

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

**«Μελέτη οικονομικής εφικτότητας χρήσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου ως  
καυσίμου σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια»**

**Διπλωματική Εργασία**

**Λίτσας Σπυρίδων**

**Φεβρουάριος 2020**

**ΑΘΗΝΑ**



**Λίτσας Σπυρίδων**

**(Μελέτη οικονομικής εφικτότητας χρήσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου ως  
καυσίμου σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια)**

**Φεβρουάριος 2020**

**Διπλωματική Εργασία**

**Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών**

**Συγγραφέας: Λίτσας Σπυρίδων .....**

**Επιβλέπων: Λυρίδης Δημήτριος .....**

**ΑΘΗΝΑ**

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του ΔΠΜΣ "ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ" της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020.

Την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας είχε ο καθηγητής, κύριος Δημήτριος Β. Λυρίδης, τον οποίο θα ήθελα εκ των προτέρων να ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση αυτού του θέματος, την αμεσότητα της συνεργασίας μας, την άψογη καθοδήγησή του, καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για όσα μου έχουν προσφέρει στη διάρκεια των σπουδών μου και για την υποστήριξή τους σε κάθε στάδιο της ζωής μου.

# Περιεχόμενα

<b>Περίληψη.....</b>	<b>9</b>
<b>Key words.....</b>	<b>11</b>
<b>Κατάλογος σχημάτων .....</b>	<b>12</b>
<b>Κατάλογος πινάκων .....</b>	<b>14</b>
<b>Κατάλογος διαγραμμάτων .....</b>	<b>17</b>
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Η ναυλαγορά κρουαζιέρας σε Παγκόσμιο, Ευρωπαϊκό και Ελληνικό επίπεδο.....</b>	<b>18</b>
1.1. Ιστορική αναδρομή .....	18
1.2. Κρουαζιερόπλοια πρώτης και δεύτερης γενιάς.....	21
1.3. Το σύγχρονο κρουαζιερόπλοιο .....	23
1.4. Τερματικά - Λιμένες βάσης - Λιμένες προσέγγισης – Υβριδικά λιμάνια.....	24
1.5. Τα 10 μεγαλύτερα κρουαζιερόπλοια, τα κύρια ναυπηγεία και οι μεγαλύτερες ναυτιλιακές εταιρείες στον τομέα της κρουαζιέρας.....	25
1.6. Η αγορά κρουαζιέρας σε Παγκόσμιο επίπεδο.....	30
1.7. Η αγορά κρουαζιέρας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο .....	34
1.8. Η αγορά κρουαζιέρας σε ελληνικό επίπεδο .....	39
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Ατμοσφαιρικοί ρύποι από τον τομέα της ναυτιλίας και επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο .....</b>	<b>43</b>
2.1. Ρύποι από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα .....	43
2.2. Πρωτογενείς ρύποι.....	44
2.3. Δευτερογενείς ρύποι .....	46
2.4. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο .....	47
2.5. Η συμβολή των κρουαζιερόπλοιων στην ατμοσφαιρική ρύπανση .....	52

2.6. Ρυθμιστικό πλαίσιο και απαιτήσεις.....	55
2.7. Βασικές συμβάσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού .....	55
2.8. Τα Παραρτήματα της MARPOL 73/78 .....	58
2.8.1. Βασικοί κανονισμοί του παραρτήματος VI της MARPOL .....	62
2.9. Διεθνείς κανονισμοί για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και περιοχές ελέγχου των εκπομπών .....	64
2.9.1. Κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO-International Maritime Organization) .....	65
2.10. Περιφερειακοί και τοπικοί κανονισμοί για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	68
2.10.1. Ευρωπαϊκή Ένωση .....	68
2.10.2. Ηνωμένες Πολιτείες.....	70
2.10.3. Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας.....	73
2.10.4. Χόνγκ Κόνγκ – Ειδική Διοικητική περιοχή της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας.....	74
2.10.5. Αυστραλία .....	75
2.10.6. Ταϊβάν .....	75
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων .....</b>	<b>76</b>
3.1. Γενικά.....	76
3.2. Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων υγρού τύπου (Wet Scrubbers) .....	76
3.2.1. Διαδικασία καθαρισμού από σύστημα αποθείωσης υγρού τύπου.....	77
3.3. Πλυντρίδες ανοιχτού βρόχου (Open loop scrubbers) .....	79
3.4. Πλυντρίδες κλειστού βρόχου (closed loop scrubbers).....	81
3.5. Υβριδικά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων (hybrid scrubbers) .....	83
3.6. Αποτελεσματικότητα των πλυντρίδων υγρού τύπου (Wet scrubbers).....	84
3.7. Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων ξηρού τύπου (Dry Scrubbers) .....	86
3.8. Σύγκριση των συστημάτων ελέγχου των αέριων εκπομπών.....	86
3.9. Εγκατάσταση των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων .....	88
3.10. Διαστάσεις των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων υγρού τύπου.....	90

3.11. Υλικά των συστημάτων καθαρισμού .....	91
3.12. Σύστημα παράκαμψης καυσαερίων .....	91
3.13. Σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων με πολλαπλές εισόδους .....	92
3.14. Επιπτώσεις υποπίεσης .....	94
3.15. Συστήματα σωληνώσεων στις πλυντρίδες .....	94
3.16. Βοηθητικός εξοπλισμός .....	96
3.17. Ηλεκτρικά συστήματα για τα συστήματα καθαρισμού .....	98
3.18. Ανάλυση SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) για τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων .....	100

#### **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου σε κρουαζιερόπλοια .....101**

4.1. Τρέχουσες συνθήκες .....	101
4.2. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο πλοίων .....	102
4.3. Η οικονομική περίπτωση του ΥΦΑ.....	105
4.4. Ενεργειακή πυκνότητα καυσίμων .....	106
4.5. Αεριοστρόβιλοι .....	107
4.6. Δίχρονοι κινητήρες αερίου - πετρελαίου .....	108
4.7. Τετράχρονοι κινητήρες αερίου .....	108
4.8. Τετράχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου .....	108
4.9. Τρέχουσα κατάσταση αγοράς.....	110
4.10. Η έννοια του ενεργειακού συστήματος .....	112
4.11. Δεξαμενές καυσίμου .....	114
4.11.1. Δεξαμενές τύπου Α .....	115
4.11.2. Δεξαμενή τύπου Β .....	115
4.11.3. Δεξαμενή τύπου C .....	117

4.11.4. Δεξαμενή τύπου μεμβράνης .....	117
4.12. Θέση δεξαμενής καυσίμου .....	118
4.13. Ανάλυση SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) για τη χρήση ΥΦΑ στα κρουαζιερόπλοια .....	121
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων για την επιλογή της συμφέρουσας λύσης .....</b>	<b>122</b>
5.1. Γενικά.....	122
5.2. Σύγκριση της μεθόδου εγκατάστασης πλυντρίδων με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων .....	123
5.3. Σύγκριση της μεθόδου της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.....	136
5.4. Σύγκριση της μεθόδου της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες.....	152
5.5. Σύγκριση της μεθόδου εγκατάστασης πλυντρίδων με τη μέθοδο της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες.....	157
<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>162</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>164</b>



## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται μια μελέτη σκοπιμότητας για την μείωση των αέριων ρύπων από τα μεγάλα κρουαζιερόπλοια. Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού τα νέα όρια περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα των πλοίων θα πρέπει να ανέρχονται σε 0.5 % (κ.β.) παγκοσμίως και 0.1 % (κ.β.) εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020. Συνεπώς για την κάλυψη των απαιτήσεων αυτών θα πρέπει οι πλοιοκτήτες να στραφούν σε εναλλακτικές λύσεις, έτσι ώστε τα πλοία τους να συνεχίσουν την ορθή λειτουργία τους.. Στην παρούσα μελέτη γίνεται μια σύγκριση των δυνητικών αυτών λύσεων που είναι είτε η χρήση συμμορφούμενων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, είτε η χρήση πλυντρίδων (scrubbers) για την πλύση των καυσαερίων, είτε η μετατροπή των κρουαζιερόπλοιων για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου “LNG Retrofit”.

Αρχικά πραγματοποιείται μια περιγραφή της ναυλαγοράς κρουαζιέρας τόσο σε Ελληνικό επίπεδο, όσο και σε Ευρωπαϊκό και σε Παγκόσμιο επίπεδο, ώστε να αντιληφθεί ο αναγνώστης τα μεγέθη για τα οποία είναι σημαντικά τα όσα θα ειπωθούν στη συνέχεια. Έπειτα γίνεται μια αναλυτική περιγραφή της υπάρχουσας κατάστασης, κάνοντας αναφορά στα καύσιμα που καταναλώνουν τα κρουαζιερόπλοια, στα είδη των ατμοσφαιρικών ρύπων που παράγονται, καθώς και στις επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Επισημαίνονται αναλυτικά οι κανονισμοί του IMO και τα επιτρεπόμενα όρια σε ρύπους, οι περιοχές ελέγχου των εκπομπών και η νομοθεσία που επικρατεί σε διάφορα κράτη.

Στη συνέχεια αναλύονται οι πιθανές λύσεις για τη συμμόρφωση των κρουαζιερόπλοιων με τους νέους κανονισμούς. Πρώτα αναφέρονται οι τύποι των πλυντρίδων και η αρχή λειτουργίας του κάθε τύπου. Στους τύπους αυτούς περιλαμβάνονται οι πλυντρίδες ανοιχτού τύπου (open loop scrubbers), οι πλυντρίδες κλειστού τύπου (closed loop scrubbers) και οι υβριδικές πλυντρίδες που συνδυάζουν τη λειτουργία των προαναφερθέντων (hybrid scrubbers). Εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου και πραγματοποιείται μια ανάλυση SWOT για τη λύση της χρήσης των πλυντρίδων, ώστε να γίνουν αντιληπτά τα δυνατά σημεία, οι αδυναμίες, οι ευκαιρίες και οι απειλές.

Ακολούθως εξετάζεται η λύση της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου στα μεγάλα κρουαζιερόπλοια. Αναφέρονται οι τρέχουσες συνθήκες στην αγορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου, οι τύποι των κινητήρων στους οποίους μπορεί να γίνει χρήση του καυσίμου αυτού, καθώς και ο τύπος των δεξαμενών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση του καυσίμου. Και σε αυτήν την περίπτωση γίνεται

μια ανάλυση SWOT ώστε να αναφερθούν τα δυνατά σημεία, οι αδυναμίες, οι ευκαιρίες και οι απειλές από τη χρήση ΥΦΑ στα μεγάλα κρουαζιερόπλοια.

Ύστερα από την εκτενή ανάλυση των μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των διεθνών κανονισμών, γίνεται μια σύγκριση των μεθόδων αυτών. Πρώτα συγκρίνεται η μέθοδος της εγκατάστασης των πλυντρίδων, με μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων, στη συνέχεια η λύση της μετασκευής των κρουαζιερόπλοιων για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου με τη λύση της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων και τέλος, η μέθοδος της εγκατάστασης των πλυντρίδων με τη λύση της μετασκευής των κρουαζιερόπλοιων για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Σε κάθε σενάριο υπολογίζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία και ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης, ώστε να γίνει αντιληπτό ποια επένδυση συμφέρει.

Τέλος, γίνεται μια αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων και δίνονται τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης που πραγματοποιείται. Επίσης, αναφέρονται μελλοντικές προτάσεις για την εκπομπή μηδενικών ρύπων από τον τομέα της κρουαζιέρας που είναι και ο πολυπόθητος στόχος.

## **Key words**

Cruise ship, Scrubber, LNG Retrofit

## **Κατάλογος σχημάτων**

<b>Σχήμα 1. Symphony of the Seas.....</b>	<b>25</b>
<b>Σχήμα 2. Harmony of the Seas .....</b>	<b>25</b>
<b>Σχήμα 3. Allure of the Seas.....</b>	<b>26</b>
<b>Σχήμα 4. Oasis of the Seas .....</b>	<b>26</b>
<b>Σχήμα 5. Quantum of the Seas .....</b>	<b>26</b>
<b>Σχήμα 6. Anthem of the Seas.....</b>	<b>27</b>
<b>Σχήμα 7. Ovation of the Seas.....</b>	<b>27</b>
<b>Σχήμα 8. Norwegian Joy .....</b>	<b>27</b>
<b>Σχήμα 9. Norwegian Escape .....</b>	<b>28</b>
<b>Σχήμα 10. MS Liberty of the Seas .....</b>	<b>28</b>
<b>Σχήμα 11. Περιοχές ελέγχου των εκπομπών SO<sub>x</sub> (SECA) της Βαλτικής και της Βόρειας Θάλασσας. ....</b>	<b>66</b>
<b>Σχήμα 12. Περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) της Βόρειας Αμερικής και των υδάτων της Καραϊβικής. ....</b>	<b>68</b>
<b>Σχήμα 13. Περιοχή ελέγχου των εκπομπών στην Κίνα.....</b>	<b>73</b>
<b>Σχήμα 14. Πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου.....</b>	<b>80</b>
<b>Σχήμα 15. Πλυντρίδα κλειστού βρόχου.....</b>	<b>82</b>
<b>Σχήμα 16. Υβριδική πλυντρίδα. ....</b>	<b>83</b>
<b>Σχήμα 17. Διάταξη των διαστάσεων μιας πλυντρίδας υγρού τύπου. ....</b>	<b>91</b>
<b>Σχήμα 18. Σύστημα ενσωματωμένης πλυντρίδας με πολλαπλές εισόδους.....</b>	<b>93</b>
<b>Σχήμα 19. Βαβλβίδα απομόνωσης των καυσαερίων. ....</b>	<b>93</b>
<b>Σχήμα 20. Σύγκριση τιμών θαλάσσιων καυσίμων σε \$/MMBtu. ....</b>	<b>105</b>
<b>Σχήμα 21. Ενεργειακό σύστημα τύπου μονάδας παραγωγής ενέργειας. ....</b>	<b>113</b>

Σχήμα 22. Σύστημα χειρισμού καυσίμων.....	113
Σχήμα 23. Τύποι δεξαμενών.....	114
Σχήμα 24. Δεξαμενή τύπου Α.....	115
Σχήμα 25. Σφαιρική δεξαμενή τύπου Β.....	116
Σχήμα 26. Πρισματική δεξαμενή τύπου Β. ....	116
Σχήμα 27. Δεξαμενή τύπου C.....	117
Σχήμα 28. Δεξαμενή τύπου μεμβράνης.....	118
Σχήμα 29. Εγκαταστάσεις scrubber σε διάφορους τύπους πλοίων. ....	123
Σχήμα 30. Τρόπος λειτουργίας υβριδικού scrubber. Πάνω είναι η λειτουργία σε ανοιχτό κύκλωμα και κάτω η λειτουργία σε κλειστό κύκλωμα. ....	124
Σχήμα 31. Επιμήκυνση πλοίου με προκατασκευασμένο τμήμα ‘LNG Ready’ .....	137
Σχήμα 32. Κατηγοριοποίηση του στόλου των κρουαζιερόπλοιων με βάση τη χωρητικότητά τους. ....	137
Σχήμα 33. Μέσος όρος ηλικίας κάθε κατηγορίας. ....	138
Σχήμα 34. Κεφαλαιουχικές δαπάνες για την επιμήκυνση του πλοίου για χρήση καυσίμου LNG. ....	141
Σχήμα 35. Λειτουργικά έξοδα στο σενάριο της χρήσης καυσίμου LNG.....	141
Σχήμα 36. Κεφαλαιουχικές δαπάνες της μετασκευής κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG. ....	142

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Οικονομικά στοιχεία παγκόσμιας αγοράς κρουαζιέρας για το έτος 2017..	31
Πίνακας 2. Πλοία που αναμένεται να ξεκινήσουν τα ταξίδια τους εντός του έτους 2019. .....	32
Πίνακας 3. Σφαιρική εικόνα Ευρωπαϊκής αγοράς για το έτος 2017. ....	36
Πίνακας 4. Προορισμοί που προτιμούν οι Ευρωπαίοι. ....	37
Πίνακας 5. Οι αφίξεις κρουαζιερόπλοιων και επιβατών κρουαζιέρας για τα έτη 2015- 2018.....	42
Πίνακας 6. Η ημερομηνία που τέθηκαν σε ισχύ τα έξι παραρτήματα της MARPOL 73/78.....	58
Πίνακας 7. Όρια της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο.....	67
Πίνακας 8. Οι απαιτήσεις καυσίμου για τα υπερωκεάνια του συμβουλίου αέριων πόρων της Καλιφόρνια (CARB).....	72
Πίνακας 9. Αποτελεσματικότητα των πλυντρίδων υγρού τύπου.....	85
Πίνακας 10. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων καθαρισμού υγρού τύπου.....	88
Πίνακας 11. Βασικές διαστάσεις των πλυντρίδων με βάση την ονομαστική ισχύ των κινητήρων.....	90
Πίνακας 12. Μεγέθη βοηθητικού εξοπλισμού σε πλυντρίδες υγρού τύπου.....	96
Πίνακας 13. Απαιτήσεις αυτοματισμού και παρακολούθησης μιας πλυντρίδας υγρού τύπου.....	99
Πίνακας 14. Ανάλυση SWOT για τις πλυντρίδες.....	100
Πίνακας 15. Επιλογές συμμόρφωσης με τους κανονισμούς.....	102
Πίνακας 16. Σύσταση υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).....	103
Πίνακας 17. Εκπομπές των ναυτιλιακών καυσίμων. ....	104
Πίνακας 18. Ενεργειακή πυκνότητα των καυσίμων. ....	106

Πίνακας 19. Τα εύρη ισχύος των διαθέσιμων τετράχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου.....	110
Πίνακας 20. Σύγκριση κινητήρων.....	111
Πίνακας 21. Σύγκριση δεξαμενών υγροποιημένου φυσικού αερίου.....	120
Πίνακας 22. Ανάλυση SWOT για τη χρήση ΥΦΑ.....	121
Πίνακας 23. Εκτιμήσεις των κεφαλαιουχικών δαπανών για την εγκατάσταση των πλυντρίδων.....	125
Πίνακας 24. Στοιχεία για το προς μελέτη κρουαζιερόπλοιο.....	127
Πίνακας 25. Σύγκριση πλυντρίδων με συμμορφούμενα καύσιμα.....	129
Πίνακας 26. Λειτουργικά έξοδα και καθαρά έσοδα το έτος από την εγκατάσταση των πλυντρίδων.....	130
Πίνακας 27. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας για χρήση πλυντρίδων.....	132
Πίνακας 28. Εύρεση IRR για το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας για χρήση συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων.....	134
Πίνακας 29. Στοιχεία της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου MSC Meraviglia.....	143
Πίνακας 30. Σύγκριση χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου με χρήση συμμορφούμενων καυσίμων χωρίς τον υπολογισμό των κερδών από τις πρόσθετες καμπίνες.....	146
Πίνακας 31. Ετήσια καθαρά έσοδα από την χρήση LNG στο κρουαζιερόπλοιο.....	146
Πίνακας 32. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας για χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.....	147
Πίνακας 33. Εύρεση IRR για το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας για χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.....	150
Πίνακας 34. Σύγκριση χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου με χρήση συμμορφούμενων καυσίμων και τον υπολογισμό των κερδών από τις πρόσθετες καμπίνες.....	152
Πίνακας 35. Ετήσια καθαρά έσοδα από την χρήση LNG στο κρουαζιερόπλοιο και 5 % κέρδος επί της αρχικής επένδυσης από τις πρόσθετες καμπίνες.....	153

<b>Πίνακας 36. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας για χρήση καυσίμου LNG και 5 % κέρδος από τις πρόσθετες καμπίνες.....</b>	<b>153</b>
<b>Πίνακας 37. Εύρεση IRR για το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας για χρήση καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες.....</b>	<b>155</b>
<b>Πίνακας 38. Έξοδα και πρόσθετα έσοδα από την εγκατάσταση του κάθε συστήματος. ....</b>	<b>158</b>
<b>Πίνακας 39. Υπολογισμός Εσωτερικού συντελεστή απόδοσης για κάθε σύστημα. ....</b>	<b>160</b>



## Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Χώρες προέλευσης επιβατών για την παγκόσμια αγορά κρουαζιέρας (σε εκατομμύρια).....	31
Διάγραμμα 2. Αριθμός επιβατών που ταξιδεύουν με κρουαζιερόπλοιο παγκοσμίως (σε εκατομμύρια).....	32
Διάγραμμα 3. Λιμάνια κρουαζιέρας στη Μεσόγειο με βάση τον αριθμό επιβατών. ....	34
Διάγραμμα 4. Μέσος όρος ηλικίας και διάρκεια κρουαζιέρας ανά προορισμό. ....	38
Διάγραμμα 5. Αριθμός επιβατών ανά προορισμό και ανά χώρα (σε χιλιάδες). ....	38
Διάγραμμα 6. Ατμοσφαιρική ρύπανση αποπλέοντος κρουαζιερόπλοιου στη Βαρκελώνη. ....	53
Διάγραμμα 7. Ατμοσφαιρική ρύπανση αποπλέοντος κρουαζιερόπλοιου στη Σαντορίνη. ....	54
Διάγραμμα 8. Σημερινή και μελλοντική αγορά κινητήρων αερίου. ....	110
Διάγραμμα 9. Γράφημα Καθαρής Παρούσας Αξίας για τη χρήση υβριδικών πλυντρίδων. ....	133
Διάγραμμα 10. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) συναρτήσει της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για τη χρήση συστημάτων πλυντρίδων. ....	135
Διάγραμμα 11. NPV συναρτήσει του χρόνου με χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες. ....	148
Διάγραμμα 12. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) συναρτήσει της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για τη χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες. ....	151
Διάγραμμα 13. NPV συναρτήσει του χρόνου για χρήση καυσίμου LNG και 5 % κέρδος από τις πρόσθετες καμπίνες. ....	154
Διάγραμμα 14. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) συναρτήσει της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για χρήση καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες. ....	156
Διάγραμμα 15. Σύγκριση NPV για τα συστήματα που μελετήθηκαν. ....	158

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Η ναυλαγορά κρουαζιέρας σε Παγκόσμιο, Ευρωπαϊκό και Ελληνικό επίπεδο

## 1.1. Ιστορική αναδρομή

Η κρουαζιέρα είναι ένα θαλασσίνο ταξίδι αναψυχής με κρουαζιερόπλοιο, που διανύει μια συγκεκριμένη διαδρομή. Η κρουαζιέρα συνδυάζει την επίσκεψη διαφόρων παραθαλάσσιων πόλεων και λιμανιών υψηλού τουριστικού ενδιαφέροντος, με την αναψυχή της διαμονής στο πλοίο.

Το κρουαζιερόπλοιο, όνομα που προέρχεται εκ του Αγγλικού όρου cruise ship, είναι ειδικής κατηγορίας επιβατικό πλοίο που πραγματοποιεί κρουαζιέρες, δηλαδή κυκλικά περιηγητικά ταξίδια. Κυκλικό ταξίδι (round trip) χαρακτηρίζεται εκείνο που εκτελούν τα εμπορικά πλοία τακτικών γραμμών (φορτηγά liners, ή επιβατηγά - οχηματαγωγά, ή κρουαζιερόπλοια), που έχουν τελικό λιμένα προορισμού τον λιμένα αφετηρίας, με ενδιάμεσες προγραμματισμένες προσεγγίσεις. Με τον ίδιο όρο χαρακτηρίζονται και οι εκπαιδευτικοί πλόες, όταν η επιβίβαση και αποβίβαση γίνεται στον ίδιο λιμένα και περιλαμβάνουν ενδιάμεσες προσεγγίσεις. Ως αρχαιότερο τέτοιο ταξίδι φέρεται η Αργοναυτική εκστρατεία και αμέσως μετά η Οδύσσεια.

Τις τελευταίες δεκαετίες διαπιστώνεται μια συνεχής αύξηση πραγματοποίησης τέτοιων ταξιδιών, στα οποία και στράφηκαν σχεδόν όλα τα άλλοτε υπερωκεάνια και όχι μόνο, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ιδιαίτερης ναυτιλίας και επιχειρηματικής δραστηριότητας. Γενικά τα κρουαζιερόπλοια προσφέρουν ιδιαίτερες ανέσεις τόσο ως προς τους χώρους ενδιαίτησης των επιβατών, από άποψης εμφάνισης, διακόσμησης, εξοπλισμών και παροχής υπηρεσιών, όσο και ως προς το προσωπικό του πλοίου που είναι πολυπληθέστερο σε σχέση με άλλους τύπους πλοίων και προσφέρει συνήθως υπηρεσίες ξενοδοχειακές, κέντρου ψυχαγωγίας, εστιατορίου μέχρι και ιατρικής βοήθειας. Για όλα αυτά τα παραπάνω δεν θα πρέπει να θεωρείται υπερβολικό όταν τα πλοία αυτά αποκαλούνται «πλωτά ξενοδοχεία» και τα πολύ μεγάλα και πολυτελή κρουαζιερόπλοια «πλωτά ανάκτορα». Σημειώνεται επίσης πως τα πλοία αυτά είναι από τα πλέον συναλλαγματοφόρα για την εθνική οικονομία της χώρας της οποίας τη σημαία φέρουν.

Η Ελλάδα κατέχει διεθνώς περίοπτη θέση στον τομέα αυτό με τον υπό ελληνική σημαία αλλά και τον Ελληνόκτητο εμπορικό στόλο των κρουαζιερόπλοιων της, των διαφόρων

εταιρειών που έχουν αποκτήσει ομολογουμένως παράδοση και άριστη φήμη στον τομέα αυτόν. Η πρώτη διεθνής ελληνική καμπάνια για την ανάπτυξη της κρουαζιέρας στο Αιγαίο έγινε στη δεκαετία του 1950 όταν ο Βασιλεύς Παύλος και η Βασίλισσα Φρειδερίκη κάλεσαν όλους τους βασιλικούς Οίκους της Ευρώπης σε Αιγαιοπελαγίτικη κρουαζιέρα με κρουαζιερόπλοιο που παραχώρησε δωρεάν η εταιρεία Ποταμιάνου.

Σήμερα οι περιοχές που προσελκύουν ιδιαίτερα τα κρουαζιερόπλοια είναι για το καλοκαίρι η Μεσόγειος θάλασσα και για το χειμώνα η Καραϊβική. Ωστόσο η θαλάσσια περιήγηση δεν αποτελεί φαινόμενο της σύγχρονης εποχής. Η κρουαζιέρα ως τρόπος αναψυχής είναι γνωστή από την αρχαιότητα και αποτελούσε προνόμιο των εύπορων κοινωνικών τάξεων. Είναι ιστορικά αποδεδειγμένο ότι από την αρχαιότητα υπήρχαν πλοία τα οποία χρησιμοποιούνταν για ψυχαγωγικούς λόγους. Το πιο γνωστό από αυτά ήταν το περίφημο «Συρακουσία», που κατασκευάστηκε για τον Ιέρωνα (268 – 214 π.Χ.) τον τύραννο των Συρακουσών. Το πλοίο φέρεται ότι σχεδιάστηκε από τον Κορίνθιο Αρχία υπό τις οδηγίες του Αρχιμήδη και ναυπηγήθηκε από τον Φιλέα. Στη συνέχεια ο Ιέρωνας δώρισε το πλοίο στον Πτολεμαίο της Αιγύπτου ο οποίος το μετονόμασε σε «Αλεξανδρίδα». Το πλοίο ήταν πολυτελέστατο. Διέθετε 30 δωμάτια, ναό της Αφροδίτης, βιβλιοθήκη με αναγνωστήριο και κήπο. Επίσης, η Κλεοπάτρα της Αιγύπτου διέθετε πολυτελή θαλαμηγό. Αναφέρεται δε ότι οι Πτολεμαίοι είχαν περίπου 800 θαλαμηγά πλοία που ήταν πολυτελέστατα και μπορεί να θεωρηθούν ως οι πρόδρομοι των σύγχρονων θαλαμηγών και τουριστικών πλοίων. Κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο οι Ρωμαίοι πολίτες επισκέπτονταν ομαδικά αρχαίες ελληνικές πόλεις (Αθήνα, Κόρινθο, Ρόδο), με ειδικά ναυλωμένα πλοία, για να παρακολουθήσουν διάφορα θεάματα ή θρησκευτικές εορτές ή και για ανάπαυση. Ιδιαίτερα στην Κόρινθο κατέπλεαν πλούσιοι έμποροι από όλα τα τότε γνωστά σημεία της γης, για να πραγματοποιήσουν τις εμπορικές συναλλαγές τους και παράλληλα τις διακοπές τους. Είναι γνωστή η φράση «ου παντός πλειν ες Κόρινθον» που αποδίδει τη σημασία που είχε η θαλάσσια περιήγηση για τους εύπορους της εποχής εκείνης. Οι Ρωμαίοι αυτοκράτορες και πατρίκιοι πραγματοποιούσαν περιηγήσεις με πολυτελή επιβατηγά πλοία τύπου *Victoriae* και *Orariae*. Γνωστές περιηγήσεις της ρωμαϊκής περιόδου είναι αυτή του Ρωμαίου ύπατου Γερμανικού στην Αδριατική και στο Ιόνιο καθώς και του Νέρωνα, ο οποίος περιηγήθηκε στην Ελλάδα και έλαβε μέρος στα Πύθια και στα Ίσθμια.

Στη διάρκεια του 15ου αιώνα η Βενετία οργάνωσε κατά συστηματικό τρόπο την ομαδική θαλάσσια περιήγηση στην προσπάθειά της να διακινήσει τους προσκυνητές προς τους Αγίους Τόπους. Μάλιστα, υπήρξε τόσο μεγάλο το ενδιαφέρον της Βενετίας για τη θαλάσσια περιήγηση ώστε θέσπισε ειδικούς κανόνες για την ασφαλή ναυσιπλοΐα. Την περίοδο αυτή δημιουργήθηκαν τουριστικές επιχειρήσεις με έδρα τη Βενετία που λειτουργούσαν πρακτορεία σε όλες τις μεγάλες πόλεις της Ευρώπης, με σκοπό τη συγκέντρωση ταξιδιωτών - προσκυνητών και τη διακίνησή τους στους Αγίους Τόπους. Το 17ο αιώνα η θαλάσσια

περιήγηση με την εμφάνιση κυρίως των Άγγλων περιηγητών, αποκτά νέα μορφή που συνδυάζει την ψυχαγωγία με την αρχαιολατρία και γενικότερα την ιστορική έρευνα και τη φιλομάθεια. Κατά την περίοδο αυτή εγκαταλείπεται ο ομαδικός χαρακτήρας της θαλάσσιας περιήγησης και επικρατεί η θαλάσσια περιήγηση των μεμονωμένων ατόμων ή των μικρών ομάδων, ειδικότερα στην περιοχή της Μεσογείου θάλασσας [1].

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 Anderson πρότεινε μια κρουαζιέρα από την Αγγλία προς τα νησιά Φερόε και στις ακτές της Ισπανίας με σκοπό την απόλαυση του ήλιου κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Το 1844 η P&O επέκτεινε τις κρουαζιέρες στη Μεσόγειο θάλασσα. 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 κρουαζιέρας 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 επισκεφθούν τα λιμάνια. Η κρουαζιέρα προέβλεπε κυρίως στην απόλαυση του ταξιδιού και όχι τόσο στη γνωριμία των τόπων προσέγγισης του πλοίου. Έτσι το έτος 1868 το ατμόπλοιο «Quaker City», με χωρητικότητα 1.900 κόρους ολικής χωρητικότητας (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 αυτό με χωρητικότητα 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 φιορδ της Νορβηγίας το 1889 και προς τη Μεσόγειο θάλασσα το 1893. Πολλές φορές λόγω της εποχικότητας και λόγω της έλλειψης πελατείας τα επιβατηγά πλοία λειτουργούσαν ως κρουαζιερόπλοια. Έτσι, ο Albert Ballin, που διηύθυνε την επιβατική γραμμή που συνέδεε το Αμβούργο με την Αμερική, για να αντιμετωπίσει την απραξία των πλοίων στη διατλαντική αυτή γραμμή λόγω έλλειψης επιβατών, έστειλε το πλοίο «Augusta Victoria» (κατασκευής 1889, χωρητικότητας 7.661 κ.ο.χ.) σε κρουαζιέρα στη Μεσόγειο θάλασσα κατά τη διάρκεια του χειμώνα του έτους 1891. Το 1895 το «Lusitania» (3.877 κ.ο.χ.) 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 κρουαζιεροπλοΐα λόγω της αλλαγής της μεταναστευτικής πολιτικής των ΗΠΑ. Η χώρα αυτή έθεσε αυστηρούς περιορισμούς για την είσοδο 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 [2].

Στη 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. Τη δεκαετία αυτή το πλέον γνωστό κρουαζιερόπλοιο υπήρξε το «Arandora Star» της Blue Star Lines. Το πλοίο αυτό που ήταν ένα από τα πέντε αδελφά πλοία της εταιρείας που παρείχαν υπηρεσίες στους επιβάτες και στο εμπόριο στη γραμμή Λονδίνο - Νότια Αμερική, μετατράπηκε από επιβατηγό και εμπορικό πλοίο με χωρητικότητα 12.898 κ.ο.χ. και ικανό να εξυπηρετεί 164 επιβάτες, σε κρουαζιερόπλοιο με χωρητικότητα 15.501 κ.ο.χ. και ικανό να εξυπηρετεί 400 τουρίστες. Το «Arandora Star» είχε μια επιτυχημένη 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 δεκαετή δράση του πραγματοποίησε 120 ταξίδια (ένα στη Βαλτική, ένα στον Ινδικό ωκεανό, 6 στις δυτικές Ινδίες, 12 στα Κανάρια νησιά, 56 στη Μεσόγειο και 44 στα Νορβηγικά φιόρδ). Βυθίστηκε στη διάρκεια του πολέμου το 1940. Τα κρουαζιερόπλοια της περιόδου από το 1860 έως το 1960 δεν διέφεραν σημαντικά από τα επιβατηγά πλοία, ως προς την κατασκευή και ως προς την παροχή υπηρεσιών. Η νέα εποχή της κρουαζιέρας αρχίζει στη δεκαετία του 1960 όταν το πλοίο ως μέσο μεταφοράς επιβατών μεταξύ Αμερικής και Ευρώπης αντικαθίσταται από το αεροπλάνο. Οι πλοιοκτήτες προκειμένου να αξιοποιήσουν οικονομικά τα επιβατηγά πλοία, 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 τουριστών. 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. Το πλοίο μετέφερε 906 επιβάτες και έπλεε με ταχύτητα 21 κόμβους. Στην αρχή παρείχε επταήμερη κρουαζιέρα αλλά αργότερα παρείχε τριήμερες και τετραήμερες κρουαζιέρες στις Μπαχάμες με αφετήριο λιμάνι το Κανάβερал στη Φλόριντα [3].

## **1.2. Κρουαζιερόπλοια πρώτης και δεύτερης γενιάς**

Τα κρουαζιερόπλοια «πρώτης γενιάς» (1960-1980) 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 τη Βόρειο Αμερική. Τα κρουαζιερόπλοια σχεδιάστηκαν με ανοικτούς χώρους – καταστρώματα για να υποδεχθούν αθλητικές δραστηριότητες (π.χ. πισίνες, γήπεδα τένις κ.λπ.). Σκανδιναβικές και Ευρωπαϊκές εταιρείες ασχολήθηκαν με την εξερεύνηση της αγοράς της Καραϊβικής. Εταιρείες όπως η Norwegian Caribbean, Royal Caribbean, Royal Viking, Holland America, Carnival Cruises και Princess Cruises άρχισαν

να δραστηριοποιούνται στην περιοχή. Τη διαχείριση των περισσότερων κρουαζιερόπλοιων «πρώτης γενιάς» ανέλαβαν επιχειρηματίες, νέοι στην τουριστική βιομηχανία. Εξαίρεση σ' αυτό 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 προγράμματα και οι τηλεοπτικές ταινίες, όπως το γνωστό «Πλοίο της αγάπης» (Love Boat), που άρχισαν να προβάλλονται και να διαμορφώνουν μια ελκυστική εικόνα για τις κρουαζιέρες. Αυτή η αύξηση της ζήτησης για κρουαζιέρες 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 εταιρείας 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 έντονη η τάση για την αύξηση του αριθμού των εξωτερικών καμπίνων καθώς περισσότεροι επιβάτες αναζητούν την απόλαυση του φυσικού περιβάλλοντος (ήλιο, θάλασσα, θέα, φεγγάρι) καθ' όλη τη διάρκεια της κρουαζιέρας. Στη δεκαετία του 1990 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 εταιρείας Royal Caribbean, το «Monarch of the Seas» και το «Majesty of the Seas». Τα κρουαζιερόπλοια αυτά πραγματοποιούσαν επταήμερες κρουαζιέρες στην Καραϊβική θάλασσα. 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 της οικονομίας. Ιδιαίτερα παρατηρήθηκε αύξηση της ζήτησης για κρουαζιέρες στο Ηνωμένο Βασίλειο και στην 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' ό τι η τουριστική δραστηριότητα στο σύνολό της [4].

### 1.3. Το σύγχρονο κρουαζιερόπλοιο

Το σύγχρονο κρουαζιερόπλοιο προσφέρει στον επιβάτη θάλασσα, ήλιο, ψυχαγωγία και υπηρεσίες που διαφοροποιούνται από την απλή θαλάσσια μεταφορά που προσφέρει το επιβατηγό πλοίο. Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό στη κρουαζιεροπλοΐα είναι η ξενοδοχειακή λειτουργία του πλοίου. Το κρουαζιερόπλοιο προσφέρει υπηρεσίες ξενοδοχειακού τύπου και οι εργαζόμενοι σ' αυτό έχουν ειδικότητες ανάλογες των σύγχρονων ξενοδοχειακών μονάδων. Η ειδοποιός διαφορά του κρουαζιερόπλοιου από το συμβατικό ξενοδοχείο έγκειται στο γεγονός ότι αυτό λόγω της ικανότητας πλεύσης μπορεί να μετακινείται γεωγραφικά ώστε να ανταποκρίνεται στην εκάστοτε ζήτηση κλινών. Σήμερα είναι σαφής η τάση για ναυπήγηση κρουαζιερόπλοιων ολοένα και μεγαλύτερης χωρητικότητας προκειμένου αυτά να παρέχουν υπηρεσίες που υπερβαίνουν τη συμβατική ξενοδοχειακή λειτουργία, με σκοπό να καλύψουν όλες τις παροχές ενός υπερπολυτελούς ξενοδοχειακού - τουριστικού συγκροτήματος (π.χ. σπα, γυμναστήρια, εσωτερικές και εξωτερικές πισίνες, νεροτσουλήθρες, γήπεδα γκολφ, τένις, μπάσκετ, αίθουσες τέχνης, θέατρα, επιχειρηματικά κέντρα, κινηματογράφους, συνεδριακούς χώρους, πολυκαταστήματα). Το σύγχρονο κρουαζιερόπλοιο μετατρέπεται σε πλωτό θέρετρο. Για το λόγο αυτό έχουν ναυπηγηθεί κρουαζιερόπλοια μεγάλης χωρητικότητας, όπως το «Symphony of the seas», που είναι το μεγαλύτερο κρουαζιερόπλοιο στον κόσμο και παραδόθηκε από τα γαλλικά ναυπηγεία STX στην εταιρεία Royal Caribbean Cruises Ltd (RCCL) το Μάρτιο του 2018. Το «Symphony of the seas» έχει μήκος 362 μέτρα και πλάτος 66 μέτρα με ολική χωρητικότητα 228.000 κόρων. Αυτός ο γίγαντας των θαλασσών, κόστους ενός δισεκατομμυρίου ευρώ, μπορεί να υποδεχθεί περισσότερους από 8.000 επιβαίνοντες, από τους οποίους 2.200 είναι τα μέλη του πληρώματος. Για μερικά μέτρα και μερικές καμπίνες περισσότερες, αποσπά τον τίτλο του μεγαλύτερου κρουαζιερόπλοιου στον κόσμο από το δίδυμό του «Harmony of the seas», που είχε παραδοθεί στην RCCL από τα ναυπηγεία STX το 2016. Αληθινή πλωτή πόλη, περιλαμβάνει, όπως και το «Harmony of the seas», πάνω από 66.000 τ.μ. χώρων εστίασης και ψυχαγωγίας, ανάμεσα στους οποίους ένα Σέντραλ Παρκ, όπως στη Νέα Υόρκη, με 12.000 είδη φυτών. Ένας χώρος για πατινάζ που μετατρέπεται σε «παιχνίδι λείζερ» ή μια πολυτελής οικογενειακή σουίτα με εσωτερική νεροτσουλήθρα, ιδιωτικό υδρομασάζ και μηχανή για ποπκόρν είναι μερικές από τις καινοτομίες. Η «κρουαζιέρα της πολυθρόνας» και το «κρουαζιερόπλοιο – πλωτός οίκος ευγηρίας» που ήταν τα χαρακτηριστικά της κρουαζιεροπλοΐας των προηγούμενων δεκαετιών μετεξελίσσεται σε «κρουαζιέρα δράσης» και το κρουαζιερόπλοιο σε χώρο πολυδύναμης δραστηριότητας, στοιχεία που χαρακτηρίζουν πλέον την κρουαζιέρα του 21ου αιώνα.

#### **1.4. Τερματικά - Λιμένες βάσης - Λιμένες προσέγγισης – Υβριδικά λιμάνια**

Τερματικός σταθμός κρουαζιέρας ορίζεται ως εκείνη η περιοχή που διαθέτει κατάλληλη υποδομή και εξοπλισμό, καθώς και τις απαραίτητες υπηρεσίες για τη διευκόλυνση και την αποδοτική διαχείριση των επιβατών και των πλοίων. Στη σύγχρονη λιμενική βιομηχανία, τα τερματικά κρουαζιέρας αποτελούν είτε λιμένες βάσης (home ports), είτε λιμένες προσέγγισης (transit ή ports-of-call). Κάποιες φορές, όμως, λιμάνια με τις απαραίτητες εγκαταστάσεις μπορεί να είναι και λιμένες βάσης και λιμένες προσέγγισης. Οι λιμένες βάσης αποτελούν σημείο εκκίνησης και τερματισμού του προγραμματισμένου ταξιδιού κρουαζιέρας. Σε αυτά πραγματοποιείται και ο ανεφοδιασμός των κρουαζιερόπλοιων σε τρόφιμα, καύσιμα και ό,τι άλλο χρειάζονται για το ταξίδι. Έτσι, η παραμονή τους σε αυτά είναι μεγαλύτερη και κυμαίνεται περίπου από 12 έως 24 ώρες [5].

Οι εταιρείες κρουαζιέρας λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες στην επιλογή των λιμένων βάσης όπως είναι η ποιότητα, το κόστος υπηρεσιών και η απόσταση από τουριστικές περιοχές. Από την πλευρά τους τα λιμάνια επιδιώκουν να γίνουν λιμάνια επιβίβασης καθώς τα οικονομικά οφέλη είναι αρκετά μεγάλα. Συγκεκριμένα, σε σχέση με τα λιμάνια διέλευσης, οι συνολικές δαπάνες των γραμμών κρουαζιέρας υπολογίζονται έξι με επτά φορές μεγαλύτερες. Τα βασικά λιμάνια επιβίβασης παγκοσμίως είναι το Μαϊάμι, η Βαρκελώνη, η Βενετία και ο Πειραιάς. Όσο μεγαλύτερα σε μέγεθος γίνονται τα κρουαζιερόπλοια, τόσο αυξάνονται οι ανάγκες για νέες υποδομές και παροχές στα τερματικά λιμάνια. Οι εταιρείες κρουαζιέρας λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τις παροχές του λιμανιού (κατάλληλη υποδομή, ανωδομή και εγκαταστάσεις) προκειμένου να μπορέσει να φιλοξενήσει τα πλοία και τους επιβάτες τους.

Οι λιμένες προσέγγισης είναι εκείνοι από τους οποίους τα κρουαζιερόπλοια διέρχονται και παραμένουν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, στα πλαίσια της περιήγησης που εκτελούν. Συνήθως, παρέχουν λιγότερες υπηρεσίες από τα λιμάνια επιβίβασης ωστόσο θα πρέπει και αυτά να διαθέτουν όλες τις απαραίτητες δομές και υπηρεσίες για την εξυπηρέτηση των πλοίων και των επιβατών. Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να είναι ικανά να προσφέρουν έκτακτες υπηρεσίες όπως είναι ο ανεφοδιασμός και οι επισκευές. Η χρονική διάρκεια παραμονής των κρουαζιερόπλοιων στα λιμάνια διέλευσης είναι σαφώς μικρότερη και υπολογίζεται περίπου μεταξύ 4 και 8 ωρών. Ο Άγιος Θωμάς της Καραϊβικής, η Σαντορίνη και η Κοπεγχάγη είναι από τα σημαντικότερα λιμάνια διέλευσης στον κόσμο.

Κάποια λιμάνια αποτελούν συνδυασμό των δύο κατηγοριών. Σε ορισμένες γραμμές κρουαζιέρας λειτουργούν ως λιμάνια επιβίβασης, ενώ για άλλες ως λιμάνια διέλευσης. Αυτά τα λιμάνια λέγονται υβριδικά και διαθέτουν τις κατάλληλες εγκαταστάσεις ώστε να



καλύπτουν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις που απαιτούνται από τις γραμμές κρουαζιέρας. Κάποια από τα πιο περιζήτητα υβριδικά λιμάνια είναι του Αγίου Καρόλου στην Καραϊβική, της Τεργέστης και της Κέρκυρας.

### **1.5. Τα 10 μεγαλύτερα κρουαζιερόπλοια, τα κύρια ναυπηγεία και οι μεγαλύτερες ναυτιλιακές εταιρείες στον τομέα της κρουαζιέρας**

Όσον αφορά τα δέκα μεγαλύτερα κρουαζιερόπλοια αυτά είναι τα εξής :

#### **1. Symphony of the Seas (2018)**

Έχει μήκος 362 μέτρα, πλάτος 66 μέτρα, 18 καταστρώματα, μεταφορική ικανότητα 6680 επιβατών και 2200 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 228.021 κόρους. Η ιδιοκτησία του πλοίου αυτού ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean Cruises και το κόστος του ανέρχεται στο 1.35 δισεκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 1. Symphony of the Seas [41]

#### **2. Harmony of the Seas (2016)**

Έχει μήκος 362 μέτρα, πλάτος 47 μέτρα, 18 καταστρώματα, μεταφορική ικανότητα 5479 επιβατών και 2300 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 226.963 κόρους. Η ιδιοκτησία του πλοίου αυτού ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean Cruises και το κόστος του ανέρχεται στο 1.35 δισεκατομμύρια δολάρια. Είναι αδελφό πλοίο με το Symphony of the Seas.



