στη μετάβαση στην πράσινη ναυτιλία. Η Αμμωνία φαίνεται για την ώρα να μοιάζει με ρίσκο που οι πλοιοκτήτες καλούνται να πάρουν, αν θέλουν να πετύχουν άμεσα την πλήρη απανθρακοποίηση. Το υδρογόνο -και ειδικά το πράσινο υδρογόνο- αποτελεί τη χειρότερη οικονομικά επιλογή. Για το υδρογόνο, όπως και για όλα τα εναλλακτικά καύσιμα, είναι αναγκαίες περισσότερες επενδύσεις για την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ωρίμανση των συνθηκών της αγοράς. Οι επιταγές του IMO και οι στόχοι που έχει θέσει η ίδια η Ένωση Κρουαζιέρας (CLIA) δεν αφήνουν περιθώρια για κάτι διαφορετικό. Η πρόωση των πλοίων με εναλλακτικά καύσιμα, φιλικά προς το περιβάλλον, είναι ένα στοίχημα που καλούνται οι αρμόδιοι να κερδίσουν σύντομα, αν θέλουν να πετύχουν τους πρώτους στόχους που αφορούν το 2030. Οι προβλέψεις για το μέλλον είναι ενθαρρυντικές. Η τεχνολογική πρόοδος, το νομοθετικό πλαίσιο και οι επενδύσεις από φορείς, κυβερνήσεις και ναυτιλιακές εταιρείες παρέχουν την αισιοδοξία ότι οι τιμές των εναλλακτικών καυσίμων θα μειωθούν στο κοντινό μέλλον, οι συνθήκες της αγοράς θα γίνουν πιο ώριμες για ευρεία χρήση των καυσίμων αυτών και τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα αργά ή γρήγορα θα αποτελέσουν παρελθόν. Ιστορικά μια τέτοια μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στην πράσινη ναυτιλία, θα έχει το χαρακτήρα επανάστασης. Και κάθε επανάσταση απαιτεί υπομονή, επιμονή και ρίσκο για να τελεσφορήσει.

Βιβλιογραφία-Πηγές

- [1] ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΑ - Κοινωνιολογικές, Πολιτισμικές, Οικονομικές, Νομικές και Περιβαλλοντικές προσεγγίσεις, Πολυξένη Μοίρα, Δημήτριος Μυλωνόπουλος, εκδόσεις Τζιόλα.
- [2] M. Roux, C. Lodato, A. Laurent, T.F. Astrup, “A review of life cycle assessment studies of maritime fuels: Critical insights, gaps, and recommendations”, Sustainable Production and Consumption, Publ. Elsevier, pp 69-86, Oct 2024.
- [3] Theodore Syriopoulos, Michael Tsatsaronis, Martha Gorila, “The global cruise industry: Financial performance evaluation”, Research in Transportation Business & Management, Publ. Elsevier, Volume 45-part B, Dec. 2022.
- [4] Economic Contribution of Cruise Tourism to Europe 2022, Tourism Economics, Nov. 2023.
- [5] Josep Lloret, Arnau Carreno, Hrvoje Caric, Joan San, Lora E. Fleming, “Environmental and human health impacts of cruise tourism: A review”, Marine Pollution Bulletin, Publ. Elsevier, Volume 173-Part A, Dec. 2021.
- [6] Διεθνείς κανονισμοί – Ναυτιλιακή πολιτική και Δίκαιο της θάλασσας, Αριστ.Β. Αλεξοπούλου, Νικ.Γ. Φουρνάρη, Αθήνα 2018.
- [7] IMO Resolution MEPC.176(58) – Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (revised MARPOL Annex VI). October 10, 2008.
- [8] ASSESSMENT OF SELECTED ALTERNATIVE FUELS AND TECHNOLOGIES - DNV·GL, June 2019.
- [9] Filippo SCAMARDELLA, Giorgio ZAMBONI, Edward CANEPA, Paola GUALENI, Angelo MACOCCO, “Ammonia as an Alternative Fuel for Large Passenger Ships: Benefits and Challenges”, in book: Technology and Science for the Ships of the Future, pp 138-145, Aug. 2022.
- [10] Biofuel as the future fuel for maritime transport fuel for maritime transport: a comparative assessment with conventional marine fuels, Taiwo Akinwumi Moshood - World Maritime University, Oct. 2022.
- [11] Omer Berkehan Inal, Jean-Frederic Charpentier, Cengiz Deniz, “Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 156, Mar. 2022.
- [12] ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ Ι, ΧΑΡΙΛΑΟΣ Ν. ΨΑΡΑΥΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2005.
- [13] Μελέτη οικονομικής εφικτότητας χρήσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου ως καυσίμου σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια, Λίτσας Σπυρίδων, Φεβρουάριος 2020.
- [14] Tommaso Iannaccone, Gabriele Landucci, Alessandro Tugnoli, Ernesto Salzano, Valerio Cozzani, “Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies”, Journal of Cleaner Production, Publ. Elsevier, Volume 260, Mar. 2020.
- [15] A. Dotto, F. Satta, “Techno-economic optimization of hybrid-electric power plants onboard cruise ships”, Energy Conversion and Management: X, Publ. Elsevier, Volume 20, Oct. 2023.

- [16] A. Dotto, F. Satta, U. Campora, “Energy, environmental and economic investigations of cruise ships powered by alternative fuels”, *Energy Conversion and Management*, Publ. Elsevier, Volume 285, June 2023.
- [17] Agneev Mukherjee, Pieter Bruijninx, Martin Junginger, “A Perspective on Biofuels Use and CCS for GHG Mitigation in the Marine Sector”, *iScience*, Publ. Elsevier, Nov. 2020.
- [18] A.D. Korberg, S. Brynolf, M. Grahn, I.R. Skov, “Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Publ. Elsevier, Volume 142, May 2021.
- [19] Luca Braidotti, Serena Bertagna, Ruben Rappoccio, Samuele Utzeri, Vittorio Bucci, Alberto Marino, “On the inconsistency and revision of Carbon Intensity Indicator for cruise ships”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Publ. Elsevier, Volume 118, May 2023.

ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [20] Cruise Lines International Association
- [21] Cruise Lines International Association-Australasia
- [22] IMO – International Maritime Organization
- [23] Τι Πέτυχε Η Άρση Του Καμποτάζ, Θοδωρής Γεωργακόπουλος (Ιούνιος 2016)
- [24] Ε.ΛΙΜ.Ε: Ρεκόρ όλων των εποχών στις αφίξεις της κρουαζιέρας το 2023, (Μάρτιος 2024)
- [25] The return of the cruise: How luxury cruises are polluting Europe’s cities, *Transport and Environment* (June 2023)
- [26] 5 Battery-Powered Cruise Ships Leading the Zero Emission Charge, *CruiseFever* (Sep. 2023)
- [27] Charting the Future of Sustainable Cruise Travel, *CLIA* (Oct. 2023)
- [28] State of the Cruise Industry Report, *CLIA* (Apr. 2024)
- [29] Global Cruise Industry Environmental Technologies and Practices Report (*CLIA* 2024)