Σχήμα 2. Harmony of the Sea [41]

### 3. Allure of the Seas (2010)

Έχει μήκος 362 μέτρα, πλάτος 47 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 5400 επιβατών και 2384 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 225.282 κόρους. Η ιδιοκτησία και αυτού του πλοίου ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean Cruises και το κόστος του ανέρχεται στο 1.2 δισεκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 3. Allure of the Seas [41]

### 4. Oasis of the Seas (2009)

Έχει μήκος 361.6 μέτρα, πλάτος 47 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 5400 επιβατών και 2394 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 225.282 κόρους. Η ιδιοκτησία και αυτού του πλοίου ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean International και το κόστος του ανέρχεται στο 1.4 δισεκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 4. Oasis of the Seas [41]

### 5. Quantum of the Seas (2014)

Έχει μήκος 348.1 μέτρα, πλάτος 41.4 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 4180 επιβατών και 1700 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 168.666 κόρους. Η ιδιοκτησία και αυτού του πλοίου ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean International και το κόστος του ανέρχεται στο 935 εκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 5. Quantum of the Seas [41]

#### 6. Anthem of the Seas (2015)

Έχει μήκος 348 μέτρα, πλάτος 41.4 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 4180 επιβατών και 1700 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 168.666 κόρους. Η ιδιοκτησία του πλοίου αυτού ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean International και το κόστος του ανέρχεται στο 940 εκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 6. Anthem of the Seas [41]

#### 7. Ovation of the Seas (2016)

Έχει μήκος 348 μέτρα, πλάτος 41.2 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 4180 επιβατών και 1700 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 168.666 κόρους. Η ιδιοκτησία και αυτού του πλοίου ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean International και το κόστος του ανέρχεται στο 950 εκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 7. Ovation of the Seas [41]

#### 8. Norwegian Joy (2016)

Έχει μήκος 333.46 μέτρα, πλάτος 41.4 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 3883 επιβατών και 1700 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 167.725 κόρους. Η ιδιοκτησία του πλοίου αυτού ανήκει στην εταιρεία Breakaway Four και το κόστος του ανέρχεται στο 800 εκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 8. Norwegian Joy [42]

#### 9. Norwegian Escape (2015)

Έχει μήκος 325.9 μέτρα, πλάτος 41.4 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 4266 επιβατών και 1733 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 165.300 κόρους. Η ιδιοκτησία του πλοίου αυτού ανήκει στην εταιρεία Norwegian Cruise Lines και το κόστος του ανέρχεται στο 800 εκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 9. Norwegian Escape [42]

#### 10. MS Liberty of the Seas (2007)

Έχει μήκος 338.92 μέτρα, πλάτος 38.62 μέτρα, μεταφορική ικανότητα 3798 επιβατών και 1300 άτομα πληρώματος. Η ολική χωρητικότητα ανέρχεται σε 155.889 κόρους. Η ιδιοκτησία του πλοίου αυτού ανήκει στην εταιρεία Royal Caribbean Cruises και το κόστος του ανέρχεται στο 800 εκατομμύρια δολάρια.



Σχήμα 10. MS Liberty of the Seas [41]

Στην κατασκευή των κρουαζιερόπλοιων κυριαρχούν τέσσερα ναυπηγεία, τρία ευρωπαϊκά και ένα ασιατικό. Αυτά είναι τα εξής :

- **STX Europe** (2004) με έδρα το Chantiers de l'Atlantique, στο Saint-Nazaire της Γαλλίας.
- **Meyer Werft** (1795) με δύο ναυπηγεία:
  - **Meyer Werft** στο Papenburg της Γερμανίας
  - **Meyer Turku** στο ναυπηγείο Perno στο Turku της Φινλανδίας
- **Fincantieri Cantieri Navali Italiani S.p.A**, Trieste (1959) στην Ιταλία.
- **Mitsubishi Heavy Industries**, (1934) στο Nagasaki της Ιαπωνίας.

Όσον αφορά τις ναυτιλιακές εταιρείες που ασχολούνται στον χώρο της κρουαζιέρας παρατηρείται ότι λόγω των συγχωνεύσεων και ενοποιήσεων των εταιρειών κρουαζιέρας, μια εταιρεία κρουαζιέρας μπορεί να είναι θυγατρική εταιρεία μίας μεγαλύτερης εταιρείας. Για παράδειγμα η Carnival Cruise Line είναι εταιρεία που ανήκει σε μεγαλύτερη μητρική εταιρεία την Carnival Corporation & plc. Για λόγους βιομηχανικούς και διαφήμισης χρησιμοποιείται το όνομα της ναυτιλιακής εταιρείας και όχι της μητρικής, όπου και συμμετέχει ως μέλος των εταιρειών κρουαζιέρας στο Διεθνή Οργανισμό Εταιρειών Κρουαζιέρας (Cruise Lines International Association – CLIA) [6].

Οι ναυτιλιακές εταιρείες που ασχολούνται στον χώρο της κρουαζιέρας είναι οι ακόλουθες :

- **AIDA Cruises** - Owned by Carnival Corporation & plc
- **Azamara Club Cruises** - Owned by Royal Caribbean Cruises Ltd.
- **Celebrity Cruises** – Owned by Royal Caribbean Cruises Ltd.
- **Carnival Cruise Line** - Owned by Carnival Corporation & plc
- **Costa Cruises** - Owned by Carnival Corporation & plc
- **Cunard Line** - Owned by Carnival Corporation & plc
- **Disney Cruise Line** - Headquartered in Hammersmith, London as The Magical Cruise Company Limited
- **Dream Cruises** - Owned by Genting Hong Kong
- **Hapag-Lloyd Cruises** - Owned by TUI Group
- **MSC Cruises** - Privately owned (Aponte family)
- **Norwegian Cruise Line** - Partially owned by Genting Hong Kong
- **P&O Cruises** – Owned by Carnival Corporation & plc.
- **Princess Cruises** – Owned by Carnival Corporation & plc.
- **Regent Seven Seas Cruises** – Owned by Norwegian Cruise Line Holdings Ltd.
- **Majestic International Cruises** – Greek owned cruise liner.

## **1.6. Η αγορά κρουαζιέρας σε Παγκόσμιο επίπεδο**

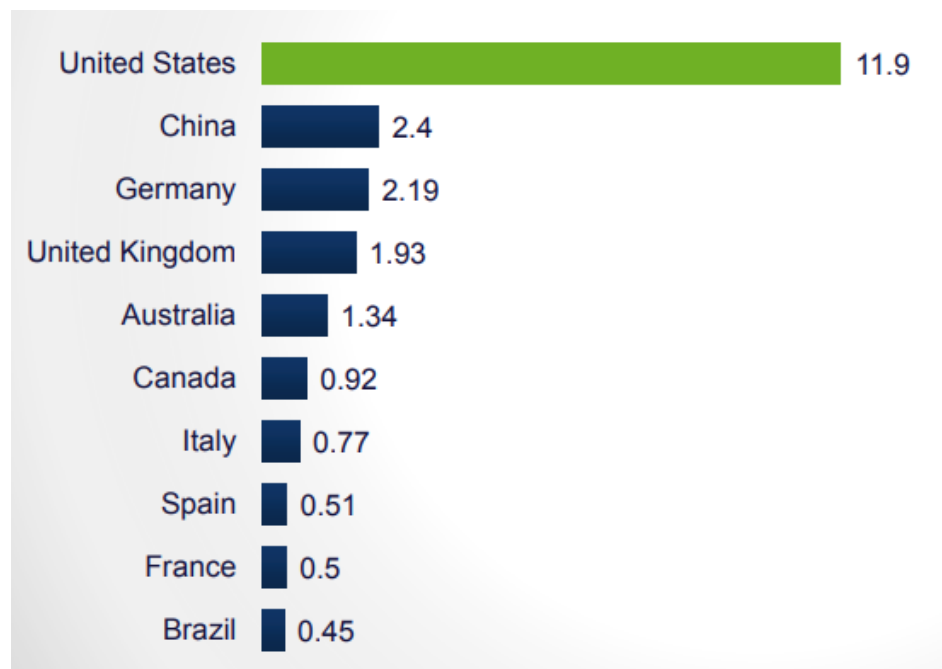
Σχετικά με την αγορά κρουαζιέρας σε παγκόσμιο επίπεδο παρατηρείται αύξηση της ζήτησης με το 62 % των επιβατών που έχουν ήδη επιλέξει την κρουαζιέρα μένοντας ευχαριστημένοι από την προηγούμενη εμπειρία τους, να δηλώνουν ότι σκοπεύουν να την επιλέξουν ξανά, ενώ το 69% την προτιμούν από τις διακοπές στην ξηρά. Η Καραϊβική εξακολουθεί να κυριαρχεί και να χαρακτηρίζεται ως «η βασίλισσα της κρουαζιέρας», κατέχοντας μερίδιο μεγαλύτερο του 1/3 της αγοράς (περίπου 35.5 %), ενώ προορισμοί όπως η Μεσόγειος, η Ασία και η Αυστραλία συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Ο κόσμος γίνεται πιο προσβάσιμος από ποτέ σε όλους. Λόγω της αυξημένης ζήτησης, οι μεγαλύτερες εταιρείες κρουαζιέρας, προσφέρουν κρουαζιέρες σε περισσότερα από 1.000 λιμάνια σε όλο τον κόσμο και οι τιμές είναι πλέον πιο προσιτές από άλλοτε και τα ειδικά πακέτα διακοπών προσφέρουν ταξίδια σε όχι ιδιαίτερα υψηλό κόστος.

Οι ταξιδιωτικοί πράκτορες αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη της κρουαζιέρας. Αυτό σημαίνει πως παρά την ανάπτυξη του διαδικτύου, το αγοραστικό κοινό προτιμά και εμπιστεύεται περισσότερο τους ταξιδιωτικούς πράκτορες, αφού το 70 % στρέφονται στην εύκολη λύση της οργάνωσης των διακοπών τους από αυτούς. Οι επιβάτες βρίσκονται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος και αποτελούν έμπνευση για νέες υπηρεσίες, παροχές και καινοτομίες. Έτσι λοιπόν, οι μεγάλες εταιρείες κρουαζιέρας παρέχουν εξεζητημένες υπηρεσίες όπως η παροχή ασύρματης διαδικτυακής σύνδεσης σε όλο το πλοίο κατά τη διάρκεια όλου του ταξιδιού, οι πρωτότυπες εμπειρίες και δραστηριότητες με διάφορες θεματικές ενότητες για όλες τις ηλικίες και όλες τις προτιμήσεις. Το σημαντικότερο είναι ότι μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των ΑΜΕΑ, των εγκύων, των ασθενών ή οποιασδήποτε άλλης κατηγορίας ανθρώπων με κάποια ιδιαιτερότητα ή ακόμα και προτίμηση.

Τα οικονομικά στοιχεία της παγκόσμιας βιομηχανίας κρουαζιέρας για το έτος 2017 παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Τα έσοδα άγγιξαν τα 35.5 δισεκατομμύρια δολάρια. Τα έσοδα της παγκόσμιας βιομηχανίας κρουαζιέρας αναμένεται φθάσουν τα 57 δισεκατομμύρια δολάρια το 2027 αυξημένα κατά 23.3 δισεκατομμύρια δολάρια σε σχέση με το 2007. Η εταιρεία Carnival Cruise Lines κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς της παγκόσμιας βιομηχανίας κρουαζιέρας με ένα ποσοστό 42 %.

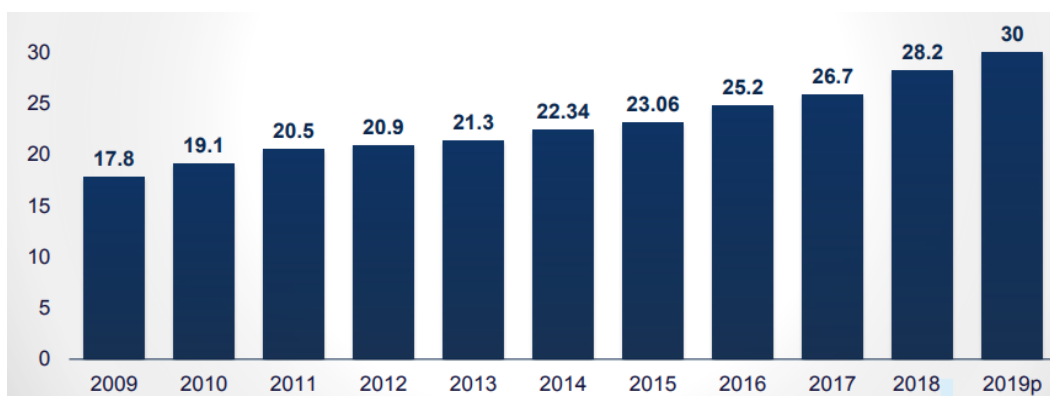
26.7 εκατομμύρια επιβάτες	1.108.676 θέσεις εργασίας	45.6 δισεκατομμύρια δολάρια οι μισθοί
<b>134 δισεκατομμύρια δολάρια ο παγκόσμιος τζίρος</b>		

Πίνακας 1. Οικονομικά στοιχεία παγκόσμιας αγοράς κρουαζιέρας για το έτος 2017. [6]



Διάγραμμα 1. Χώρες προέλευσης επιβατών για την παγκόσμια αγορά κρουαζιέρας (σε εκατομμύρια). [6]

Για το έτος 2019 αναμένεται να ταξιδέψουν με κρουαζιερόπλοιο περισσότεροι από 30 εκατομμύρια επιβάτες. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρείται η άνοδος στον τομέα της κρουαζιέρας χρόνο με το χρόνο για την τελευταία δεκαετία.



Διάγραμμα 2. Αριθμός επιβατών που ταξιδεύουν με κρουαζιερόπλοιο παγκοσμίως (σε εκατομμύρια). [6]

Επιπλέον έχουν κατασκευασθεί 18 νέα πλοία τα οποία αναμένετε να ξεκινήσουν τη λειτουργία τους μέσα στο 2019. Τα πλοία αυτά καθώς και η εταιρεία στην οποία ανήκουν παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Στα αριστερά του σχήματος φαίνεται η εταιρεία και στα δεξιά το όνομα του πλοίου [6].

CRUISE LINE	SHIP NAME
<b>Aurora Expeditions</b>	Greg Mortimer
<b>Carnival Cruise Line</b>	Carnival Panorama
<b>Celebrity Cruises</b>	Celebrity Flora
<b>Costa Cruises</b>	Venezia   Smeralda
<b>Coral Expeditions</b>	Coral Adventurer
<b>Hapag-Lloyd</b>	Hanseatic Nature   Hanseatic Inspiration
<b>MSC Cruises</b>	MSC Grandiosa   MSC Bellissima
<b>Norwegian Cruise Line</b>	Norwegian Encore
<b>PONANT Yacht Cruises and Expeditions</b>	Le Dumont-d'Urville   Le Bougainville
<b>Princess Cruises</b>	Sky Princess
<b>Royal Caribbean International</b>	Spectrum of the Seas
<b>Scenic Luxury Cruises and Tours</b>	Scenic Eclipse
<b>Saga Cruises</b>	Spirit of Discovery
<b>TUI Cruises</b>	Mein Schiff 2

Πίνακας 2. Πλοία που αναμένεται να ξεκινήσουν τα ταξίδια τους εντός του έτους 2019. [6]



Για το έτος 2019, οι τάσεις που θα κυριαρχήσουν στην παγκόσμια αγορά κρουαζιέρας είναι οι εξής :

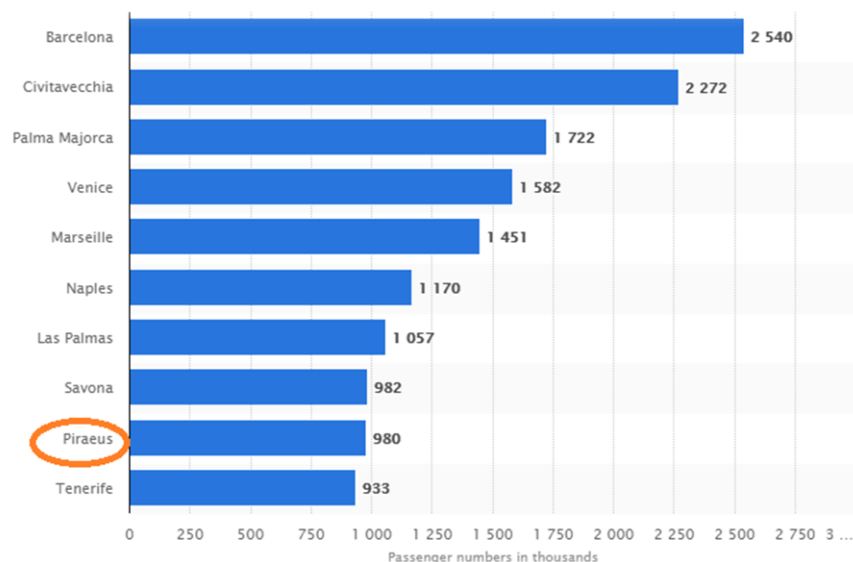
- 1. Κρουαζιέρα παρέα με Instagram :** Σε ημερήσια βάση εκτιμάται ότι οι επιβάτες κρουαζιέρας «ανεβάζουν» στο Instagram περίπου 351 εκατομμύρια δημοσιεύσεις.
- 2. Πλήρης αναψυχή :** Οι επιβάτες κρουαζιέρας αναζητούν τρόπους προκειμένου να κάνουν διάλειμμα από την καθημερινότητά τους και να αναζωογονηθούν μέσα από τις παροχές που τους προσφέρουν οι εταιρείες κρουαζιέρας κατά τη διάρκεια των ταξιδιών (σπα, δυνατότητα επιλογής υγιεινής διατροφής κ.ά.)
- 3. Βιωματικά ταξίδια :** Οι επιβάτες αναζητούν νέες εμπειρίες κατά την διάρκεια κρουαζιέρων μέσα από την συμμετοχή τους σε δραστηριότητες μέσα στο πλοίο.
- 4. Εν πλω με χρήση «έξυπνης» τεχνολογίας :** Οι εταιρείες κρουαζιέρας, δεδομένου ότι η τεχνολογία αποτελεί ζωτικό κομμάτι της καθημερινότητάς μας, έχουν εξοπλίσει τα πλοία τους με συστήματα προηγμένης τεχνολογίας για την παροχή υψηλών υπηρεσιών στους επιβάτες.
- 5. Σε επαφή με την εκάστοτε κουλτούρα :** Οι επιβάτες κρουαζιέρας επιθυμούν να γνωρίσουν κατά τη διάρκεια των ταξιδιών τους νέους πολιτισμούς, ενώ οι εταιρείες στοχεύουν στην διαφύλαξη της κουλτούρας των επιμέρους χωρών τις οποίες επισκέπτονται τα πλοία τους.
- 6. Νέοι προορισμοί :** Εταιρείες κρουαζιέρας δίνουν πλέον τη δυνατότητα στους επιβάτες τους να επισκεφθούν μέρη που κάποτε ήταν αδιανόητο να δουν από κοντά, από θέμα κόστους ή δυνατότητας πρόσβασης, πχ. Ανταρκτική.
- 7. Κρουαζιέρες τις χειμερινές περιόδους:** Η ζήτηση κρουαζιέρας κατά τη διάρκεια των χειμερινών περιόδων έχει αυξηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια.
- 8. Συνδυασμός εργασίας με διασκέδαση:** Έχει αυξηθεί η τάση οι επιβάτες να πηγαίνουν ταξίδια και κατά τη διάρκεια αυτών να εργάζονται, με αποτέλεσμα να αλλάζουν παραστάσεις και ενδεχομένως να είναι και πιο παραγωγικοί στην εργασία τους.
- 9. Αύξηση της γυναικείας παρουσίας:** Η αύξηση του αριθμού των γυναικών ταξιδιωτών που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια έχει ωθήσει τις εταιρείες κρουαζιέρας να παρέχουν υπηρεσίες και να προσφέρουν προορισμούς επικεντρωμένες περισσότερο στο γυναικείο φύλο.
- 10. Μοναχικά ταξίδια:** Ο αριθμός των επιβατών που ταξιδεύουν κατά μόνας έχει αυξηθεί σημαντικά το τελευταίο διάστημα.

Εντός του 2019 εκτιμάται ότι 30 εκατομμύρια επιβάτες θα ταξιδέψουν μέσω κρουαζιέρας παγκοσμίως, μια αύξηση κατά 6 % συγκριτικά με το 2018.

## 1.7. Η αγορά κρουαζιέρας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο

Η αγορά της ευρωπαϊκής κρουαζιέρας είναι μια από τις μεγαλύτερες στον κόσμο και δεύτερη μετά την αγορά της Βόρειας Αμερικής. Η εταιρεία MSC Cruises είναι η μεγαλύτερη που λειτουργεί στην περιοχή. Η αγορά της κρουαζιέρας στην Ευρώπη έχει θετικές επιπτώσεις και στην οικονομία της. Μόνο στη βιομηχανία παρατηρήθηκε το 2018 αύξηση των εσόδων κατα 8 δισεκατομμύρια ευρώ από τον τομέα της κρουαζιέρας.

Οι κρουαζιέρες στη Μεσόγειο είναι οι πιο δημοφιλείς σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, ενώ η Μεσόγειος συνδέει διάφορες χώρες και έτσι δίνεται στον επιβάτη η ευκαιρία να επισκεφτεί πολλούς προορισμούς σε ένα ταξίδι. Η Ιταλία και η Ισπανία συγκαταλέγονται στις δυο μεγαλύτερες σε επισκεψιμότητα χώρες ανά τη Μεσόγειο με το λιμάνι της Τσιβιταβέκια στην Ιταλία και το λιμάνι της Βαρκελώνης στην Ισπανία να κρατούν τα πρωτεία σε αφίξεις κρουαζιερόπλοιων.



Διάγραμμα 3. Λιμάνια κρουαζιέρας στη Μεσόγειο με βάση τον αριθμό επιβατών. [6]

Ο μεγαλύτερος όγκος επιβατών προέρχεται από τη Γερμανία και την Αγγλία. Μάλιστα επιλέγουν κρουαζιέρες που έχουν αφετηρία λιμάνια εντός των χωρών τους. Οι Γερμανοί λοιπόν ξεκινούν την κρουαζιέρα τους από το Αμβούργο και οι Άγγλοι από το Σαουθάμπτον. Στην Βόρεια Ευρώπη το πιο σημαντικό λιμάνι αφετηρίας είναι στη Στοκχόλμη.

Αύξηση κατά 2.5 % καταγράφηκε το 2017 στην αγορά κρουαζιέρας της Ευρώπης, συγκριτικά με το 2016, σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα της Διεθνούς Ένωσης Κρουαζιέρας (CLIA – Cruise Lines International Association). Συγκεκριμένα, πάνω από 6.9 εκατομμύρια επιβάτες ταξίδεψαν το έτος 2017 στην Ευρώπη με κρουαζιερόπλοια. Η ευρωπαϊκή αγορά

κρουαζιέρας σημειώνει μια ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, η οποία οφείλεται σε σημαντικό βαθμό στις αγορές της Γερμανίας, του Ηνωμένου Βασιλείου και της Ιρλανδίας.

Το έτος 2017 η Γερμανία αποτέλεσε τη μεγαλύτερη πηγή αγοράς (source market) της ευρωπαϊκής κρουαζιέρας, καθώς 2.2 εκατομμύρια Γερμανοί επιβάτες ταξίδεψαν με κρουαζιερόπλοια στην Ευρώπη, αριθμός που αντιπροσωπεύει αύξηση κατά 8.5 %, συγκριτικά με τον αντίστοιχο αριθμό του 2016. Το μέσο διάστημα κρουαζιέρας είναι 8.85 νύχτες, ενώ τρεις στους τέσσερις Γερμανούς επιλέγουν κρουαζιέρα στις Ευρωπαϊκές ακτές. Την τελευταία δεκαετία η Γερμανική αγορά διπλασιάστηκε.

Το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιρλανδία σημείωσαν αύξηση κατά 0.5 %, με περισσότερους από 1.95 εκατομμύρια επιβάτες, συνολικά. Η Μεσόγειος αποτελεί το δημοφιλέστερο προορισμό για κρουαζιέρα που επιλέγεται από τους Άγγλους, αφού το 2017 επέλεξαν αυτές τις ακτές το 37 % αυτών. Οι κρουαζιέρες στην Βόρεια Ευρώπη αυξήθηκαν κατά 8 % σε σχέση με το 2016 και αποτελεί την δεύτερη πιο δημοφιλή περιοχή για κρουαζιέρα που επιλέγεται από τους Άγγλους, ενώ τέλος η Καραϊβική μαζί με τις Μπαχάμες και τις Βερμούδες που αποτελεί την τρίτη επιλογή των Άγγλων παρουσιάζει μια αύξηση στην επισκεψιμότητα κατά 3 % σε σχέση με το 2016.

Όσον αφορά την αγορά κρουαζιέρας στην Ιταλία παρατηρούμε ότι η Ιταλία αποτελεί την τρίτη μεγαλύτερη πηγή για την αγορά κρουαζιέρας στην Ευρώπη. Σε σχέση με το 2016 οι Ιταλοί επιβάτες αυξήθηκαν το 2017 κατά ένα ποσοστό 2.5 % με περίπου 770.000 επιβάτες, που είναι μια μεγαλύτερη αύξηση συγκριτικά με τους Άγγλους επιβάτες, αλλά μικρότερη σε σχέση με τους Γερμανούς. Οι περισσότεροι Ιταλοί επιλέγουν να ταξιδέψουν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ενώ περισσότεροι από 300.000 Ιταλούς ταξιδεύουν από τον Οκτώβρη μέχρι το Μάρτιο. Η κρουαζιέρα ελκύει Ιταλούς κάθε ηλικίας με το 40 % των επιβατών να είναι κάτω από 40 ετών. Το 2017 περισσότεροι Ιταλοί επιβάτες επέλεξαν εβδομαδιαία ή και δύο εβδομάδων κρουαζιέρα σε σχέση με το 2016. Ωστόσο, η μεγαλύτερη αύξηση καταγράφηκε σε μικρών περιόδων κρουαζιέρες. Τέλος, η Μεσόγειος αποτελεί τον αγαπημένο προορισμό των Ιταλών επιβατών [6].

Σχετικά με την αγορά κρουαζιέρας στην Ισπανία παρατηρούμε ότι η Ισπανία ξεπέρασε τη Γαλλία και έγινε η τέταρτη μεγαλύτερη πηγή αγοράς κρουαζιέρας για το 2017 με μια αύξηση 6.5 % σε σχέση με το 2016, ενώ επίσης ξεπέρασε το όριο των 500.000 επιβατών και ανέκτησε την τέταρτη θέση που είχε χάσει το 2013. Με μια επιταχυνόμενη αύξηση του 6.5 %, ξεπερνώντας και την αύξηση του 4% το 2016 οι Ισπανοί επιβεβαιώνουν ότι η κρουαζιέρα αποτελεί κύρια προτίμηση για τις διακοπές τους. Η δυτική Μεσόγειος συνεχίζει να αποτελεί δημοφιλή προορισμό για την κρουαζιέρα τους, ενώ άλλοι προορισμοί όπως τα Κανάρια

νησιά, η Βόρεια Ευρώπη και η Καραϊβική παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αύξηση, δείχνοντας την τάση για λιγότερο εποχιακή και περισσότερο ποικιλόμορφη ζήτηση.

Τέλος, όσον αφορά την αγορά κρουαζιέρας στη Γαλλία αυτή αντιμετωπίζει μια μείωση το 2017 σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μειωμένη δραστηριότητα ορισμένων φορέων και στο κλείσιμο της ‘Croisières de France’ που αποτελούσε τον τρίτο μεγαλύτερο πάροχο κρουαζιέρας με προγράμματα all-inclusive. Σχετικά με το μέσο όρο ηλικίας των Γάλλων επιβατών, αυτός κυμαίνεται στα 48 με 49 έτη σε αντίθεση με τα άλλα ευρωπαϊκά κράτη. Η μείωση της Γαλλικής αγοράς κρουαζιέρας έχει σαν αποτέλεσμα οι εταιρείες που προσφέρουν κρουαζιέρες να μην δημιουργούν ελκυστικά πακέτα ώστε να προσελκύσουν και νεότερους ηλικιακά δυνητικούς πελάτες. Σχετικά με τους προορισμούς παρατηρείται μια πτώση στην Μεσόγειο και στη Βόρεια Ευρώπη καθώς η εταιρεία ‘Croisières de France’ δημιουργούσε το 90% των κρουαζιέρων σε αυτά τα μέρη. Παρατηρείται όμως μια κομψή αύξηση σε προορισμούς όπως η Καραϊβική και τα Γκαλαπάγκος. Άλλες ευρωπαϊκές αγορές, όπως εκείνες της Ελβετίας, της Αυστρίας, της Ολλανδίας και του Βελγίου εξελίσσονται θετικά με αύξηση από 3.1 % έως 5.9 %. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

Market	2016	2017	2017
<b>Grand Total</b>	<b>6,775</b>	<b>6,941</b>	<b>2.5%</b>
<b>Germany</b>	<b>2,018</b>	<b>2,189</b>	<b>8.5%</b>
<b>United Kingdom &amp; Ireland</b>	<b>1,950</b>	<b>1,959</b>	<b>0.5%</b>
<b>Italy</b>	<b>751</b>	<b>769</b>	<b>2.5%</b>
<b>Spain</b>	<b>479</b>	<b>510</b>	<b>6.4%</b>
<b>France</b>	<b>554</b>	<b>503</b>	<b>-9.2%</b>
<b>Switzerland</b>	<b>146</b>	<b>151</b>	<b>3.1%</b>
<b>Austria</b>	<b>125</b>	<b>129</b>	<b>3.5%</b>
<b>Netherlands</b>	<b>104</b>	<b>110</b>	<b>5.9%</b>
<b>Norway</b>	<b>111</b>	<b>104</b>	<b>-6.9%</b>
<b>Belgium</b>	<b>69</b>	<b>72</b>	<b>4.3%</b>
<b>Russian Federation</b>	<b>48</b>	<b>68</b>	<b>41.6%</b>
<b>Sweden</b>	<b>66</b>	<b>64</b>	<b>-3.2%</b>
<b>Portugal</b>	<b>44</b>	<b>48</b>	<b>11.2%</b>
<b>Denmark</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>-1.5%</b>
<b>Turkey</b>	<b>65</b>	<b>36</b>	<b>-44.3%</b>
<b>Cyprus</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>8.0%</b>
<b>Poland</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>16.2%</b>
<b>Greece</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>-17.5%</b>

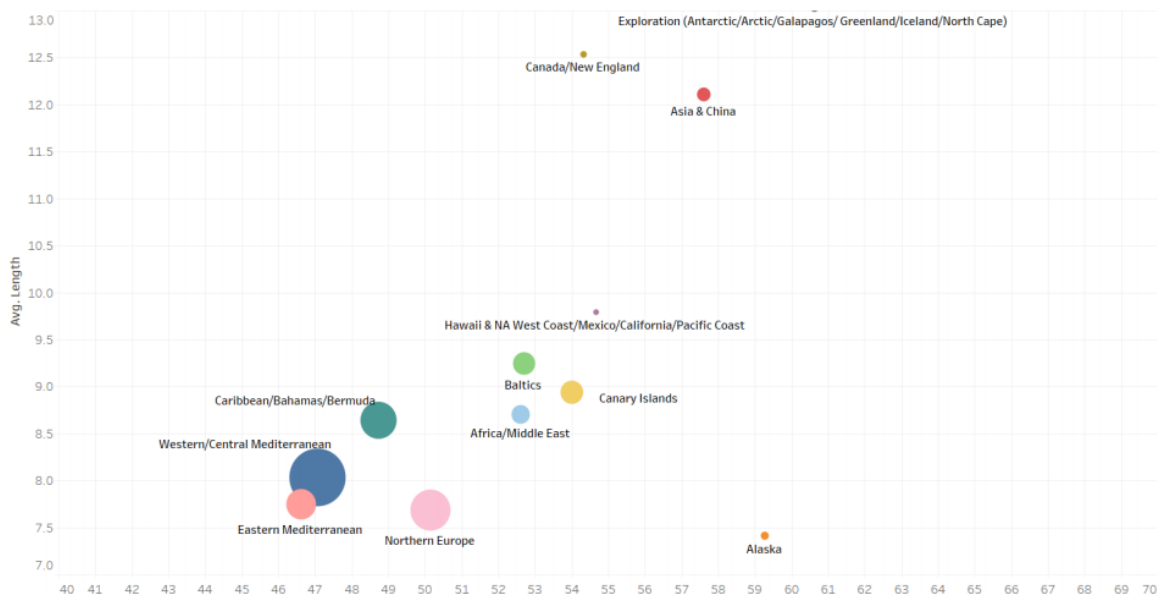
Πίνακας 3. Σφαιρική εικόνα Ευρωπαϊκής αγοράς για το έτος 2017. [6]

Από την έρευνα της CLIA προέκυψε πως το 75 % των Ευρωπαίων πραγματοποίησε κρουαζιέρα στην Ευρώπη το 2017. Το ποσοστό αυτό είναι ελαφρώς μειωμένο από το αντίστοιχο του 2016, καθώς το έτος 2016 μειώθηκε η κίνηση της κρουαζιέρας στην Μεσόγειο Θάλασσα και σημειώθηκε αύξηση στην Καραϊβική. Ωστόσο η Μεσόγειος Θάλασσα παραμένει ο πιο δημοφιλής προορισμός για τους Ευρωπαίους επιβάτες κρουαζιέρας, ενώ συγχρόνως η Βαλτική Θάλασσα προσελκύει ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον με το πέρασμα των ετών. Από το 75 % των Ευρωπαίων που ταξίδεψε με κρουαζιερόπλοια στην Ευρώπη, το 50 % προτίμησε τη Μεσόγειο Θάλασσα, ενώ το 25 % την Βαλτική και τη θαλάσσια περιοχή της Βόρειας Ευρώπης. Το υπολειπόμενο 25 % των Ευρωπαίων επιβατών κρουαζιέρας προτίμησαν να ταξιδέψουν σε διατλαντικούς προορισμούς, αλλά και προς ασιατικές χώρες.

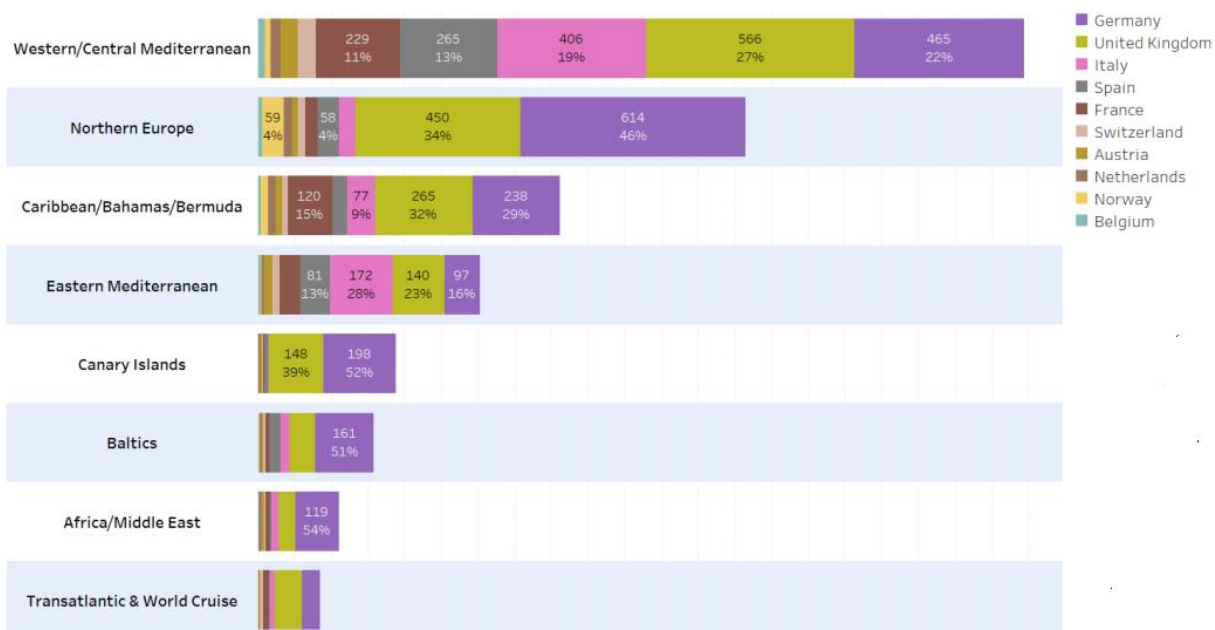
<b>Key Destinations</b>	2016	2017	2017
<b>Western/Central Mediterranean</b>	2,264	2,241	-1%
<b>Northern Europe</b>	1,276	1,383	8%
<b>Caribbean/Bahamas/Bermuda</b>	855	933	9%
<b>Eastern Mediterranean</b>	774	687	-11%
<b>Canary Islands</b>	354	381	8%
<b>Baltics</b>	318	334	5%
<b>Africa/Middle East</b>	250	239	-4%
<b>Transatlantic &amp; World Cruise</b>	164	178	9%
<b>Asia &amp; China</b>	115	127	10%
<b>Exploration (Antarctic/Arctic/Galapagos/ Greenland/Iceland/North Cape)</b>	49	71	43%
<b>Panama Canal/South America &amp; South America</b>	51	58	15%
<b>Australia/New Zealand/Pacific</b>	43	46	7%
<b>Alaska</b>	32	36	12%
<b>Hawaii &amp; NA West Coast/Mexico/California/Pacific Coast</b>	30	28	-6%

Πίνακας 4. Προορισμοί που προτιμούν οι Ευρωπαίοι. [6]

Τα στοιχεία του 2017 αποκάλυψαν, επίσης, ότι υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ του μέσου όρου ηλικίας και της διάρκειας της κρουαζιέρας – επιβεβαιώνοντας ότι οι επιβάτες μεγαλύτερης ηλικίας επιλέγουν κρουαζιέρες μεγαλύτερης διάρκειας. Οι νεότεροι επιβάτες προέρχονται από την Ιταλία, ενώ οι επιβάτες από το Ηνωμένο Βασίλειο τείνουν να είναι μεγαλύτεροι. Οι νεαροί επιβάτες απολαμβάνουν τη Μεσόγειο, ενώ η Βαλτική και τα Κανάρια Νησιά επιλέγονται περισσότερο από πιο μεγάλους σε ηλικία επιβάτες.



Διάγραμμα 4. Μέσος όρος ηλικίας και διάρκεια κρουαζιέρας ανά προορισμό. [6]



Διάγραμμα 5. Αριθμός επιβατών ανά προορισμό και ανά χώρα (σε χιλιάδες). [6]

Με τη συνεχή του διεύρυνση, ο κλάδος της κρουαζιέρας αναμένεται να ενισχύσει την οικονομική του συμβολή στην Ευρώπη, όσον αφορά την εργασία και τη συνολική συμμετοχή στην οικονομία.

## **1.8. Η αγορά κρουαζιέρας σε ελληνικό επίπεδο**

Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της κρουαζιέρας στην Ελλάδα είναι έντονο και διαχρονικό. Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας, η εκτεταμένη ακτογραμμή, ο πολυνησιωτικός χαρακτήρας, το κλίμα, η φυσική ομορφιά, και τα σημαντικά αποθέματα ιστορικού πλούτου και πολιτιστικής κληρονομιάς, αποτελούν συγκριτικά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη του θαλάσσιου τουρισμού και ειδικότερα της κρουαζιέρας. Τα άμεσα, έμμεσα και παραγόμενα οφέλη από τις προσεγγίσεις κρουαζιερόπλοιων και τις αφίξεις επιβατών είναι σημαντικά και διαχέονται σε ένα ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Καθώς η ελληνική οικονομία αναζητά τη δυνατότητα και την προοπτική να επανέλθει σε βιώσιμη ανοδική τροχιά, η κρουαζιέρα αποτελεί οικονομική δραστηριότητα με δυναμικά σημαντική προστιθέμενη αξία.

Εντονότερο όλων είναι το ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση ελληνικών λιμένων ως λιμένες αφετηρίας και τερματισμού των κυκλικών διαδρομών κρουαζιέρας (home-ports). Με αυτόν τον τρόπο οι χρόνοι παραμονής κρουαζιερόπλοιων και επιβατών στον προορισμό διευρύνονται σημαντικά. Τα παραγόμενα οφέλη στον ίδιο τον λιμένα, αλλά και στην τοπική κοινωνία και την ευρύτερη οικονομία πολλαπλασιάζονται. Οι ελληνικοί λιμένες, όσο δραστηριοποιούνται επιχειρηματικά στον κλάδο του τουρισμού, οι ευρύτερες τοπικές κοινωνίες και οι φορείς που τις εκπροσωπούν, η τοπική αυτοδιοίκηση και οι αρμόδιοι κυβερνητικοί παράγοντες αναζητούν τον τρόπο να διευρύνουν την ελκυστικότητα των ελληνικών λιμένων και προορισμών.

Οι μέχρι σήμερα εξελίξεις δεν δικαιώνουν τις προσπάθειες που έχουν καταβληθεί, καθώς ο κλάδος της κρουαζιέρας αναπτύχθηκε στην ευρύτερη περιοχή – και σε παγκόσμια κλίμακα – με αξιοσημείωτους ρυθμούς, αλλά οι ελληνικοί λιμένες και προορισμοί φιλοξενούν ένα μειούμενο ποσοστό των δραστηριοτήτων home-porting που λαμβάνουν χώρα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Ένα σύνολο 43 λιμένων της χώρας μας φιλοξενεί ετησίως περίπου 5 εκατομμύρια κινήσεις επιβατών κρουαζιέρας. Συνολικά, στη διάρκεια της τετραετίας 2015-2018 στη χώρα μας έγιναν περίπου 20 εκατομμύρια κινήσεις επιβατών κρουαζιέρας σε 43 διαφορετικούς ελληνικούς λιμένες. Παρότι ο αριθμός των τουριστών που επιλέγουν να πραγματοποιήσουν μια κρουαζιέρα στη χώρα μας είναι σημαντικός, οι τάσεις της πλέον πρόσφατης τετραετίας δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικές. Αρνητικότερη είναι η εικόνα όσον αφορά τη χρησιμοποίηση των ελληνικών λιμένων ως λιμένες αφετηρίας. Ο αριθμός κρουαζιέρων με σημείο αφετηρίας έναν ελληνικό λιμένα είναι πολύ μικρός.

Στη συνέχεια αναφέρεται το καμποτάζ και τα οφέλη του για την ελληνική οικονομία. Καμποτάζ (cabotage) είναι το καθεστώς παραχώρησης του προνομίου εκτέλεσης κρουαζιέρας εντός της επικρατείας αποκλειστικά σε πλοία που φέρουν την εθνική σημαία.

Ο περιορισμός αυτός ίσχυε και στην Ελλάδα από το 1920 μέχρι το 2010. Κρουαζιερόπλοια με 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, παρά μόνο ως λιμάνια διέλευσης (transit ports) στην πορεία τους από και προς τα λιμάνια αφετηρίας (home ports) τους στην Ιταλία, την Τουρκία ή αλλού. Η άρση του καμποτάζ, δηλαδή το άνοιγμα της αγοράς της κρουαζιέρας, ήταν μνημονιακή υποχρέωση της Ελλάδας που νομοθετήθηκε αρχικά το 2010 και ολοκληρώθηκε με νόμο το 2012 από την κυβέρνηση Παπαδήμου. Ωστόσο, τα οφέλη δεν ήταν τα αναμενόμενα, καθώς δεν σημειώθηκε αύξηση (αλλά μάλιστα ελαφρά μείωση) των homeportings, και δεν υπήρξε αύξηση των αφίξεων. Αυτό οφείλεται στο ότι η άρση του καμποτάζ είναι αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για την ανάπτυξη του homeporting. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι τα ελληνικά λιμάνια υστερούν πολύ σε υποδομές και πρακτικά κανένα τους δεν αποτελεί ελκυστικό λιμάνι αφετηρίας για κρουαζιερόπλοια, παρά την άρση του καμποτάζ. Οι εταιρίες που χρησιμοποιούν τα ελληνικά λιμάνια ως λιμάνια αφετηρίας είναι ουσιαστικά οι εταιρείες που τα χρησιμοποιούσαν και πριν την άρση του καμποτάζ, με την κυπριακών συμφερόντων Celestyal Cruises να έχει την πρωτοκαθεδρία. Στην Ελλάδα υπάρχουν πέντε λιμάνια που θεωρητικά θα μπορούσαν να αποτελέσουν ελκυστικά λιμάνια αφετηρίας. Αυτό του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης, της Κέρκυρας, της Ρόδου και του Ηρακλείου, καθώς έχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία, αλλά και πολύ σοβαρές ελλείψεις. Ως λόγοι προβληματισμού που αποτρέπουν την επιλογή ελληνικών λιμένων ως λιμάνια αφετηρίας αποτελούν η έλλειψη σταθερού φορολογικού περιβάλλοντος και σταθερού πολιτικού τοπίου, οι απεργίες, η έλλειψη υποτυπωδών παροχών όπως εγκαταστάσεις (κινητές ή μη) προμήθειας καυσίμων LNG στα λιμάνια, δομικά προβλήματα κ.α.

Ο μεγαλύτερος ελληνικός λιμένας κρουαζιέρας, ο Πειραιάς, δεν κατάφερε μέχρι σήμερα να παρακολουθήσει τα θετικά αποτελέσματα άλλων μεσογειακών λιμένων. Στις αρχές του αιώνα ήταν ο 4ος μεγαλύτερος μεσογειακός λιμένας κρουαζιέρας, υποδεχόμενος λίγες μόνο χιλιάδες επιβάτες κρουαζιέρας λιγότερους από τη Βαρκελώνη. Παράλληλα έχει πραγματοποιηθεί μια μετατόπιση της «γεωγραφίας» της κρουαζιέρας προς τη Δυτική Μεσόγειο, με κυριαρχία των ιταλικών, ισπανικών και κατά δεύτερο λόγο των γαλλικών λιμένων. Οι ελληνικοί λιμένες αφετηρίας βιώνουν τα τελευταία χρόνια τις επιπτώσεις της γεωπολιτικής αστάθειας, καθώς η Αραβική Άνοιξη, τα γεγονότα στην Κριμαία, ο πόλεμος στη Συρία και οι τρομοκρατικές επιθέσεις στην Τουρκία έχουν μειώσει δραματικά την ελκυστικότητα της Νοτιοανατολικής Μεσογείου ως προορισμό κρουαζιέρας.

Η συγκριτική ανάλυση αποκαλύπτει δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής αγοράς. Πρώτον ότι σήμερα απουσιάζει ο ελληνικός λιμένας κρουαζιέρας που να διαθέτει την ελκυστικότητα προσέγγισης μεγαλύτερων σε μέγεθος κρουαζιερόπλοιων και δεύτερον ότι



στην περίπτωση των ελληνικών λιμένων και προορισμών η εποχικότητα των δραστηριοτήτων κρουαζιέρας είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με το σύνολο της Μεσογείου, ενώ το τρίμηνο Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου δεν καταγράφεται στην Ελλάδα ουσιαστική δραστηριότητα κρουαζιέρας. Το έτος 2018 που μόλις πέρασε, καταγράφηκαν στο σύνολο των προορισμών κρουαζιέρας στον ελλαδικό χώρο 3.410 αφίξεις κρουαζιερόπλοιων (έναντι 3.415 το 2017) και 4.788.642 επισκέψεις επιβατών κρουαζιέρας (έναντι 4.625.363 το 2017). Η πρώτη δεκάδα των προορισμών διατηρείται η ίδια τα τελευταία οκτώ χρόνια (παρά τις μικρές ανακατατάξεις) [7].

Συμπερασματικά, διατηρείται η ίδια εικόνα με το 2017 καταγράφοντας ίδιο αριθμό αφίξεων πλοίων και μία ελαφρά άνοδο στις επισκέψεις επιβατών της τάξης του 3.5 % περίπου, που αποδεικνύει ότι παρά τα προβλήματα που είχαν δημιουργηθεί τα τελευταία δύο χρόνια από τις γεωπολιτικές αναταράξεις στην Ανατολική Μεσόγειο, η Ελληνική κρουαζιέρα διατηρεί την δυναμική της, έχοντας υποστεί μικρή διαφοροποίηση από τα υψηλά επίπεδα του 2015 - 2016.

Οι εταιρείες κρουαζιέρας κρατούν στάση αναμονής μέχρι να βελτιωθεί η κατάσταση στην Ανατολική Μεσόγειο με πρόβλεψη ότι το 2020 θα υπάρξει ικανοποιητική βελτίωση στην εικόνα. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι αφίξεις κρουαζιερόπλοιων και ο αριθμός επιβατών της τελευταίας τετραετίας.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα στοιχεία που έχει δημοσιεύσει η Ένωση Λιμένων Ελλάδας για τις αφίξεις των κρουαζιερόπλοιων και τον αριθμό των επιβατών σε κάθε λιμάνι για την τετραετία 2015-2018.

**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΑΣ 2015 - 2018 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΧΩΡΑΣ**

α/α	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΙ	2018		2017		2016		2015	
		Αριθμός αφίξεων κ/ζ	Αριθμός αφίξεων επιβατών κρουαζιέρας	Αριθμός αφίξεων κ/ζ	Αριθμός αφίξεων επιβατών κρουαζιέρας	Αριθμός αφίξεων κ/ζ	Αριθμός αφίξεων επιβατών κρουαζιέρας	Αριθμός αφίξεων κ/ζ	Αριθμός αφίξεων επιβατών κρουαζιέρας
1	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	524	961.632	576	1.055.559	625	1.094.135	621	980.149
2	ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	474	749.286	406	620.570	572	783.893	636	791.927
3	ΚΕΡΚΥΡΑ	413	735.832	410	679.681	481	748.916	407	647.347
4	ΜΥΚΟΝΟΣ	484	702.256	501	699.304	596	722.517	600	649.914
5	ΚΑΤΑΚΟΛΟ	221	468.046	271	567.047	274	505.111	242	459.882
6	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	187	297.929	131	181.693	165	238.780	170	219.805
7	ΡΟΔΟΣ	210	237.808	248	274.903	299	314.689	340	342.063
8	ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑ-ΙΘΑΚΗ	90	144.074	50	61.598	77	85.463	112	149.227
9	ΧΑΝΙΑ (ΣΟΥΔΑ)	78	139.944	84	128.067	86	147.915	59	96.612
10	ΠΑΤΜΟΣ	124	103.126	136	110.878	147	91.785	192	124.476
11	ΝΑΥΠΛΙΟ	75	57.894	86	29.689	94	51.551	62	46.075
12	ΒΟΛΟΣ	27	31.336	9	7.618	46	37.445	57	67.096
13	ΣΥΡΟΣ	80	18.071	75	24.543	90	26.403	53	21.986
14	ΜΗΛΟΣ	27	16.667	23	9.222	32	14.735	28	15.394
15	ΣΑΜΟΣ	96	14.737	39	10.008	51	43.659	19	10.893
16	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	17	14.284	17	13.104	29	25.175	8	5.742
17	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	24	13.616	43	28.972	49	26.560	52	37.762
18	ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	14	12.650	8	9.088	7	7.623	6	3.090
19	ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑ	43	9.154	39	7.742	44	12.904	38	10.391
20	ΓΥΘΕΙΟ	18	8.642	16	6.738	33	13.019	23	10.448
21	ΣΚΙΑΘΟΣ	8	8.119	6	3.111	18	6.232	23	8.220
22	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	8	7.281	11	8.020	28	28.132	31	38.549
23	ΣΥΜΗ	17	6.669	10	5.580	30	14.206	36	16.728
24	ΚΩΣ	10	4.153	16	6.451	41	19.222	41	18.277
25	ΙΤΕΑ	35	3.628	74	14.423	92	14.848	83	17.851
26	ΝΑΞΟΣ	22	3.459	16	4.236	27	2.470	23	4.738
27	ΠΥΛΟΣ	13	2.662	9	1.601	5	1.060	11	3.080
28	ΠΑΡΟΣ	17	2.476	16	3.916	23	3.127	25	3.679
29	ΣΚΟΠΕΛΟΣ	5	2.192	3	1.038	8	755	8	735
30	ΚΑΒΑΛΑ	5	1.954	6	3.226	19	6.042	22	12.783
31	ΧΙΟΣ	10	1.766	7	16.445	43	21.933	42	25.229
32	ΠΑΤΡΑ	2	1.647	2	952	2	743	3	1.090
33	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	5	1.502	4	2.424	23	18.876	35	26.356
34	ΣΗΤΕΙΑ	3	1.447	0	0	0	0	1	444
35	ΡΕΘΥΜΝΟ	16	741	21	1.301	3	400	11	1.076
36	ΙΟΣ	1	680	8	5.048	17	7.113	13	6.700
37	ΑΛΕΞ/ΛΗ (ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ)	2	584	0	0	0	0	1	278
38	ΛΗΜΝΟΣ	2	346	2	381	14	4.072	41	15.787
39	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	1	260	5	2.482	29	13.923	53	24.894
40	ΚΥΘΗΡΑ	2	92	5	1.298	18	4.479	4	1.050
41	ΛΑΥΡΙΟ	0	0	26	17.406	65	43.236	55	44.815
42	ΠΡΕΒΕΖΑ	0	0	0	0	4	556	5	967
43	ΑΝΔΡΟΣ	0	0	0	0	1	528	2	838
	<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>	<b>3410</b>	<b>4.788.642</b>	<b>3415</b>	<b>4.625.363</b>	<b>4307</b>	<b>5.204.231</b>	<b>4294</b>	<b>4.964.443</b>

Πίνακας 5. Αφίξεις κρουαζιερόπλοιων και επιβατών για τα έτη 2015-2018. [43]

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Ατμοσφαιρικοί ρύποι από τον τομέα της ναυτιλίας και επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο

### 2.1. Ρύποι από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα

Το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο. Η ατμόσφαιρα περιέχει επίσης αργό, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια. Σε μια ναυτική μηχανή τα ναυτιλιακά καύσιμα καίγονται με το οξυγόνο του αέρα και παράγεται η απαραίτητη μηχανική ενέργεια για την κίνηση του πλοίου, ενώ παράλληλα αποβάλλεται θερμική ενέργεια και εκπέμπονται καυσαέρια. Τα ναυτιλιακά καύσιμα, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Το περιεχόμενο του ναυτιλιακού πετρελαίου σε άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 84,9% και 87,4%. Περιέχουν επίσης προσμίξεις, όπως θείο, η περιεκτικότητα των οποίων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του καυσίμου (εάν είναι αποσταγματικό (MDO - Marine Diesel Oil), (MGO - Marine Gas Oil) ή υπολειμματικό καύσιμο (HFO – Heavy Fuel Oil)).

Τα καυσαέρια μιας ναυτικής μηχανής περιέχουν κυρίως άζωτο ( $N_2$ ), οξυγόνο ( $O_2$ ), υδρατμούς ( $H_2O$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Σε πολύ μικρότερο ποσοστό περιέχουν οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ), οξείδια του θείου ( $SO_x$ ), μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ), άκαυστους υδρογονάνθρακες, αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM) και πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds ή VOCs).

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τη ναυτιλία συμβάλλουν σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι δύο κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρύπων είναι οι πρωτογενείς ρύποι και οι δευτερογενείς ρύποι. Οι πρωτογενείς ρύποι εκπέμπονται απευθείας από το πλοίο στην ατμόσφαιρα, ενώ οι δευτερογενείς ρύποι προέρχονται από το μετασχηματισμό των πρωτογενών ρύπων. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι προέρχονται τόσο από τους κύριους κινητήρες πετρελαίου των πλοίων, όσο και από τις βοηθητικές μηχανές. Ο χρόνος λειτουργίας του πλοίου, η κατάσταση της μηχανής του, καθώς και κάποια χαρακτηριστικά του, όπως η γάστρα και το κύτος του, είναι παράγοντες που καθορίζουν τις εκπεμπόμενες ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων. Στην κατηγορία των πρωτογενών ρύπων ανήκουν τα οξείδια του θείου ( $SO_x$ ), τα οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), το μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ), το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), οι πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs) και οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $H_xC_y$ ), ενώ στους δευτερογενείς ρύπους ανήκει το όζον ( $O_3$ ) και το υδροξύλιο (OH). Παρακάτω παρουσιάζεται μια σύνοψη για κάθε κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων [8].

## 2.2. Πρωτογενείς ρύποι

- Οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>)

Ένας από τους κύριους ρύπους του τομέα της ναυτιλίας είναι τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα οποία προέρχονται από την καύση των καυσίμων που περιέχουν θείο. Αρχικά το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) μετατρέπεται μέσω της οξείδωσης σε τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>), και στη συνέχεια το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) αντιδρά με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας (H<sub>2</sub>O) και δημιουργείται θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

- Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Επίσης, ένας ρύπος που παράγεται από τις μηχανές των πλοίων είναι το μονοξείδιο του αζώτου λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και των πιέσεων εντός των κυλίνδρων, το οποίο μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων που γίνονται στην ατμόσφαιρα μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου.

- Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Οι κύριες πηγές αυτής της κατηγορίας των ρύπων είναι η ατελής καύση των καυσίμων, οι ακαθαρσίες και τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται. Τα σωματίδια είναι ένας σύνθετος ρύπος που αποτελείται από αιθάλη, οξείδια μετάλλων και θειικά άλατα. Το μέγεθος των σωματιδίων αυτών δεν είναι σταθερό με αποτέλεσμα να δημιουργούν πολλά προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Το ρινικό σύστημα του ανθρώπου μπορεί να κρατήσει σωματίδια διαμέτρου από 5 μm έως 10 μm. Συνεπώς τα σωματίδια που είναι μικρότερα από αυτήν την διάμετρο μπορεί να φθάσουν στους πνεύμονες του ανθρώπινου οργανισμού με αποτέλεσμα να φράξουν την αναπνευστική οδό.

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Η κύρια πηγή της κατηγορίας αυτής είναι η καύση των καυσίμων εντός των μηχανών των πλοίων. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας, άχρωμο, άοσμο και άγευστο σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και επίσης είναι ένα από τα κύρια αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο οι εκπομπές αυτού του ρύπου που προέρχονται από τη ναυτιλία είναι πολύ μικρότερες από τις εκπομπές από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι μια ανόργανη διατομική χημική ένωση, που περιέχει άνθρακα και οξυγόνο, με μοριακό τύπο CO. Το χημικά καθαρό μονοξείδιο του άνθρακα, στις «συνηθισμένες συνθήκες», δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C και υπό πίεση 1 atm, είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Είναι τοξικό για τους ανθρώπους ακόμα και σε

μικρές συγκεντρώσεις (από τα 35 ppm), παρ' όλο που παράγεται σε μικρές ποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό και θεωρείται ότι συμμετέχει σε κάποιες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες. Στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ ευμετάβλητο και βραχύβιο, έχοντας ένα ρόλο στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται από μερική οξείδωση ανθρακούχων ενώσεων ή στοιχειακού άνθρακα. Παράγεται όταν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), όπως συμβαίνει όταν λειτουργεί καυστήρας ή μηχανή εσωτερικής καύσης. Με την παρουσία οξυγόνου, το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να καεί, δίνοντας μια γαλάζια φλόγα και παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

- Πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds ή VOCs) είναι οργανικές ενώσεις που έχουν υψηλή τάση ατμών σε συνηθισμένη θερμοκρασία δωματίου. Η υψηλή τάση ατμών τους προκύπτει από το χαμηλό σημείο βρασμού, που προκαλεί την εξάτμιση μεγάλου αριθμού μορίων ή την εξάχνωση από την υγρή ή την αέρια μορφή της ένωσης και την είσοδο της στον περιβάλλοντα αέρα. Παραδείγματος χάρη, η μεθανόλη, που εξατμίζεται από τη βαφή, έχει σημείο ζέσης μόνο -19 °C (-2 °F). Οι VOCs είναι πολυάριθμες, ποικίλες, και πανταχού παρούσες. Περιλαμβάνουν χημικές ενώσεις που παρασκευάστηκαν από τον άνθρωπο ή εμφανίζονται στη φύση. Οι περισσότερες μυρωδιές είναι από VOCs. Οι VOCs παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία μεταξύ των φυτών, και στα μηνύματα από τα φυτά προς τα ζώα. Κάποιες VOCs είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία ή βλάπτουν το φυσικό περιβάλλον. Οι ανθρωπογενείς VOCs ρυθμίζονται από νόμους, ιδιαίτερα σε κλειστό χώρο, όπου οι συγκεντρώσεις είναι και πιο υψηλές. Οι επιβλαβείς VOCs δεν είναι συνήθως πολύ τοξικές, αλλά έχουν σύνθετες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία. Ένα σημαντικό μειονέκτημά τους είναι ότι καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον, το οποίο προστατεύει τον άνθρωπο από την υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου. Επειδή οι συγκεντρώσεις είναι συνήθως χαμηλές και τα συμπτώματα αργούν να αναπτυχθούν, η έρευνα στις VOCs και στις επιπτώσεις τους είναι δύσκολη. Τέλος οι πτητικές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνουν αλκοόλες, αλκάλια, κετόνες, αλδεΐδες, ολεφίνες, παραφίνες, καθώς και αρωματικούς και αλογονομένους υδρογονάνθρακες.

- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HCY)

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες είναι αέρια που παράγονται από ατελής καύση και συμβάλλουν και αυτοί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης είναι σημαντικοί πρωτογενείς ρύποι και συμμετέχουν στο σχηματισμό φωτοχημικού νέφους. Το φωτοχημικό νέφος δημιουργείται από την ένωση του ηλιακού φωτός με ρύπους που έχουν ελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), πτητικές

οργανικές ενώσεις (VOCs) που υπάρχουν σε τεχνητές ουσίες όπως η βενζίνη και τα τεχνητά χρώματα, άκαυστους υδρογονάνθρακες, καθώς και ορισμένες αλδεΐδες (RCHO) και το όζον ( $O_3$ ) όταν βρίσκεται στα χαμηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας.

### 2.3. Δευτερογενείς ρύποι

- Όζον ( $O_3$ )

Το όζον ή τριοξυγόνο είναι μια τριατομική αλλομορφή του οξυγόνου, με χημικό τύπο  $O_3$ . Το καθαρό όζον, στις «συνηθισμένες συνθήκες», δηλαδή σε θερμοκρασία 25 °C και υπό πίεση 1 atm, είναι ένα ανοιχτογάλανο αέριο με ευδιάκριτη δριμεία οσμή. Είναι πολύ λιγότερο σταθερό από το διοξυγόνο, δηλαδή τη διατομική αλλομορφή του οξυγόνου, και γι' αυτό το όζον διασπάται στην κατώτερη ατμόσφαιρα σε κανονικό διοξυγόνο. Το όζον σχηματίζεται από το διοξυγόνο με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς επίσης και με την επίδραση των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων, και είναι παρόν σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης. Στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικούν άνθρωποι) το όζον θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος και έχει οριστεί μια σειρά τιμών που αφορούν τη μετρούμενη συγκέντρωσή του. Ενώ στην τροπόσφαιρα ο στόχος είναι η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος, στη στρατόσφαιρα ο στόχος είναι η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του όζοντος. Στη στρατόσφαιρα (εξωτερικό μέρος της γήινης ατμόσφαιρας) το όζον θεωρείται η ασπίδα που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στην στρατόσφαιρα ονομάστηκε τρύπα του όζοντος. Η οσμή του όζοντος είναι δριμεία, θυμίζοντας εκείνη του χλωρίου, και γίνεται αντιληπτή από πολλούς ανθρώπους σε χαμηλές συγκεντρώσεις της τάξης των 10 ppb στον αέρα. Το όζον είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο, πολύ ισχυρότερο από το διοξυγόνο, και έχει πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές που είναι σχετικές με την οξείδωση. Ωστόσο, με το ισχυρό οξειδωτικό δυναμικό του, το όζον, προκαλεί βλάβες στους βλεννογόνους και στους αναπνευστικούς ιστούς των ζώων, αλλά και στους ιστούς των φυτών, σε συγκεντρώσεις πάνω από περίπου 100 ppb. Αυτό κάνει το όζον έναν αναπνευστικό κίνδυνο και επομένως έναν ρυπαντή, όταν βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Από την άλλη όμως, το αποκαλούμενο «στρώμα του όζοντος», ένα τμήμα της στρατόσφαιρας με μια υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος, που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8 ppm, είναι ζωτικής σημασίας, γιατί όπως αναφέρθηκε αποτρέπει τη βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου από το να φθάσει στην επιφάνεια της Γης, προς όφελος των φυτών, των ζώων και των ανθρώπων.

- Υδροξύλιο (OH)

Το υδροξύλιο είναι το κύριο οξειδωτικό της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος του αντιδρά με το μεθάνιο, το μονοξείδιο του άνθρακα, το όζον και τα οξείδια του αζώτου, ενώ η ποσότητα του υδροξυλίου που δεν αντιδρά παραμένει στην ατμόσφαιρα.

## **2.4. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο**

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τη ναυτιλία που προαναφέρθηκαν έχουν σοβαρές επιπτώσεις τόσο για το περιβάλλον, όσο και για τον ανθρώπινο οργανισμό. Οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων από τα πλοία, κυρίως σε παράκτιες περιοχές και λιμάνια, διασκορπίζονται στη ξηρά με αποτέλεσμα να δημιουργούν σοβαρά προβλήματα. Ουσίες όπως τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και τα αιωρούμενα σωματία βλάπτουν σοβαρά την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα προβλήματα που δημιουργούνται από κάθε κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων.

- Οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>)

Η πλειοψηφία των καυσίμων των πλοίων περιέχουν θείο, το οποίο είναι ανεπιθύμητο, διότι κατά την καύση του μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Το SO<sub>2</sub> μετατρέπεται σε θειικό οξύ, προκαλεί μείωση του pH της βροχής και έτσι δημιουργείται η όξινη βροχή. Η όξινη βροχή, ανάλογα με το pH και τον χρόνο έκθεσης, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα φυτά (κάψιμο των φύλλων των φυτών), στο δέρμα και στο χαρτί, να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στα δομικά υλικά. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι το μάρμαρο (CaCO<sub>3</sub>) απορροφά SO<sub>2</sub> και μετατρέπεται σε γύψο (CaSO<sub>4</sub>). Ο γύψος είναι πολύ περισσότερο υδατοδιαλυτός από το μάρμαρο, με αποτέλεσμα να παρασύρεται από τη βροχή. Επίσης, ο μοριακός όγκος του γύψου είναι μεγαλύτερος από αυτόν του μαρμάρου, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ρωγμές στο μάρμαρο. Τα φαινόμενα αυτά έχουν παρατηρηθεί σε αρχαιολογικούς χώρους και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση αγαλμάτων από εξωτερικούς χώρους.

Ακόμα τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) αντιδρούν με τους υδατμούς στον αέρα και δημιουργούν όξινα αερολύματα, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα, αλλεργίες, καθώς και μείωση της ορατότητας. Οι υψηλές συγκεντρώσεις SO<sub>2</sub> μπορεί να προκαλέσουν προσωρινή δυσκολία αναπνοής ασθματικών παιδιών και ενηλίκων ενεργών στην ύπαιθρο (π.χ. ασκούμενων). Επίσης έκθεση μικρής διάρκειας, ατόμων που πάσχουν από άσθμα, σε υψηλά επίπεδα SO<sub>2</sub>, καθ' όσον βρίσκονται σε μέτρια δραστηριότητα, μπορεί να προκαλέσει μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων που μπορεί να συνοδευτεί από συμπτώματα όπως δύσπνοια, πόνος στο στήθος ή λαχάνιασμα. Κάποιες από τις συνέπειες που έχουν συνδυασθεί με παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις SO<sub>2</sub>, σε

συνδυασμό με υψηλά ποσοστά αιωρούμενων σωματιδίων (PM), περιλαμβάνουν αναπνευστικές παθήσεις, μεταβολές στην άμυνα των πνευμόνων και επιδείνωση υπαρχόντων καρδιοαγγειακών παθήσεων. Επιπρόσθετα άτομα με καρδιοαγγειακές παθήσεις ή χρόνιες παθήσεις πνευμόνων, καθώς και παιδιά και ηλικιωμένοι, αποτελούν ομάδες αυξημένου κινδύνου υπό τις άνωθεν συνθήκες.

- Οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Με τον γενικό όρο οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) γίνεται αναφορά στο αέριο μίγμα μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) που υπάρχει στη γήινη ατμόσφαιρα, αποτελώντας έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσής της. Συνήθως στην ομάδα αυτή των οξειδίων περιλαμβάνεται και το υποοξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), αέριο το οποίο συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τα οξειδία του αζώτου σχηματίζονται κατά τις διαδικασίες καύσεως κυρίως ορυκτών καυσίμων (βενζίνης, πετρελαίου, γαιανθράκων) σε κινητήρες πλοίων, οχημάτων και εργοστάσια, αλλά και από κατασκευές οικιακής χρήσης (κεντρικές θερμάνσεις, τζάκια κτλ). Στις συνθήκες αυτές, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες (και πιέσεις) οι πιο πάνω αντιδράσεις είναι σχετικά εύκολο να πραγματοποιηθούν.

Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο με δριμυία οσμή. Είναι άχρωμο ή καφέ σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου. Το διοξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο έως καφέ υγρό σε θερμοκρασία δωματίου που σε θερμοκρασίες άνω των 40° C μετατρέπεται σε καφεκόκκινο αέριο. Όταν τα οξειδία του αζώτου, με την επίδραση του ηλιακού φωτός, συνδυαστούν με πτητικές οργανικές ενώσεις, δημιουργούν επιφανειακό όζον που είναι το κύριο συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

Τα οξειδία του αζώτου συμβάλλουν στη δημιουργία ασθματικών καταστάσεων και αναπνευστικών προβλημάτων, καθώς σε συνθήκες βροχής σχηματίζουν, αντιδρώντας με το νερό, νιτρικό οξύ (όξινη βροχή), ενώ σε συνθήκες υψηλής υγρασίας σχηματίζουν ατμούς νιτρικού οξέος, οι οποίοι είναι δυνατόν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα προκαλώντας του σοβαρές βλάβες. Τα μικροσωματίδια που σχηματίζονται, επίσης, μπορούν να εισχωρήσουν στα πλέον ευαίσθητα σημεία των πνευμόνων και να προκαλέσουν εμφύσημα και βρογχίτιδα και να επιδεινώσουν καρδιακές παθήσεις.

Μια από τις επιδράσεις των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα έγκειται στην καταστροφή της οζονόσφαιρας. Η λωρίδα αυτή του όζοντος χρησιμεύει στην προστασία όλων των ζώντων οργανισμών από την υπερβολική υπεριώδη ακτινοβολία που περιέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας μεγάλο μέρος της. Η λέπτυνση της οζονόσφαιρας επιτρέπει σε μεγαλύτερα ποσά υπεριώδους ακτινοβολία να φθάσει στην επιφάνεια της Γης,



προκαλώντας ζημιές τόσο στα φυτά (ιδιαίτερα στα καλλιεργούμενα), τις υδρόβιες μορφές ζωής και τον άνθρωπο.

Η όξινη βροχή, στο σχηματισμό της οποίας συμμετέχουν τα οξείδια του αζώτου είναι υπεύθυνη για σημαντικές καταστροφές σε δάση και άλλες φυτικές μορφές ζωής. Επιπλέον, μεταβάλλει το pH του εδάφους με ενδεχόμενο να παρεμποδίζει από τα φυτά την απορρόφηση άλλων θρεπτικών ουσιών, όπως καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου. Ακόμη μεγαλύτερες καταστροφές, όμως, προκαλούνται από την πτώση της όξινης βροχής σε λιμναία και ποτάμια οικοσυστήματα. Ελάχιστα ψάρια μπορούν να επιβιώσουν σε απότομες αλλαγές του pH του περιβάλλοντός τους, ενώ παράλληλα μειώνεται η βιοποικιλότητα και ο πληθυσμός και άλλων οργανισμών, σημαντικών κρίκων στο τροφικό πλέγμα. Παρόμοιες μεταβολές του pH έχουν ενοχοποιηθεί για πολλές περιπτώσεις εμφάνισης νεκρών ψαριών σε λιμναία περιβάλλοντα. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η κατάσταση κατά την οποία τα οξείδια του αζώτου ενσωματώνονται σε χιονοनिφάδες. Με την τήξη των χιονιών κατά την άνοιξη, το παραγόμενο όξινο νερό καταλήγει σε ποταμούς ή λίμνες προκαλώντας ένα "όξινο παλμό" ιδιαίτερα καταστρεπτικό για σχεδόν όλες τις μορφές ζωής στο οικοσύστημα.

Τέλος, τα οξείδια του αζώτου είναι δυνατό να αντιδράσουν με άλλες οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, δημιουργώντας ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις, όπως οι νιτροζαμίμες και τα νιτροαρένια.

- Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Κατά την καύση των καυσίμων των πλοίων δημιουργούνται σωματίδια (PM) που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα σε υγρή ή σε στερεή φάση με μέγεθος από 1 nm έως 100 μm. Αυτή η κατηγορία των ρύπων περιλαμβάνει τα πρωτογενή σωματίδια, που εκπέμπονται απευθείας από το σύστημα εξάτμισης του πλοίου, καθώς και τα δευτερογενή σωματίδια, που είναι η χημική μετατροπή ορισμένων αερίων σε σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου προκαλούνται από τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Τα πλέον επικίνδυνα σωματίδια είναι εκείνα με διάμετρο από 100 nm έως 2.5 μm. Μπορούν να προκαλέσουν στον ανθρώπινο οργανισμό άσθμα, βρογχίτιδα, πνευμονία, καρδιακή προσβολή, καθώς και καρκίνο του πνεύμονα. Από τους σημαντικότερους σωματιδιακούς ρύπους από τη ναυτιλία είναι τα σωματίδια τέφρας (καπνού). Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων αυτών μπορούν να προκληθούν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 5 μm κατακρατούνται από το ρινικό σύστημα του ανθρώπου. Όμως σωματίδια με μικρότερη διάμετρο μπορούν να εισέλθουν στους πνεύμονες με αποτέλεσμα να κλείσει η αναπνευστική οδός και να δημιουργηθούν αναπνευστικά προβλήματα. Ακόμα τα σωματίδια αιθάλης δημιουργούν προβλήματα και στο περιβάλλον. Η αιθάλη όταν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα,

λόγω του σκούρου χρώματός της, ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξάνοντας την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Το CO<sub>2</sub> αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, βενζίνη, φυσικό αέριο κλπ.), αλλά και του ξύλου, πλαστικών και άλλων οργανικών ενώσεων. Η αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα έχει οδηγήσει σε αύξηση της οξύτητας του θαλασσινού νερού και υπάρχει ανησυχία ότι αυτό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τους οργανισμούς με κελύφη που ζουν στο νερό, αφού είναι γνωστό ότι τα οξέα διαλυτοποιούν το ανθρακικό ασβέστιο από το οποίο είναι φτιαγμένο το κέλυφος.

Η περιεκτικότητα του καθαρού αέρα σε CO<sub>2</sub> (κατά μέσο όρο μεταξύ της στάθμης της θάλασσας και μέχρι ύψους περίπου 30 km) κυμαίνεται από 0,036 % (360 ppm) έως και 0,039% (390 ppm), ανάλογα με την τοποθεσία. Όσον αφορά την υγεία του ανθρώπου το διοξείδιο του άνθρακα είναι τοξικό για την καρδιά και προκαλεί αρρυθμίες. Τα κύρια συμπτώματα της τοξικότητας του CO<sub>2</sub> από την αύξηση της περιεκτικότητάς του στον αέρα είναι τα εξής :

- Σε περιεκτικότητα 1% v/v (γεμάτη αίθουσα με κακό εξαερισμό), το CO<sub>2</sub> μπορεί σε παρατεταμένη έκθεση να προκαλέσει υπνηλία.
- Σε περιεκτικότητα 2% v/v το CO<sub>2</sub> συμπεριφέρεται ως ήπιο ναρκωτικό. Προκαλεί αυξημένη αρτηριακή πίεση και καρδιακό ρυθμό, και μειώνει την ακοή.
- Σε περιεκτικότητα περίπου 5% v/v προκαλεί διέγερση του αναπνευστικού κέντρου, ζάλη, σύγχυση και δυσκολία στην αναπνοή συνοδευόμενη από κεφαλαλγία και δύσπνοια.
- Σε περιεκτικότητα 8% v/v προκαλεί κεφαλαλγία, εφίδρωση, παραισθήσεις, τρόμο και απώλεια συνείδησης μετά την έκθεση για πέντε έως δέκα λεπτά.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι παρόν σε μικρές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα της Γης, κυρίως ως προϊόν της ηφαιστειακής δραστηριότητας, αλλά επίσης και από φυσικές και ανθρωπογενείς πυρκαγιές (όπως δασικές και θαμνολιβαδικές, εκκαθάριση με φωτιά διαφόρων αγροτικών υπολειμμάτων). Ωστόσο η καύση των καυσίμων των πλοίων συνεισφέρει στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι βραχύβιο αέριο του θερμοκηπίου και επίσης επιφέρει έμμεση συνεισφορά στο φαινόμενο εγκλεισμού ακτινοβολίας, αυξάνοντας τις συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού μεθανίου και

του τροποσφαιρικού όζοντος, διαμέσου χημικών αντιδράσεων με άλλα ατμοσφαιρικά χημικά είδη, όπως οι ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου (OH•), που τείνουν να τα εξουδετερώσουν.

Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει δηλητηρίαση μετά από παρατεταμένη εισπνοή. Τα πιο συνηθισμένα συμπτώματα δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να μοιάζουν με άλλους τύπους δηλητηρίασης και λοίμωξης και περιλαμβάνουν συμπτώματα όπως πονοκέφαλο, ναυτία, εμετό, ζαλάδα, κούραση και ένα αίσθημα αδυναμίας. Τα βρέφη μπορεί να είναι ευερέθιστα και ανόρεκτα. Τα νευρολογικά σημάδια περιλαμβάνουν σύγχυση, αποπροσανατολισμό, οπτικές διαταραχές καθώς και επιληπτικές κρίσεις. Κάποιες περιγραφές δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα περιλαμβάνουν ρηνικές αιμορραγίες, και μια ανώμαλη χροιά του αίματος στο χρώμα του βύσσινου. Στις περισσότερες κλινικές διαγνώσεις, αυτά τα σημάδια είναι σπάνια παρατηρητέα. Μια δυσκολία με τη χρησιμότητα του συμπτώματος του βυσσινόχρωμου είναι ότι διορθώνει, ή επικαλύπτει μια άρρωστη εμφάνιση, εφόσον το κύριο αποτέλεσμα του χρώματος αυτού είναι να κάνει ένα πρόσωπο που έχει ασφυξία να φαίνεται πιο φυσιολογικό, ή ένα νεκρό πρόσωπο να φαίνεται πιο ζωντανό. Το λάθος ή μη φυσιολογικό ερυθρό χρώμα σε ένα δηλητηριασμένο από μονοξείδιο του άνθρακα ιστό είναι συγγενικό με την εμπορική χρήση του μονοξειδίου του άνθρακα να χρωματίζει στο κρεατί χρώμα. Επίσης η έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη στην καρδιά και στο κεντρικό νευρικό σύστημα, συχνά με αποτέλεσμα μακροχρόνιες παθολογικές καταστάσεις. Τέλος το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να έχει σοβαρές δυσμενείς επιπτώσεις στο έμβρυο μιας έγκυας γυναίκας.

- Πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs)

Αναπνευστικές, αλλεργικές ή ανοσοποιητικές επιπτώσεις σε νήπια ή παιδιά συνδέονται με ανθρωπογενείς πτητικές οργανικές ενώσεις και άλλους εσωτερικούς και εξωτερικούς ρυπαντές του αέρα. Κάποια VOCs, όπως στυρένιο και λεμονένιο, μπορούν να αντιδράσουν με οξείδια του αζώτου ή με όζον για να παράξουν νέα προϊόντα οξειδωσης και δευτερογενή αερολύματα που μπορούν να προκαλέσουν συμπτώματα ερεθισμού των αισθήσεων. Ακαθόριστες VOCs είναι σημαντικές στη δημιουργία αιθαλομίχλης. Οι επιπτώσεις στην υγεία περιλαμβάνουν ερεθισμούς σε μάτια, μύτη και λαιμό, κεφαλαλγίες, απώλεια συντονισμού, ναυτία, εμετό, βλάβες στο συκώτι, στα νεφρά και στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ερεθισμό επιπεφυκότα, ενόχληση στη μύτη και τον λαιμό, αλλεργικές αντιδράσεις στο δέρμα, δύσπνοια, ρινορραγία, κόπωση και ζαλάδα. Η ικανότητα των οργανικών χημικών ενώσεων να προκαλούν επιπτώσεις στην υγεία ποικίλει από αυτές που είναι πολύ τοξικές μέχρι αυτές που δεν έχουν καμιά γνωστή επίπτωση στην υγεία. Όπως και με άλλους ρύπους, η έκταση και η φύση των επιπτώσεων στην υγεία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που περιλαμβάνουν το επίπεδο της έκθεσης και τη διάρκεια του χρόνου έκθεσης.

- Όζον (O<sub>3</sub>)

Αυτός ο ρύπος που ανήκει στους δευτερογενής ρύπους, όπως έχει προαναφερθεί, μπορεί να καταστήσει τους ανθρώπους πιο ευαίσθητους σε αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα εκείνους που υποφέρουν από άσθμα. Επίσης το όζον μπορεί να προκαλέσει αμετάκλητες αλλαγές στον πνεύμονα, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε χρόνιες παθήσεις, όπως είναι η βρογχίτιδα και το εμφύσημα.

## 2.5. Η συμβολή των κρουαζιερόπλοιων στην ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι τερματικοί σταθμοί κρουαζιερόπλοιων συχνά βρίσκονται πολύ κοντά με τα κέντρα των πόλεων με τους πολυσύχναστους δρόμους και τις πλατείες τα οποία επισκέπτονται καθημερινά χιλιάδες πολίτες και τουρίστες. Όσο τα κρουαζιερόπλοια παραμένουν στο λιμάνι οι μηχανές τους συνεχίζουν να λειτουργούν για να ανταποκριθούν στη μεγάλη ανάγκη ενέργειας των εκτεταμένων ξενοδοχειακών και αναψυχικών υποδομών του πλοίου με αποτέλεσμα να παράγουν αυξημένα καυσαέρια. Τα πλοία καταναλώνουν καύσιμα τα οποία είναι 3.500 φορές πιο βρώμικα από το πετρέλαιο, ενώ ταυτόχρονα σε αντίθεση με τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά δεν εφαρμόζεται μετεπεξεργασία των καυσαερίων. Ως εκ τούτου, τα κρουαζιερόπλοια συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία όχι μόνο προκαλεί σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως καρδιαγγειακές παθήσεις και καρκίνο, αλλά είναι ζημιογόνα και για το κλίμα και το περιβάλλον [9].

Μόνο στην Ευρώπη 50.000 άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο πρόωρα από τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία, τη στιγμή που ο κλάδος τουρισμού με κρουαζιερόπλοιο αναπτύσσεται ραγδαία και κάθε χρόνο καταγράφονται νέα ρεκόρ ρυθμών ανάπτυξης.

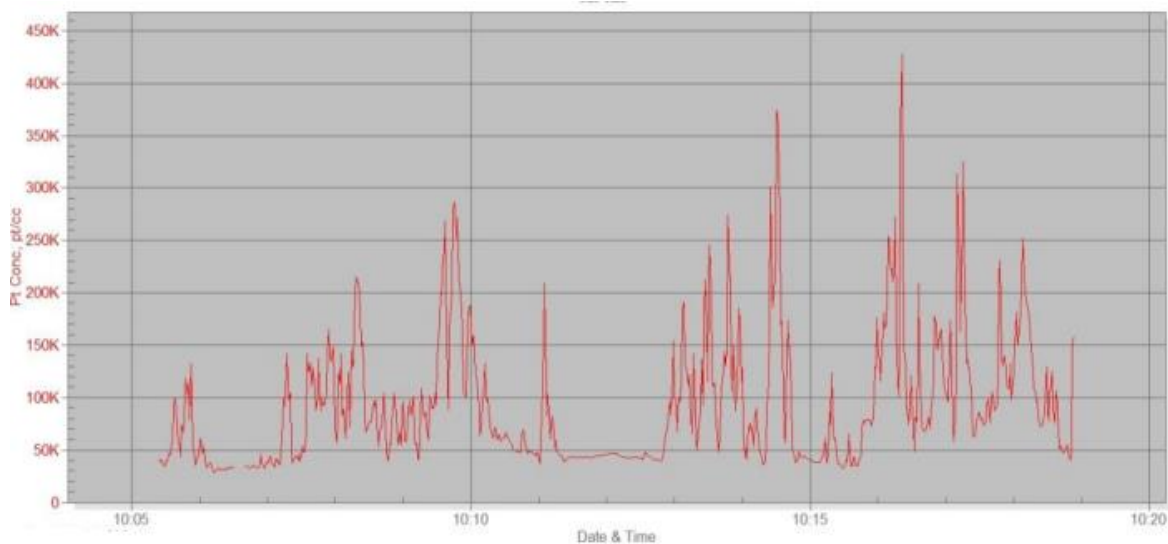
Έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις ποιότητας του αέρα σε διάφορους τερματικούς σταθμούς των κρουαζιερόπλοιων στην Ευρώπη. Τα αποτελέσματα είναι ανησυχητικά καθώς η συγκέντρωση των επικίνδυνων μικροσκοπικών σωματιδίων είναι έως και 400 φορές υψηλότερη σε σχέση με περιοχές χωρίς επιβάρυνση, όπως για παράδειγμα στην ύπαιθρο, και είναι ακόμα 50 - 80 φορές υψηλότερη από ό, τι στις κύριες οδικές αρτηρίες ή σε αστικά κέντρα με μεγάλη κυκλοφορία.

Για την ανθρώπινη υγεία η αιθάλη που δημιουργείται από τα λεπτά σωματίδια σκόνης, είναι ιδιαίτερα προβληματική. Ο Οργανισμός Υγείας των Ηνωμένων Εθνών έχει κατατάξει την αιθάλη πετρελαίου στην κατηγορία καρκινογόνων ουσιών ανάλογων με τον αμιάντο. Επίσης

το Γερμανικό Ίδρυμα Πνεύμονα συνιστά στους ανθρώπους με προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος να μη κάθονται στο κατάστρωμα ενός κρουαζιερόπλοιου.

Ειδικοί επιστήμονες από τον Γερμανικό Οργανισμό Προστασίας Φυσικού Περιβάλλοντος (NABU- Nature And Biodiversity Union), μια από τις μεγαλύτερες και παλαιότερες περιβαλλοντικές ενώσεις στη Γερμανία πραγματοποίησαν μετρήσεις, κυρίως σε διάφορα λιμάνια, χρησιμοποιώντας μια συσκευή η οποία μπορεί να ανιχνεύσει λεπτά και πολύ λεπτά σωματίδια με διάμετρο από 20 έως 1000 νανόμετρα. Σε ημιφυσικές περιοχές ο αριθμός των σωματιδίων PN (Particle number που μετριέται ως μέρη ανά κυβικό εκατοστό pt/cc) βρίσκεται σαφώς κατώτερα των 2000 pt/cc.

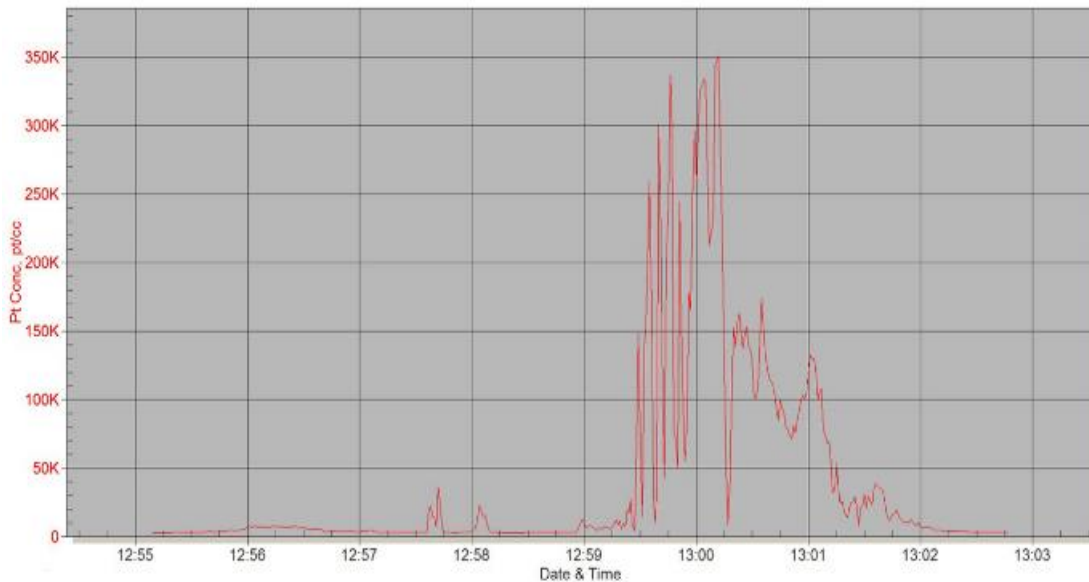
Τα βασικά επίπεδα σε μεγάλες πόλεις κυμαίνονται από 3.000 έως 5000 pt/cc. Σε πολυσύχναστους δρόμους οι τιμές αυξάνονται έως και 10.000 pt/cc. Στις μετρήσεις που ο NABU πραγματοποίησε σε λιμένες κρουαζιερόπλοιων μετρήθηκαν όμως μέγιστες τιμές άνω των 400.000 pt/cc. Χαρακτηριστικά αναφέρονται στη συνέχεια δύο παραδείγματα με τέτοιου είδους μετρήσεις κατά τον απόπλου κρουαζιερόπλοιου από λιμένα. Στο πρώτο διάγραμμα αποτυπώνονται τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποπλέοντος κρουαζιερόπλοιου στη Βαρκελώνη.



Διάγραμμα 6.Ατμοσφαιρική ρύπανση αποπλέοντος κρουαζιερόπλοιου στη Βαρκελώνη[10]

Επίσης εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις επικίνδυνων για την υγεία λεπτόκοκκων μικροσωματιδίων γύρω από τα κρουαζιερόπλοια και τα επιβατηγά πλοία αποτυπώθηκαν σε

μετρήσεις που έκαναν στην καλντέρα της Σαντορίνης. Τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν 100 φορές υψηλότερα σε σχέση με περιοχές που έχουν καθαρό αέρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 7. Ατμοσφαιρική ρύπανση αποπλέοντος κρουαζιερόπλοιου στη Σαντορίνη [10].

Οι κύριες δραστηριότητες των κρουαζιερόπλοιων που είναι υπεύθυνες για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων είναι οι ακόλουθες :

- Η πλεύση τους
- Η κίνησή τους εντός του λιμένα
- Η συνεχής λειτουργία τους κατά το διάστημα παραμονής εντός του λιμένα
- Οι εργασίες συντήρησης / κατασκευής / απόσυρσης των πλοίων οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ναυπηγεία που πολλές φορές είναι κοντά σε μεγάλους λιμένες είναι υπεύθυνες για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων
- Κάποιες μετασκευές κρουαζιερόπλοιων παράγουν αμίαντο, βαρέα μέταλλα καθώς και υδρογονάνθρακες που καταστρέφουν το όζον

## **2.6. Ρυθμιστικό πλαίσιο και απαιτήσεις**

Για τη μείωση λοιπόν της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία έχουν θεσπιστεί κάποιοι κανονισμοί, με τους οποίους πρέπει να συμμορφώνονται όλα τα πλοία για να μπορούν να πραγματοποιούν τις δραστηριότητές τους. Οι περισσότεροι κανονισμοί που έχουν εφαρμογή στη ναυτιλία έχουν καταρτιστεί και ισχύουν σε διεθνές επίπεδο, γεγονός το οποίο επιβάλλεται στην ουσία από τη φύση της ναυτιλίας η οποία έχει διεθνή χαρακτήρα. Ο πλοιοκτήτης και ο διαχειριστής ενός πλοίου που διασχίζει τις θαλάσσιες ζώνες διαφορετικών χωρών των οποίων τους νόμους υποχρεούται να σέβεται, είναι συνήθως διαφορετικής εθνικότητας, ενώ το μεγαλύτερο διάστημα της δραστηριότητας του το πλοίο βρίσκεται μακριά από το κράτος του οποίου τη σημαία φέρει. Για αυτό το λόγο αποτελεί αδιαμφισβήτητη ανάγκη η ρύθμιση των βασικών θεμάτων της ναυτιλίας μέσω διεθνών κανονισμών με ενιαία εφαρμογή παγκοσμίως.

Πράγματι, σήμερα η ναυτιλία ρυθμίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό της από διεθνείς κανονισμούς οι οποίοι διαρκώς εκσυγχρονίζονται και τροποποιούνται ώστε να ανταποκρίνονται στις εκάστοτε νέες τεχνολογίες αλλά και στις ανάγκες της ναυτιλίας. Τον παραπάνω σκοπό της διεθνούς ρύθμισης της ναυτιλίας υπηρετεί με τον καλύτερο τρόπο ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO - International Maritime Organization) ο οποίος ιδρύθηκε το 1948 ως εξειδικευμένος οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών για θέματα σχετικά με τη ναυτιλία. Έκτοτε ο IMO, που εδρεύει στο Λονδίνο, εξελίχθηκε σε έναν θεμελιώδη οργανισμό ο οποίος απαριθμεί 168 κράτη μέλη και τρία συνεργαζόμενα μέλη. Επίσης, στον IMO συμμετέχουν με συμβουλευτικό ρόλο μη κυβερνητικοί διεθνείς οργανισμοί οι οποίοι υποστηρίζουν το έργο του Οργανισμού.

## **2.7. Βασικές συμβάσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού**

Τους τρεις βασικούς πυλώνες της δραστηριότητας του IMO αποτελούν οι τομείς της ασφάλειας στη θάλασσα, της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από ρύπανση που προκαλείται από πλοία και του ανθρώπινου παράγοντα στη ναυτιλία. Στα χρόνια λειτουργίας του Οργανισμού, έχουν θεσπιστεί διάφορες διεθνείς συνθήκες και συμφωνίες, ενώ έχουν υιοθετηθεί αμέτρητα πρωτόκολλα και τροποποιήσεις.

Οι πιο σημαντικές συμβάσεις του IMO είναι :

- ❖ 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).

Η SOLAS 74 θεωρείται ως η πιο σημαντική και ευρεία διεθνής σύμβαση στον τομέα της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας. Κύριος σκοπός της σύμβασης αυτής είναι να θέτει τις ελάχιστες προδιαγραφές για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλειά τους, προσαρμόζοντας αυτές τις προδιαγραφές στις εκάστοτε τεχνικές γνώσεις και τεχνολογικές εξελίξεις. Η σύμβαση ορίζει τις προδιαγραφές διαφόρων τύπων πλοίων, καθώς και την έκδοση πιστοποιητικών τα οποία βεβαιώνουν ότι ένα πλοίο τηρεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

Εξίσου σημαντική με τη SOLAS 74, αλλά στον τομέα της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από ρύπανση που προκαλείται από πλοία, είναι η MARPOL 73/78. Η σύμβαση, έτσι όπως έχει διευρυνθεί και τροποποιηθεί με το Πρωτόκολλο του 1978 και τα έξι Παραρτήματά της, καλύπτει τη ρύπανση που προκαλείται τόσο από την καθημερινή λειτουργία ενός πλοίου, όσο και από ατυχήματα, θέτοντας έτσι τους κανόνες σχετικά με τις απορρίψεις πετρελαίου και άλλων επιβλαβών ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, τα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν οι διάφοροι τύποι πλοίων ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, τον τρόπο καθαρισμού των πλοίων και τις οριακές τιμές για την εκπομπή ρύπων.

Εκτός της MARPOL, το έργο του IMO συμπληρώνουν και άλλες σημαντικές διεθνείς συμβάσεις του ίδιου Οργανισμού όπως η Διεθνής Σύμβαση για την ετοιμότητα, συνεργασία και αντιμετώπιση της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο του 1990 (OPRC - Oil Pollution Preparedness, Response and Cooperation) και το Πρωτόκολλό της, το οποίο υιοθετήθηκε το 2000 ώστε να επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής της σύμβασης και σε περιστατικά ρύπανσης από επικίνδυνες και επιβλαβείς ουσίες (OPRC-HNS) αλλά δεν έχει τεθεί ακόμα σε ισχύ. Στον ίδιο τομέα, ιδιαίτερα εντατικό έχει υπάρξει το νομοθετικό έργο του IMO κατά τη δεκαετία του 2000. Ήδη με την έναρξη του νέου αιώνα, ο Οργανισμός υιοθέτησε το 2001 τη Διεθνή Σύμβαση για τον έλεγχο επιβλαβών συστημάτων υφαλοχρωματισμού των πλοίων (Anti-fouling Systems), σκοπός της οποίας είναι η απαγόρευση της χρήσης στα πλοία χρωμάτων τα οποία εμπεριέχουν επικίνδυνες για το περιβάλλον ουσίες.

Το νομοθετικό έργο του IMO συνεχίστηκε το 2004 με τη Διεθνή Σύμβαση για τον έλεγχο και τη διαχείριση έρματος και ιζημάτων των πλοίων το 2004 (Ballast) η οποία στοχεύει στην αντιμετώπιση ενός ιδιαίτερα σημαντικού προβλήματος, δηλαδή της εισαγωγής, μέσω των



υδάτων των δεξαμενών έρματος των πλοίων, αλλόχθονων ή ξενικών ειδών στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Εκτός ισχύος παραμένει η Διεθνής Σύμβαση του 2007 για την απομάκρυνση των ναυαγίων (Wreck Removal), όπως επίσης και η Διεθνής Σύμβαση για την ασφαλή και περιβαλλοντικά ορθή ανακύκλωση των πλοίων (Ship Recycling), η οποία εγκρίθηκε το Μάιο του 2009.

Ωστόσο, όσο σημαντική και να είναι η θέσπιση τεχνικών χαρακτηριστικών και κανόνων λειτουργίας των πλοίων, κινητήρια δύναμη της ναυτιλίας αποτελεί το ανθρώπινο δυναμικό της. Είναι κεντρικής 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. Η διασφάλιση των παραπάνω αποτελεί το στόχο της STCW 95 (Standards of Training, Certification and Watchkeeping), της οποίας η σπουδαιότητα γίνεται καλύτερα αντιληπτή αν αναλογιστεί κανείς ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ναυτικών ατυχημάτων οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος. Διασφαλίζοντας ότι το πλήρωμα κάθε πλοίου είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο και πιστοποιημένο, ότι διαθέτει τις απαραίτητες ώρες ανάπαυσης και ότι διαβιεί υπό κατάλληλες συνθήκες, η Σύμβαση προσπαθεί να περιορίσει, κατά το μέτρο του δυνατού, τα περιθώρια ανθρώπινου λάθους.

Εκτός από τις παραπάνω διεθνείς συνθήκες, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται και εντεινόμενες προσπάθειες ρύθμισης θεμάτων σχετικών με τη ναυτιλία και σε περιφερειακό επίπεδο με πρώτο παράδειγμα την Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία έχει αναπτύξει δραστηριότητα για τη ρύθμιση διαφόρων θεμάτων που σχετίζονται με τη ναυτιλία.

Επιπλέον, δράση σε θέματα προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τη ρύπανση που προκαλείται από τα πλοία έχουν αναπτύξει και διάφοροι περιφερειακοί οργανισμοί, οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί είτε μέσω του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP - United Nations Environment Programme), είτε ανεξάρτητα από αυτό, με σκοπό την ανάπτυξη από τα παράκτια κράτη συντονισμένης δράσης για την προστασία του περιβάλλοντος των κοινών τους θαλασσών.

Σε εθνικό επίπεδο, κάθε κράτος εφαρμόζει τους δικούς του νόμους οι οποίοι συνήθως μεταφέρουν τους διεθνείς κανονισμούς στην εθνική νομοθεσία, ενώ παράλληλα τους προσαρμόζουν στα δεδομένα και τις ιδιαίτερες ανάγκες του συγκεκριμένου κράτους. Ωστόσο, κάποια κράτη, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ακολουθούν πολλές φορές μια εθνική προσέγγιση για την αντιμετώπιση των θεμάτων της ναυτιλίας και απέχουν συχνά από την υιοθέτηση διεθνών συμβάσεων και κανόνων [11].

## 2.8. Τα Παραρτήματα της MARPOL 73/78

Τα Παραρτήματα της MARPOL 73/78 περιέχουν κανονισμούς σχετικά με:

- I. την αποφυγή ρύπανσης από πετρελαιοειδή
- II. τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς χημικές ουσίες χύδην
- III. την πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται δια θαλάσσης από πλοία σε συσκευασμένη μορφή
- IV. την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από τα λύματα των πλοίων
- V. την αποφυγή ρύπανσης από τα απορρίμματα των πλοίων
- VI. την πρόληψη ρύπανσης του αέρα από πλοία.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα έξι παραρτήματα της MARPOL 73/78, η ημερομηνία που τέθηκαν σε ισχύ και ο αριθμός κρατών της παγκόσμιας ναυτιλίας που τα έχουν επικυρώσει [12].

Παράρτημα MARPOL 73/78	Ημερομηνία που τέθηκε σε ισχύ	Αριθμός κρατών που το έχουν επικυρώσει
I/II	2/10/1983	153
III	1/7/1992	141
IV	27/9/2003	134
V	31/12/1988	147
VI	19/5/2005	80

Πίνακας 6. Η ημερομηνία που τέθηκαν σε ισχύ τα έξι παραρτήματα της MARPOL 73/78.

Οι λόγοι για τους οποίους τα κράτη επωφελούνται από την υιοθέτηση της MARPOL περιλαμβάνουν :

- το ενδιαφέρον για την προστασία του περιβάλλοντος για τις θαλάσσιες περιοχές της δικαιοδοσίας τους
- πλεονεκτήματα για τους πλοιοκτήτες του κράτους (παγκόσμια αποδοχή των πλοίων τους)
- πλεονεκτήματα για τα λιμάνια του κράτους (παρέχονται μέσα για τον έλεγχο της ρύπανσης)
- ενδιαφέρον για το παγκόσμιο περιβάλλον

Αυτό συμβαίνει διότι η MARPOL 73/78 ενέχει υποχρεώσεις για τα μέλη της αλλά παράλληλα παρέχει και προνόμια. Τα μέλη αποδέχονται την υποχρέωση να μη ρυπαίνουν

τη θάλασσα και ως ανταπόδοση έχουν το προνόμιο να μη ρυπαίνονται τα νερά τους από πλοία άλλων μελών. Επιπλέον, αν η ρύπανση λάβει χώρα εντός των υδάτων της δικαιοδοσίας τους, δικαιούνται να διώξουν τους ρυπαντές βάσει των κανόνων της MARPOL. Ένα μη μέλος της MARPOL δεν έχει την υποχρέωση να θέσει περιορισμούς στα πλοία του και γι' αυτό τα πλοία του δεν μπορούν να διωχθούν για μη συμμόρφωση, εκτός και αν βρεθούν στα ύδατα κράτους μέλους της MARPOL. Από την άλλη πλευρά, αν τα νερά του κράτους μη μέλους ρυπανθούν, δεν έχει το δικαίωμα να επικαλεστεί τη MARPOL για να διώξει το ρυπαντή [13,14].

### **Παράρτημα Ι: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο.**

Το Παράρτημα Ι της MARPOL αφορά τα πλοία όλων των τύπων. Η ευθύνη εφαρμογής των κανονισμών του Παραρτήματος Ι βαρύνει τις κυβερνήσεις και τις λιμενικές αρχές, τους πλοιοκτήτες, τους φορτωτές, τους παραλήπτες φορτίων, το προσωπικό του πλοίου και ιδιαίτερα τον πλοίαρχο και τους αξιωματικούς.

Ο γενικός κανόνας που ισχύει στο Παράρτημα Ι της MARPOL είναι ότι οι απορρίψεις πετρελαίου στη θάλασσα απαγορεύονται, εκτός αν πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις όπως 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 .

### **Παράρτημα ΙΙ: Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύδην**

Το Παράρτημα ΙΙ της MARPOL 73/78 εκθέτει λεπτομερώς τα κριτήρια απόρριψης και τα μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες που μεταφέρονται χύδην. Οι ουσίες αυτές περιλαμβάνουν κάθε υγρό που μεταφέρεται χύδην και δεν πληροί τον ορισμό για πετρελαιοειδή του Παραρτήματος Ι της MARPOL. Συνεπώς, στο Παράρτημα ΙΙ δεν περιλαμβάνεται το πετρέλαιο και τα προϊόντα του, για τα οποία υπάρχουν προβλέψεις στο Παράρτημα Ι. Μέσω του Παραρτήματος ΙΙ της MARPOL 73/78 οι επιβλαβείς ουσίες κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό κινδύνου για το θαλάσσιο περιβάλλον, ενώ παράλληλα τίθενται και οι προδιαγραφές για τις απορρίψεις τους στο θαλάσσιο περιβάλλον.

### **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 Παράρτημα IV είναι πολύ σημαντικό, διότι τόσο οι επιβάτες όσο και το πλήρωμα ενός πλοίου παράγουν λύματα οικιακής μορφής και στην περίπτωση των κρουαζιερόπλοιων σε μεγάλες ποσότητες. Σύμφωνα με τους όρους του Παραρτήματος IV, ως λύματα ορίζονται οι αποχετεύσεις και άλλα απόβλητα από όλους τους τύπους των τουαλετών, ουρητηρίων και WC, οι αποχετεύσεις από χώρους ιατρείων (φαρμακεία, νοσοκομεία) μέσω νιπτήρων, λουτήρων και των αποχετεύσεων αυτών, οι αποχετεύσεις από χώρους όπου υπάρχουν ζώντα ζώα και κάθε άλλο απόβλητο που περιέχει κάποια από τις ανωτέρω αποχετεύσεις. Οι απορρίψεις λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον δημιουργούν προβλήματα υγείας στους ανθρώπους λόγω της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών στα λύματα, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην εξάντληση του οξυγόνου της θάλασσας και στην επικράτηση αναερόβιων συνθηκών, με αποτέλεσμα την έκλυση δύσσομων και επικίνδυνων αερίων (π.χ. υδρόθειο -  $H_2S$  και αμμωνία -  $NH_3$ ). Γενικά, θεωρείται ότι στην ανοιχτή θάλασσα τα λύματα αραιώνονται σε ικανό βαθμό και τα βακτήρια διασπών αερόβια την οργανική ύλη των αποβλήτων και τα εξαφανίζουν. Έτσι απαγορεύεται η απόρριψη λυμάτων σε κοντινή απόσταση από την ξηρά (3 ή 12 ναυτικά μίλια, ανάλογα με το σύστημα επεξεργασίας που διαθέτει το πλοίο). 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 :

- Όταν το πλοίο διαθέτει εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, αυτή ικανοποιεί τις λειτουργικές απαιτήσεις που βασίζονται στα πρότυπα και τις μεθόδους δοκιμής που αναπτύσσονται από τον Οργανισμό.
- Όταν το πλοίο διαθέτει σύστημα πολτοποίησης και απολύμανσης των λυμάτων, αυτό θα είναι εγκεκριμένου τύπου από την Αρχή.
- Όταν το πλοίο διαθέτει δεξαμενή συγκράτησης, η χωρητικότητά της θα 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.
- Το πλοίο εξοπλίζεται με σωλήνωση που καταλήγει στο εξωτερικό, κατάλληλη για παράδοση λυμάτων σε εγκαταστάσεις υποδοχής και ότι η σωλήνωση αυτή διαθέτει πρότυπο σύνδεσμο ξηράς.

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

Οι επιβάτες και τα πληρώματα των πλοίων παράγουν καθημερινά σημαντικές ποσότητες απορριμμάτων (στερεών αποβλήτων), όπως υπολείμματα τροφών, κουτιά, σακούλες, πλαστικά κ.λπ. Η σωστή διαχείριση των απορριμμάτων αυτών ώστε να μην καταλήγουν στη θάλασσα και στις ακτές θεωρείται απολύτως απαραίτητη για την προστασία της παράκτιας ζώνης. Το Παράρτημα V τέθηκε σε ισχύ το 1988 και τα επόμενα χρόνια δέχτηκε διάφορες προσθήκες και τροποποιήσεις. Την 1η Ιανουαρίου 2013 τέθηκε σε ισχύ το αναθεωρημένο Παράρτημα V της MARPOL 73/78, το οποίο ελαχιστοποιεί τις επιτρεπόμενες απορρίψεις στη θάλασσα απορριμμάτων που δημιουργούνται από τη συνήθη λειτουργία και συντήρηση του πλοίου.

#### **Παράρτημα VI : Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία**

Στο πλαίσιο του νέου πρωτοκόλλου στη σύμβαση της MARPOL 73/78, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ενέκρινε το 1997 παράρτημα (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, μεταξύ των λοιπών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται ρυθμίσεις, υπό μορφή κανονισμών, 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)

## **2.8.1. Βασικοί κανονισμοί του παραρτήματος VI της MARPOL**

### **Κανονισμός 5 του παραρτήματος VI : Επιθεωρήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών**

Το Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα, εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία, σύμφωνα με τις επί μέρους απαιτήσεις. Σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 τόνων και άνω και σε κάθε μόνιμη και πλωτή εγκατάσταση εξόρυξης πετρελαίου και σε άλλες πλατφόρμες, διενεργούνται οι ακόλουθες επιθεωρήσεις :

- a) Αρχική επιθεώρηση : διενεργείται πριν το πλοίο τεθεί σε λειτουργία ή πριν την αρχική έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα.
- b) Περιοδικές επιθεωρήσεις : διενεργούνται σε χρόνο που καθορίζεται από την Αρχή χωρίς να υπερβαίνουν τα πέντε έτη.
- c) Τουλάχιστον μια ενδιάμεση επιθεώρηση : στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα μόνο μια τέτοια επιθεώρηση κατά τη διάρκεια των πέντε ετών, αυτή θα πραγματοποιείται μέσα σε χρονικό διάστημα έξι μηνών πριν ή μετά την ημερομηνία του μέσου της περιόδου αυτής (6 μήνες πριν ή μετά τα 2.5 έτη).

Οι παραπάνω επιθεωρήσεις πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα, τα εξαρτήματα, οι διατάξεις και τα υλικά συμμορφώνονται πλήρως με τις εφαρμοζόμενες απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών και είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Οι επιθεωρήσεις των υπόχρεων πλοίων γίνονται είτε από επιθεωρητές της Αρχής, είτε από αναγνωρισμένους οργανισμούς. Τέλος, για οποιοδήποτε αλλαγές στον εξοπλισμό, στα συστήματα, στα εξαρτήματα, στις διατάξεις ή στα υλικά που καλύπτονται από την επιθεώρηση, απαιτείται η προηγούμενη έγκριση της Αρχής.

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

Κάθε πλοίο μικτού βάρους άνω των 400 τόνων θα πρέπει να έχει IAPPC, το οποίο θα έχει χορηγηθεί κατά τα τρία πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου και θα συνοδεύεται από

μετάφραση στα Αγγλικά, Γαλλικά ή Ισπανικά. Το IAPPC εκδίδεται είτε από την Αρχή, είτε από αναγνωρισμένο οργανισμό.

### **Κανονισμός 13 του παραρτήματος VI : 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, επιτρέπεται εφόσον οι εκπομπές NOx βρίσκονται μεταξύ των ακόλουθων ορίων :

- 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

όπου n = η ονομαστική ταχύτητα της μηχανής (περιστροφές στροφαλοφόρου ανά λεπτό).

Επίσης η λειτουργία μιας μηχανής πετρελαίου επιτρέπεται όταν λειτουργεί και ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο σύμφωνα με 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 του παραρτήματος VI : Οξείδια του θείου (SOx)**

Με τον κανονισμό αυτό καθιερώνεται ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καύσιμου πετρελαίου, το 4.5% κατά βάρος. Αυστηρότερες απαιτήσεις ισχύουν για τα πλοία που κινούνται εντός περιοχών ελέγχου των εκπομπών SOx. Σημειώνεται, ότι για την είσοδο του πλοίου σε περιοχή ελέγχου των εκπομπών SOx θα καταγράφονται τα στοιχεία που αφορούν στον όγκο του καυσίμου πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (μικρότερης ή ίσης του 1.5% κ.β. σε περιεχόμενο θείο) σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία εναλλαγής του καυσίμου. Ενδεικτικά σημειώνεται ότι η σχετική εγγραφή μπορεί να γίνεται στο ημερολόγιο της γέφυρας ή της μηχανής του πλοίου.

Τον Απρίλιο του 2008 η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ενέκρινε τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία. Οι βασικές αλλαγές είναι στη σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων θείου (SO<sub>x</sub>) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο του θείου στα καύσιμα των πλοίων να μειώνεται αρχικά σε 3.5% (κ.β.), από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σε 0.5 % (κ.β.), από την 1η Ιανουαρίου 2020. Επίσης τα όρια περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα των πλοίων θα είναι 0.1 % εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020.

### **Κανονισμός 15 του παραρτήματος VI : 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.

## **2.9. Διεθνείς κανονισμοί για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και περιοχές ελέγχου των εκπομπών**

Η ναυτιλιακή βιομηχανία αντιμετωπίζει την πρόκληση να εισάγει νέες τεχνολογίες και επιχειρησιακές πρακτικές, ώστε να συμμορφωθεί με αυστηρότερους διεθνείς, περιφερειακούς, εθνικούς και τοπικούς κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών καυσαερίων από τα πλοία. Οι εκπομπές των καυσαερίων έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον ανθρώπινο οργανισμό όπως προαναφέρθηκε. Διάφορες οργανώσεις όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO - International Maritime Organization), η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU - European Union), η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA - Environmental Protection Agency), η Επιτροπή Αέριων Πόρων της Καλιφόρνια (CARB - California Air Resources Board), η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας (PRC - People's Republic of China) και η Κυβέρνηση του Χόνγκ Κόνγκ έχουν θεσπίσει διάφορους κανονισμούς για τη μείωση των ρύπων από τα πλοία.



Ένας από τους πιο κρίσιμους κανονισμούς είναι εκείνος που αφορά τη μείωση των εκπομπών οξειδίου του θείου (SOx) που προέρχονται από τα καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο που χρησιμοποιούνται από τα πλοία. Οι σχεδιαστές πλοίων, οι πλοιοκτήτες καθώς και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων πρέπει να διαλέξουν μια από τις ακόλουθες λύσεις ώστε να συμμορφωθούν με τη νομοθεσία σχετικά με την εκπομπή οξειδίων του θείου (SOx) :

- Χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο στον υπάρχον εξοπλισμό
- Εγκατάσταση νέων μηχανών ή μετατροπή των υφιστάμενων μηχανών, αν αυτό είναι εφικτό, οι οποίες θα λειτουργούν με υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG-Liquefied Natural Gas) το οποίο αποτελεί ένα καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.
- Εγκατάσταση συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων (EGCS-Exhaust Gas Cleaning System)

### **2.9.1. Κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO-International Maritime Organization)**

Η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC - Marine Environment Protection Committee) του IMO ενέκρινε το πρωτόκολλο του 1997 στη σύμβαση της MARPOL η οποία προσέθεσε το παράρτημα VI (Annex VI) με τους κανονισμούς για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία όπως προαναφέρθηκε. Το παράρτημα αυτό τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005.

Για τη μείωση των επιβλαβών επιπτώσεων των οξειδίων του θείου τόσο στην ανθρώπινη υγεία, όσο και στην υγεία του περιβάλλοντος, ο κανονισμός 14 του παραρτήματος VI εισήγαγε ένα παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας σε θείο 4.5 % (κ.β.) στα καύσιμα των πλοίων και ένα όριο 1.5 % (κ.β.) σε καθορισμένες περιοχές ελέγχου των εκπομπών SOx (SECA - SOx Emission Control Areas).

Η Βαλτική έγινε μια τέτοια περιοχή (SECA) με το παράρτημα VI, ενώ ακολούθησε η Βόρεια Θάλασσα στις 22 Νοεμβρίου του 2007, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 11. Περιοχές ελέγχου των εκπομπών SO<sub>x</sub> (SECA) της Βαλτικής και της Βόρειας Θάλασσας.[24]

Τον Οκτώβριο του 2008, η 58<sup>η</sup> σύνοδος της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO υιοθέτησε σημαντικές αλλαγές στο παράρτημα VI. Ένα παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας σε θείο 3.5 % στα καύσιμα των πλοίων τέθηκε σε ισχύ την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2012, ενώ εισήχθησαν περαιτέρω μειώσεις στα όρια της περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών SO<sub>x</sub> (SECA). Στις περιοχές αυτές το όριο της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο τέθηκε στο 1 % (κ.β.) την 1<sup>η</sup> Ιουλίου του 2010 και στο 0.1 % (κ.β.) την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2015. Κατά την 70<sup>η</sup> σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO, η οποία πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2016, τα κράτη μέλη συμφώνησαν ότι το παγκόσμιο ανώτατο όριο της περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα θα είναι 0.5 % (κ.β.) και θα τεθεί σε εφαρμογή το 2020. Αυτή η πρόταση στηρίχθηκε σε μελέτες που έδειχναν τη διαθεσιμότητα των καυσίμων που πληρούν αυτές τις προδιαγραφές (0.5 % S). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα όρια της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο [15,16].

Παγκόσμιο όριο		Περιοχές ελέγχου των εκπομπών SO <sub>x</sub> (SECA)	
Ημερομηνία	Θείο %	Ημερομηνία	Θείο %
Αρχικά όρια	4.5	Αρχικά όρια	1.5
1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2012	3.5	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2012	1.0
1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2020	0.5	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2020	0.1

Πίνακας 7. Όρια της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο.

Στο αναθεωρημένο παράρτημα VI περιλαμβάνεται και μια μεταβολή της ορολογίας και των κανονισμών που σχετίζονται με τις παράκτιες περιοχές ελέγχου των εκπομπών αέριων ρύπων με την αναθεώρηση από τις SECA (SO<sub>x</sub> Emission Control Areas) σε ECA (Emission Control Areas). Αυτό προσέθεσε τη διάταξη για τον προσδιορισμό των περιοχών, ως περιοχές ελέγχου όχι μόνο των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), αλλά και των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και των σωματιδίων αιθάλης (PM).

Επί του παρόντος ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) δεν ορίζει όρια για τις εκπομπές σωματιδίων αιθάλης. Στην πραγματικότητα όμως αυτές οι εκπομπές είναι αισθητά μειωμένες λόγω της χρήσης καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ή λόγω της εγκατάστασης άλλων τεχνολογικών μέσων στα πλοία (π.χ. εγκατάσταση συστήματος καθαρισμού καυσαερίων (EGCS-Exhaust Gas Cleaning System)).

Η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC-Marine Environment Protection Committee) του IMO με τα ψηφίσματα MEPC.190 και MEPC.202 προσέθεσαν δύο νέες περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA), εκείνη της Βόρειας Αμερικής και εκείνη των υδάτων της Καραϊβικής συμπεριλαμβανομένου του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων [17,18]. (Σχήμα 12)



Σχήμα 12. Περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) της Βόρειας Αμερικής και των υδάτων της Καραϊβικής.[24]

## **2.10. Περιφερειακοί και τοπικοί κανονισμοί για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

### **2.10.1. Ευρωπαϊκή Ένωση**

Εκτός από τους παγκόσμιους και τοπικούς ελέγχους που εφαρμόζονται μέσω του παραρτήματος VI της σύμβασης της MARPOL του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, ισχύουν και οι περιφερειακές απαιτήσεις για τη χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η οδηγία 1999/32/EC για το θείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως τροποποιήθηκε με τις οδηγίες 2005/33/EC και 2009/30/EC επιβάλλει σε όλα τα πλοία να χρησιμοποιούν καύσιμα με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0.1 % κατά μάζα όταν είναι σε αγκυροβολία στα λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η απαίτηση αυτή τέθηκε σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου του 2010. Η οδηγία για το θείο τροποποιήθηκε περαιτέρω με την οδηγία 2012/33/EU ώστε να συμβαδίζει με τους αναθεωρημένους κανονισμούς του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και περιλάμβανε μια μείωση του ορίου του θείου στο 0.5 % (κ.β.) για λειτουργία σε ύδατα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εκτός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών SO<sub>x</sub> (SECAs) αρχής γενομένης από την 1η Ιανουαρίου του 2020 [19,20].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 2016/802/EU η οποία κωδικοποιεί την αρχική οδηγία του 1999 και τις μεταγενέστερες τροποποιήσεις σε έναν ενιαίο κανονισμό. Η οδηγία για το θείο επιτρέπει δοκιμές για την τεχνολογία μείωσης των εκπομπών για μια περίοδο 18 μηνών ή την τοποθέτηση των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων (EGCS), τα οποία ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και παρέχουν μειώσεις εκπομπών ισοδύναμες με τις μειώσεις από την χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (MED-Marine Equipment Directive) 96/98/EC, όπως εγκρίθηκε και αντικαταστάθηκε από την οδηγία 2014/90/EU, έχει αναγνωρίσει την εγκατάσταση επί του σκάφους συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων (EGCS) σύμφωνα με το παράρτημα Α.1/2.10 (σήμερα MED/2.10 σύμφωνα με τον εκτελεστικό κανονισμό της επιτροπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2017/306) ως εξοπλισμό που απαιτεί πιστοποιητικό έγκρισης σύμφωνα με το πρότυπο MED. Επομένως η εγκατάσταση των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων (EGCS) σε πλοία με σημαία των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να πιστοποιούνται με το πρότυπο MED, συνήθως στην ενότητα G, πέραν της υποχρεωτικής πιστοποίησης της MARPOL. Το MED αναφέρεται στις κατευθυντήριες γραμμές του IMO σχετικά με τα συστήματα EGCS (σήμερα MEPC.259) και είναι το ισχύον τεχνικό πρότυπο.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημιουργήσει ορισμένες ομάδες εμπειρογνομόνων στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού φόρουμ για την αειφόρο ναυτιλία (ESSF- European Sustainable Shipping Forum) ώστε να διευκολύνει την εφαρμογή της οδηγίας για το θείο και ιδιαίτερα την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών όπως τα συστήματα EGCS. Η ομάδα που ασχολείται με τα συστήματα EGCS έχει εντολή να εξετάζει όλους τους τομείς που παρεμποδίζουν την εφαρμογή των συστημάτων EGCS και έχει συμβάλει στην αναθεώρηση των υφιστάμενων κανονισμών του IMO ώστε να εξασφαλίζεται μια εναρμονισμένη εφαρμογή των απαιτήσεων. Στο πλαίσιο των προσπαθειών αυτών το φόρουμ ESSF ενθάρρυνε τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να δημοσιεύσουν την πολιτική τους σχετικά με την απόρριψη του νερού έκπλυσης από τα συστήματα EGCS εντός των χωρικών τους υδάτων.

Η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ύδατα (WFD-Water Framework Directive) θέτει στα κράτη μέλη την υποχρέωση συμμόρφωσης με τα πρότυπα ποιότητας των υδάτων. Πολλά κράτη μέλη έχουν μεταβιβάσει αυτήν την ευθύνη σε τοπικούς λιμένες και περιοχές. Η αποδεκτή απόρριψη νερού στο θαλάσσιο περιβάλλον αναφέρεται στο σημείωμα της ημερήσιας διάταξης 6c του φόρουμ ESSF της 26ης Ιανουαρίου του 2016. Από την ημερομηνία αυτής της δημοσίευσης τα ακόλουθα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης απαγορεύουν την απόρριψη νερού από τα συστήματα καθαρισμού οξειδίων του θείου (SOx scrubbers) :

- Γερμανία : Ποτάμια εντός της χώρας και ορισμένα λιμάνια όπως το κανάλι του Kiel
- Βέλγιο : Εντός τριών ναυτικών μιλίων από την ακτή
- Λιθουανία : Περιοχές λιμενικών υδάτων
- Λετονία : Χωρικά ύδατα και λιμάνια

## 2.10.2. Ηνωμένες Πολιτείες

Οι ΗΠΑ έχουν υιοθετήσει το παράρτημα VI της MARPOL μέσω του τίτλου 40 του Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών (CFR-Code of Federal Regulations), Μέρος 1043, ‘Έλεγχος των εκπομπών NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και PM (Particulate Matter) από τους θαλάσσιους κινητήρες’, το οποίο ισχύει για όλα τα πλοία που φέρουν τη σημαία των ΗΠΑ για όπου λειτουργούν καθώς και για πλοία με σημαία άλλης χώρας όταν αυτά λειτουργούν στα ύδατα των ΗΠΑ και στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) των ΗΠΑ. Ωστόσο η χρήση της τεχνολογίας EGCS επιτρέπεται με κάποιες πρόσθετες απαιτήσεις οι οποίες αφορούν τη ρύπανση των υδάτων.

Η Γενική Άδεια Σκάφους των ΗΠΑ (VGP-Vessel General Permit) του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA-Environmental Protection Agency) είναι ένας ξεχωριστός κανονισμός ο οποίος απαιτείται για τη λειτουργία του πλοίου σε απόσταση τριών ναυτικών μιλίων από τις ακτές των ΗΠΑ. Οι απαιτήσεις οριοθετούνται σε γενικές γραμμές από τον IMO. Οι αξιοσημείωτες διαφορές αφορούν την υποχρέωση καταγραφής, παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων για το pH του νερού έκπλυσης. Το pH του νερού έκπλυσης που απορρίπτεται δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 6.0, το οποίο μετράτε κατά την εκφόρτωση του νερού έκπλυσης.

Επίσης εκτός από την περιοχή των τριών ναυτικών μιλίων η Αμερικανική Ακτοφυλακή μπορεί να εξετάσει κατά περίπτωση την υπολογιστική μεθοδολογία υπολογισμού του pH, καθώς και άλλους εμπειρικούς τύπους για την επαλήθευση των κριτηρίων του pH του νερού έκπλυσης που απορρίπτεται από τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων, το οποίο είναι σύμφωνο με την παράγραφο 10.1.2.1.2 των κατευθυντήριων γραμμών του IMO του 2015.

Για την απόρριψη του νερού έκπλυσης από τα συστήματα EGCS (3 ναυτικά μίλια από την ακτή), το πλοίο πρέπει να αποκτήσει άδεια απόρριψης σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA 2013 VGP). Σύμφωνα με το κεφάλαιο 6 του EPA 2013 VGP οι παρακάτω πολιτείες επιβάλλουν πρόσθετους περιορισμούς για την απόρριψη του νερού έκπλυσης :

- Κονέκτικατ : Απαγορεύεται η απόρριψη νερού έκπλυσης των καυσαερίων στα ύδατα του Κονέκτικατ από οποιοδήποτε πλοίο με Γενική Άδεια Σκάφους (VGP) σύμφωνα με το 2013 6.5.9 του VGP.
- Χαβάη : Η αναφορά ειδικών πληροφοριών που αφορούν το σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων πρέπει να είναι σύμφωνη με το 6.7.1 2013 της VGP.

Λόγω των παραπάνω απαιτήσεων του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος, ένα σύστημα EGCS που πληροί τις απαιτήσεις του IMO για την εκκένωση του νερού έκπλυσης των καυσαερίων δεν θα πληροί απαραίτητα και τις απαιτήσεις της Γενικής Άδειας Σκάφους (VGP).

Επιπλέον η περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων που είναι διαθέσιμα για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης των πλοίων στις ΗΠΑ και στον εξοπλισμό αυτών, καθορίζεται από το ρυθμιστικό πρόγραμμα μηχανολογικού εξοπλισμού του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος. Το πρόγραμμα αυτό αποσκοπεί στη ρύθμιση της προσφοράς των διαθέσιμων καυσίμων, με απότερο σκοπό τη μείωση του επιπέδου του θείου στα καύσιμα και στην τελική χρήση ενός πετρελαίου με εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (ULSD-Ultra-Low Sulfur Diesel) με όριο τα 15 ppm (0.0015 %) επιτρέποντας έτσι τον έλεγχο των εκπομπών.

Επί του παρόντος το πρόγραμμα καυσίμων πετρελαίου του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος περιορίζει την παραγωγή και πώληση καυσίμων που περιέχουν 1000 ppm (0,1%) θείο για χρήση σε πλοία με κινητήρες της κατηγορίας 3.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονιστούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τόσο οι σχεδιαστές πλοίων, όσο και οι πλοιοκτήτες κατά τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των μηχανών οι οποίες θα βρεθούν αντιμέτωπες με τους διεθνείς και τους περιφερειακούς κανονισμούς. Εκτός από τους ομοσπονδιακούς κανονισμούς τα πλοία πρέπει να συμμορφώνονται και με τους κρατικούς κανονισμούς.

Σε κάποιες μεμονωμένες πολιτείες των ΗΠΑ έχουν οριστεί πρόσθετα όρια εκπομπών. Για παράδειγμα στην Καλιφόρνια, για τα υπερωκεάνια που πλέουν εντός των υδάτων της Καλιφόρνιας, καθώς και σε απόσταση 24 μιλίων από τις ακτές της, έχει εφαρμοστεί από τον Ιούλιο του 2009 να χρησιμοποιούν καθαρότερο καύσιμο το οποίο είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο τόσο στους κύριους κινητήρες, όσο και στους βοηθητικούς κινητήρες και τους βοηθητικούς λέβητες.

Είχαν γίνει κάποιες τροποποιήσεις ώστε να συμβαδίζουν οι απαιτήσεις στην Καλιφόρνια για τα υπερωκεάνια, με εκείνες της περιοχής ελέγχου εκπομπών της Βόρειας Αμερικής (North American ECA), συμπεριλαμβανομένης της απαίτησης για περιεκτικότητα 1.0 % σε θείο

στα καύσιμα που θα ίσχυε από την 1η Αυγούστου του 2012. Αυτές οι αλλαγές τροποποιήθηκαν περαιτέρω στις 23 Ιουνίου του 2011, επεκτείνοντας την ημερομηνία έναρξης της ισχύος για τη φάση II κατά δύο έτη, δηλαδή μέχρι την 1η Ιανουαρίου του 2014 όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί (οι όροι DMA και DMB αναφέρονται σε ονομασίες αποσταγμάτων καυσίμου). Οι κανονισμοί του συμβουλίου αέριων πόρων της Καλιφόρνια (CARB-California Air Resource Board) δεν επιτρέπουν τη χρήση καυσίμων με περιεκτικότητα σε θείο μεγαλύτερη του 0.1 % (κ.β.) για πλεύση στα ύδατα της Καλιφόρνια.

Απαίτηση Καυσίμου	Ημερομηνία εφαρμογής	Τα όρια περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα για τα υπερωκεάνια στην Καλιφόρνια
Φάση I	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2000	Marine gas oil (DMA) μέχρι 1.5 % Marine diesel oil (DMB) μέχρι 0.5 %
	1 <sup>η</sup> Αυγούστου 2012	Marine gas oil (DMA) μέχρι 1.0 % Marine diesel oil (DMB) μέχρι 0.5 %
Φάση II	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2014	Marine gas oil (DMA) μέχρι 0.1 % Marine diesel oil (DMB) μέχρι 0.1 %

Πίνακας 8. Οι απαιτήσεις καυσίμου για τα υπερωκεάνια του συμβουλίου αέριων πόρων της Καλιφόρνια (CARB).

Επιπλέον οι απορροφητές οξειδίων του θείου (SOx scrubbers) δεν μπορούν να απαλλάξουν τα υπερωκεάνια από τη χρήση αποσταγμάτων καυσίμων με τις συγκεκριμένες περιεκτικότητες σε θείο (0.1 %). Υπάρχει βέβαια μια εξαίρεση για πλοία που χρησιμοποιούνται σε ερευνητικά προγράμματα σύμφωνα με την ανακοίνωση 2017-1. Αυτή η εξαίρεση είναι πολύ περιορισμένη, επιτρέποντας τη χρήση μη συμμορφούμενων καυσίμων (π.χ. βαρύ μαζούτ με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο) όταν είναι απαραίτητη η επιχείρηση ενός τέτοιου πλοίου σε κάποιο ερευνητικό πρόγραμμα. Για παράδειγμα ένα ερευνητικό έργο θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη δοκιμή εκπομπών μια καινούριας σχεδίασης μιας πλυντρίδας (new design scrubber) με καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Σε αυτό το παράδειγμα η χρήση καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο θα επιτρέπεται μόνο κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Μετά το πέρας των δοκιμών το πλοίο θα πρέπει και πάλι να χρησιμοποιεί καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο 0.1 % (κ.β.) (εκτός και αν η συσκευή καθαρισμού των οξειδίων του θείου λειτουργεί σωστά). Για την πραγματοποίηση τέτοιων δοκιμών θα πρέπει οι χειριστές των πλοίων να υποβάλλουν αίτηση τουλάχιστον 30 ημέρες πριν από την είσοδό τους στα οριοθετημένα ύδατα της Καλιφόρνια ώστε να λάβουν έγκριση για το σχέδιό τους υπό τη μορφή εκτελεστικής εντολής. Επίσης κατά τη διάρκεια της περιόδου των δοκιμών το πλοίο θα πρέπει να υποβάλλει ετήσιες εκθέσεις προόδου οι οποίες θα περιέχουν τυχόν τροποποιήσεις του πλοίου καθώς και αποτελέσματα των δοκιμών στον



εκτελεστικό διευθυντή. Μετά το πέρας του έργου, πρέπει να παρέχονται όλα τα επίσημα δεδομένα και τα αποτελέσματα των δοκιμών σε τελική μορφή στον εκτελεστικό διευθυντή, εντός 90 ημερών από τη λήξη της περιόδου της απαλλαγής [21].

### 2.10.3. Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας

Η Κίνα έχει αναπτύξει τοπικούς κανονισμούς για τις εκπομπές των αέριων ρύπων υιοθετώντας ένα σχέδιο με τις περιοχές ελέγχου των εκπομπών, το οποίο εφαρμόζεται στο δέλτα του ποταμού Pearl, στο δέλτα του ποταμού Yangtze και στην περιοχή Bohai Rim στο πλαίσιο της πρόληψης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας στην Κίνα (Σχήμα 13). Οι κανονισμοί ισχύουν για πλοία τα οποία πλέον, αγκυροβολούν και λειτουργούν τόσο εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών, όσο και σε απόσταση 12 ναυτικών μιλίων από τις ακτές. Οι περιοχές του Χονγκ Κονγκ και του Μακάο εξαιρούνται από αυτό το σχέδιο. Επίσης για τα αλιευτικά και τα στρατιωτικά σκάφη δεν ισχύει ο παραπάνω κανονισμός [22].



Σχήμα 13. Περιοχή ελέγχου των εκπομπών στην Κίνα.[24]

Ο παραπάνω κανονισμός επικεντρώθηκε στην εφαρμογή των διεθνών απαιτήσεων και στον έλεγχο των εκπομπών από τα πλοία που βρίσκονται σε αγκυροβολία σε βασικούς λιμένες για περισσότερες από δύο ώρες. Οι απαιτήσεις όμως επεκτάθηκαν και θα προχωρήσουν ως εξής :

- Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2018, τα πλοία που βρίσκονται σε αγκυροβολία σε όλα τα λιμάνια των περιοχών ελέγχου των εκπομπών πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο  $\leq 0.5$  % (κ.β.).

- Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2019, τα πλοία που λειτουργούν στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο  $\leq 0.5$  % (κ.β.).
- Πριν από την 31<sup>η</sup> Δεκέμβρη του 2019, πρέπει να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των παραπάνω μέτρων και να παρθεί μια απόφαση για το αν θα επιβληθούν τα παρακάτω μέτρα :
  - ✓ Τα πλοία που λειτουργούν στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο  $\leq 0.1$  % (κ.β.).
  - ✓ Επέκταση των περιοχών ελέγχου των εκπομπών
  - ✓ Άλλες ενέργειες
- Τα πλοία μπορούν να χρησιμοποιούν ηλεκτρική σύνδεση με τη ξηρά, μετεπεξεργασία καυσαερίων, καθώς και εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση των εκπομπών.

#### **2.10.4. Χόνγκ Κόνγκ – Ειδική Διοικητική περιοχή της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας**

Από την 1<sup>η</sup> Ιουλίου του 2015, ο κανονισμός ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης επιβάλλει στα υπερωκεάνια που πλέουν στην περιοχή του Χόνγκ Κόνγκ να χρησιμοποιούν συμμορφούμενα καύσιμα. Τα συμμορφούμενα καύσιμα ορίζονται από τον κανονισμό ως εκείνα που έχουν περιεκτικότητα σε θείο  $\leq 0.5$  % (κ.β.) ή το υγροποιημένο φυσικό αέριο ή εκείνα τα καύσιμα που έχουν εγκριθεί από τον κανονισμό ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο νέος κανονισμός απαιτεί από τα πλοία τα ακόλουθα :

- Αλλαγή σε συμμορφούμενο καύσιμο εντός μιας ώρας από την άφιξή τους, καθώς και καύση συμμορφούμενου καυσίμου έως και μια ώρα πριν την αναχώρησή τους.
- Καταγραφή των ημερομηνιών και των ωρών της άφιξης και της αναχώρησης του πλοίου, καθώς και των αντίστοιχων της έναρξης και λήξης της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων το συντομότερο δυνατόν μετά από κάθε αλλαγή.
- Να τηρούν αρχεία στο πλοίο για τρία έτη τα οποία θα είναι άμεσα διαθέσιμα προς επιθεώρηση.

Επιπλέον οι καινούριες τεχνολογίες, όπως είναι οι συσκευές καθαρισμού οξειδίων του θείου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την ικανότητά τους να μειώνουν το διοξείδιο του θείου σε επίπεδα τουλάχιστον ίδια με τη χρησιμοποίηση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τα υπερωκεάνια που έχουν εγκατεστημένες τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να εξαιρεθούν από τη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων. Για την είσοδο στα ύδατα του Χόνγκ Κόνγκ ένα τέτοιο σκάφος, στο οποίο είναι εγκατεστημένα τέτοια συστήματα, θα πρέπει να

κάνει αίτηση 14 ημέρες πριν από την ημερομηνία που το πλοίο θα εισέλθει στο Χονγκ Κονγκ [22].

### **2.10.5. Αυστραλία**

Από την 1<sup>η</sup> Ιουλίου του 2016, όλα τα κρουαζιερόπλοια υποχρεούνται να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ( $\leq 0.1$  % (κ.β.)) σε όλες τις περιοχές, καθώς και στο λιμάνι του Σίδνεϋ. Τα κρουαζιερόπλοια θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο σύμφωνα με το έγγραφο 2015/0695 EPA του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος. Ο πλοιοκτήτης ενός κρουαζιερόπλοιου μπορεί να ζητήσει από τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος να εγκρίνει τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων που θα επιτυγχάνουν εκπομπές οξειδίων του θείου, καθώς και σωματιδίων που είναι ίσες ή χαμηλότερες με τα επίπεδα των εκπομπών σε περίπτωση που το πλοίο χρησιμοποιούσε καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Μέχρι όμως να χορηγηθεί αυτή η έγκριση τα κρουαζιερόπλοια θα πρέπει να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν καύσιμα με αποδεκτά όρια περιεκτικότητας σε θείο.

### **2.10.6. Ταϊβάν**

Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2019, τα πλοία που φέρουν είτε σημαία εξωτερικού, είτε σημαία της Ταϊβάν, πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ( $\leq 0.5$  % (κ.β.)) ή εξοπλισμό ή εναλλακτικά καύσιμα που επιτυγχάνουν ισοδύναμο αποτέλεσμα της μείωσης των εκπομπών κατά την είσοδο σε λιμένες ή τερματικούς σταθμούς που ανήκουν στη Δημοκρατία της Κίνας.

## **Κεφάλαιο 3° Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων**

### **3.1. Γενικά**

Η πλυντρίδα (scrubber) είναι μια συσκευή που εγκαθίσταται στο σύστημα εξάτμισης μετά τον κινητήρα ή τον λέβητα και επεξεργάζεται τα καυσαέρια με μια ποικιλία ουσιών όπως είναι το θαλασσινό νερό, το γλυκό νερό μετά από μια χημική επεξεργασία ή ξηρές ουσίες με στόχο την απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) και των αιωρούμενων σωματιδίων από τα καυσαέρια. Μετά τη διέλευση από αυτά τα συστήματα (scrubbers), τα επεξεργασμένα καυσαέρια απομακρύνονται στην ατμόσφαιρα. Όλες οι τεχνολογίες καθαρισμού των καυσαερίων δημιουργούν απόβλητα στα οποία περιέχεται η ουσία που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των καυσαερίων, αιωρούμενα σωματίδια και οξείδια του θείου. Πολλές φορές λοιπόν οι πλυντρίδες αναφέρονται και ως συστήματα αποθείωσης.

### **3.2. Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων υγρού τύπου (Wet Scrubbers)**

Τα καυσαέρια διέρχονται εντός υγρού μέσου προκειμένου να απομακρυνθούν οι χημικές ενώσεις των οξειδίων του θείου από το καυσαέριο μέσω μιας χημικής αντίδρασης με το υγρό πλύσης. Τα συστήματα αποθείωσης διακρίνονται σε ανοιχτού βρόχου και σε κλειστού βρόχου. Τα υβριδικά συστήματα προσφέρουν συνδυασμό των δυο μεθόδων καθαρισμού. Τα πιο συνηθισμένα υγρά καθαρισμού είναι το μη-επεξεργασμένο θαλασσινό νερό και το χημικά επεξεργασμένο γλυκό νερό.

Στη λειτουργία των συστημάτων ανοιχτού βρόχου το νερό προέρχεται και εκκενώνεται από και προς το εξωτερικό του πλοίου και διέρχεται μέσω του πύργου. Το νερό που χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα πρέπει γενικά να είναι θαλασσινό νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο. Στις πλυντρίδες κλειστού βρόχου χρησιμοποιείται κυρίως γλυκό νερό με εξαίρεση κάποια συστήματα κλειστού βρόχου τα οποία χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό. Τα συστήματα κλειστού βρόχου χρησιμοποιούν κάποια πρόσθετα (NaOH) τα οποία αντιδρούν με το νερό πλύσης σε κάθε διέλευση από τον πύργο πλύσης (scrubbing tower) με αποτέλεσμα να καθαρίζουν το νερό πριν την κάθε ανακυκλοφορία εντός του κλειστού βρόχου. Επίσης για τη διατήρηση των αποτελεσματικών επιπέδων νερού και τη σωστή χημική σύνθεση προστίθενται είτε θαλασσινό νερό, είτε γλυκό νερό, είτε πρόσθετα με βάση το σχεδιασμό του εκάστοτε συστήματος. Τέλος, λόγω των περιορισμών εκκένωσης του νερού πλύσης που καθορίζονται από τον IMO και από διάφορες

περιφερειακές και τοπικές ομοσπονδίες, θα πρέπει να μετρηθεί το pH του νερού πριν από την εκφόρτωση, καθώς και η θολότητα και η συγκέντρωση σε πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

### **3.2.1. Διαδικασία καθαρισμού από σύστημα αποθείωσης υγρού τύπου**

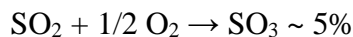
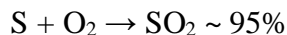
Όλα τα συστήματα αποθείωσης υγρού τύπου λειτουργούν χρησιμοποιώντας τις ίδιες βασικές χημικές διεργασίες, παρόλο που μπορεί να υπάρχουν σημαντικές διαφορές τόσο στο σχεδιασμό τους, όσο και στο υγρό μέσο που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Ο στόχος είναι να διαλύονται τα υδατοδιαλυτά αέρια, που περιέχονται στα καυσαέρια, με ανάμιξη του καυσαερίου με το υγρό καθαρισμού. Η ανάμιξη γίνεται κυρίως με ψεκασμό του νερού στα καυσαέρια. Κάποια συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων αποτελούνται από πολλά επίπεδα διαφόρων υλικών και σχημάτων και μέσα από αυτά διέρχεται το νερό προς τα κάτω με αποτέλεσμα την ανάμιξη με τα καυσαέρια.

Άλλες πλυντρίδες έχουν μια δομή τύπου πύργου με ακροφύσια ψεκασμού και διαφράγματα με σκοπό τη δημιουργία ενός τυρβώδους περιβάλλοντος και τελικό στόχο την ανάμιξη των δυο ρευμάτων (καυσαερίου-νερού). Σε όλα τα συστήματα αποθείωσης υγρού τύπου, η πρόθεση είναι να μεγιστοποιηθεί η επιφάνεια επαφής του υγρού με τα καυσαέρια έτσι ώστε να γίνει η απορρόφηση των οξειδίων του θείου από το υγρό χωρίς να περιορίζεται υπερβολικά η ροή των καυσαερίων και χωρίς να υπερβαίνονται τα όρια υποπίεσης των καυσαερίων του κινητήρα ή του λέβητα. Μόλις τα οξείδια του θείου αναμιχθούν με το υγρό λαμβάνουν χώρα διάφορες χημικές αντιδράσεις που εξαρτώνται από τη χημεία του υγρού. Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να παρέχεται αλκαλικό υγρό το οποίο εξουδετερώνει τα όξινα συστατικά των οξειδίων του θείου.

Τα οξείδια του θείου SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub>) είναι υδατοδιαλυτά. Μόλις διαλυθούν αυτά τα αέρια σχηματίζουν ισχυρά οξέα που αντιδρούν με τη φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού ή με την αλκαλικότητα που προέρχεται από τις πρόσθετες ουσίες (υδροξείδιο του νατρίου) σχηματίζοντας διαλυτό άλας θειικού νατρίου το οποίο βρίσκεται στον ωκεανό.

Επιπλέον τα αιωρούμενα σωματίδια των καυσαερίων παγιδεύονται στο νερό έκπλυσης με αποτέλεσμα να παράγεται ιλύς στα απόβλητα των συστημάτων καθαρισμού. Πριν από την εκφόρτωση του νερού πλύσης και της ιλύς, αυτά πρέπει να επεξεργαστούν περαιτέρω σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του IMO 2015 ή αποθηκεύονται και απορρίπτονται σε εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων.

## Χημεία καυσαερίων κινητήρα



### Αντιδράσεις οξειδίων του θείου σε μια πλυντρίδα (SO<sub>x</sub> Reactions in a Scrubber)



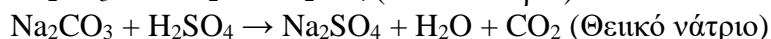
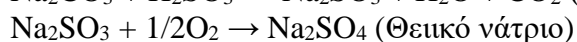
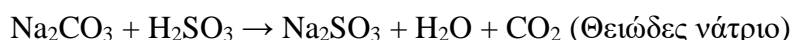
Τα αέρια του θείου στο νερό βρίσκονται σε κατάσταση οξειάς οξείδωσης. Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) που διαλύεται στο νερό και σχηματίζει το θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Επίσης το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), κατά την διάλυσή του στο νερό σχηματίζει το θειώδες οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) το οποίο με τη σειρά του διασπάται ταχέως για να σχηματίσει το διθειικό ιόν HSO<sub>3</sub> που οξειδώνεται σε θειικό.

Σε μια πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό, το νερό θα αντιδράσει με τα οξείδια του θείου και θα παραχθεί κυρίως νάτριο, καθώς και θειικό ασβέστιο και θειώδη άλατα. Όταν το πλοίο λειτουργεί σε αλκαλικά ποτάμια ή εκβολές ποταμών, περιοχές στις οποίες περιέχονται ασβέστιο ή άλλα άλατα, μπορεί να σχηματιστούν θειικό ασβέστιο ή άλλα θειώδη άλατα στο νερό έκπλυσης. Επίσης, αφού υπάρχει πάντα ελεύθερο οξυγόνο στα καυσαέρια, από τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) θα σχηματιστούν θειικά ιόντα (SO<sub>4</sub>) από τα θειώδη (SO<sub>3</sub>). Όπου το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) οξειδώνεται περαιτέρω, τα οξείδια του θείου μπορούν να παράξουν θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Δεδομένου ότι τα φυσικά αλκαλικά ρυθμιστικά άλατα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στις αντιδράσεις, το pH του νερού έκπλυσης θα μειωθεί. Επιπρόσθετα η πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει τη συμπύκνωση των άκαυστων υδρογονανθράκων με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερων σωματιδίων στο ρεύμα των καυσαερίων. Αυτά τα σωματίδια συνδυάζονται και αναμιγνύονται εντός της πλυντρίδας έτσι ώστε να σχηματιστούν απόβλητα που περιέχουν μεγαλύτερα σωματίδια.

Στα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων κλειστού βρόχου, στο νερό έκπλυσης προστίθεται αλκαλική ουσία, συνήθως υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), ή καυστική σόδα όπως είναι πιο γνωστό, με σκοπό τη δημιουργία του κατάλληλου επιπέδου αλκαλικότητας στο νερό έκπλυσης. Στα συστήματα αυτά κάποια από τα απόβλητα απομακρύνονται περιοδικά ενώ ταυτόχρονα προστίθεται είτε γλυκό νερό, είτε αλμυρό νερό για τη διατήρηση της σωστής χημείας καθώς και για την εκχύλιση του παραγόμενου άλατος θειικού νατρίου (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) [23].

### 3.3. Πλυντρίδες ανοιχτού βρόχου (Open loop scrubbers)

Τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιούν το θαλασσινό νερό ως μέσο καθαρισμού όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Το θαλασσινό νερό τροφοδοτείται κανονικά από μια ειδική αντλία. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) διαλύεται στο θαλασσινό νερό σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ, καθώς και διττανθρακικά ή ανθρακικά ιόντα. Τα θετικά ιόντα μπορεί να είναι του ασβεστίου ή του νατρίου. Στη συνέχεια φαίνεται ένα παράδειγμα της διάσπασης του ανθρακικού άλατος του νατρίου, όπου παρατηρείται ότι όταν ένα ανθρακικό ή διττανθρακικό ιόν αντιδρά με ένα οξύ, απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).



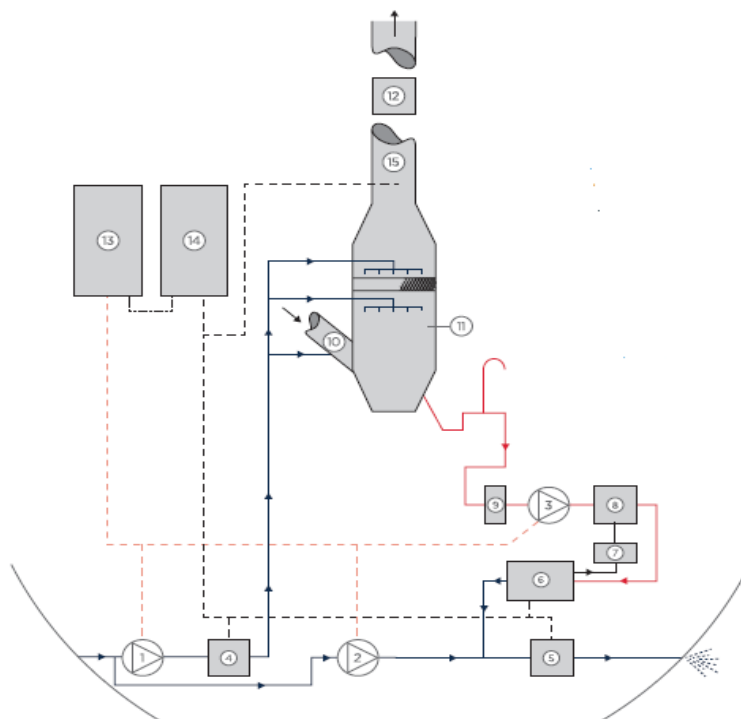
Κάθε κατασκευαστής συστημάτων ελέγχου των εκπομπών ακολουθεί τις δικές του τεχνικές στον τρόπο με τον οποίο η πλυντρίδα αναμιγνύει τα καυσαέρια με το νερό. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μια πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου είναι αποτελεσματική μόνο όταν το νερό που χρησιμοποιείται είναι αλκαλικό. Ωστόσο, μερικά ύδατα ποταμών είναι «σκληρά» ύδατα με σημαντική αλκαλικότητα που μερικές φορές είναι μεγαλύτερη και από εκείνη του θαλασσινού νερού. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα συστήματα καθαρισμού ανοιχτού βρόχου να λειτουργούν και σε κάποιους ποταμούς, καθώς και λιμάνια. Συνεπώς, η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος καθαρισμού ανοιχτού βρόχου εξαρτάται από τη χημεία του νερού στο οποίο το πλοίο λειτουργεί. Οι περιοχές στις οποίες θα λειτουργεί το πλοίο θα πρέπει να εξεταστούν κατά το στάδιο του σχεδιασμού, καθώς και κάθε φορά που το πλοίο θα επιλαγεί για να λειτουργήσει σε νέες περιοχές. Εάν το νερό δεν είναι αλκαλικό (το pH του είναι πολύ μικρό), το σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων δεν θα λειτουργεί στην επιθυμητή απόδοση με αποτέλεσμα να μην πληρούνται τα επιθυμητά επίπεδα εκπομπών. Έτσι ο φορέας εκμετάλλευσης του πλοίου θα πρέπει να χρησιμοποιήσει συμμορφούμενα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς εκπομπών οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>). Όταν λάβει χώρα η βασική διεργασία καθαρισμού στον κύριο πύργο καθαρισμού, το μίγμα των καυσαερίων περνά από τον αποστραγγιστή ή διαχωριστή των σταγονιδίων του νερού για την απομάκρυνση των σωματιδίων του νερού από το αέριο. Αυτή η διαδικασία μειώνει την παραγωγή του ατμού στο σύστημα εξάτμισης. Αυτό είναι επωφελές, καθώς παρόλο που ο ατμός στα καυσαέρια είναι αβλαβής, δημιουργεί την εμφάνιση καπνού στην εξάτμιση και πρέπει να αποφεύγεται.

Το μίγμα του νερού που παράγεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθαρισμού πέφτει σε ένα δοχείο στο κάτω μέρος της συσκευής καθαρισμού. Αυτό το νερό έκπλυσης απομακρύνεται από το δοχείο συλλογής είτε με τη βοήθεια της βαρύτητας, είτε με τη βοήθεια

αντλίας αφού πρώτα περάσει από ένα σύστημα εξαέρωσης. Στη συνέχεια αυτό το νερό εξετάζεται αν πληροί τα κριτήρια ποιότητας των υδάτων και είναι κατάλληλο προς απόρριψη στο θαλάσσιο περιβάλλον και έπειτα εκφορτώνεται. Στις περισσότερες περιπτώσεις το pH του νερού έκπλυσης μπορεί να ρυθμιστεί αραιώνοντας με το ψυχρό θαλασσινό νερό για τη μείωση των όξινων ουσιών του. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι διάφοροι τοπικοί και εθνικοί κανονισμοί περιορίζουν την ποσότητα του νερού έκπλυσης από μια πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου. Σε κάποιες περιοχές στις οποίες ισχύουν αυστηρότερες απαιτήσεις για την ποιότητα του νερού έκπλυσης που εκφορτώνεται, μπορεί να γίνει περαιτέρω επεξεργασία με την εγκατάσταση εξοπλισμού, όπως υδροκυκλώνες ή διαχωριστές για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων από το νερό έκπλυσης. Τα υπολείμματα αυτά συνήθως περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια (PM), τέφρα και βαρέα μέταλλα τα οποία αφαιρούνται από τα καυσαέρια, καθώς και αδιάλυτο θειικό ασβέστιο και λάσπη και πρέπει να διατηρούνται επί του πλοίου και να φυλάσσονται σε ειδικές δεξαμενές. Η παράγραφος 16 του παραρτήματος VI της MARPOL απαγορεύει την απόρριψη τέτοιων καταλοίπων οπουδήποτε και αυτά πρέπει να απορρίπτονται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις [24].

### Πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου

1. Αντλία παροχής αλμυρού νερού στην πλυντρίδα
2. Αντλία απόρριψης αποβλήτων
3. Αντλία εκροής νερού από την πλυντρίδα
4. Παρακολούθηση αλμυρού νερού
5. Παρακολούθηση των υδάτινων αποβλήτων
6. Διαχωριστής καυσίμου και αιθάλης
7. Δεξαμενή υπολειμμάτων
8. Διαχωριστής ιλύος
9. Μονάδα εξαέρωσης
10. Εισαγωγή καυσαερίων
11. Πλυντρίδα
12. Ανεμιστήρας της εξάτμισης
13. Καμπίνα ελέγχου
14. Καμπίνα παρακολούθησης και συναγερμού
15. Έξοδος καυσαερίων



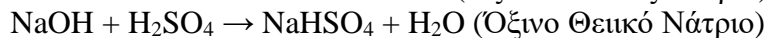
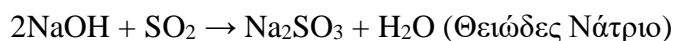
Σχήμα 14. Πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου.[24]



### 3.4. Πλυντρίδες κλειστού βρόχου (closed loop scrubbers)

Στις πλυντρίδες κλειστού βρόχου, κυκλοφορεί επεξεργασμένο νερό εντός του συστήματος για τον καθαρισμό των καυσαερίων, ανεξάρτητα από την ποιότητα των υδάτων στα οποία το πλοίο λειτουργεί. Μια αλκαλική χημική ουσία, συνήθως υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) ή πιο σπάνια οξείδιο του μαγνησίου (MgO), χρησιμοποιείται στα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων ώστε να ρυθμίζεται η αλκαλικότητα του νερού, η οποία μπορεί να επιτευχθεί και με ηλεκτρόλυση του θαλασσινού νερού. Τα εσωτερικά στοιχεία μια πλυντρίδας κλειστού βρόχου είναι σε γενικές γραμμές παρόμοια με μια πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου, ενώ και οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για την αφαίρεση των οξειδίων του θείου είναι και αυτές παρόμοιες. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων είναι ότι σε μια πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου το νερό έκπλυσης πέφτει στη θάλασσα, ενώ σε μια πλυντρίδα κλειστού βρόχου το μεγαλύτερο μέρος του νερού που κυκλοφορεί επεξεργάζεται μετά τον πύργο πλύσης και έτσι καθίσταται κατάλληλο για ανακυκλοφορία εντός του συστήματος. Το νερό πλύσης μπορεί να είναι γλυκό ή αλμυρό ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος καθαρισμού. Σε αυτήν τη διαδικασία επεξεργασίας τα υπολείμματα απομακρύνονται από το νερό έκπλυσης και στο νερό αυτό εισάγεται μια αλκαλική χημική ουσία για να αποκατασταθεί η αλκαλικότητά του πριν επιστρέψει ξανά στον πύργο πλύσης.

Οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι μια πλυντρίδα κλειστού βρόχου απαιτεί τη μισή, ή και λιγότερη, ποσότητα νερού σε σχέση με μια πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου για την υλοποίηση των ίδιων αποτελεσμάτων. Ο λόγος είναι ότι επιτυγχάνονται υψηλότερα επίπεδα αλκαλικότητας στο νερό έκπλυσης, με τον άμεσο έλεγχο του επιπέδου του pH, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της εισαγωγής αλκαλικών χημικών ουσιών. Στις πλυντρίδες που χρησιμοποιούν γλυκό νερό, το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) συνδυάζεται με ένα άλας και συνεπώς δεν αντιδρά με το φυσικό διττανθρακικό άλας του θαλασσινού νερού. Έτσι δεν υπάρχει απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

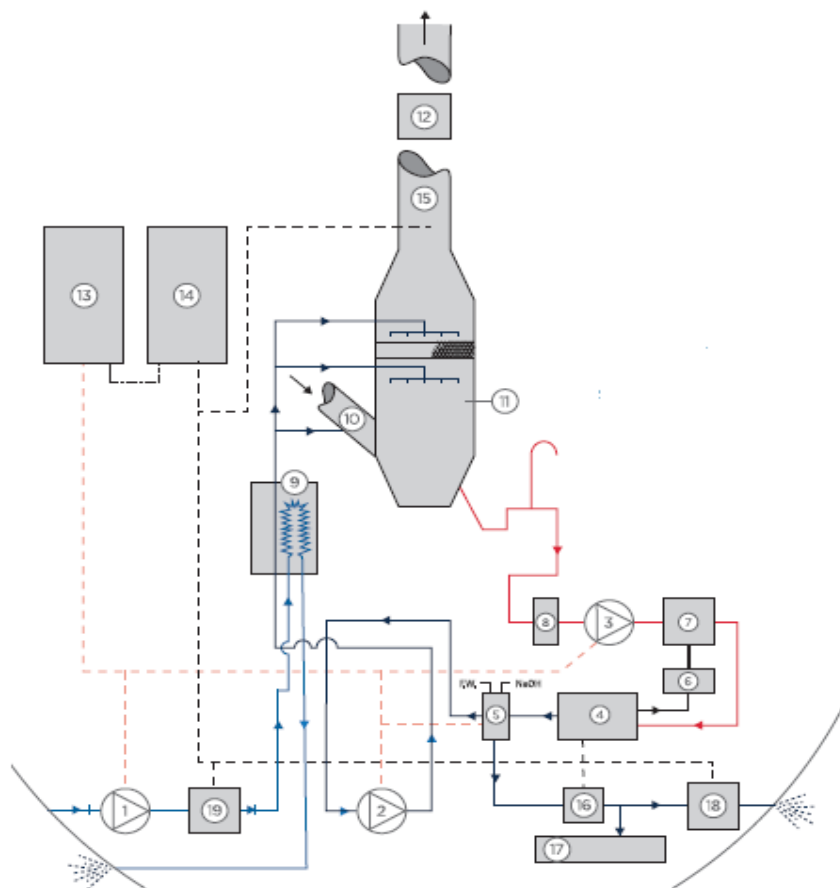


Στα συστήματα κλειστού βρόχου το ακάθαρτο νερό που εξέρχεται από την πλυντρίδα τοποθετείται σε μια δεξαμενή επεξεργασίας όπου συμπληρώνεται τόσο με τυχόν απώλειες νερού, όσο και με αλκαλικές ουσίες. Μια περιορισμένη ποσότητα του νερού έκπλυσης απομακρύνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής επεξεργασίας, όπου έχουν συλλεχθεί τα υπολείμματα. Στη συνέχεια η ποσότητα αυτή του νερού οδηγείται σε έναν υδροκυκλώνα ή διαχωριστή, όπου τα υπολείμματα αφαιρούνται, ενώ σε κάποια συστήματα η ποσότητα αυτή του νερού οδηγείται σε μια μονάδα εξαέρωσης (BOTU-Bleed-off treatment unit). Κατά τη

διάρκεια αυτών των διεργασιών το καθαρισμένο νερό είτε απορρίπτεται στη θάλασσα, είτε φυλάσσεται σε ειδικές δεξαμενές συγκράτησης, ανάλογα με την τοποθεσία του πλοίου και τους τοπικούς κανονισμούς. Η υπολειμματική λάσπη που έχει απομακρυνθεί από το νερό έκπλυσης οδηγείται σε μια δεξαμενή ιλύος και θα απορριφθεί στην ξηρά. Επίσης νέες ποσότητες νερού προστίθενται στη δεξαμενή επεξεργασίας για να αντικατασταθούν οι ποσότητες νερού που χάθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας των σωματιδίων, καθώς και από την εξαέρωση και την εξάτμιση στη διαδικασία καθαρισμού. Στη συνέχεια μια αντλία κυκλοφορεί το νερό πλύσης από την δεξαμενή επεξεργασίας του νερού εντός της πλυντρίδας. Το νερό αυτό περνά μέσω ενός ψυγείου θαλασσινού νερού πριν την επανέγχυσή του στην πλυντρίδα. Τέλος μια μονάδα δοσολογίας προσθέτει καυστική σόδα στο νερό έκπλυσης, είτε εντός της δεξαμενής επεξεργασίας, είτε στην έξοδό του από αυτή, με την ποσότητα της καυστικής σόδας να ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις αλκαλικότητας του νερού[24].

### Πλυντρίδα κλειστού βρόχου

1. Αντλία παροχής θαλασσινού νερού στο ψυγείο
2. Αντλία παροχής νερού στην πλυντρίδα
3. Αντλία ανακυκλοφορίας ακάθαρτου νερού
4. Διαχωριστής καυσίμου και αιθάλης
5. Μονάδα αλκαλίων (NaOH)
6. Δεξαμενή υπολειμμάτων
7. Διαχωριστής ιλύος
8. Μονάδα εξαέρωσης
9. Ψυγείο νερού
10. Εισαγωγή καυσαερίων
11. Πλυντρίδα
12. Ανεμιστήρας της εξάτμισης
13. Καμπίνα ελέγχου
14. Καμπίνα παρακολούθησης και συναγερμού
15. Έξοδος καυσαερίων
16. Μονάδα επεξεργασίας προϊόντων εξαέρωσης
17. Δεξαμενή συγκράτησης
18. Παρακολούθηση των υδάτινων αποβλήτων
19. Παρακολούθηση της λειτουργίας του ψυγείου

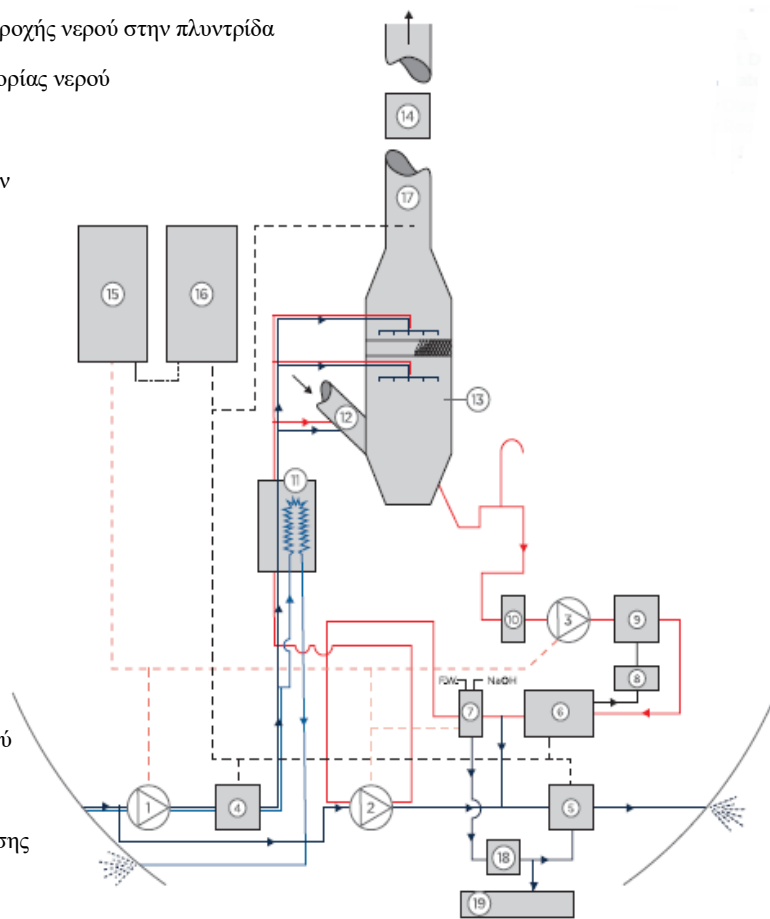


Σχήμα 15. Πλυντρίδα κλειστού βρόχου.[24]

### 3.5. Υβριδικά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων (hybrid scrubbers)

#### Υβριδική πλυντρίδα

1. Αντλία παροχής θαλασσινού νερού στο ψυγείο/ Αντλία παροχής αλμυρού νερού στην πλυντρίδα
2. Αντλία απόρριψης αποβλήτων/ Αντλία παροχής νερού στην πλυντρίδα
3. Αντλία εκροής νερού/ Αντλία ανακυκλοφορίας νερού
4. Παρακολούθηση θαλάσσιου νερού ψύξης
5. Παρακολούθηση των υδάτινων αποβλήτων
6. Διαχωριστής καυσίμου και αιθάλης
7. Μονάδα αλκαλίων (NaOH)
8. Δεξαμενή υπολειμμάτων
9. Διαχωριστής ιλύος
10. Μονάδα εξαέρωσης
11. Ψυγείο νερού
12. Εισαγωγή καυσαερίων
13. Πλυντρίδα
14. Ανεμιστήρας της εξάτμισης
15. Καμπίνα ελέγχου
16. Καμπίνα παρακολούθησης και συναγερμού
17. Έξοδος καυσαερίων
18. Μονάδα επεξεργασίας προϊόντων εξαέρωσης
19. Δεξαμενή συγκράτησης
20. Παρακολούθηση των υδάτινων αποβλήτων
21. Παρακολούθηση της λειτουργίας του ψυγείου



Σχήμα 16. Υβριδική πλυντρίδα.[24]

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα συστήματα ανοιχτού βρόχου έχουν το πλεονέκτημα να μην χρησιμοποιούν καυστική σόδα για τον καθαρισμό, ενώ παράλληλα αποφεύγουν την επεξεργασία του νερού έκπλυσης. Αντίθετα, τα συστήματα κλειστού βρόχου παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι το σύστημα πλύσης λειτουργεί με την ίδια απόδοση, χωρίς αυτή να

επηρεάζεται από την περιοχή λειτουργίας του πλοίου, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει ελάχιστη ή μηδενική εκροή νερού από το πλοίο. Αυτό το πλεονέκτημα καθιστά το πλοίο κατάλληλο για λειτουργία σε λιμάνια, κοντά στις ακτές, καθώς και σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών, ορισμένοι κατασκευαστές έχουν δημιουργήσει τα υβριδικά συστήματα καθαρισμού. Τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργούν είτε σαν ανοιχτού τύπου συστήματα, όταν το πλοίο λειτουργεί στον ωκεανό, είτε σαν κλειστού τύπου συστήματα, όταν το πλοίο λειτουργεί σε ελεγχόμενες περιοχές ή σε περιοχές με χαμηλή αλκαλικότητα. Η αλλαγή από το σύστημα ανοιχτού βρόχου στο σύστημα κλειστού βρόχου γίνεται με την αλλαγή της αναρρόφησης της κυκλοφορητικής αντλίας, η οποία αντί να λαμβάνει το θαλασσινό νερό παίρνει νερό από τη δεξαμενή ανακυκλοφορίας. Παράλληλα γίνεται και αλλαγή στην απόρριψη του νερού πλύσης που, αντί να εκφορτώνεται στο θαλάσσιο περιβάλλον, απορρίπτεται στη δεξαμενή ανακυκλοφορίας [24].

### **3.6. Αποτελεσματικότητα των πλυντρίδων υγρού τύπου (Wet scrubbers)**

Δεδομένου ότι ο πρωταρχικός στόχος των πλυντρίδων είναι η αφαίρεση των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) από τα καυσαέρια, ώστε να επιτυγχάνονται επίπεδα εκπομπών οξειδίων του θείου αντίστοιχα με εκείνα της κατανάλωσης καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, η αποτελεσματικότητα των πλυντρίδων στην απομάκρυνση των οξειδίων του θείου έχει μεγάλη σημασία και αποτελεί βασική παράμετρο για τον έλεγχο της απόδοσής τους. Ένα βασικό στοιχείο της απόδοσης των συστημάτων υγρού καθαρισμού, ιδιαίτερα στη λειτουργία του ανοιχτού βρόχου, είναι η ανάγκη ύπαρξης αλκαλικών ουσιών στο νερό. Στα συστήματα κλειστού βρόχου, όπως έχει αναφερθεί, η αλκαλικότητα του νερού ελέγχεται άμεσα με την έγχυση αλκαλικών ουσιών στο νερό έκπλυσης, και έτσι η απόδοση του συστήματος καθαρισμού μπορεί να ελεγχθεί. Όμως για τις πλυντρίδες ανοιχτού βρόχου, η αλκαλικότητα του νερού έκπλυσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του νερού στο οποίο το πλοίο ταξιδεύει. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος ανοιχτού βρόχου μειώνεται σημαντικά εάν το πλοίο λειτουργεί σε υφάλμυρο ή γλυκό νερό που έχουν χαμηλότερο pH από το θαλασσινό νερό. Ορισμένα ύδατα ποταμών είναι «σκληρά», δηλαδή περιέχουν σημαντικές ποσότητες αλκαλικών ουσιών, και μπορούν να είναι το ίδιο αποτελεσματικά με το θαλασσινό νερό για χρήση στις πλυντρίδες. Ένα υψηλότερο pH στο νερό έκπλυσης βελτιώνει την απομάκρυνση των οξειδίων του θείου. Τα επίπεδα του pH που είναι μικρότερα από 7 μειώνουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων. Ωστόσο ο όγκος του νερού έκπλυσης που χρησιμοποιείται μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα της πλυντρίδας. Είναι χαρακτηριστικό ότι ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί νερό έκπλυσης με χαμηλότερο pH, μπορεί να επιτευχθεί ο απαιτούμενος ρυθμός απομάκρυνσης των οξειδίων του θείου από τα καυσαέρια εάν χρησιμοποιηθεί

επαρκής όγκος νερού. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αποτελεσματικότητα των πλυντρίδων στην απομάκρυνση επιβλαβών ουσιών από τα καυσαέρια.

Παράγοντας απόδοσης πλυντρίδας	Ποσοστό (%)	Παρατηρήσεις
Απαίτηση για απομάκρυνση οξειδίων του θείου	97.1	Εάν χρησιμοποιείται καύσιμο με 3.5 % θείο πρέπει το σύστημα καθαρισμού να απομακρύνει το ποσοστό αυτό (97.1 %) ώστε να γίνει ισοδύναμο με εκείνο που έχει 0.1 % S
Αναμενόμενη απομάκρυνση οξειδίων του θείου	≥ 96	Εξαρτάται από την αλκαλικότητα του νερού
Τυπικός ρυθμός αφαίρεσης σωματιδίων	30 – 60	Όταν χρησιμοποιούνται βαρέα καύσιμα, οι εκπομπές σωματιδίων είναι υψηλότερες από εκείνες των καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Πίνακας 9. Αποτελεσματικότητα των πλυντρίδων υγρού τύπου.

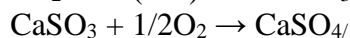
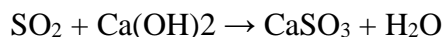
Με βάση τον παραπάνω πίνακα μπορούν να γίνουν οι εξής δύο παρατηρήσεις :

- Σε περίπτωση καύσης καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 3.5 % (κ.β.), το σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων θα πρέπει να αφαιρέσει το 97.1 % των οξειδίων του θείου, έτσι ώστε να επιτευχθούν εκπομπές παρόμοιες με εκείνες που παράγονται από την καύση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.1 % (κ.β.).
- Οι πλυντρίδες έχουν αναμενόμενα ποσοστά απομάκρυνσης των οξειδίων του θείου μεγαλύτερα από 96 % και έτσι μερικά συστήματα καθαρισμού μπορούν να επιτύχουν ισοδύναμες εκπομπές με την καύση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.1 % (κ.β.), αλλά όχι όλα. Οι κατασκευαστές πρέπει να καθορίζουν τη μέγιστη περιεκτικότητα

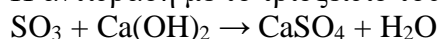
σε θείο στο καύσιμο που μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα αποθείωσης, ώστε οι εκπομπές να μην ξεπερνούν εκείνες που παράγονται από την καύση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.1 % (κ.β.).

### 3.7. Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων ξηρού τύπου (Dry Scrubbers)

Οι πλυντρίδες ξηρού τύπου δεν χρησιμοποιούν νερό ή κάποιο υγρό κατά τη διαδικασία καθαρισμού, αλλά χρησιμοποιούν ενυδατωμένους κόκκους ασβέστη για να δημιουργήσουν χημικές αντιδράσεις που συμβάλλουν στην αφαίρεση των οξειδίων του θείου από τα καυσαέρια. Οι κόκκοι καυστικού ασβέστη ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) που χρησιμοποιούνται αντιδρούν με το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και σχηματίζουν θειώδες ασβέστιο ( $\text{CaSO}_3$ ). Το θειώδες ασβέστιο στη συνέχεια οξειδώνεται με αέρα και σχηματίζει αφυδατωμένο θειικό ασβέστιο ( $\text{CaSO}_4$ ) ή γύψο.



Η αντίδραση με το τριοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_3$ ) είναι :



Ένα τυπικό σύστημα καθαρισμού ξηρού τύπου πρέπει να έχει μεγάλους χώρους αποθήκευσης τόσο για τον ασβέστη, όσο και για το γύψο και είναι μια από τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή μιας πλυντρίδας ξηρού τύπου. Υπάρχει η ανάγκη αποθήκευσης των υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη διεργασία καθαρισμού, καθώς και των προϊόντων αυτής και απαιτούν μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα από τις πλυντρίδες υγρού τύπου.

Τα συστήματα ξηρού τύπου απαιτούν επίσης μεγάλα συστήματα χειρισμού των υλικών για τη μεταφορά και τη φόρτωση του ασβέστη στο πλοίο, καθώς και για την εκφόρτωση του γύψου στη ξηρά. Ωστόσο οι πλυντρίδες ξηρού τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως σε χειρσαίες εφαρμογές που δεν αποτελούν μέρος της παρούσας έρευνας.

### 3.8. Σύγκριση των συστημάτων ελέγχου των αέριων εκπομπών

Οι αρχικές μελέτες για την επιλογή ενός συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων είναι να εξετασθεί αν το σύστημα καθαρισμού είναι κατάλληλο για την προβλεπόμενη διαδρομή του πλοίου, καθώς και αν αυτό συμβαδίζει με τις απαιτήσεις συμμόρφωσης για τις εκπομπές οξειδίων του θείου. Υπάρχουν τρεις τύποι συστημάτων καθαρισμού υγρού τύπου : ανοιχτού βρόχου, κλειστού βρόχου και υβριδικά. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας.

Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογή
Ανοιχτού βρόχου	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για τον καθαρισμό το οποίο δεν αποθηκεύεται, ενώ δεν χρησιμοποιούν επικίνδυνα χημικά (π.χ. καυστική σόδα)</li> <li>Συγκριτικά απλά συστήματα, με λιγότερο εξοπλισμό σε σχέση με τα συστήματα κλειστού βρόχου</li> <li>Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) και τα λειτουργικά έξοδα (OPEX) είναι σχετικά χαμηλά</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν είναι κατάλληλα για ύδατα με χαμηλή αλκαλικότητα</li> <li>Περιορισμός της εκκένωσης του νερού έκπλυσης σε ορισμένες παράκτιες ή λιμενικές περιοχές</li> <li>Υψηλή ζήτηση νερού πλύσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Σε πλοία που λειτουργούν σε ωκεανούς και ανοιχτές θάλασσες</li> <li>Πλοία που δεν εισέρχονται σε περιοχές που υπάρχουν περιορισμοί για την απόρριψη του νερού πλύσης</li> </ul>
Κλειστού βρόχου	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν εξαρτώνται από την περιοχή λειτουργίας του πλοίου</li> <li>Λειτουργία σε ύδατα με χαμηλή αλκαλικότητα, καθώς και σε λιμάνια ή κοντά στις ακτές που απαγορεύεται η απόρριψη αποβλήτων</li> <li>Τα απόβλητα μπορούν να αποθηκευτούν επί του πλοίου σε όγκο τέτοιο που επιτρέπει η δεξαμενή αποβλήτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πιο σύνθετα συστήματα</li> <li>Πρόσθετος εξοπλισμός για την επεξεργασία του νερού</li> <li>Απαιτούν περισσότερο χώρο</li> <li>Απαιτούν μεγάλη προσοχή στην αποθήκευση και στο χειρισμό της επικίνδυνης ουσίας (NaOH – καυστική σόδα)</li> <li>Η διάρκεια λειτουργίας περιορίζεται από το μέγεθος της δεξαμενής αποβλήτων</li> <li>Σχετικά υψηλότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX)</li> <li>Σχετικά υψηλότερα λειτουργικά έξοδα (OPEX) λόγω της χρήσης της καυστικής σόδας και του χειρισμού των υπολειμμάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πλοία που εισέρχονται σε περιοχές που υπάρχουν περιορισμοί για την απόρριψη του νερού πλύσης</li> <li>Πλοία που λειτουργούν σε ύδατα με χαμηλή αλκαλικότητα</li> </ul>

Υβριδικό	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σημαντική ευελιξία για λειτουργία σε όλες τις περιοχές ανεξάρτητα από την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού ή τη θερμοκρασία</li> <li>• Τα απόβλητα μπορούν να αποθηκευτούν επί του πλοίου σε όγκο τέτοιο που επιτρέπει η δεξαμενή αποβλήτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύπλοκο σύστημα</li> <li>• Απαιτείται περισσότερος χώρος</li> <li>• Απαιτούν μεγάλη προσοχή στην αποθήκευση και στο χειρισμό της επικίνδυνης ουσίας (NaOH – καυστική σόδα)</li> <li>• Σχετικά υψηλότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX)</li> <li>• Σχετικά υψηλότερα λειτουργικά έξοδα (OPEX) λόγω της χρήσης της καυστικής σόδας και του χειρισμού των υπολειμμάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πλοία που λειτουργούν τόσο στον ωκεανό και στην ανοιχτή θάλασσα όσο και σε περιοχές που υπάρχουν περιορισμοί για την απόρριψη του νερού πλύσης</li> </ul>
----------	--	--	--

Πίνακας 10. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων καθαρισμού υγρού τύπου.

Η επιλογή για την εγκατάσταση ενός συστήματος ανοιχτού βρόχου, κλειστού βρόχου ή υβριδικού εξαρτάται από την περιοχή στην οποία το πλοίο λειτουργεί. Για τα συστήματα ανοιχτού βρόχου ένας βασικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι οι εθνικοί και τοπικοί κανονισμοί που επιβάλλουν περιορισμούς στην απόρριψη του νερού έκλυσης. Για τα συστήματα κλειστού βρόχου οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος είναι τα αποθέματα σε καυστική σόδα, καθώς και η χωρητικότητα της δεξαμενής αποβλήτων όπου συλλέγεται η ιλύς. Εάν ένα πλοίο λειτουργεί κυρίως σε ανοιχτές θάλασσες, αλλά εισέρχεται και σε περιοχές που υπάρχουν περιορισμοί για την απόρριψη του νερού εκπλύσης, τότε μπορεί να εγκατασταθεί ένα υβριδικό σύστημα. Εναλλακτικά στο πλοίο αυτό μπορεί να εγκατασταθεί ένα σύστημα ανοιχτού τύπου για λειτουργία στις ανοιχτές θάλασσες και όταν εισέρχεται σε περιοχές που υπάρχουν περιορισμοί για την απόρριψη του νερού εκπλύσης μπορεί να χρησιμοποιεί συμμορφούμενο καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο [25].

### 3.9. Εγκατάσταση των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων

Στα περισσότερα πλοία ο εξοικονομητής καυσαερίων (EGE - Exhaust gas economizer) τοποθετείται στο κατώτερο περίβλημα του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα, πάνω από τους κύριους κινητήρες ή τους λέβητες. Η τοποθέτηση του συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων πάνω από τον εξοικονομητή καυσαερίων θα απαιτούσε η συσκευή καθαρισμού



να τοποθετηθεί στο πάνω μέρος του περιβλήματος του συστήματος εξάτμισης, όπου το περίβλημα έχει μικρότερο μέγεθος. Αυτή η θέση εγκατάστασης λοιπόν, μπορεί να δημιουργήσει αλλαγές στο περίβλημα του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα, ώστε να ικανοποιηθούν τόσο οι οριζόντιες όσο και οι κάθετες απαιτήσεις χώρου.

Επίσης η καπνοδόχος επηρεάζεται από την προσθήκη ενός συστήματος καθαρισμού, καθώς και από την πιθανή τοποθέτηση ενός δεύτερου συστήματος σωλήνων εξάτμισης, σε περίπτωση που το σύστημα καθαρισμού υγρού τύπου δεν είναι κατάλληλο για ξηρή λειτουργία. Στην περίπτωση όπου το σύστημα καθαρισμού είναι εφοδιασμένο με σωλήνες παράκαμψης από κάθε κινητήρα ή λέβητα, ο υπάρχων αριθμός των εξατμίσεων στην καπνοδόχο θα διατηρηθεί και για τους σωλήνες παράκαμψης. Έτσι κάθε σύστημα καθαρισμού θα χρειάζεται ένα ξεχωριστό σωλήνα εξαγωγής, τουλάχιστον της ίδιας διαμέτρου με τον υφιστάμενο σωλήνα εξάτμισης και μεγαλύτερης διαμέτρου εάν το σύστημα καθαρισμού συνδυάζει εξατμίσεις από πολλούς κινητήρες και λέβητες.

Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να εγκατασταθεί τουλάχιστον ένας μεγάλος σωλήνας εξάτμισης και ενδεχομένως μερικοί νέοι σωλήνες εξάτμισης εάν εγκατασταθούν πολλαπλά συστήματα καθαρισμού. Σε ένα τυπικό σχεδιασμό μιας καπνοδόχου δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση ενός μεγάλου σωλήνα εξαγωγής. Έτσι για τις μετασκευές πρέπει να τοποθετηθεί είτε εξωτερικός σωλήνας, είτε να μεγαλώσει η καπνοδόχος. Για τα καινούρια πλοία η καπνοδόχος μπορεί να μεγαλώσει ώστε να καλύψει τον αριθμό των σωλήνων εξάτμισης.

Επίσης για τα νέα πλοία ο χώρος για την τοποθέτηση του συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων, οι παρακάμψεις των σωλήνων εξάτμισης και ο βοηθητικός εξοπλισμός μπορούν να σχεδιαστούν από την αρχή και να έχουν μικρότερο αντίκτυπο σε σχέση με μια μετασκευή. Οι κύριες μετασκευές γίνονται έτσι ώστε :

- Να γίνουν τροποποιήσεις του περιβλήματος του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα
- Να δημιουργηθεί χώρος απαραίτητος για νέες αντλίες και συστήματα σωληνώσεων, καθώς και για εγκατάσταση νέων δεξαμενών ή διεύρυνση των υφιστάμενων
- Να αναπτυχθεί χώρος αποθήκευσης αλκαλικού υλικού (για πλυντρίδες κλειστού βρόχου)
- Να διαμορφωθεί χώρος επεξεργασίας λυμάτων

Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος εντός του μηχανοστασίου, με αποτέλεσμα να χρειάζεται πρόσθετη μελέτη για την εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού. Τέλος, η μετασκευή για την εγκατάσταση ενός συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων θέτει το πλοίο εκτός λειτουργίας για μια σημαντική περίοδο, ειδικά τα

μεγαλύτερα πλοία στα οποία οι πλυντρίδες και ο βοηθητικός εξοπλισμός είναι μεγαλύτερων διαστάσεων.

### 3.10. Διαστάσεις των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων υγρού τύπου

Οι πλυντρίδες υγρού τύπου και ο βοηθητικός τους εξοπλισμός είναι μεγάλες μονάδες. Τοποθετούνται στο σύστημα εξάτμισης, μετά από κάθε μονάδα ανάκτησης θερμότητας, όπως είναι ο εξοικονομητής καυσαερίων, αφού η πλυντρίδα ψύχει τα καυσαέρια. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι βασικές διαστάσεις των πλυντρίδων με βάση την ονομαστική ισχύ των κινητήρων. Σε γενικές γραμμές το μέγεθος μιας πλυντρίδας είναι δύο με τρεις φορές μεγαλύτερο από εκείνο του εξοικονομητή καυσαερίων ή αυτό ενός σύνθετου λέβητα.

Κινητήρας	Διάμετρος	Μήκος	Ύψος	Ξηρό βάρος	Λειτουργικό βάρος
MW	m	m	m	Tonnes	Tonnes
4	1.7	3.4	7.1	3.3	4.0
8	2.4	4.4	8.1	5.9	7.4
12	2.9	5.2	8.7	8.1	10.4
16	3.4	5.9	9.0	10.6	14.1
20	3.8	6.4	9.5	12.8	17.2
24	4.2	7.0	10.1	16.5	21.7
32	4.8	7.9	11.0	21.2	28.2
55	6.2	10.0	13.0	41.4	53.7

Πίνακας 11. Βασικές διαστάσεις των πλυντρίδων με βάση την ονομαστική ισχύ των κινητήρων.[24]



Σχήμα 17. Διάταξη των διαστάσεων μιας πλυντρίδας υγρού τύπου.[24]

### 3.11. Υλικά των συστημάτων καθαρισμού

Τα χαμηλότερα στρώματα μιας πλυντρίδας υγρού τύπου (ειδικά για εκείνες που είναι ανοιχτού βρόχου) μπορεί να παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις οξέων και χλωριδίων. Κατά συνέπεια αυτά πρέπει να κατασκευάζονται με κατάλληλα υλικά ώστε να είναι ανθεκτικά στα οξέα και στα χλωρίδια. Επίσης στις πλυντρίδες ξηρού τύπου, καθώς και σε εκείνες υγρού τύπου που δεν περιλαμβάνουν εγκατάσταση με παράκαμψη των καυσαερίων όταν το σύστημα πλύσης είναι εκτός λειτουργίας, θα έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας οι οποίες περιορίζουν την επιλογή υλικών. Οι φερριτικοί - οστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες (διπλοί ανοξειδωτοί χάλυβες) αποδίδουν καλά σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Πάνω από τα χαμηλότερα στρώματα της μονάδας καθαρισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ανοξειδωτος χάλυβας που είναι λιγότερο ανθεκτικός στη διάβρωση. Ωστόσο η επιλογή του κατάλληλου βαθμού ανοξειδωτου χάλυβα θα πρέπει να εξετάζεται λεπτομερώς σε κάθε πλυντρίδα που εγκαθίσταται [26].

### 3.12. Σύστημα παράκαμψης καυσαερίων

Αυτή η εγκατάσταση επιτρέπει στα καυσαέρια να παρακάμψουν την πλυντρίδα και να οδηγηθούν απευθείας στην ατμόσφαιρα. Οι πλυντρίδες υγρού τύπου δεν λειτουργούν ως ξηρού τύπου, δηλαδή δεν διέρχεται καυσαέριο εντός αυτών χωρίς την παρουσία ροής νερού, εκτός από τις περιπτώσεις όπου οι συσκευές καθαρισμού υγρού τύπου έχουν κατασκευαστεί

με κατάλληλα υλικά που αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες. Για τις πλυντρίδες υγρού τύπου λοιπόν, που είναι κατάλληλες και για ξηρή λειτουργία, μπορεί να μην απαιτείται ξεχωριστή παράκαμψη. Για τις περισσότερες πλυντρίδες όμως, η τοποθέτηση μιας παράκαμψης αποτελεί απαίτηση, εάν υπάρχει η ανάγκη για λειτουργία του εξοπλισμού που συνδέεται με την πλυντρίδα όταν η τελευταία βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Έτσι όταν δεν απαιτείται συσκευή καθαρισμού των καυσαερίων, όπως στην περίπτωση όπου το πλοίο χρησιμοποιεί συμμορφούμενο καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, η παράκαμψη της πλυντρίδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η πλυντρίδα να κλείσει μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ισχύος.

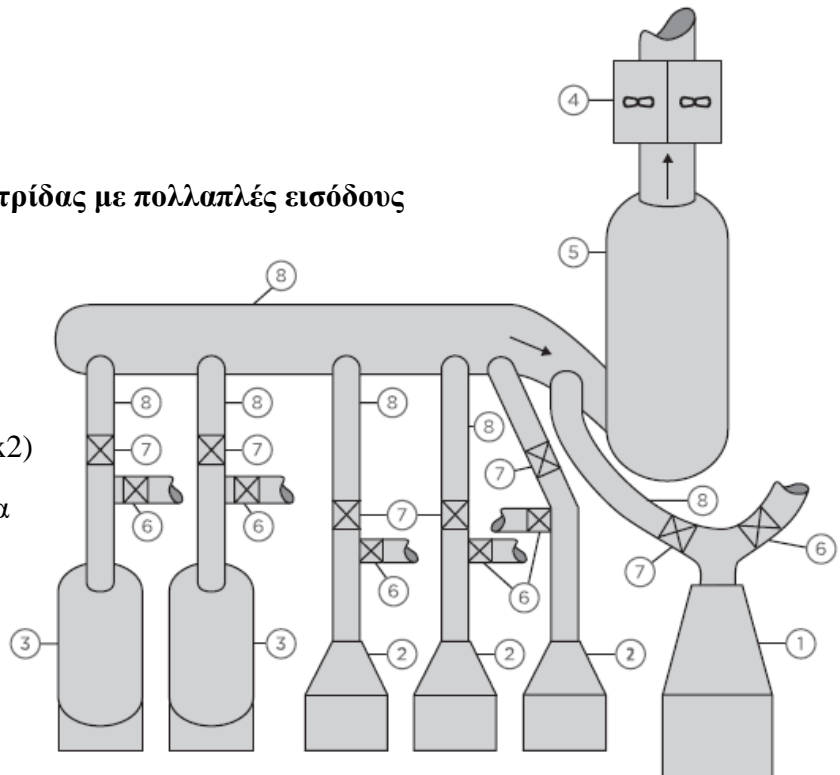
Οι σωλήνες για την παράκαμψη των καυσαερίων είναι τόσο μεγάλοι όσο και ο αρχικός σωλήνας εξαγωγής, ενώ ο απαιτούμενος χώρος στο περίβλημα του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα για τον σωλήνα και για την βαλβίδα παράκαμψης πρέπει να είναι μεγάλος. Ο σωλήνας παράκαμψης περνά κανονικά κατά μήκος του συστήματος καθαρισμού και απαιτεί μια ξεχωριστή έξοδο στην κορυφή της καπνοδόχου, εκτός από την έξοδο της πλυντρίδας. Η βαλβίδα παράκαμψης ελέγχει την κατεύθυνση ροής των καυσαερίων μεταξύ της πλυντρίδας και της ατμόσφαιρας και ενδέχεται να απαιτεί συχνή συντήρηση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της υψηλής συσσώρευσης αιθάλης. Για τους κύριους κινητήρες, όπως έχει αναφερθεί, υπάρχει ένας εξοικονομητής καυσαερίων πριν από την είσοδό τους στην πλυντρίδα. Τέλος, για τη λειτουργία της παράκαμψης των καυσαερίων συνίσταται η τοποθέτηση σιγαστήρα στο σύστημα εξάτμισης.

### **3.13. Σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων με πολλαπλές εισόδους**

Εάν είναι επιθυμητή η σύνδεση πολλών κινητήρων ή λέβητων σε μια πλυντρίδα, απαιτείται ειδική σχεδίαση τόσο για την πλυντρίδα, όσο και για τους σωλήνες εξάτμισης που οδηγούν στην πλυντρίδα. Ένα σύστημα καθαρισμού που είναι κατάλληλο για πολλαπλές συνδέσεις ονομάζεται ενσωματωμένη πλυντρίδα και είναι ειδικά σχεδιασμένο ώστε να ταιριάζει στο συγκεκριμένο αριθμό και τα μεγέθη των συνδεδεμένων κινητήρων ή λέβητων. Όταν χρησιμοποιείται μια ενσωματωμένη πλυντρίδα απαιτούνται παρακάμψεις για κάθε εξάτμιση, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Για λόγους ασφαλείας απαιτούνται ειδικά μέτρα για να διασφαλιστεί ότι οι βαλβίδες απομόνωσης τοποθετούνται και σφραγίζονται σωστά όταν ένας κινητήρας ή λέβητας είναι εκτός λειτουργίας, ώστε τα καυσαέρια να μην επανέρχονται προς το σβηστό κινητήρα ή λέβητα. Επίσης ένας ανεμιστήρας εξάτμισης είναι απαραίτητος ώστε να εξασφαλίζεται η χαμηλή αντίθλιψη του συστήματος εξάτμισης και να μην υπάρχει επιστροφή των καυσαερίων στους κινητήρες ή λέβητες [24].

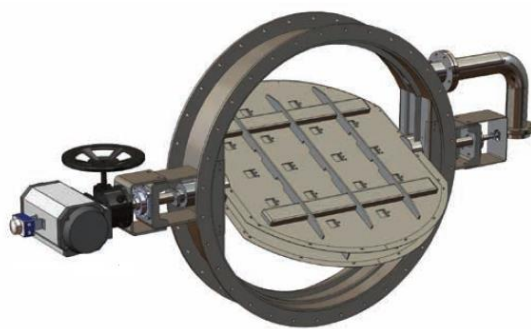
### Σύστημα ενσωματωμένης πλυντρίδας με πολλαπλές εισόδους

1. Κύρια μηχανή
2. Βοηθητικές μηχανές (x3)
3. Λέβητες
4. Ανεμιστήρες εξάτμισης (x2)
5. Ενσωματωμένη πλυντρίδα
6. Βαλβίδα παράκαμψης
7. Βαλβίδα απομόνωσης
8. Πολλαπλή έξοδος



Σχήμα 18. Σύστημα ενσωματωμένης πλυντρίδας με πολλαπλές εισόδους[24]

Οι βαλβίδες απομόνωσης των καυσαερίων πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η διαρροή. Έχουν προκύψει ορισμένα ζητήματα διαρροής καυσαερίων κατά τη διάρκεια δοκιμών των συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων που συνδυάζουν πολλαπλές εισόδους. Ένας τρόπος για την αντιμετώπιση της διαρροής είναι η χρήση βαλβίδων πεταλούδας με πολλαπλούς δίσκους και ανεμιστήρα εξαγωγής που παρέχουν χαμηλότερη πίεση μεταξύ των δίσκων ώστε να απομακρυνθούν τυχόν διαρροές.



Σχήμα 19. Βαλβίδα απομόνωσης των καυσαερίων.[24]

### **3.14. Επιπτώσεις υποπίεσης**

Οι πλυντρίδες μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία των κινητήρων ή των λέβητων στους οποίους προστίθενται, εάν προκαλούν υπερβολική υποπίεση στο σύστημα εξάτμισης. Οι απαιτήσεις του κανονισμού 13, του παραρτήματος VI, της MARPOL για τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NOx), μπορεί να επηρεαστούν εάν ο κινητήρας λειτουργεί σε υποπίεση καυσαερίων που είναι εκτός από τα εγκεκριμένα όρια. Για το λόγο αυτό προτού εγκατασταθεί μια πλυντρίδα στο σύστημα εξάτμισης, είναι σημαντικό να επαληθευτεί ότι δεν θα υπερβαίνονται τα πιστοποιημένα όρια υποπίεσης των καυσαερίων για την ορθή λειτουργία των κινητήρων.

Η εισαγωγή ενός ανεμιστήρα στο σωλήνα εξάτμισης, στην έξοδο του συστήματος καθαρισμού, μπορεί να ρυθμίσει την πίεση στην πλυντρίδα και έτσι να αποτραπεί η υπερβολική υποπίεση στο σύστημα. Ο ανεμιστήρας κανονικά δεν είναι απαραίτητος για ένα σύστημα καθαρισμού που είναι συνδεδεμένο με ένα μόνο κινητήρα, αλλά είναι αναγκαίος σε πλυντρίδες που είναι συνδεδεμένες με πολλούς κινητήρες και λέβητες. Με την εισαγωγή του ανεμιστήρα αποφεύγεται η υψηλή υποπίεση από έναν κινητήρα ή λέβητα που επηρεάζει τις άλλες διασυνδεδεμένες μονάδες καύσης οι οποίες είτε βρίσκονται σε λειτουργία, είτε όχι. Επιπλέον πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά η παρουσία τυχόν βλάβης στον ανεμιστήρα του συστήματος καθαρισμού, λόγω των πιθανών επιπτώσεων στη λειτουργία του κινητήρα εξαιτίας της υπερβολικής υποπίεσης. Ο κατασκευαστής των συστημάτων καθαρισμού θα πρέπει να υποβάλει πλήρη στοιχεία σχετικά με την αναμενόμενη αντίθλιψη σε ολόκληρο το εύρος λειτουργίας της πλυντρίδας και αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να είναι συμβατά με τα όρια αντίθλιψης που δίνει ο κατασκευαστής του κινητήρα ή του λέβητα, προκειμένου να διαπιστωθεί ότι η υποπίεση δεν δημιουργεί προβλήματα για την ασφαλή και συνεχή λειτουργία του εξοπλισμού.

### **3.15. Συστήματα σωληνώσεων στις πλυντρίδες**

Τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων απαιτούν την εγκατάσταση πολλών σωληνώσεων με διαφορετικές απαιτήσεις υλικού. Τα βασικά συστήματα σωληνώσεων έχουν ως εξής :

- ❖ Σωληνώσεις παροχής θαλασσινού νερού. Για τις πλυντρίδες ανοιχτού βρόχου το νερό της θάλασσας τροφοδοτείται στο σύστημα για τον καθαρισμό. Οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την περίπτωση αποτελούνται από χάλυβα με επένδυση από πολυαιθυλένιο ή καουτσούκ, καθώς και γαλβανισμένες σωληνώσεις. Για τις πλυντρίδες κλειστού βρόχου, όπου το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται για ψύξη, ισχύουν οι ίδιες απαιτήσεις για τα υλικά των σωληνώσεων.

- ❖ Σωληνώσεις παροχής γλυκού ή θαλασσινού νερού για πλυντρίδες κλειστού βρόχου. Για τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων κλειστού βρόχου που χρησιμοποιούν επεξεργασμένο γλυκό νερό, οι σωληνώσεις πρέπει να είναι κατασκευασμένες από κατάλληλο υλικό που να είναι ανθεκτικό στις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα.
- ❖ Σωληνώσεις αποχέτευσης των πλυντρίδων. Το νερό που εξέρχεται από το σύστημα καθαρισμού είναι όξινο και διαβρωτικό με συνέπεια να απαιτεί ειδικά υλικά σωληνώσεων. Στις περιπτώσεις αυτές οι σωληνώσεις θα πρέπει να είναι είτε κατασκευασμένες από χάλυβα με επένδυση από πολυαιθυλένιο ή καουτσούκ είτε γαλβανισμένες σωληνώσεις. Οι βαλβίδες πρέπει να είναι τύπου πεταλούδας από καουτσούκ ή από κατάλληλη ποιότητα ανοξείδωτου χάλυβα. Στα συστήματα κλειστού βρόχου το νερό πλύσης θεωρείται διαβρωτικό μέχρι το σημείο όπου στο νερό εισέρχεται το αλκαλικό υλικό που αυξάνει το pH.
- ❖ Σωληνώσεις εξάτμισης. Οι σωλίνες πριν από την πλυντρίδα είναι ουσιαστικά παρόμοιες με εκείνες μιας τυπικής εξάτμισης. Ωστόσο τα καυσαέρια που εξέρχονται από το σύστημα καθαρισμού έχουν υψηλή υγρασία και συνεπώς προτιμώνται υλικά για τις σωληνώσεις εξαιρετικά ανθεκτικά στη διάβρωση, όπως είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας.
- ❖ Σωλήνας ιλύος. Η ιλύς που παράγεται από τη διαδικασία καθαρισμού μπορεί να είναι όξινη. Επομένως οι σωληνώσεις που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι κατασκευασμένες από υλικό που είναι ανθεκτικό στη διάβρωση.
- ❖ Δεξαμενές επεξεργασίας νερού. Οι δεξαμενές αποθήκευσης και επεξεργασίας του νερού πλύσης πρέπει και αυτές να είναι κατασκευασμένες από υλικό που είναι ανθεκτικό στη διάβρωση. Οι υαλοβάμβακες, καθώς και κατάλληλα πλαστικά υλικά έχουν αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικά για τέτοιες εφαρμογές.

Μια ακόμα παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη, για τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων υγρού τύπου, είναι η περίπτωση της πλημμύρας της πλυντρίδας. Πλημμύρα μπορεί να συμβεί όταν σταματάει ή εμποδίζεται η αποστράγγιση του νερού έκπλυσης προς τη δεξαμενή με αποτέλεσμα να γεμίζει η πλυντρίδα με νερό και να γίνεται υπερχειλίση του νερού κάτω από τον αγωγό εξαγωγής. Αυτή η υπερχειλίση μπορεί να παρουσιάσει βλάβη στο συνδεδεμένο κινητήρα ή λέβητα.

Ωστόσο το σύστημα αυτοματισμού της πλυντρίδας θα πρέπει να αποτρέψει μια τέτοια κρίσιμη κατάσταση, χρησιμοποιώντας ένα συναγερμό για την άνοδο της στάθμης του νερού εντός της πλυντρίδας. Εν συνεχεία θα γίνει αυτόματη αποκοπή της παροχής ύδατος στην πλυντρίδα, άνοιγμα της παράκαμψης καυσαερίων (εφόσον υπάρχει), καθώς και ταυτόχρονες κατάλληλες λειτουργίες για τη διατήρηση των συστημάτων καύσης σε ασφαλή κατάσταση.

### 3.16. Βοηθητικός εξοπλισμός

Εκτός από την ίδια την πλυντρίδα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις χώρου και ισχύος για το βοηθητικό εξοπλισμό που είναι συνδεδεμένος στο σύστημα καθαρισμού, όπως είναι οι αντλίες, οι δεξαμενές επεξεργασίας, οι διαχωριστές σωματιδίων και τα ψυγεία. Ο βοηθητικός εξοπλισμός μπορεί να τοποθετηθεί στα χαμηλότερα επίπεδα του χώρου για τα μηχανήματα, κάτω από το περίβλημα του συστήματος εξάτμισης των κινητήρων δεδομένου ότι δεν χρειάζεται να βρίσκεται ακριβώς δίπλα στην πλυντρίδα. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ο κύριος βοηθητικός εξοπλισμός και τα διάφορα μεγέθη του για πλυντρίδες που είναι συνδεδεμένες με διαφορετικού μεγέθους κινητήρες, οι οποίες μπορεί να είναι είτε ανοιχτού βρόχου, είτε κλειστού βρόχου [27].

Μέγεθος κινητήρα	5 MW		20 MW		40 MW	
	Ανοιχτού βρόχου	Κλειστού βρόχου	Ανοιχτού βρόχου	Κλειστού βρόχου (2)	Ανοιχτού βρόχου	Κλειστού βρόχου(3)
Παροχή νερού πλύσης (m <sup>3</sup> /hr)	225	225	900	675	1800	1350
Παροχή νερού στο ψυγείο (m <sup>3</sup> /hr)	Όχι	150	Όχι	240	Όχι	450
Ηλεκτρικό φορτίο (KW)	65	85	205	190	395	350
Ηλεκτρικό φορτίο για πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου με σύστημα επεξεργασίας νερού (KW)	15	Όχι	65	Όχι	125	Όχι
Νερό μετά την εξαέρωση (m <sup>3</sup> /hr)	Όχι	0.875	Όχι	3.5	Όχι	7
Παραγωγή ιλύος (lt/hr)	0.5	15	2	25	4	45
Χρήση NaOH(lt/hr)	Όχι	95	Όχι	155	Όχι	290

Πίνακας 12. Μεγέθη βοηθητικού εξοπλισμού σε πλυντρίδες υγρού τύπου.[27]



### *Παρατηρήσεις πίνακα*

- 1. Ο πίνακας βασίζεται σε δεδομένα της εταιρείας Wartsila για τον καθαρισμό εκπομπών από 3.5 % θείου σε 0.1 %*
- 2. Ο κλειστός βρόχος με την ένδειξη (2) έχει μέγεθος 8 MW*
- 3. Ο κλειστός βρόχος με την ένδειξη (3) έχει μέγεθος 15 MW*
- 4. Το σύστημα επεξεργασίας νερού στην πλυντρίδα ανοιχτού βρόχου είναι προαιρετικό (αποτελείται από δεξαμενή καταλοίπων, αντλία νερού πλύσης, υδροκυκλώνα και δεξαμενή καθίζησης)*
- 5. Οι τιμές του πίνακα αφορούν εγκατάσταση του συστήματος καθαρισμού 20 μέτρα πάνω από το ελάχιστο βύθισμα του πλοίου*
- 6. Για τη λειτουργία ανοιχτού βρόχου, η ιλύς παράγεται μόνο αν επιλεγεί το σύστημα επεξεργασίας νερού*

Για τους κινητήρες υψηλότερης ισχύος, απαιτούνται μεγάλα συστήματα αντλιών που χρησιμοποιούν σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος, κυρίως λόγω της ανάγκης για ταχεία εκκένωση της πλυντρίδας, ειδικά για τις πλυντρίδες ανοιχτού βρόχου.

Οι τρεις βασικοί λόγοι για τους οποίους απαιτείται περισσότερη ισχύς είναι οι εξής :

- Ανύψωση του νερού από το χαμηλότερο τμήμα του μηχανοστασίου στην πλυντρίδα που βρίσκεται στο άνω περίβλημα του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα
- Υπερνίκηση των απωλειών πίεσης στις σωληνώσεις και τροφοδοσία του νερού με την απαιτούμενη πίεση στα ακροφύσια ψεκασμού (περίπου 2 bar)
- Ανάγκη για μεγαλύτερη ροή νερού καθαρισμού

Επίσης πρέπει να υπάρχει πολλαπλή παροχή νερού, κυκλοφορητικές αντλίες ή αντλίες μεταβλητής ταχύτητας, έτσι ώστε η παροχή νερού στην πλυντρίδα να μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τα φορτία που προκύπτουν από την καύση των καυσίμων. Διαφορετικά μπορεί να υπάρξει υψηλή παροχή νερού στα χαμηλά φορτία.

### 3.17. Ηλεκτρικά συστήματα για τα συστήματα καθαρισμού

Για τη λειτουργία μιας πλυντρίδας απαιτείται ηλεκτρική ισχύς, καθώς και ένα σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης. Για τις πλυντρίδες υγρού τύπου η άντληση του νερού πλύσης απαιτεί το μεγαλύτερο ηλεκτρικό φορτίο. Υπάρχουν και άλλα πρόσθετα ηλεκτρικά φορτία που απαιτούνται, όπως για την αφαίρεση της ιλύος, για τη δοσολογία αλκαλικού υλικού, για την τροφοδοσία του θαλασσινού νερού για ψύξη, καθώς και για τη λειτουργία των ανεμιστήρων και τον έλεγχο της διαδικασίας καθαρισμού. Αναμένεται ότι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο θα είναι 115 με 125 % του ηλεκτρικού φορτίου της αντλίας έκπλυσης.

Αυτά τα φορτία μπορεί να είναι μεγαλύτερα από τα φορτία που διατίθενται από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου και να απαιτηθεί η προσθήκη χωριστής γεννήτριας. Ωστόσο τα νέα πλοία πρέπει να κατασκευάζονται με γεννήτριες οι οποίες θα είναι ικανές να δέχονται και τα φορτία των πλυντρίδων.

Για τις περιπτώσεις των μετασκευών πρέπει να εγκαθίσταται ένα σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στην πλυντρίδα, που απαιτεί την τροποποίηση του κεντρικού πίνακα διανομής. Στις περιπτώσεις αυτές τοποθετούνται ένας ή περισσότεροι διακόπτες για την εκκίνηση της πλυντρίδας.

Εκτός από την ηλεκτρική τροφοδοσία στο σύστημα καθαρισμού, πρέπει να εγκατασταθεί και ένα σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου. Οι πίνακες ελέγχου μπορούν να είναι τοπικά στην πλυντρίδα, αλλά ο βασικός έλεγχος θα πρέπει να γίνεται στο χώρο ελέγχου του κινητήρα και να υπάρχει σύνδεση του συστήματος συναγερμού της πλυντρίδας με το σύστημα συναγερμού του πλοίου.

Η παρακολούθηση και ο αυτοματισμός της λειτουργίας των συστημάτων καθαρισμού διασφαλίζει ότι η συσκευή καθαρισμού παρέχει το απαιτούμενο επίπεδο καθαρισμού των καυσαερίων ενώ παράλληλα εκκενώνει τις επιτρεπόμενες ποσότητες νερού έκπλυσης.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ορισμένα από τα βασικά στοιχεία αυτοματισμού και οι βασικές λειτουργίες παρακολούθησης [28].

Λειτουργία	Ελεγκτικός μηχανισμός	Παρατηρήσεις
Ο ρυθμός ροής του νερού μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα	Αριθμός αντλιών ή ταχύτητα αντλιών	Απαραίτητες για τη μείωση του ρυθμού ροής σε χαμηλά φορτία κινητήρα
Η αλκαλικότητα του νερού	Έλεγχος του ρυθμού δοσολογίας	Εφαρμογή σε πλυντρίδες κλειστού βρόχου
Η θερμοκρασία του νερού έκπλυσης	Έλεγχος του ψυγείου θαλασσινού νερού	Εφαρμογή σε πλυντρίδες κλειστού βρόχου
Παρακολούθηση των εκπομπών καυσαερίων	Παρακολούθηση του λόγου SO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (ppm/%) με ειδικές αναλύσεις	Η παρακολούθηση θα πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα ανάλογα με τον τύπο της πλυντρίδας
Παρακολούθηση της λειτουργίας της πλυντρίδας	Καταγραφή των παραμέτρων της πλυντρίδας	Καταγραφή της χρήσης του συστήματος, της πίεσης και της θερμοκρασίας του νερού, της πίεσης και της θερμοκρασίας των καυσαερίων και του ρυθμού χρήσης χημικών
Παρακολούθηση της εκροής του νερού πλύσης	Καταγραφή των βασικών παραμέτρων και ρύθμιση αυτών με έλεγχο της επεξεργασίας του νερού πριν την απόρριψη	Συνεχή καταγραφή του pH, της θολότητας, της θερμοκρασίας και των νιτρικών αλάτων του νερού έκπλυσης

Πίνακας 13. Απαιτήσεις αυτοματισμού και παρακολούθησης μιας πλυντρίδας υγρού τύπου.

**3.18. Ανάλυση SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) για τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων**

<b>Πλυντρίδες</b>	
<b>Δυνατά σημεία</b>	<b>Αδυναμίες</b>
Χρήση καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο	Δεν μπορεί να γίνει εγκατάσταση σε όλα τα πλοία λόγω ηλικίας ή έλλειψης χώρου
Κάλυψη των διεθνών και περιφερειακών κανονισμών	Μεγάλο κόστος εγκατάστασης που εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου και το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί.
<b>Ευκαιρίες</b>	<b>Απειλές</b>
Συγκριτικά με άλλες τεχνικές για τη μείωση των αέριων εκπομπών είναι προτιμότερες από οικονομική και τεχνολογική άποψη.	Δυσκολία πρόβλεψης του κόστους συντήρησης
Το πλοίο που γίνεται η εγκατάσταση δεν είναι αναγκαίο να αποσυρθεί για μεγάλο διάστημα	Αυστηρότεροι κανονισμοί μπορούν να καταστήσουν την τεχνολογία μη συμβατή

Πίνακας 14. Ανάλυση SWOT για τις πλυντρίδες.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου σε κρουαζιερόπλοια

### 4.1. Τρέχουσες συνθήκες

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG - Liquefied Natural Gas) είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρή κατάσταση ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί. Για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου γίνεται υγροποίηση αυτού στους -163<sup>ο</sup> Κελσίου. Σε γενικές γραμμές τα κοιτάσματα φυσικού αερίου είναι σε αφθονία, και αποτελεί το μέλλον στην ενέργεια.

Σήμερα το 97 % των υπερωκεάνιων έχουν εγκατεστημένους κινητήρες ντίζελ. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτών είναι η χαμηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFC - specific fuel consumption), καθώς και η χαμηλή τιμή του βαρέως πετρελαίου. Τα δευτερεύοντα οφέλη είναι η υψηλή ειδική ενέργεια του πετρελαίου και των παραγώγων του, καθώς και το σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης των κινητήρων ντίζελ.

Υπάρχουν τρεις λύσεις για ένα πλοίο με κινητήρα ντίζελ ώστε να είναι συμβατό με τους νέους κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές ρύπων. Η πρώτη είναι να εγκατασταθεί στον κινητήρα σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων, η δεύτερη αφορά τη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων που είναι αποστάγματα πετρελαίου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (MGO – Marine Gas oil), ενώ η τρίτη επιλογή είναι η μετατροπή των κινητήρων για καύση δύο καυσίμων (φυσικού αερίου και πετρελαίου). Η κάθε μια από τις επιλογές αυτές καλύπτει τους διεθνείς κανονισμούς και για κάθε πλοίο μπορεί να διαφέρει η βέλτιστη λύση. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την ηλικία του κάθε πλοίου, τα δρομολόγια που εκτελεί και τις καταναλώσεις του [29].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε επιλογής.

	Χρήση συμμορφούμενων καυσίμων	Μετατροπή για καύση φυσικού αερίου	Συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων
Λειτουργία σε περιοχές ECA	Καύση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.1 %	Καύση φυσικού αερίου	Καύση καυσίμου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο και την πλυντρίδα σε λειτουργία
Λειτουργία εκτός περιοχών ECA	Καύση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.5 %	Καύση φυσικού αερίου	Καύση καυσίμου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο και την πλυντρίδα σε λειτουργία
Πλεονεκτήματα	Δεν απαιτούνται κεφαλαιουχικές δαπάνες	Χαμηλή τιμή καυσίμου σε όλες τις περιοχές.  Ο θάλαμος καύσης παραμένει καθαρός	Χαμηλή τιμή καυσίμου σε όλες τις περιοχές
Μειονεκτήματα	Υψηλή τιμή καυσίμου	Υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες	Πολύπλοκη λειτουργία  Υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες  Διαχείριση χημικών και αποβλήτων

Πίνακας 15. Επιλογές συμμόρφωσης με τους κανονισμούς

#### 4.2. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο πλοίων

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο θεωρείται ένα συμβατικό καύσιμο, λόγω της ευρείας χρήσης του σε χερσαίες εφαρμογές, όπως για την παραγωγή ενέργειας, στη βιομηχανία, αλλά και για οικιακή χρήση. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια άνοδος στη χρήση του σε θαλάσσιες εφαρμογές, κυρίως λόγω των περιορισμών για τις εκπομπές που έχουν τεθεί από διάφορους οργανισμούς, όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός. Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου θα αποτελέσει το μέλλον στην ναυτιλία, καθώς οι κινητήρες πετρελαίου δημιουργούν ρύπους που δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις των διεθνών και τοπικών κανονισμών. Προκειμένου ένα καύσιμο να είναι κατάλληλο για χρήση σε ναυτικούς κινητήρες, θα πρέπει να επιτυγχάνει μια καλή ισορροπία μεταξύ τιμής, ενεργειακής

πυκνότητας, ειδικού βάρους, ασφάλειας και παγκόσμιας διαθεσιμότητας. Το φυσικό αέριο και το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι και τα δύο μείγματα μεθανίου και άλλων ουσιών, όπως αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα, καθώς επίσης και από μερικές βλαβερές χημικές ενώσεις, όπως το υδροξείδιο του θείου, οι οποίες αφαιρούνται πριν την τελική χρήση του. Οι αναλογίες αυτών των ουσιών ποικίλουν ανάλογα με την πηγή του αερίου και την επεξεργασία του. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει υψηλότερη θερμογόνο δύναμη από το φυσικό αέριο, επειδή πολλά από τα μη εύφλεκτα συστατικά του φυσικού αερίου έχουν αφαιρεθεί κατά τη διαδικασία της υγροποίησης. Το φυσικό αέριο αποτελείται από 82 % μεθάνιο, ενώ το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελείται από 95 % μεθάνιο. Το LNG ως καύσιμο πλοίων συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλίας [31].

Συστατικό	Τυπικό LNG
<b>Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)</b>	85 - 90 %
<b>Αιθάνιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</b>	3 – 8 %
<b>Προπάνιο (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)</b>	1 – 3 %
<b>Βουτάνιο (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)</b>	1 – 2 %
<b>Άζωτο (N<sub>2</sub>)</b>	0 – 2 %

Πίνακας 16. Σύσταση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

Οι λόγοι για τους οποίους το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί μια ιδανική λύση καυσίμου για τα πλοία είναι τόσο οικονομικοί, όσο και περιβαλλοντικοί. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι :

- Τα παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου είναι πολύ περισσότερο από εκείνα του αργού πετρελαίου
- Χαμηλότερες εκπομπές ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα
- Χαμηλότερες τιμές
- 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 φυσικό αέριο προσφέρει μερικά σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών καυσίμων που είναι προϊόντα πετρελαίου. Αυτό είναι αξιοσημείωτο για τη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων. Το LNG παράγει κατά κανόνα χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και ουσιαστικά δεν δημιουργούνται οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), σωματίδια αιθάλης (PM) ή οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>). Η σύγκριση των παραγόμενων εκπομπών από τα καύσιμα των πλοίων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Εκπομπές	HFO – Heavy Fuel Oil	MGO – Marine Gas Oil	LNG –Liquefied Natural Gas
SO <sub>x</sub>	0.049	0.003	Ίχνη
CO <sub>2</sub>	3.114	3.206	2.750
CH <sub>4</sub>	Ίχνη	Ίχνη	0.051
NO <sub>x</sub>	0.093	0.087	0.008
PM	0.007	0.001	Ίχνη

Πίνακας 17. Εκπομπές των ναυτιλιακών καυσίμων.

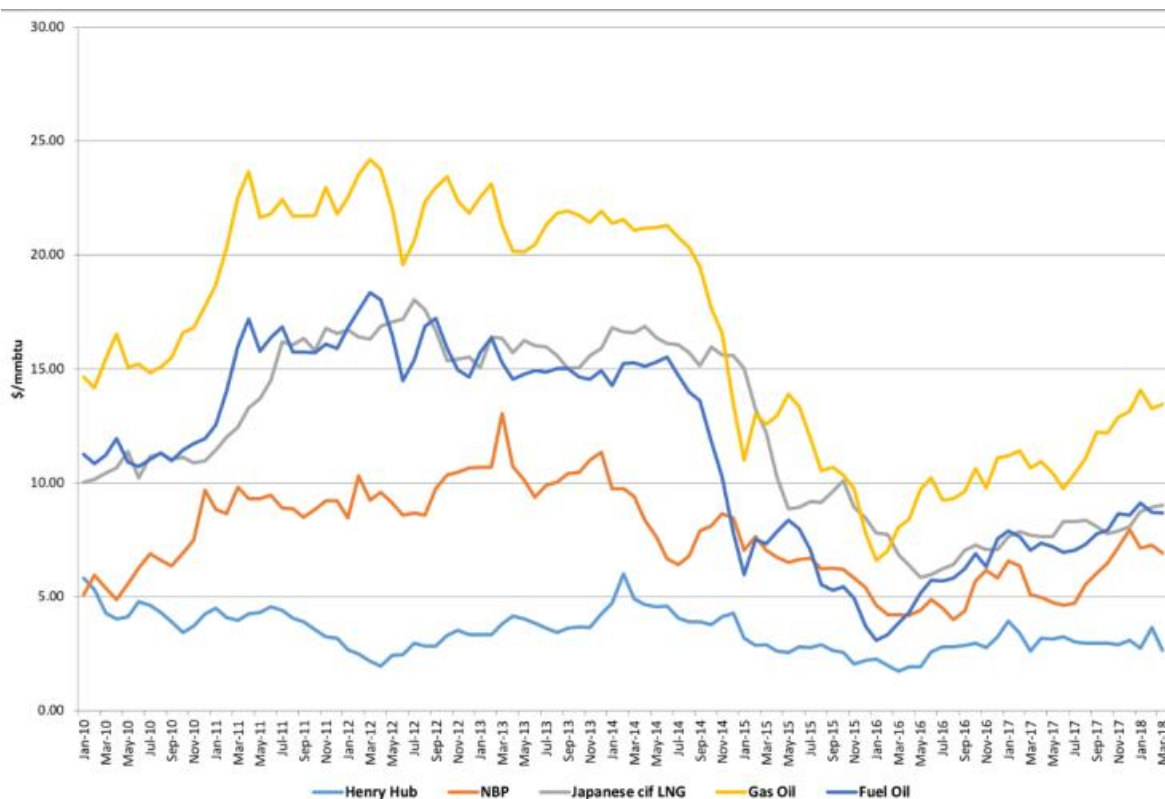
Όπως έχει αναφερθεί τα επιτρεπόμενα όρια περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων είναι σήμερα 0.1% (κ.β.) στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECAs) της Βόρειας Αμερικής, της Βαλτικής και της Βόρειας Θάλασσας στην Ευρώπη, ενώ θα είναι 0.5% (κ.β.) παγκοσμίως από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020. Σήμερα το παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας σε θείο είναι 3.5% τη στιγμή που τα διαγράμματα του IMO δείχνουν ότι η μέση ετήσια περιεκτικότητα σε θείο των υπολειμματικών πετρελαίων που ελέγχθηκαν το 2016 ήταν 2.58% και των αποσταγμάτων καυσίμων ήταν 0,08%. Συνεπώς θα μπορούσε να υπάρξει σημαντική διακοπή στις παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού καυσίμων των πλοίων όταν τα νέα όρια έλθουν σε ισχύ, επηρεάζοντας τους προμηθευτές καυσίμων, τους εμπόρους, τους χονδρεμπόρους και τους χρήστες.



### 4.3. Η οικονομική περίπτωση του ΥΦΑ

Το κόστος των καυσίμων είναι σημαντικό για τους φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων καθώς μπορεί να αντιπροσωπεύει μεταξύ του 50 % και του 60% του συνολικού λειτουργικού κόστους του πλοίου. Επίσης οι αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου, αυξάνουν ακόμη περισσότερο το κόστος των καυσίμων. Τα θαλάσσια καύσιμα πωλούνται γενικά χωρίς κανένα φόρο, επομένως οι συγκρίσεις μεταξύ των τιμών είναι σχετικά απλές.

Οι εμπορικοί κόμβοι για την αγορά του φυσικού αερίου είναι η Henry Hub στη Λουιζιάνα για την ανατολική ακτή των ΗΠΑ και οι TTF και NBP για τη βορειοδυτική Ευρώπη. Ωστόσο οι δύο αγορές είναι αρκετά διαφορετικές. Στις ΗΠΑ η τιμή του υδροποιημένου φυσικού αερίου είναι χαμηλότερη από την τιμή του LNG στην Ευρώπη [30].



Σχήμα 20. Σύγκριση τιμών θαλάσσιων καυσίμων σε \$/MMBtu.

Το παραπάνω σχήμα δείχνει την εξέλιξη των τιμών των καυσίμων σε \$/MMBtu. Η τιμή του φυσικού αερίου είναι χαμηλότερη από τα αποστάγματα πετρελαίου στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ, ενώ η διαφορά μεταξύ υδροποιημένου φυσικού αερίου και πετρελαίου στην Ιαπωνία

είναι μικρότερη, γεγονός που είναι αναμενόμενο καθώς η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ιαπωνία συνδέεται με τις τιμές του αργού πετρελαίου.

#### 4.4. Ενεργειακή πυκνότητα καυσίμων

Η ενεργειακή πυκνότητα του καυσίμου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, ειδικά στα κρουαζιερόπλοια τα οποία πρέπει να είναι αυτόνομα για πολλές μέρες σε κάθε ταξίδι τους. Οι υψηλές τιμές στην ενεργειακή πυκνότητα του καυσίμου υποδηλώνουν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερος χώρος για καμπίνες, καθώς και άλλες περιοχές που δημιουργούν έσοδα για το πλοίο. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατηρείται ότι ένα λίτρο υγροποιημένου φυσικού αερίου περιέχει σημαντικά λιγότερη ενέργεια από μια ισοδύναμη ποσότητα πετρελαίου. Ωστόσο το LNG αποτελεί την καλύτερη λύση συγκριτικά με τα συμμορφούμενα καύσιμα που επιτρέπονται από τους διεθνείς και τους τοπικούς κανονισμούς. Ένα λίτρο υδρογόνου περιέχει μόνο το ένα τέταρτο της ενέργειας ενός λίτρου πετρελαίου και το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG – Liquefied Petroleum Gas) λόγω των μακρύτερων αλυσίδων άνθρακα εκπέμπει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Τέλος το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG - Compressed Natural Gas) είναι εφικτό μόνο για εφαρμογές μικρής κλίμακας [32].

Καύσιμο	Ενεργειακή πυκνότητα (GJ/m <sup>3</sup> )
<b>HFO (Heavy fuel oil)</b>	41.20
<b>MGO (Marine Gas Oil)</b>	35.68
<b>Βιοντίζελ</b>	32.61
<b>Βενζίνη</b>	30.38
<b>LPG</b>	23.41
<b>Αιθανόλη</b>	22.30
<b>LNG</b>	20.49
<b>Μεθανόλη</b>	15.61
<b>CNG</b>	9.20
<b>Υγροποιημένο υδρογόνο</b>	8.50

Πίνακας 18. Ενεργειακή πυκνότητα των καυσίμων.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι 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. Ωστόσο, καθώς η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται γίνεται ελαφρύτερο από τον αέρα και διαχέεται γρήγορα .

#### **4.5. Αεριοστρόβιλοι**

Το LNG μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τρεις τύπους παλινδρομικών κινητήρων, καθώς και από αεριοστρόβιλους. Οι αεριοστρόβιλοι έχουν παρουσιάσει προβλήματα στο παρελθόν σε εφαρμογές κρουαζιερόπλοιων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000 ήταν εγκατεστημένοι σε πολλά πλοία. Ωστόσο μόλις οι τιμές των καυσίμων άρχισαν να αυξάνονται, τα χαρακτηριστικά προβλήματα των στροβίλων άρχισαν να αντισταθμίζουν τα οφέλη τους. Παρ'όλα αυτά οι σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις δίνουν τη δυνατότητα να επανεξεταστεί η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε αεριοστρόβιλους. Τα μοντέλα των αεριοστρόβιλων της σειράς LM2500 της General Electric είναι με διαφορά τα πιο δημοφιλή και έχουν εγκατασταθεί σε 21 πλοία. Η θερμική απόδοση αυτών των μοντέλων είναι 38 %, που είναι χαμηλή σε σύγκριση με το 48 % των μεγάλων κινητήρων διπλού καυσίμου και μέσης ταχύτητας. Σε συνδυασμένο κύκλο με την εισαγωγή ενός δεύτερου στροβίλου η απόδοση μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Τα καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας του πρώτου στροβίλου χρησιμοποιούνται ως είσοδος στον δεύτερο στρόβιλο και έτσι συλλαμβάνεται η θερμική ενέργεια που θα χανόταν. Η απόδοση αυτής της μεθόδου ανέρχεται στο 60 %. Το πρόβλημα των στροβίλων είναι ότι παρουσιάζουν δυσμενή απόδοση σε μερικά φορτία σε σύγκριση με τους κινητήρες ντίζελ. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των αεριοστρόβιλων είναι ότι αυτοί μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να χρησιμοποιούν οποιαδήποτε προκαθορισμένη αναλογία μείγματος αερίου/καυσίμου, ενώ παρέχουν μειωμένες δονήσεις και καθαρότερα καυσαέρια σε σύγκριση με τους κινητήρες ντίζελ. Η χρήση αεριοστρόβιλων ωστόσο, δεν αποτελεί συμφέρουσα λύση από οικονομική άποψη, καθώς απαιτεί 15 – 20 % μεγαλύτερες κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX - CAPital EXpenditure) και περιορίζεται στη χρήση δαπανηρών καυσίμων υψηλής καθαρότητας. Ο στρόβιλος μπορεί να λειτουργεί με φυσικό αέριο, βιοντίζελ και MGO. Το μειωμένο βάρος και το μέγεθος της εγκατάστασης επιτρέπει πιο ευέλικτη τοποθέτηση, μια παράμετρος που μπορεί να δημιουργήσει χώρο για δεκάδες νέες καμπίνες, αντισταθμίζοντας έτσι τις πρόσθετες δαπάνες της εγκατάστασης.

#### **4.6. Δίχρονοι κινητήρες αερίου - πετρελαίου**

Οι πιο αποδοτικοί ναυτικοί κινητήρες ήταν πάντοτε οι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες. Τώρα έχουν αναπτυχθεί οι κινητήρες αερίου – πετρελαίου με βάση το ίδιο σχέδιο για να λειτουργούν με διάφορα μίγματα αερίου και πετρελαίου. Σε αυτούς τους κινητήρες, το αέριο εισάγεται στο θάλαμο καύσης με πολύ υψηλή πίεση λίγο πριν την καύση. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) είναι υψηλότερες από αυτούς τους κινητήρες σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες διπλού καυσίμου. Συνεπώς ο δίχρονος κινητήρας αερίου – πετρελαίου δεν καλύπτει τις απαιτήσεις της βαθμίδας III του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού (IMO Tier III). Τα πλεονεκτήματα του σχεδιασμού αυτών των κινητήρων ήταν υψηλή απόδοση, η σταθερή καύση και η πολύ μικρή ολίσθηση μεθανίου. Σε αυτές τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται γεννήτρια για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τοποθετούνται και βοηθητικοί κινητήρες. Τέλος, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων για την ικανοποίηση των απαιτήσεων και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς.

#### **4.7. Τετράχρονοι κινητήρες αερίου**

Αυτοί οι κινητήρες λειτουργούν μόνο με αέριο. Τα εξαιρετικά λεπτά μίγματα αέρα - καυσίμου οδηγούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες καύσης και συνεπώς δεν σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες οξειδίων του αζώτου (NOx). Ο κινητήρας λειτουργεί σύμφωνα με τον κύκλο του Otto, με καύση που ενεργοποιείται με ανάφλεξη από σπινθηριστή και το αέριο εγχέεται υπό χαμηλή πίεση. Παρόλο που αυτοί οι κινητήρες αναπτύχθηκαν αρχικά για χερσαίες εφαρμογές, στη συνέχεια εγκαταστάθηκαν και σε πλοία. Δεδομένου ότι αυτοί οι κινητήρες είναι ικανοί να χρησιμοποιούν μόνο φυσικό αέριο, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός δεύτερου συστήματος εφεδρικού καυσίμου (συμπεριλαμβανομένης της δεξαμενής) για την κάλυψη της ασφαλούς επιστροφής στο λιμάνι (SRtP - Safe Return to Port). Επιπλέον, η διαδρομή των πλοίων που έχουν εγκατεστημένους τέτοιους κινητήρες, πρέπει να προγραμματιστεί σύμφωνα με τους κατάλληλους τερματικούς σταθμούς δεξαμενής καυσίμων, ενώ ο χειριστής δεν θα μπορέσει να επωφεληθεί από τις πιθανές χαμηλές τιμές πετρελαίου (όπως θα μπορούσε με ένα κινητήρα δύο καυσίμων).

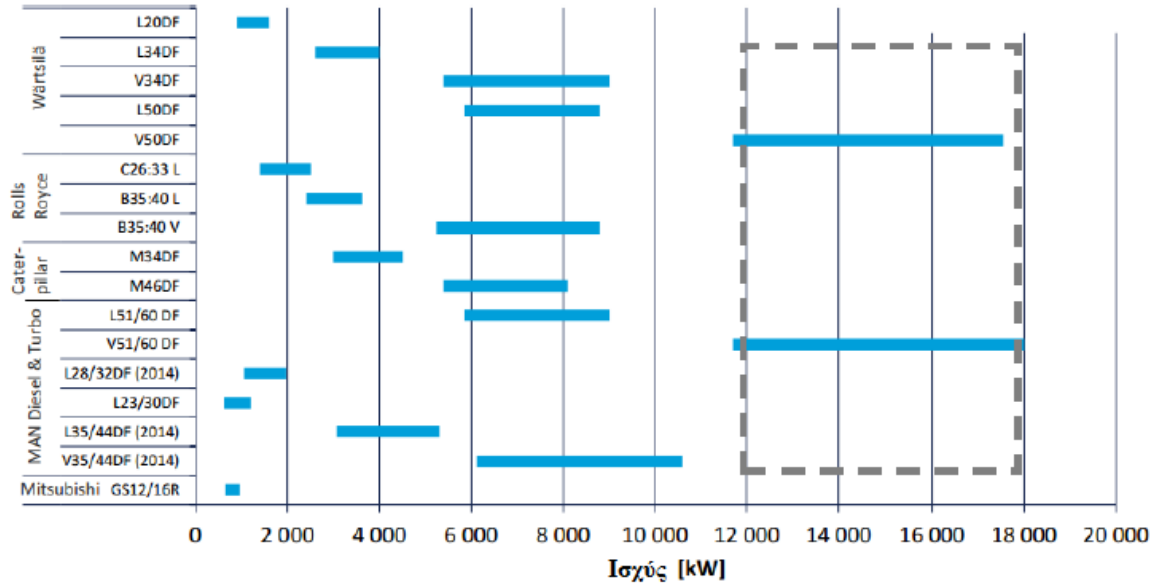
#### **4.8. Τετράχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου**

Αυτοί οι κινητήρες μπορούν να λειτουργούν είτε με αέριο, είτε με πετρέλαιο. Λειτουργούν και αυτοί σύμφωνα με τον κύκλο του Otto κατά την καύση του αερίου, με τη διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση το μείγμα αναφλέγεται με την έγχυση μικρής ποσότητας πετρελαίου εντός του θαλάμου καύσης, αντί για την ανάφλεξη με τον σπινθηριστή. Στη λειτουργία

ντίζελ ο κινητήρας λειτουργεί σύμφωνα με τον κανονικό κύκλο ντίζελ, με έγχυση πετρελαίου υψηλής πίεσης εντός του θαλάμου καύσης, με μια συμβατική αντλία έγχυσης. Σε αυτή τη λειτουργία δεν υπάρχει είσοδος αερίου, αλλά για να εξασφαλιστεί η ομαλή μετάβαση από το ένα καύσιμο στο άλλο εγχέεται στο θάλαμο καύσης πιλοτικό καύσιμο ντίζελ.

Μια μηχανή διπλού καυσίμου μπορεί να λειτουργήσει με 100 % ντίζελ ή με μείγμα ντίζελ και φυσικό αέριο. Δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνο με φυσικό αέριο. Η πιλοτική έγχυση πετρελαίου παίζει το ρόλο πολλαπλών αναφλεκτήρων/μπουζιού. Απαιτείται ηλεκτρονική ρύθμιση της έγχυσης του πετρελαίου και της εισαγωγής φυσικού αερίου στον κύλινδρο. Όταν η παροχή αερίου καυσίμου είναι κάτω από το επιτρεπόμενο όριο και στα χαμηλά φορτία, η ηλεκτρονική ρύθμιση επιτρέπει την αποκλειστική χρήση πετρελαίου. Το φυσικό αέριο μπορεί να αποθηκευτεί υπό πίεση ή υπό χαμηλή θερμοκρασία σε κρυογενείς συνθήκες. Ο συνολικός απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι περίπου 2,5 με 3 φορές μεγαλύτερος του όγκου που απαιτείται για πετρέλαιο ίσης ενέργειας. Σε κάποιες περιπτώσεις, υπάρχουσες ντιζελομηχανές μπορούν να μετατραπούν σε μηχανές διπλού καυσίμου. Σε μια τέτοια μετατροπή το μεγαλύτερο κόστος είναι αυτό των δεξαμενών αποθήκευσης, των σωληνώσεων που είναι συνήθως διπλών τοιχωμάτων και των διαφόρων συστημάτων ασφαλείας στο πλοίο λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας διαχείρισης του φυσικού αερίου. Με τις σημερινές συνθήκες και κόστος, ο χρόνος επιστροφής της επένδυσης για μετατροπή σε φυσικό αέριο καύσιμο υπερβαίνει τη δεκαετία. Κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο αυτό είναι η χρήση του πλοίου σε ετήσια βάση, οι τιμές των καυσίμων και το κόστος των μετατροπών [33].

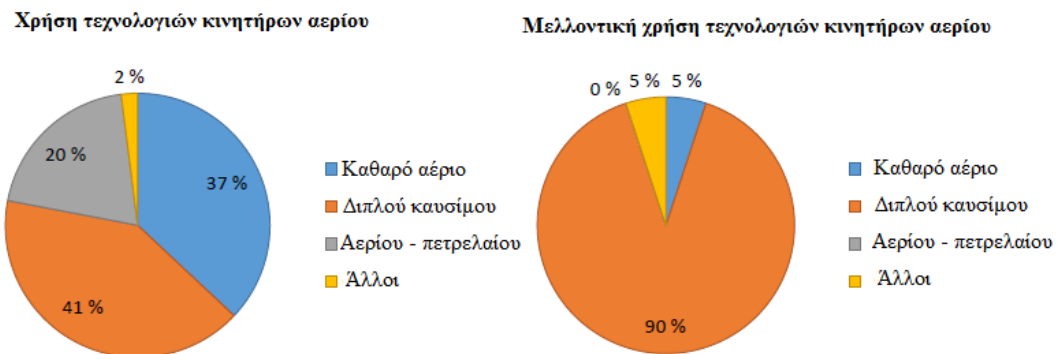
Τα κρουαζιερόπλοια καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας και τα περισσότερα έχουν εγκατεστημένους από τέσσερις έως έξι πετρελαιοκινητήρες μέσης ταχύτητας και ίδιας κατασκευής. Έχει αποδειχθεί ότι αυτού του είδους η διαμόρφωση προσφέρει καλή απόδοση και ευκολία στη λειτουργία. Χρησιμοποιώντας πολλαπλές μηχανές παράλληλα μεταξύ τους, δίνεται η ευκαιρία στο χειριστή να προσαρμόζει την παροχή ισχύος ανάλογα με τη ζήτηση. Μια τέτοια διαμόρφωση αυξάνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος και μειώνει τις εκπομπές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα εύρη ισχύος των διαθέσιμων τετράχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου.



Πίνακας 19. Τα εύρη ισχύος των διαθέσιμων τετράχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου.

#### 4.9. Τρέχουσα κατάσταση αγοράς

Ο σημερινός στόλος έχει σχεδόν ίση εκπροσώπηση από όλες τις κατηγορίες των κινητήρων αερίου, οι οποίες είναι αυτοί που λειτουργούν με καθαρό αέριο, οι τετράχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου και οι δίχρονοι κινητήρες αερίου – πετρελαίου. Οι αεριοστρόβιλοι δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής. Όπως φαίνεται και από το σχήμα που ακολουθεί, οι κινητήρες διπλού καυσίμου αποτελούν την κύρια τεχνολογία για το μέλλον.



Διάγραμμα 8. Σημερινή και μελλοντική αγορά κινητήρων αερίου.

Τύπος	4-χρονος καθαρού αερίου	4-χρονος διπλού καυσίμου	2-χρονος διπλού καυσίμου	Αεριοστρόβιλος
Ανάφλεξη	Μπουζί	Πιλοτικό πετρέλαιο	Πιλοτικό πετρέλαιο	Μπουζί
Κατανάλωση πιλοτικού πετρελαίου	0	≤ 1 %	5 %	0
Πίεση παροχής αερίου	4 – 5 bar	4 – 5 bar	300 bar	30 – 40 bar
Επιλογές καυσίμου	Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο, βαρύ πετρέλαιο, απόσταγμα πετρελαίου (MGO), βιοντίζελ	Φυσικό αέριο, βαρύ πετρέλαιο, απόσταγμα πετρελαίου (MGO), βιοντίζελ	Φυσικό αέριο, απόσταγμα πετρελαίου (MGO), βιοντίζελ
Απαίτηση δεξαμενών LNG	≥2	1	1	1
Διαθέσιμα προϊόντα για κρουαζιερόπλοια	Κανένα	Wärtsilä: 46DF, 50DF MAN: 51/60 DF	MAN : ME-GI MHI: UEC-LSGi	GE: LM2500+ RR: MT30
Παρατηρήσεις	Θόρυβος	Θόρυβος και υψηλή κατανάλωση καυσίμου	Συστήματα υψηλής πίεσης, μεγάλο μέγεθος και βάρος	Υψηλή κατανάλωση καυσίμου

Πίνακας 20. Σύγκριση κινητήρων.

Στον παραπάνω πίνακα γίνεται μια σύγκριση των τετράχρονων κινητήρων που είναι σχεδιασμένοι για καύση καθαρού αερίου, των δίχρονων κινητήρων αερίου - πετρελαίου, των τετράχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου, καθώς και των αεριοστρόβιλων.

#### **4.10. Η έννοια του ενεργειακού συστήματος**

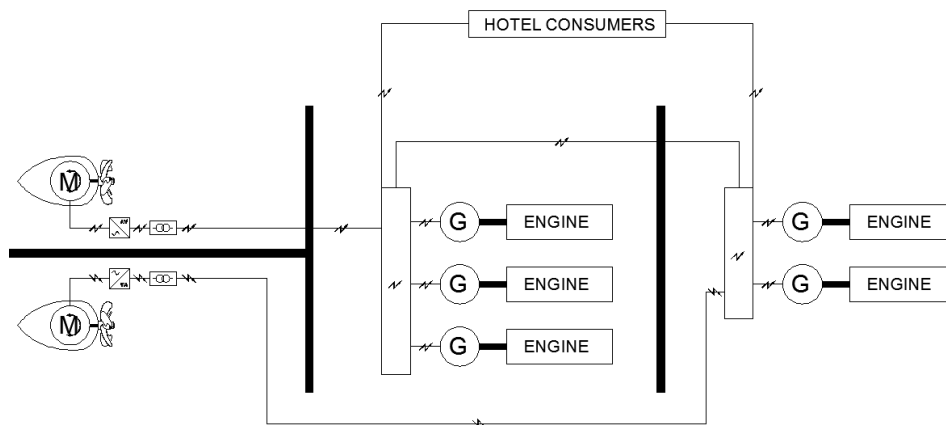
Το μέσο σύγχρονο κρουαζιερόπλοιο είναι πετρελαιοηλεκτρικό. Η μηχανική ισχύς παράγεται από τους κινητήρες πετρελαίου μέσης ταχύτητας και μετατρέπεται στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ισχύς που παράγεται είναι εφεδρική, καθώς σε ένα κρουαζιερόπλοιο είναι εγκατεστημένες από τέσσερις έως έξι μηχανές του ίδιου μοντέλου. Η ισχύς αυτή μπορεί να κατανεμηθεί μέσω του ηλεκτρικού πίνακα για να καλύψει θέματα ασφάλειας, συντήρησης ή απόδοσης.

Λόγω των αυξημένων ελέγχων των εκπομπών και λόγω των υψηλών τιμών των αποσταγμάτων του πετρελαίου, η βιομηχανία έχει εισάγει τους κινητήρες διπλού καυσίμου ως ένα τρόπο για να μειώσει την αποκλειστική κατανάλωση ενός καυσίμου με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη ευελιξία ως προς τον τύπο καυσίμου που θα χρησιμοποιήσει. Το εναλλακτικό καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το φυσικό αέριο. Ωστόσο για την αποδοτική και ασφαλή χρήση του καυσίμου αυτού πρέπει να γίνουν πολλές αλλαγές στο σύστημα των καυσίμων. Πρώτον, ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αποθήκευσης του αερίου είναι σε υγρή φάση. Αυτό απαιτεί πολύ καλή μόνωση και ανοχή υψηλής πίεσης. Επίσης, η μεταφορά του καυσίμου από και προς τη δεξαμενή είναι πιο περίπλοκη, καθώς απαιτεί περισσότερη μόνωση, ειδικά υλικά και υποχρεωτικό σύστημα εξαερισμού.

Επιπρόσθετα πρέπει να εγκατασταθούν συστήματα ασφαλείας για την απομάκρυνση ανεπιθύμητης ποσότητας αερίου πριν αυτή φτάσει σε επιβλαβή επίπεδα. Στην αρχή καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας από το αέριο. Ωστόσο αν δεν απαιτείται ενέργεια, το καύσιμο αποστέλλεται σε μονάδα καύσης αερίου και σε περίπτωση που η διαδικασία αυτή αποτύχει, το αέριο εξαερίζεται στην ατμόσφαιρα. Τα συστήματα εφεδρικής παροχής και εξαερισμού καυσίμου πρέπει να είναι έτοιμα να τεθούν σε εφαρμογή.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαμόρφωση για την πετρελαιοηλεκτρική λειτουργία με ηλεκτρική πρόωση. Αυτή είναι μια βασική διαμόρφωση για τα επιβατικά πλοία. Εδώ η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από πέντε γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες με τους αντίστοιχους κινητήρες. Τα ζεύγη των κινητήρων – γεννητριών μοιράζονται σε δύο μηχανοστάσια ώστε σε περίπτωση πλημμύρας να διασφαλίζεται η διαθεσιμότητα ισχύος. Υπάρχουν δύο πίνακες που κατανέμουν την παραγόμενη ισχύ που θα καταναλωθεί είτε για πρόωση, είτε για άλλες λειτουργίες. Οι ηλεκτρικές μονάδες πρόωσης είναι τοποθετημένες στην αριστερή πλευρά του σχήματος και συνδυάζονται με τις απαιτούμενες μονάδες μετατροπής της ισχύος.

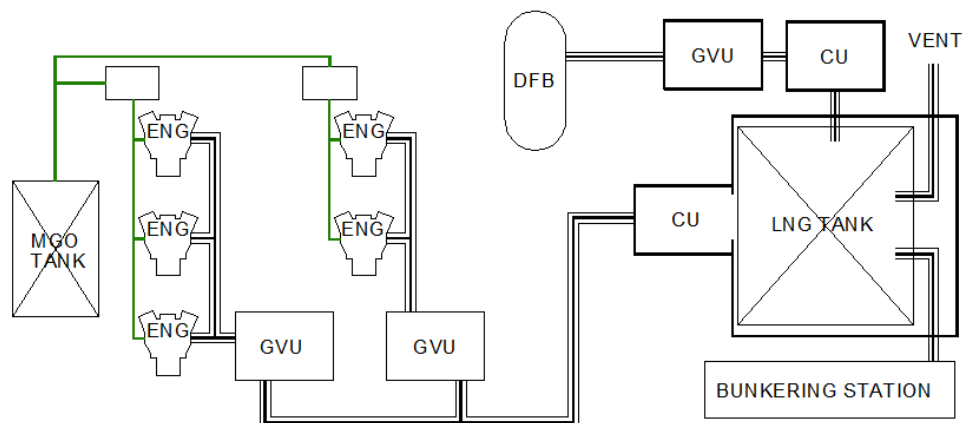




Σχήμα 21. Ενεργειακό σύστημα τύπου μονάδας παραγωγής ενέργειας. [45]

Παρακάτω παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση για τα ανεξάρτητα συστήματα καυσίμου που είναι το σύστημα που λειτουργεί με MGO και εκείνο που λειτουργεί με LNG. Στο σύστημα του υγροποιημένου φυσικού αερίου παρατηρείται ότι οι σωληνώσεις είναι διπλού τοιχώματος καθώς έτσι είναι η απαίτηση για τα αέρια καύσιμα. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αφού εγκαταλείψει τη δεξαμενή, εξατμίζεται και θερμαίνεται στην απαιτούμενη θερμοκρασία στη μονάδα κλιματισμού (CU). Στη συνέχεια τροφοδοτείται στους κινητήρες ή στους λέβητες διπλού καυσίμου (DFB – Dual Fuel Boiler) μέσω της βαλβίδας αερίου (GVU - Gas Valve Unit). Μια μικρή ποσότητα καυσίμου MGO χρησιμοποιείται ως πιλοτικό καύσιμο για την έναυση των κινητήρων.

Στην περίπτωση που το αέριο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τότε μπορεί να καεί στο λέβητα, ενώ σαν έσχατη λύση μπορεί να εξαεριστεί στην ατμόσφαιρα. Εναλλακτικά οι ανάγκες του πλοίου μπορούν να καλύπτονται αποκλειστικά από την χρήση του MGO.

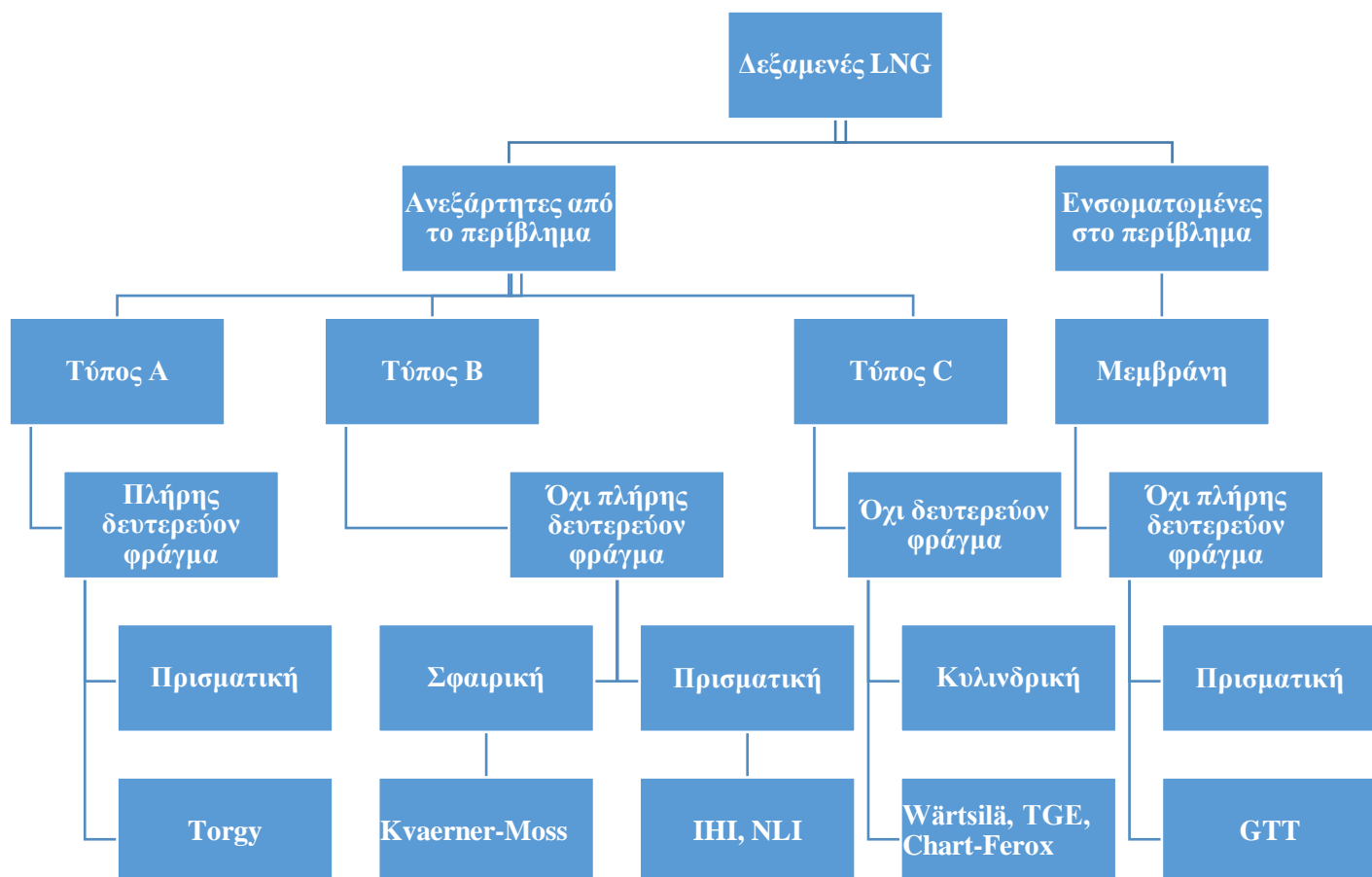


Σχήμα 22. Σύστημα χειρισμού καυσίμων. [45]

#### 4.11. Δεξαμενές καυσίμου

Οι δεξαμενές που περιέχουν φυσικό αέριο αποτελούνται από ένα πρωτεύον φράγμα, ένα δευτερεύον φράγμα, θερμομόνωση και δομές στήριξης. Παρακάτω παρουσιάζεται μια σύντομη επισκόπηση των διαθέσιμων δεξαμενών και γίνεται μια σύγκριση για την ανάδειξη της κατάλληλης για χρήση σε κρουαζιερόπλοια.

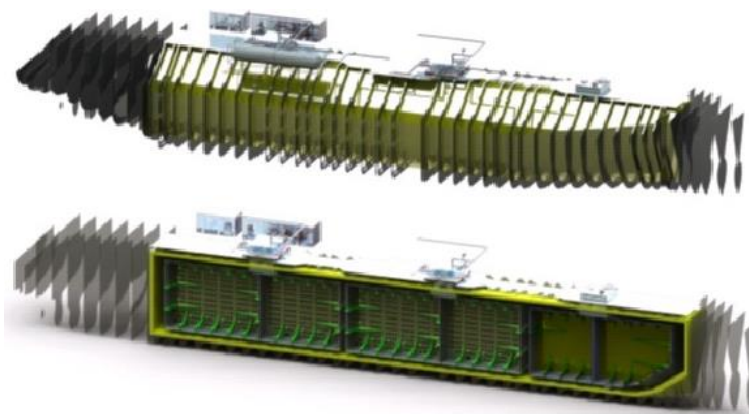
Τα συστήματα δεξαμενών μπορεί να είναι είτε ανεξάρτητα από το κύτος του πλοίου, είτε ενσωματωμένα σε αυτό. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται όλοι οι τύποι δεξαμενών που θεωρούνται κατάλληλοι από τον IMO για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου. Στο σχήμα αυτό περιγράφεται ο τύπος της δεξαμενής σύμφωνα με τον κώδικα IGF του IMO, η απαίτηση για δευτερεύον φράγμα, το σχήμα του κάθε τύπου καθώς και κάποιοι από τους ευρέως γνωστούς κατασκευαστές.



Σχήμα 23. Τύποι δεξαμενών.

#### 4.11.1. Δεξαμενές τύπου A

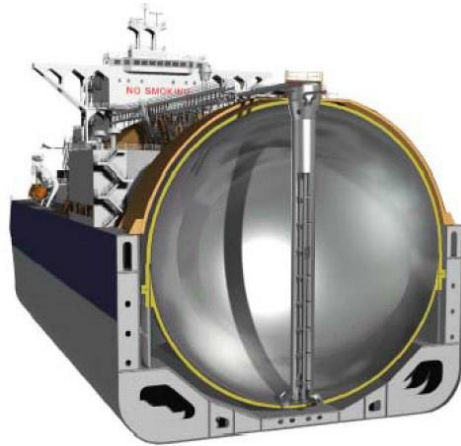
Οι δεξαμενές αυτού του τύπου ήταν οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ο σχεδιασμός τους δεν θεωρείται ανθεκτικός στις ρωγμές με αποτέλεσμα να απαιτείται πλήρης δευτερεύον φράγμα κατασκευασμένο από χαμηλής θερμοκρασίας ανθεκτικό χάλυβα. Αν και το κύτος του πλοίου μπορεί να λειτουργήσει ως δευτερεύον φράγμα, είναι αντισυμβαλλόμενο να κατασκευάζεται αυτό από ανοξείδωτο χάλυβα. Η άλλη επιλογή είναι να δημιουργηθεί ένα δευτερεύον φράγμα γύρω από κάθε δεξαμενή, μεγαλώνοντας έτσι το μέγεθος και το βάρος της διάταξης. Οι δεξαμενές τύπου A εγκαθίστανται πολύ σπάνια.



Σχήμα 24. Δεξαμενή τύπου A. [46]

#### 4.11.2. Δεξαμενή τύπου B

Οι δεξαμενές αυτού του τύπου αποτελούν μια οικονομική έκδοση των δεξαμενών τύπου A, καθώς δεν απαιτούν πλήρες δευτερεύον φράγμα. Ο πιο γνωστός σχεδιασμός δεξαμενών τύπου B είναι η δεξαμενή Moss, που αποτελεί τη χαρακτηριστική σφαιρική δεξαμενή του πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου της δεκαετίας του 1970. Το σφαιρικό κέλυφος αλουμινίου είναι αρκετά ασφαλές, ενώ η επιθεώρηση αυτού αποτελεί απλή διαδικασία. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια δεν χρησιμοποιούνται τέτοιου τύπου δεξαμενές, καθώς προτιμώνται οι πρισματικές λόγω του χαμηλότερου τους κόστους και της μικρότερης χρήσης χώρου.



Σχήμα 25. Σφαιρική δεξαμενή τύπου Β. [46]

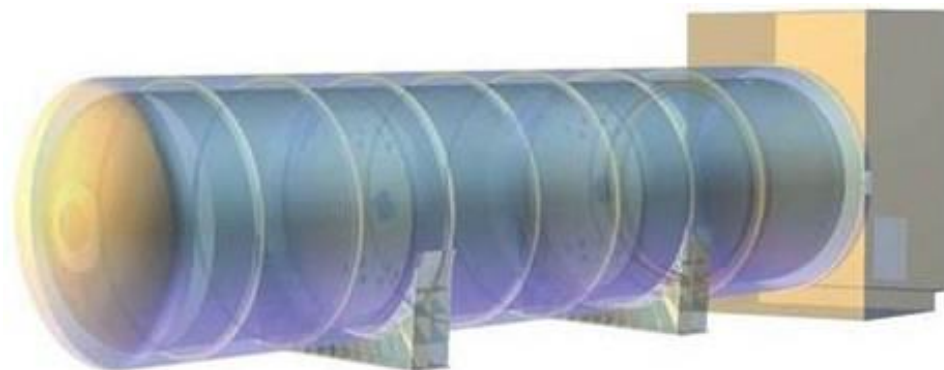
Ο πρισματικός σχεδιασμός τύπου Β συνδυάζει ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Η καλύτερη χρήση χώρου που προσφέρει επιτρέπει τη δημιουργία πλοίων μικρότερων διαστάσεων και βελτιωμένης ευελιξίας. Επίσης οι πρισματικές δεξαμενές είναι ελαφρότερες από τις σφαιρικές. Ωστόσο υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα, όπως είναι το υψηλό κόστος τους (περίπου 10 % υψηλότερο από το κόστος των δεξαμενών τύπου μεμβράνης), η μεγάλη πολυπλοκότητά τους και η υψηλή θερμική μάζα. Παρόλο που ο συγκεκριμένος σχεδιασμός έχει εγκριθεί από το 1983 χρησιμοποιείται σπάνια για αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ένα τέτοιο είδος δεξαμενής παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 26. Πρισματική δεξαμενή τύπου Β. [46]

### 4.11.3. Δεξαμενή τύπου C

Αυτού του τύπου οι δεξαμενές θεωρούνται οι απλούστερες και οι ασφαλέστερες λύσεις για τη μεταφορά κρυογενών προϊόντων. Οι δεξαμενές αυτές είναι σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν τις υψηλές πιέσεις και έχουν πολύ μικρές πιθανότητες εμφάνισης διαρροής σε αντίθεση με άλλους τύπους δεξαμενών. Σήμερα αποτελούν την ιδανικότερη επιλογή για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Αυτές οι δεξαμενές αποτελούνται είτε από διπλό κέλυφος με κενό, είτε από μονό κέλυφος με μόνωση αφρού. Τα μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλότερη ογκομετρική απόδοση και το μεγαλύτερο βάρος τους σε σχέση με άλλες δεξαμενές. Επίσης απαιτούν μεγαλύτερα κεφάλαια και περισσότερο χώρο για την εγκατάστασή τους. Οι δεξαμενές τύπου C χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιήσουν τους κινδύνους που συνδέονται με τη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου.



Σχήμα 27. Δεξαμενή τύπου C. [46]

### 4.11.4. Δεξαμενή τύπου μεμβράνης

Σήμερα όλα τα νέα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου έχουν εγκατεστημένες τέτοιου τύπου δεξαμενές, καθώς προσφέρουν αποτελεσματικότερη χρήση του χώρου και μικρότερο ρυθμό εξάτμισης (BOR - Boil-off Rate). Και οι δύο αυτοί παράγοντες μεγιστοποιούν το ποσό του φορτίου που φθάνει στον επιθυμητό προορισμό για συγκεκριμένο μέγεθος πλοίου. Οι δεξαμενές αυτές είναι ενσωματωμένες στο περίβλημα του πλοίου και ο πυθμένας της δεξαμενής αποτελείται από το κύτος του πλοίου, στο οποίο είναι κολλημένη η μόνωση αφρού. Το ανώτερο στρώμα το οποίο βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελείται από κυματοειδές ανοξείδωτο χάλυβα πάχους 1.2 mm. Οι δεξαμενές τύπου μεμβράνης απαιτούν περισσότερες αρχικές επενδύσεις, αλλά έχουν χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες. Ωστόσο όλα τα επιβατικά πλοία μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί με δεξαμενές τύπου C ανεξάρτητα από την υψηλότερη απαίτηση χώρου και το βάρος τους [31].



Σχήμα 28. Δεξαμενή τύπου μεμβράνης. [46]

#### 4.12. Θέση δεξαμενής καυσίμου

Η δεξαμενή για το υγροποιημένο φυσικό αέριο απαιτεί περισσότερο χώρο από την αντίστοιχη δεξαμενή πετρελαίου ή κάποιου αποστάγματος αυτού. Επίσης η θέση της δεξαμενής περιορίζεται αυστηρά από τις απαιτήσεις των κανονισμών. Η τοποθέτηση των δεξαμενών μπορεί να γίνει είτε πάνω, είτε κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Η πρώτη επιλογή απαιτεί λίγες αλλαγές στο σχεδιασμό και είναι μια καλή λύση για περιπτώσεις μετασκευών, ενώ η δεύτερη επιλογή χρησιμοποιείται στην κατασκευή νέων πλοίων. Ο κώδικας IGF περιλαμβάνει τα κριτήρια προσδιορισμού για τη θέση της δεξαμενής. Έτσι οι δεξαμενές πρέπει να τοποθετούνται εντός:

- $B/5$  ή  $11.5$  m , όποιο είναι μικρότερο, από το πλευρικό κέλυφος
- $B/15$  ή  $2.0$  m, όποιο είναι μικρότερο, από την επένδυση του πυθμένα του κελύφους
- 8 % πίσω από την προωρία κάθετη για τα επιβατικά πλοία

Εάν επιλεγούν κινητήρες για καύση καθαρού αερίου, απαιτείται η χρήση δύο δεξαμενών για να διασφαλιστεί η πλεονασματική παροχή καυσίμου. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται κινητήρας διπλού καυσίμου, πρέπει να εγκατασταθεί μια δεξαμενή για το υγροποιημένο φυσικό αέριο και μια για το απόσταγμα του πετρελαίου.

## Εξάτμιση αερίου

Η εξάτμιση είναι η ποσότητα του υγρού που αλλάζει σε αέρια φάση. Ο ρυθμός εξάτμισης (BOR – Boil-off Rate) ορίζεται ως η ποσότητα εξάτμισης ανά μονάδα χρόνου (συχνότερα ανά ημέρα). Ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια της δεξαμενής, τη θερμική αγωγιμότητα, τη θερμοδυναμική κατάσταση του καυσίμου και τη θερμοκρασία εκτός της δεξαμενής. Οι κοινές τιμές για το δείκτη BOR είναι περίπου 0.3 % / ημέρα. Η εξάτμιση του αερίου μπορεί να περιοριστεί μέσω της αύξησης της πίεσης της δεξαμενής, μέσω της υγροποίησης του αερίου ή μέσω της καύσης αυτού.

Για λόγους ασφαλείας πρέπει να εγκατασταθεί μια δευτερεύον και μια τριτεύον μέθοδος για τη χρήση του αερίου. Η δευτερεύουσα μέθοδος για ένα κρουαζιερόπλοιο θα είναι πιθανότατα λέβητες φυσικού αερίου, οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν ως μονάδες καύσης αερίου. Η τριτεύον μέθοδος, η οποία δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί εκτός αν είναι απολύτως απαραίτητο, είναι ο εξαερισμός. Για το λόγο αυτό πρέπει να εγκατασταθεί μια γραμμή εξαερισμού.

Συνεπώς υπάρχουν πολλοί τρόποι για την ασφαλή μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ο σχεδιασμός δεξαμενών τύπου A που περιγράφηκε χρησιμοποιούταν στο παρελθόν αλλά πλέον έχει αντικατασταθεί από τον πιο οικονομικό σχεδιασμό τύπου B. Ωστόσο οι δεξαμενές τύπου B, τόσο οι πρισματικές όσο και οι σφαιρικές χρησιμοποιούνται κυρίως σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και όχι ως δεξαμενές καυσίμου. Για αυτήν την κατηγορία δεξαμενών είναι γνωστό ότι απαιτούν μεγαλύτερες αρχικές δαπάνες, αλλά έχουν αποδοτικότερη χρήση χώρου κάτι το οποίο μπορεί να αποδειχθεί αρκετά πολύτιμο. Όσον αφορά τις δεξαμενές τύπου C προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, ενώ η δεξαμενή μεμβράνης είναι λιγότερο δημοφιλής για την αποθήκευση καυσίμων ωστόσο αποτελεί εφικτή εναλλακτική λύση.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η σύγκριση των επιλογών για την αποθήκευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Τύπος IMO	Μεμβράνη	A	B	B ή C	C	
Σχήμα δεξαμενής	Πρισματική	Πρισματική	Πρισματική	Σφαιρική	Κυλινδρική	
Θερμομόνωση	Εξωτερική	Εξωτερική	Εξωτερική		Εξωτερική	Κενό
Δευτερεύον φράγμα	Πλήρης	Πλήρης	Όχι πλήρης	Όχι πλήρης	Κανένα	
Μέγιστη πίεση	0.7 bar(g)	0.7 bar(g)	0.7 bar(g)	0.7 bar(g)	9 bar(g)	
Απόδοση χώρου	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Μεσαία	Χαμηλή	
Διανομή αερίου	Αντλία	Αντλία	Αντλία	Αντλία	Συσσώρευση πίεσης	
Βάρος	Υψηλό	Υψηλό	Υψηλό	Χαμηλό	Χαμηλό	
Κόστος σχεδιασμού	Μέτριο	Υψηλό	Υψηλό	Μέτριο	Χαμηλό	
Σύστημα καυσίμου	Πολύπλοκο	Πολύπλοκο	Πολύπλοκο	Πολύπλοκο	Απλό	
Χωρητικότητα (m <sup>3</sup> )	≥ 3000	≥ 3000	≥ 3000	≥ 3000	< 2000	
Λειτουργικό κόστος	Υψηλό	Χαμηλό	Χαμηλό	Χαμηλό	Μέτριο	

Πίνακας 21. Σύγκριση δεξαμενών υγροποιημένου φυσικού αερίου.



**4.13. Ανάλυση SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) για τη χρήση ΥΦΑ στα κρουαζιερόπλοια**

<b>Υγροποιημένο φυσικό αέριο</b>	
<b>Δυνατά σημεία</b>	<b>Αδυναμίες</b>
Αύξηση της χωρητικότητας του κρουαζιερόπλοιου	Μεγάλο κόστος μετασκευής (περίπου 10 – 12 % της νέας κατασκευής πλοίου)
Κάλυψη των διεθνών και περιφερειακών κανονισμών	Το πλοίο πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας για κάποιο διάστημα
<b>Ευκαιρίες</b>	<b>Απειλές</b>
Μείωση της συντήρησης των κινητήρων	Η αστάθεια στην τιμή του φυσικού αερίου
Όχι υπολείμματα αιθάλης στο κατάστρωμα	Τα σημεία ανεφοδιασμού για το ΥΦΑ δεν καλύπτουν όλα τα δρομολόγια. Συνεπώς δημιουργείται η ανάγκη για μεγαλύτερες δεξαμενές

Πίνακας 22. Ανάλυση SWOT για τη χρήση ΥΦΑ.

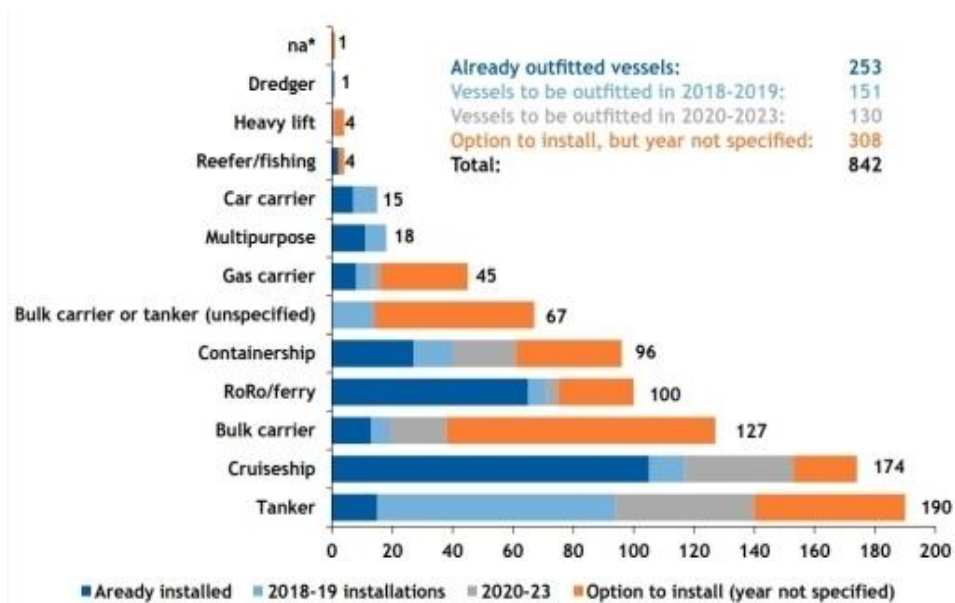
## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων για την επιλογή της συμφέρουσας λύσης

### 5.1. Γενικά

Μεταξύ των τριών εφικτών εναλλακτικών λύσεων, η χρήση συμμορφούμενων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο είναι η πιο απλή, καθώς απαιτεί μόνο μικρές τροποποιήσεις στα εγκατεστημένα συστήματα και κάποιες επιπλέον συσκευές, οι οποίες είναι σχεδόν αμελητέου κόστους σε σύγκριση με τις άλλες δύο επιλογές. Ωστόσο, οι κύριες ανησυχίες στη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων είναι το υψηλό λειτουργικό κόστος (OPEX) κατά τη λειτουργία του πλοίου και η διαθεσιμότητα των καυσίμων για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η τιμή του MGO είναι συνήθως περίπου 30 - 40% μεγαλύτερη από το HFO (IFO180). Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το κόστος των καυσίμων αποτελεί το 55 - 65 % του συνολικού κόστους λειτουργίας των πλοίων, η χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο αποτελεί ένα πολύ μεγάλο λειτουργικό κόστος για τη ζωή του πλοίου. Ως εκ τούτου, η κατάσταση αυτή κάνει τους πλοιοκτήτες των νέων πλοίων να εξετάζουν άλλες επιλογές. Ωστόσο, οι ιδιοκτήτες των υφιστάμενων πλοίων που έχουν λίγα έτη ζωής ακόμα προτιμούν τη χρήση των συμμορφούμενων καυσίμων, καθώς προτιμώνται μικρότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) και υψηλότερα λειτουργικά κόστη (OPEX), και έτσι μπορεί να δημιουργηθεί υψηλή ζήτηση για καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, με αποτέλεσμα την υψηλή τιμή αυτών. Ως εκ τούτου, η αρχική αυξημένη ζήτηση για συμμορφούμενα καύσιμα (MGO) και η μειωμένη ζήτηση για HFO μπορεί να κάνει τη διαφορά τιμής μεταξύ HFO και MGO μεγαλύτερη. Έτσι, η δεύτερη επιλογή η οποία αποτελείται από τη χρήση HFO και το σύστημα μείωσης των αέριων εκπομπών γίνεται περισσότερο ευνοϊκή. Συνεπώς η εγκατάσταση των πλυντρίδων αποκτά νόημα. Επιπλέον, το ποσοστό υιοθέτησης των άλλων δύο επιλογών (scrubbers και μετασκευή για χρήση LNG ως καύσιμο) στα νέα πλοία κατασκευής και στα σχετικά νεαρά πλοία μπορούν να επηρεάσουν την τιμή των καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και έτσι θα μπορούσε να δημιουργηθεί μεγαλύτερη διαφορά στην τιμή. Η άλλη ανησυχία είναι η διαθεσιμότητα των καυσίμων αυτών. Η διαθεσιμότητα των συμμορφούμενων καυσίμων ενδέχεται να αλλάξει ολόκληρη τη βιομηχανία που σχετίζεται με τα καύσιμα πλοίων. Για παράδειγμα, αν υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση από την προσφορά, ορισμένες περιφέρειες δεν θα έχουν καύσιμα.

## 5.2. Σύγκριση της μεθόδου εγκατάστασης πλυντρίδων με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων

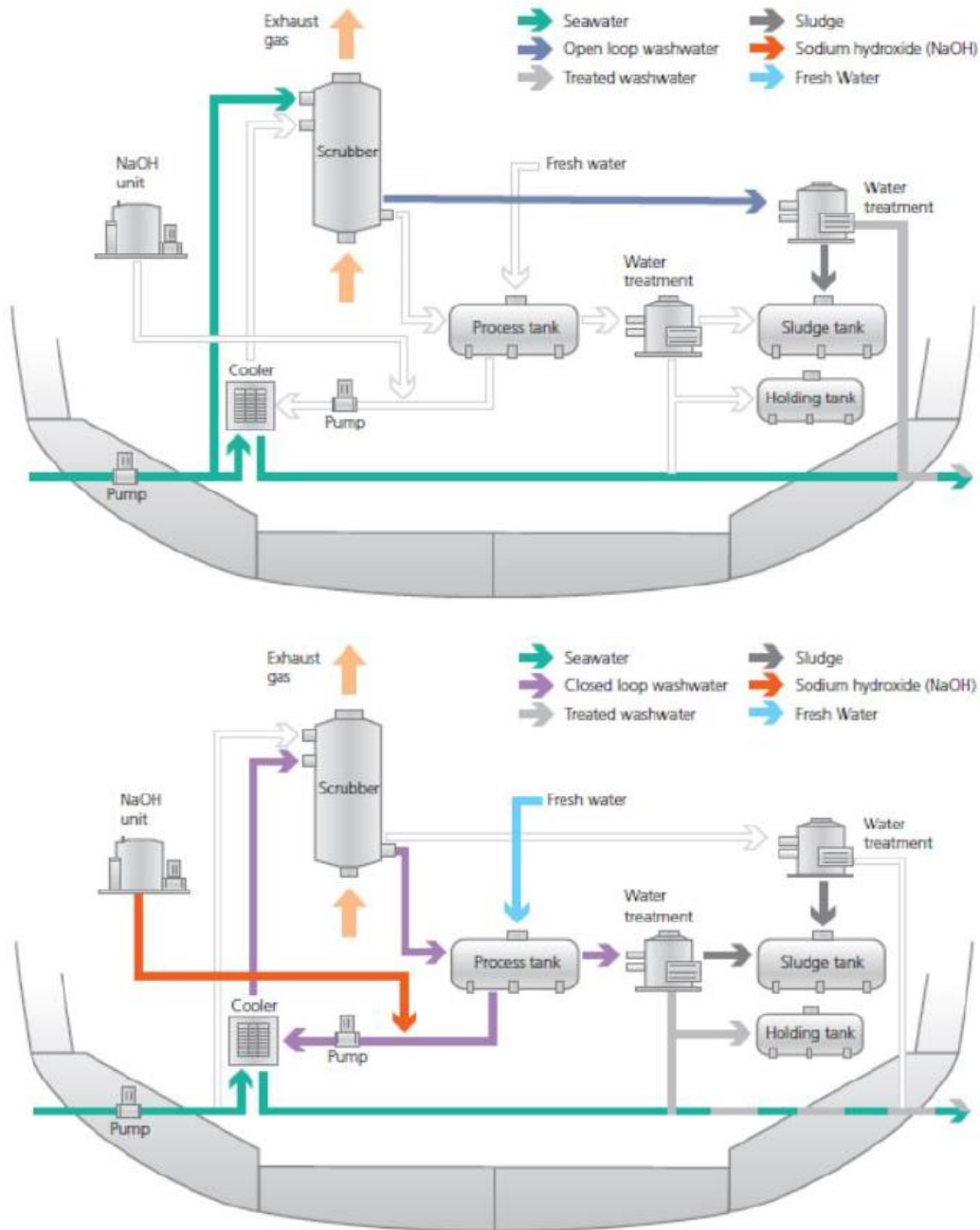
Σήμερα, ο αριθμός των εγκαταστάσεων των συστημάτων καθαρισμού έχει αυξηθεί καθώς όλο και αυξάνονται οι περιοχές ελέγχου των εκπομπών των καυσαερίων (ECAs), ενώ παράλληλα αυξάνονται οι απαιτήσεις για μειωμένες εκπομπές αέριων ρύπων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι εγκαταστάσεις scrubber σε όλους τους τύπους πλοίων που έχουν πραγματοποιηθεί, καθώς και ο αριθμός των εγκαταστάσεων που θα γίνουν στο μέλλον. Μόνο για τα κρουαζιερόπλοια που αποτελούν αντικείμενο της παρούσας μελέτης έχουν εγκατασταθεί πλυντρίδες σε περισσότερα από 110 πλοία, ενώ αναμένεται να ξεπεράσουν τα 170 πλοία στο κοντινό μέλλον.



Σχήμα 29. Εγκαταστάσεις scrubber σε διάφορους τύπους πλοίων.[44]

Μεταξύ των τριών τύπων πλυντρίδων που έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο, η επιλογή συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων ανοιχτού τύπου είναι λίγο πιο επικίνδυνη, καθώς τα συστήματα αυτά απαιτούν την απόρριψη λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον, ενώ η επιλογή πλυντρίδων κλειστού τύπου έχουν πολύ υψηλό κόστος λειτουργίας, κυρίως λόγω της χρήσης καυστικής σόδας για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Επιπλέον, τα κράτη που απαγορεύουν της απορρίψεις των κυκλοφορούντων υδάτων στις θάλασσές τους αυξάνονται σε αριθμό, με συνέπεια τα υβριδικά συστήματα που αποτελούν

συνδυασμό των δύο προαναφερθέντων τύπων πλυντρίδων να έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις διαφορετικές ροές εργασίας μεταξύ ανοιχτού και κλειστού τρόπου λειτουργίας σε υβριδικό τύπο.



Σχήμα 30. Τρόπος λειτουργίας υβριδικού scrubber. Πάνω είναι η λειτουργία σε ανοιχτό κύκλωμα και κάτω η λειτουργία σε κλειστό κύκλωμα. [28]

Στην ανοιχτή λειτουργία μια σημαντική ποσότητα θαλασσινού νερού που αναρροφάται με αντλίες και ψεκάζεται στους καθαριστές, έτσι ώστε να γίνει η αντίδραση με το θείο του καυσαερίου και το θαλασσινό νερό, απορρίπτεται στη θάλασσα μετά από ορισμένες διαδικασίες επεξεργασίας. Στην κλειστή λειτουργία το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται μόνο για ψύξη του συστήματος. Ο καθαρισμός των καυσαερίων πραγματοποιείται από το πλύσιμό τους με φρέσκο νερό στο οποίο έχει προστεθεί καυστική σόδα. Υπάρχουν μικρές διαφορές μεταξύ των κατασκευαστών και τα κύρια συστατικά είναι σχεδόν τα ίδια.

Ο εξοπλισμός είναι ως εξής: κύρια μονάδα καθαρισμού, επεξεργασία νερού, ψυγείο, δεξαμενή NaOH, δεξαμενή επεξεργασίας, δεξαμενή γλυκού νερού, δεξαμενή ιλύος / συγκράτησης, αντλίες, σωληνώσεις και μονάδες ελέγχου. Το κόστος του εξοπλισμού και της εγκατάστασης ποικίλλει ανάλογα με την κατασκευή, το μέγεθος των πλοίων και τον τύπο του πλοίου. Χαρακτηριστικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα κάποιες εκτιμήσεις των κεφαλαιουχικών δαπανών για την εγκατάσταση των πλυντρίδων [34].

Τύπος scrubber	Ισχύς μηχανών	CAPEX	
		Εξοπλισμός	Εγκατάσταση
<b>Ανοιχτού τύπου</b>	10 MW	1.2 εκατομμύρια \$	0.5 εκατομμύρια \$
<b>Κλειστού τύπου</b>	10 MW	1.4 εκατομμύρια \$	0.5 εκατομμύρια \$
<b>Υβριδικό</b>	10 MW	1.9 εκατομμύρια \$	0.8 εκατομμύρια \$
<b>Υβριδικό</b>	30 MW	5.5 εκατομμύρια \$	2 εκατομμύρια \$

Πίνακας 23. Εκτιμήσεις των κεφαλαιουχικών δαπανών για την εγκατάσταση των πλυντρίδων.

Γενικότερα υπολογίζεται ότι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες για την εγκατάσταση μιας πλυντρίδας ανοιχτού βρόχου (open loop scrubber) είναι περίπου 125 \$/KW για νέο πλοίο και 160 \$/KW για μετασκευή πλοίου. Επίσης το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης μιας πλυντρίδας ανοιχτού βρόχου ανέρχεται περίπου στο 2 % της αρχικής επένδυσης για κάθε χρόνο.

Για μια πλυντρίδα κλειστού βρόχου (closed loop scrubber) οι κεφαλαιουχικές δαπάνες είναι παρόμοιες με αυτές των συστημάτων ανοιχτού βρόχου. Ωστόσο αυτά τα συστήματα έχουν μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος, καθώς απαιτούν καυστική σόδα για τον καθαρισμό των καυσαερίων.

Έχει διαπιστωθεί ότι η συνολική κατανάλωση καυσίμου του πλοίου αυξάνεται κατά 0.5 – 1 % για τη λειτουργία συστήματος κλειστού βρόχου και 1 – 2 % για τη λειτουργία συστήματος ανοιχτού βρόχου. Σε λειτουργία κλειστού βρόχου όμως, το σύστημα καταναλώνει και NaOH που ισοδυναμεί με το 8 % της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου και το κόστος της υπολογίζεται σε 350 \$ / τόνο.

Όσον αφορά τα υβριδικά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων, οι κεφαλαιουχικές δαπάνες είναι περίπου 250 \$/KW συμπεριλαμβανομένου τόσο του εξοπλισμού, όσο και της εγκατάστασης, ενώ το λειτουργικό τους κόστος είναι μικρότερο από τα συστήματα κλειστού βρόχου.

Στην περίπτωση που εξετάζεται θα μελετηθεί η εγκατάσταση τεσσάρων υβριδικών πλυντρίδων στο πλοίο MSC Meraviglia της εταιρείας MSC Cruises, ώστε να καλυφθεί η παραγόμενη ισχύς των μηχανών. Αφού αρχικά υπολογιστεί το κόστος της επένδυσης, στη συνέχεια θα μελετηθούν οι ώρες λειτουργίας του πλοίου και τα καύσιμα που καταναλώνει, ώστε να γίνει μια σύγκριση για το πότε και αν θα γίνει η απόσβεση της επένδυσης και αν τελικά συμφέρει η επένδυση.

Θα υπολογιστούν ο δείκτης καθαρής παρούσας αξίας (NPV-Net Present Value) και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR-Internal Rate of Return). Σαν εναλλακτική λύση θα ληφθεί η χρήση συμμορφούμενων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Με βάση τα στοιχεία που έχει δημοσιεύσει η εταιρεία MSC Cruises μπορεί να γίνει μια σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων που έχουν προταθεί στη μελέτη σκοπιμότητας που πραγματοποιείται.

Αρχικά η εν λόγω εταιρεία έχει ένα στόλο 14 κρουαζιερόπλοιων και οι μέρες λειτουργίας αυτών είναι 4515 όπως προκύπτουν από τα στοιχεία που έχει δημοσιεύσει η MSC Cruises για το περασμένο έτος. Από αυτό προκύπτει ότι ο μέσος όρος λειτουργίας ενός κρουαζιερόπλοιου είναι 322.5 ημέρες το έτος [35].

Για την έρευνα που πραγματοποιείται λαμβάνεται το πλοίο MSC Meraviglia της εταιρείας που έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

Όνομα	MSC MERAVIGLIA
Τύπος	Κρουαζιερόπλοιο
Σημαία	Μάλτα
Ολική χωρητικότητα	171.598 t
DWT	12.200 t
Μήκος	315.83 m
Πλάτος	43.00 m
Βύθισμα	8.75 m
Ταχύτητα	Max.: 21.6 knots
Έτος κατασκευής	2017
Αριθμός καταστρωμάτων	19
Κύριες μηχανές	4 κινητήρες πετρελαίου της Wärtsilä :  2x 16V46CR - 16 cylinder 460 x 580 mm diesel engine που η καθεμία είναι 16.800 kW  2X 12V46CR - 12 cylinder 460 x 580 mm diesel engines που η καθεμία είναι 12.600 kW  Συνολική εγκατεστημένη ισχύς : 58.800 kW
Αριθμός επιβατών	Max.: 5.714

Πίνακας 24. Στοιχεία για το προς μελέτη κρουαζιερόπλοιο.

Στο κρουαζιερόπλοιο αυτό εγκαθίστανται τέσσερα υβριδικά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων, ένα για κάθε κινητήρα. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι τα υβριδικά συστήματα

έχουν κεφαλαιουχικές δαπάνες 250 \$/KW συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης τότε η αρχική επένδυση ανέρχεται στα :  $250 \text{ \$/KW} * 58.800 \text{ KW} = 14.700.000 \text{ \$}$ .

Για τους κινητήρες λοιπόν που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο κρουαζιερόπλοιο η κατανάλωση ανέρχεται στα 178.7 g/kWh για λειτουργία σε πλήρες φορτίο με βάση τα δεδομένα που παρέχονται από την εταιρεία Wärtsilä.

Οι ώρες λειτουργίας του εξεταζόμενου πλοίου το χρόνο είναι :  $322.5 \text{ ημέρες} * 24 \text{ ώρες} = 7740 \text{ ώρες}$ . Συνεπώς οι κιλοβατώρες που καταναλώνονται για λειτουργία σε πλήρες φορτίο είναι :  $7740 \text{ ώρες} * 58.800 \text{ kW} = 455.112.000 \text{ kWh}$ .

Για την εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου για το πλοίο αυτό αρκεί να πολλαπλασιαστούν οι κιλοβατώρες που υπολογίστηκαν με την ειδική κατανάλωση καυσίμου που αναφέρθηκε προηγουμένως. Έτσι προκύπτει ότι το συγκεκριμένο πλοίο χρειάζεται :  $455.112.000 \text{ kWh} * 178.7 \text{ g/kWh} = 81.328.514.400 \text{ g}$  καυσίμου το χρόνο, δηλαδή περίπου 82.000 t καυσίμου για λειτουργία σε πλήρες φορτίο. Ωστόσο το κρουαζιερόπλοιο που εξετάζεται δεν λειτουργεί όλες τις στιγμές σε πλήρες φορτίο.

Αν υποθεθεί ότι το πλοίο λειτουργεί εντός λιμένων για το 20 % της λειτουργίας του και πλέει με ταχύτητα 16 κόμβων για το 30 % της πλεύσης του τότε θα λειτουργεί:

0.2 (ποσοστό λειτουργίας εντός λιμένων) \* 7740 ώρες = 1548 ώρες λειτουργίας σε λιμένα

0.3 (ποσοστό λειτουργίας για ταχύτητα 16 κόμβων) \* 7740 ώρες = 2322 ώρες λειτουργίας με 16 κόμβους

0.5 (ποσοστό λειτουργίας για πλήρες φορτίο) \* 7740 ώρες = 3870 ώρες λειτουργίας σε πλήρες φορτίο

Συνεπώς η συνολική κατανάλωση καυσίμου το έτος θα είναι :

- Για λειτουργία σε πλήρες φορτίο :  $178.7 \text{ g/KWh} * 58.800 \text{ KW} * 3870 \text{ ώρες} = 40.664,257 \text{ τόνους}$  καυσίμου το χρόνο.
- Για λειτουργία εντός λιμένα η κατανάλωση υπολογίζεται στο 10 % της κατανάλωσης σε πλήρες φορτίο και συνεπώς το πλοίο καταναλώνει εντός λιμένα :  
 $0.1 * 178.7 \text{ g/KWh} * 58.800 \text{ KW} * 1548 \text{ ώρες} = 1.626,57 \text{ τόνους}$  καυσίμου το χρόνο.
- Για τη λειτουργία σε ταχύτητα 16 κόμβων η κατανάλωση υπολογίζεται στο 40% της κατανάλωσης σε πλήρες φορτίο και συνεπώς το πλοίο καταναλώνει σε ταχύτητα 16 κόμβων:  
 $0.4 * 178.7 \text{ g/KWh} * 58.800 \text{ KW} * 2322 \text{ ώρες} = 9.759,42 \text{ τόνους}$  καυσίμου το χρόνο.



Συνεπώς η συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι :  $40.664,257 + 1.626,57 + 9.759,42 \approx 52.050$  τόνους καυσίμου το χρόνο.

Για τη συμμόρφωση του πλοίου με τους κανονισμούς θα συγκριθούν συνολικά τρεις λύσεις ώστε να επιλεγεί η πιο συμφέρουσα. Η πρώτη λύση αφορά την εγκατάσταση πλυντρίδων για την επεξεργασία των καυσαερίων, η δεύτερη αφορά τη μετασκευή του πλοίου για λειτουργία με υγροποιημένο φυσικό αέριο, ενώ η τρίτη λύση περιλαμβάνει τη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων για την κάλυψη των απαιτήσεων. Για κάθε λύση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX – Capital Expenditures), όσο και τα λειτουργικά έξοδα (OPEX – Operating Expenses).

Παρακάτω παρουσιάζεται η σύγκριση της μεθόδου χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων με τη μέθοδο της εγκατάστασης πλυντρίδων. Η έρευνα για την εγκατάσταση των πλυντρίδων στο εν λόγω πλοίο έδειξε ότι η επένδυση θα κοστίσει περίπου 14.700.000 δολάρια. Επίσης βιβλιογραφική έρευνα για τις τιμές των καυσίμων έδειξε πως η τιμή του βαρύ μαζούτ (HFO) ανέρχεται στα 430 \$/τόνο και η τιμή του αποστάγματος πετρελαίου (MGO-Marine Gas Oil) ανέρχεται στα 590 \$/τόνο. Στην περίπτωση όπου στο πλοίο δεν εγκαθίστανται πλυντρίδες, θα πρέπει εκείνο να χρησιμοποιεί συμμορφούμενα καύσιμα όπως είναι το MGO, ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις των διεθνών κανονισμών [36].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές στις συνολικές καταναλώσεις του πλοίου με τα συστήματα των πλυντρίδων και χωρίς αυτά.

	<b>Κόστος HFO</b>	<b>Κόστος MGO</b>	<b>Συνολικό κόστος</b>
<b>Χωρίς πλυντρίδες</b>	-	<b>590 \$/t * 52.050 t = 30.709.500 \$ το χρόνο</b>	<b>30.709.500 \$ το χρόνο</b>
<b>Με πλυντρίδες</b>	<b>430 \$/t * 52.050 t = 22.381.500 \$ το χρόνο</b>	-	<b>22.381.500 \$ το χρόνο</b>

Πίνακας 25. Σύγκριση πλυντρίδων με συμμορφούμενα καύσιμα.

Μία ακόμα παράμετρος που πρέπει να υπολογιστεί είναι τα λειτουργικά έξοδα των πλυντρίδων. Τα υβριδικά συστήματα που εξετάζονται για εγκατάσταση στο κρουαζιερόπλοιο μπορούν να λειτουργούν είτε ως πλυντρίδες ανοιχτού βρόχου, είτε ως πλυντρίδες κλειστού βρόχου. Για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου κατά 1.5 %, ενώ η χρήση καυστικής σόδας κατά τη λειτουργία κλειστού βρόχου αντιστοιχεί στο 8 % της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου.

Θεωρώντας ότι το υβριδικό σύστημα λειτουργεί το 60% της συνολικής λειτουργίας του σε λειτουργία ανοιχτού βρόχου και το 40 % σε λειτουργία κλειστού βρόχου, τότε σε συνεχή λειτουργία των πλυντρίδων τα λειτουργικά έξοδα το χρόνο θα είναι :

$52.050 \text{ τόνοι καυσίμου} * 1.5\% = 780,75 \text{ τόνοι καυσίμου για τη λειτουργία των πλυντρίδων}$

Και η ποσότητα της καυστικής σόδας που καταναλώνεται στη λειτουργία κλειστού βρόχου του υβριδικού συστήματος αντιστοιχεί σε :

$52.050 \text{ τόνοι καυσίμου} * 8 \% * 40 \% = 1.665,6 \text{ τόνοι καυσίμου}$

Άρα τα πρόσθετα έξοδα των καυσίμων του πλοίου για τη χρήση των πλυντρίδων είναι :

$2.446,35 \text{ τόνοι καυσίμου} * 430 \text{ \$/τόνο} = 1.051.930,5 \text{ \$ το χρόνο}$

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί και το κόστος συντήρησης των πλυντρίδων το οποίο αντιστοιχεί στο 1,5 % του κόστους της επένδυσης. Συνεπώς η τιμή του κόστους συντήρησης ανέρχεται στα :  $14.700.000 \text{ \$} * 1,5 \% = 220.500 \text{ \$ το χρόνο}$

Άρα τα συνολικά λειτουργικά έξοδα (OPEX) των πλυντρίδων για πλήρη λειτουργία είναι :

$1.051.930,5 + 220.500 = 1.272.430,5 \text{ \$ το χρόνο.}$

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα έσοδα το χρόνο που αποδίδει η επένδυση της εγκατάστασης των πλυντρίδων.

OPEX scrubber	ΕΣΟΔΑ από την εγκατάσταση scrubber συγκριτικά με την καύση MGO	Καθαρά έσοδα το χρόνο
1.272.430,5 \$	$30.709.500 - 22.381.500 = 8.328.000 \text{ \$}$	$8.328.000 - 1.272.430,5 = 7.055.569,5 \text{ \$}$

Πίνακας 26. Λειτουργικά έξοδα και καθαρά έσοδα το έτος από την εγκατάσταση των πλυντρίδων .

Συνεπώς ο χρόνος της απόσβεσης της επένδυσης θα πραγματοποιηθεί σε :

$14.700.000 \text{ \$} / 7.055.569,5 \text{ \$} = 2.08 \text{ χρόνια.}$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία ώστε να γίνει αντιληπτό αν είναι συμφέρουσα η επένδυση.

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων (cost of funds) που χρησιμοποιήθηκαν για μια επένδυση. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται στην οικονομική επιστήμη (economics), στα χρηματοοικονομικά (finance) και στη λογιστική (accounting) για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι. Η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών υπολογίζεται με την προεξόφληση τους χρησιμοποιώντας το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate).

Ο τύπος υπολογισμού της Καθαρής Παρούσας Αξίας μιας σειράς ταμειακών ροών, δέχεται ως μεταβλητές τις ταμειακές ροές και ένα προεξοφλητικό επιτόκιο και έχει ως αποτέλεσμα μια τιμή. Εδώ το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται είναι 10 % ενώ ο χρόνος που εξετάζεται είναι 10 έτη.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Ταμειακές εισροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική επένδυση}$$

Καθαρή Παρούσα Αξία = Παρούσα Αξία – Κόστος επένδυσης

- 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 καταλήγει σε ζημιά

Η ΚΠΑ είναι μία από τις δύο τεχνικές προεξόφλησης ταμειακών ροών (η άλλη είναι ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης) που χρησιμοποιούνται στη συγκριτική αξιολόγηση επενδυτικών προτάσεων, όπου η ροή του εισοδήματος διαφέρει στην πάροδο του χρόνου. Αποτελεί μια τυποποιημένη μέθοδο που χρησιμοποιεί την έννοια της χρονικής αξίας του χρήματος για την εκτίμηση μακροπρόθεσμων επενδύσεων. Η χρονική αξία του χρήματος

στα χρηματοοικονομικά, υπαγορεύει ότι ο χρόνος έχει επιπτώσεις στην αξία των ταμειακών ροών.

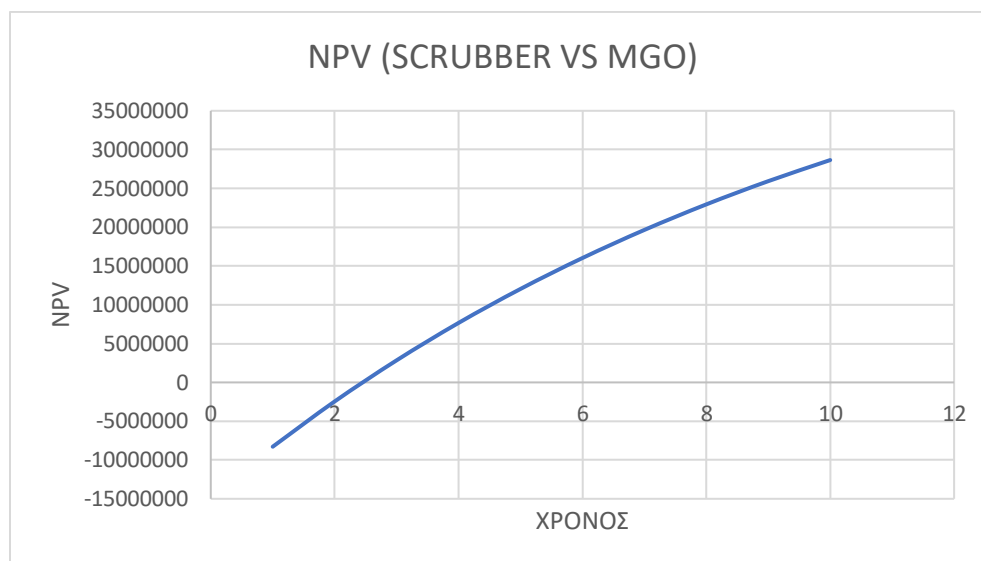
Αν, για παράδειγμα, υπάρχει μία χρονική περίοδος πανομοιότυπων ταμειακών ροών ίσης ονομαστικής αξίας, οι ταμειακές ροές στο παρόν έχουν μεγαλύτερη πραγματική αξία από τις ταμειακές ροές στο μέλλον, με κάθε μελλοντική ταμειακή ροή να γίνεται όλο και λιγότερο πολύτιμη από τις προηγούμενες. Συνεπώς, μεταξύ δυο όμοιων επενδύσεων, υψηλότερο κίνδυνο έχει αυτή με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Για κάθε επιπλέον χρονική περίοδο, η παρούσα αξία των μεταγενέστερων μελλοντικών ταμειακών ροών μειώνεται, καθώς ο κίνδυνος αυτής της επένδυσης αυξάνεται, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης αβεβαιότητας και κινδύνου που υπάρχει για την τελική ολοκλήρωση του έργου/επένδυσης.

#### Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value)

Έτος	Έσοδα από την εγκατάσταση πλυντρίδων	Προεξοφλητικό επιτόκιο	Λειτουργικά έξοδα	Καθαρή παρούσα αξία σε κάθε έτος
1	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	-8.285.846 \$
2	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	-2.454.797 \$
3	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	2.846.157 \$
4	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	7.665.206 \$
5	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	12.046.160 \$
6	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	16.028.845 \$
7	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	19.649.467 \$
8	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	22.940.943 \$
9	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	25.933.193 \$
10	7.055.569,5 \$	10 %	1.272.430,5 \$	28.653.420 \$

Πίνακας 27. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας για χρήση πλυντρίδων.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του χρόνου για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 9. Γράφημα Καθαρής Παρούσας Αξίας για τη χρήση υβριδικών πλυντρίδων.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για χρονικό διάστημα 2 ετών η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι αρνητική που σημαίνει ότι αν η επένδυση αποσκοπεί σε διάρκεια 2 ετών θα καταλήξει σε ζημιά. Επίσης για χρονικό διάστημα 2,2 ετών η Καθαρή παρούσα Αξία είναι μηδέν που σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή. Τέλος, μετά το χρονικό διάστημα 2.2 ετών η Καθαρή Παρούσα Αξία γίνεται θετική που σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα αν αποσκοπεί σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο αυτής της τιμής.

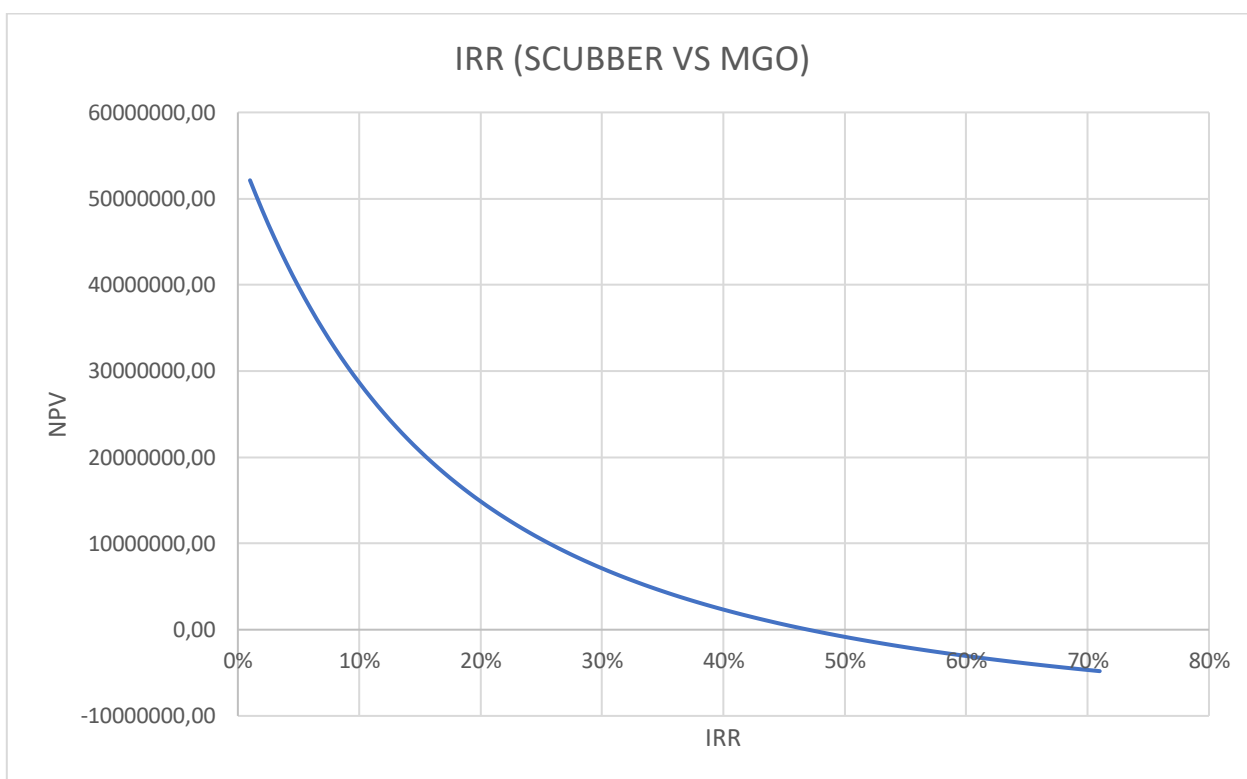
Στη συνέχεια θα υπολογιστεί ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR - Internal Rate of Return). Ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR) είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης. Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το IRR. Το IRR χρησιμοποιείται για να συγκρίνει επενδύσεις και διαφέρει από τη καθαρή παρούσα αξία διότι μετράει και το χρόνο των ταμειακών ροών, όχι μόνο το συνολικό όγκο. Για παράδειγμα δύο επενδύσεις με ίδια καθαρή παρούσα αξία μπορούν να έχουν διαφορετικά IRR και 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. Σκοπός είναι να βρεθεί ο IRR, δηλαδή το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα από αυτούς τους υπολογισμούς.

Discount Rate	NPV
1%	52125447,37
2%	48677252,80
3%	45485438,96
4%	42526988,88
5%	39781237,45
6%	37229605,72
7%	34855367,70
8%	32643445,66
9%	30580229,94
10%	28653420,26
11%	26851885,76
12%	25165541,27
13%	23585237,97
14%	22102666,46
15%	20710270,84
16%	19401172,38
17%	18169101,67
18%	17008338,19
19%	15913656,51
20%	14880278,18
21%	13903828,82
22%	12980299,72
23%	12106013,44
24%	11277592,94
25%	10491933,97
26%	9746180,14
27%	9037700,55
28%	8364069,70
29%	7723049,28
30%	7112571,80
31%	6530725,79
32%	5975742,43
33%	5445983,42
34%	4939930,03
35%	4456173,13
36%	3993404,17
37%	3550406,97
38%	3126050,26
39%	2719280,91
40%	2329117,70

Discount Rate	NPV
41%	1954645,723
42%	1595011,202
43%	1249416,816
44%	917117,3842
45%	597415,9425
46%	289660,1366
47%	-6761,075626
48%	-292420,4511
49%	-567855,2403
50%	-833569,7391
51%	-1090037,635
52%	-1337704,167
53%	-1576988,111
54%	-1808283,614
55%	-2031961,879
56%	-2248372,729
57%	-2457846,04
58%	-2660693,068
59%	-2857207,696
60%	-3047667,551
61%	-3232335,068
62%	-3411458,463
63%	-3585272,643
64%	-3754000,04
65%	-3917851,394
66%	-4077026,478
67%	-4231714,769
68%	-4382096,077
69%	-4528341,127
70%	-4670612,101
71%	-4809063,146
72%	-4943840,846
73%	-5075084,661
74%	-5202927,337
75%	-5327495,294
76%	-5448908,98
77%	-5567283,211
78%	-5682727,482
79%	-5795346,261
80%	-5905239,267

Πίνακας 28. Εύρεση IRR για το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας για χρήση συστήματος καθαρισμού των καυσαερίων.

Πλέον είναι ορατό ότι το προεξοφλητικό επιτόκιο για το οποίο μηδενίζεται η καθαρή παρούσα αξία είναι 46%. Στη συνέχεια ακολουθεί και το διάγραμμα του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) συναρτήσει της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για την επένδυση των συστημάτων πλυντρίδων.



Διάγραμμα 10. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) συναρτήσει της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για τη χρήση συστημάτων πλυντρίδων.

### **5.3. Σύγκριση της μεθόδου της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες**

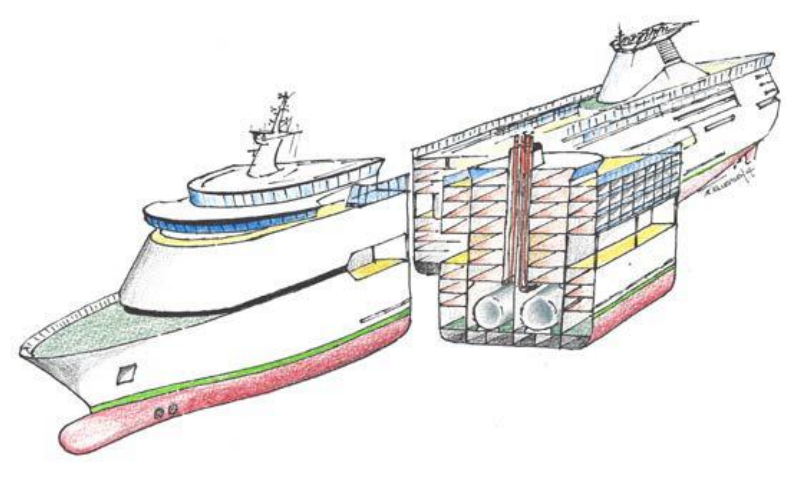
Ένας μεγάλος αριθμός κρουαζιερόπλοιων που ταξιδεύουν σε δημοφιλείς προορισμούς θα πρέπει σύντομα να συμμορφωθεί με αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, που απαιτούν την εγκατάσταση πλυντρίδων, τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ή τη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων. Προηγουμένως εξετάστηκε η λύση για την εγκατάσταση των πλυντρίδων συγκριτικά με τη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων και στη συνέχεια θα εξεταστεί η λύση της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η προοπτική αυτή μπορεί να αποδειχθεί πολύ ελκυστική, καθώς στην περίπτωση της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων η διαφορά στην τιμή μεταξύ HFO και MGO μπορεί να αυξήσει τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου κατά 40 %. Επίσης η χρήση του LNG εξαλείφει τα προβλήματα που παρουσιάζονται από την πολυπλοκότητα των πλυντρίδων. Ωστόσο απαιτούνται μεγαλύτερες κεφαλαιουχικές δαπάνες για αυτού του είδους την επένδυση.

Η μετατροπή ενός κρουαζιερόπλοιου ώστε να λειτουργεί με LNG μπορεί να γίνει με έναν από τους ακόλουθους τρόπους :

- Να τεθεί το πλοίο εκτός λειτουργίας και να εγκατασταθούν σε αυτό δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου και συστήματα χειρισμού καυσίμου στο υπάρχον περίβλημα. Μια τέτοια μετασκευή θα μειώσει τον αριθμό των καμπινών, ενώ θα δημιουργήσει και τεχνικά ζητήματα, καθώς οι δεξαμενές του υγροποιημένου φυσικού αερίου απαιτούν περισσότερο χώρο από εκείνες του βαρέως πετρελαίου. Έτσι μειώνεται ο ελεύθερος χώρος στο πλοίο. Επιπρόσθετα η διαδικασία της εγκατάστασης των δεξαμενών υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι χρονοβόρα και συνεπώς υπάρχει μια απώλεια εσόδων λόγω της μακράς διάρκειας απενεργοποίησης του πλοίου.
- Εισαγωγή ενός προκατασκευασμένου τμήματος ‘LNG Ready’ το οποίο περιέχει όλα τα συστήματα για λειτουργία του πλοίου με υγροποιημένο φυσικό αέριο καθώς και επιπλέον καμπίνες και δημόσιους χώρους στο πλοίο. Μια τέτοια μετασκευή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μερικές εβδομάδες, το κρουαζιερόπλοιο δεν χρειάζεται να μείνει εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ θα μπορεί να φιλοξενεί περίπου 10 % περισσότερους επιβάτες. Μια τέτοια επένδυση υπολογίζεται περίπου στο 10 - 12 % της νέας κατασκευής του πλοίου.

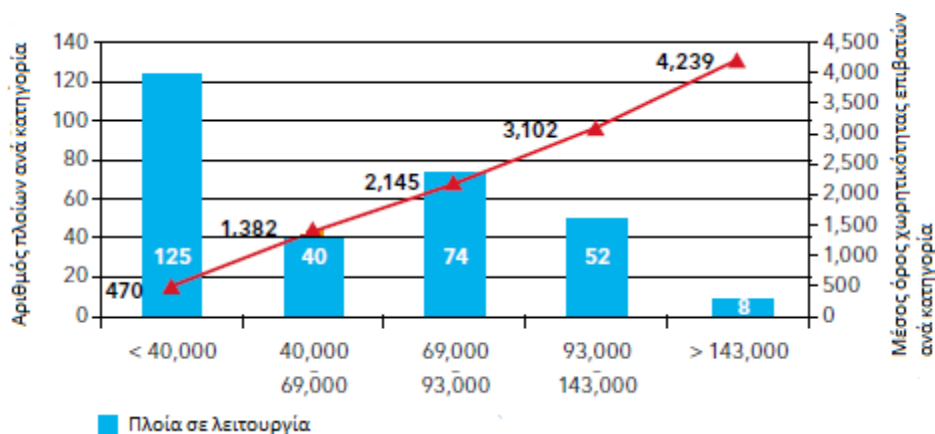


Η δεύτερη λύση έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο συμφέρουσα τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική άποψη. Τα κρουαζιερόπλοια που είναι υποψήφια για μια τέτοια μετασκευή είναι πλοία 8 – 19 ετών με χωρητικότητα 40.000 - 143.000 κόρων τα οποία αντιπροσωπεύουν περίπου το 55 % του παγκόσμιου στόλου. Τα κρουαζιερόπλοια με χωρητικότητα μικρότερη των 40.000 κόρων δεν θεωρούνται ευνοϊκά για επιμήκυνση καθώς ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης αυξάνεται, λόγω της χαμηλότερης χωρητικότητας επιβατών [37].

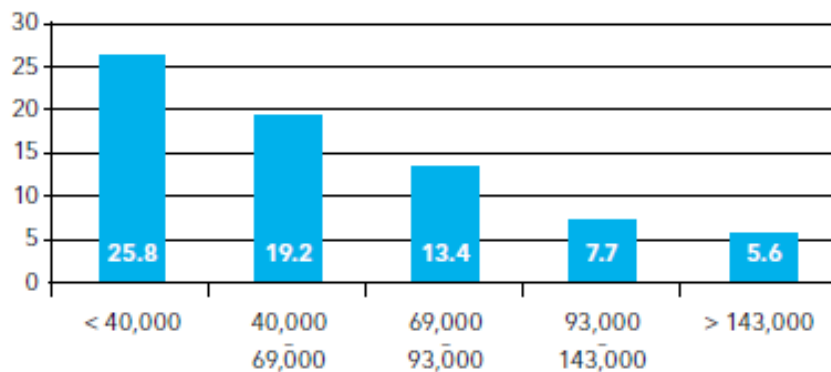


Σχήμα 31. Επιμήκυνση πλοίου με προκατασκευασμένο τμήμα ‘LNG Ready’ [37]

Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται τόσο η ταξινόμηση των κρουαζιερόπλοιων με βάση τη χωρητικότητά τους, όσο και ο μέσος όρος ηλικίας των πλοίων σε κάθε κατηγορία.



Σχήμα 32. Κατηγοριοποίηση του στόλου των κρουαζιερόπλοιων με βάση τη χωρητικότητά τους. [37]



Σχήμα 33. Μέσος όρος ηλικίας κάθε κατηγορίας.[37]

Συνεπώς τα πλοία στα οποία μπορεί να γίνει μετασκευή με επιμήκυνση και εισαγωγή του προκατασκευασμένου τμήματος ‘LNG Ready’, που είναι πλοία μεταξύ 40.000 κόρων και 143.000 κόρων είναι αυτά που αποτελούν την πλειοψηφία. Επίσης ο μέσος όρος ηλικίας αυτών των πλοίων είναι ιδανικός για μια τέτοια διαδικασία.

Παρακάτω συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της επιμήκυνσης ενός πλοίου, καθώς και της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο.

#### Πλεονεκτήματα

- Πιθανότητα βελτιωμένα έσοδα
- Αύξηση του αριθμού των επιβατών και του αριθμού του πληρώματος
- Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Πρόσθετος δημόσιος χώρος επί του πλοίου
- Πρόσθετοι χώροι ανοιχτού καταστρώματος
- Μείωση των ωρών συντήρησης του κινητήρα
- Μείωση του πληρώματος που απασχολείται στο μηχανοστάσιο
- Φθηνότερα λιπαντικά
- Καθαρότερο μηχανοστάσιο

- Δεν μένουν υπολείμματα αιθάλης στο κατάστρωμα – Λιγότερος καθαρισμός
- Δεν απαιτούνται συσκευές καθαρισμού των καυσαερίων
- Χαμηλότερο επίπεδο θορύβου στο μηχανοστάσιο

#### Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος μετασκευής (περίπου 10 – 12 % της νέας κατασκευής πλοίου)
- Το πλοίο πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας για κάποιο διάστημα
- Η επιμήκυνση του πλοίου μπορεί να μειώσει τους λιμένες που αυτό επισκέπτεται
- Απαιτείται πιο εξελιγμένος και συνεπώς πιο ακριβός εξοπλισμός μηχανοστασίου
- Απαιτούνται μεγαλύτερες δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου ώστε να καλυφθούν πλήρως τα δρομολόγια
- Η αστάθεια στην τιμή του φυσικού αερίου

Όσον αφορά την επιμήκυνση του κρουαζιερόπλοιου, το ελάχιστο όριο είναι ίσο με το μισό της κύριας κατακόρυφης ζώνης πυρκαγιάς και ανέρχεται στα 21.5 μέτρα και το μέγιστο όριο είναι ίσο με μια ολόκληρη ζώνη πυρκαγιάς (43 μέτρα). Τα όρια της διαμήκους αντοχής του περιβλήματος καθορίζουν το μήκος της επιμήκυνσης. Επιπρόσθετα για την αύξηση της διαμήκους ροπής κάμψης πρέπει να προστεθεί χάλυβας για ενίσχυση, μια διαδικασία εξαιρετικά δαπανηρή. Συνεπώς για το μέγεθος της επιμήκυνσης θα πρέπει να εξεταστούν τα παραπάνω. Ασφαλέστερη επιλογή είναι η επιμήκυνση να είναι ίση με το μισό της ζώνης πυρκαγιάς. Άρα στο προς εξέταση κρουαζιερόπλοιο που μελετάται στην παρούσα εργασία η επιμήκυνση θα είναι 23 μέτρα. Με αυτά τα δεδομένα λοιπόν ο μέγιστος δυνατός όγκος υγροποιημένου φυσικού αερίου που μπορεί να αποθηκευτεί είναι 1.500 m<sup>3</sup>. Με την επιμήκυνση του κρουαζιερόπλοιου θα αυξηθεί ο αριθμός των καμπινών κατά ένα ποσοστό 10 % με συνέπεια να υπάρχουν μεγαλύτερες απολαβές και η επένδυση θα αποσβεσθεί γρηγορότερα. Στο προς εξέταση κρουαζιερόπλοιο επιλέχθηκε η χρήση κυλινδρικών δεξαμενών τύπου C, καθώς αυτής της κατηγορίας οι δεξαμενές αποτελούν σήμερα την πιο ελκυστική λύση. Μια πρισματική δεξαμενή χαμηλής πίεσης τύπου B αποτελεί εναλλακτική λύση, αυξάνοντας τη χωρητικότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου κατά 30 %. Ωστόσο οι δεξαμενές αυτές που είναι χαμηλής πίεσης έχουν σαν αποτέλεσμα την περιορισμένη

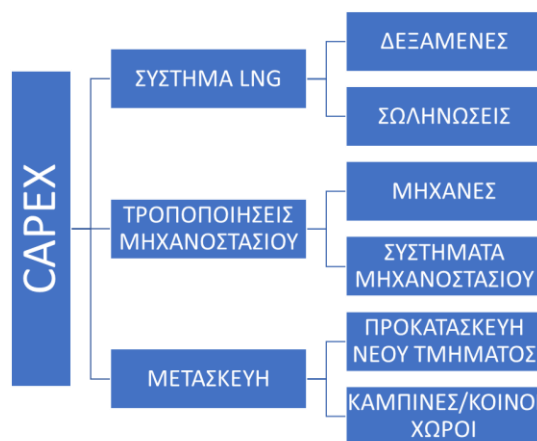
ευελιξία στη λειτουργία τους. Από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η χωρητικότητα των 1.500 m<sup>3</sup> υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να καλύψει το 70 – 80 % των δρομολογίων των κρουαζιερόπλοιων. Για την κάλυψη των υπόλοιπων δρομολογίων ο χειριστής μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει συμμορφούμενα καύσιμα, είτε να προβεί σε ανεφοδιασμό κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Στην περίπτωση όπου το τμήμα που θα εισαχθεί στο κρουαζιερόπλοιο είναι ίσο με το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο (43 μέτρα), τότε η ποσότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου διπλασιάζεται με αποτέλεσμα να καλύπτονται όλες οι διαδρομές.

Κατά την επιμήκυνση ενός κρουαζιερόπλοιου πρέπει να εξεταστούν τα παρακάτω :

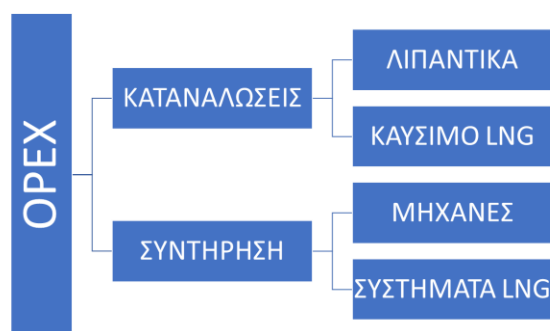
- Να υπολογιστεί η διαμήκης δύναμη και να αξιολογηθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή κάμψης στο προς εξέταση κρουαζιερόπλοιο
- Να εκπονηθεί μελέτη ευστάθειας ώστε να υπολογιστεί η ακριβής θέση για την είσοδο του νέου τμήματος
- Να διευθετηθούν τα νέα όρια πυρκαγιάς και οι ρυθμίσεις εκκένωσης
- Να ρυθμιστούν εκ νέου οι χώροι του μηχανοστασίου
- Να τοποθετηθούν σε ασφαλή απόσταση από τις νέες δεξαμενές καυσίμων τα μπαλκόνια, οι σωσίβιες λέμβοι και τα ανοίγματα του κρουαζιερόπλοιου
- Να ληφθεί υπόψη η θέση του εξαιρετισμού, ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαταραχές στα άνω καταστρώματα.
- Η ταχύτητα των ελιγμών εντός των λιμένων πρέπει να είναι πιο αργή
- Η προσθήκη νέων καμπινών απαιτεί αύξηση της χωρητικότητας των δεξαμενών αποβλήτων
- Να μελετηθεί η δυνατότητα μετατροπής των κινητήρων σε κινητήρες διπλού καυσίμου

Όσον αφορά την οικονομική μελέτη για τη μετασκευή του κρουαζιερόπλοιου που αποτελεί και το σημαντικότερο κομμάτι σε αυτό το κεφάλαιο πρέπει να εξεταστούν τόσο οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX), όσο και τα λειτουργικά έξοδα (OPEX). Στις κεφαλαιουχικές δαπάνες συγκαταλέγονται το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού, των δεξαμενών του υγροποιημένου φυσικού αερίου, του πρόσθετου χάλυβα που θα χρειαστεί και των κινητήρων διπλού καυσίμου. Στα λειτουργικά έξοδα περιλαμβάνονται το καύσιμο LNG, τα λιπαντικά, το πιλοτικό καύσιμο MDO για την έναυση και τα κόστη συντήρησης του

εξοπλισμού. Με τη λύση της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου μειώνονται τα λειτουργικά έξοδα, όπως περιγράφεται στη συνέχεια, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται τα έσοδα και τα κέρδη από το μεγαλύτερο αριθμό καμπινών.



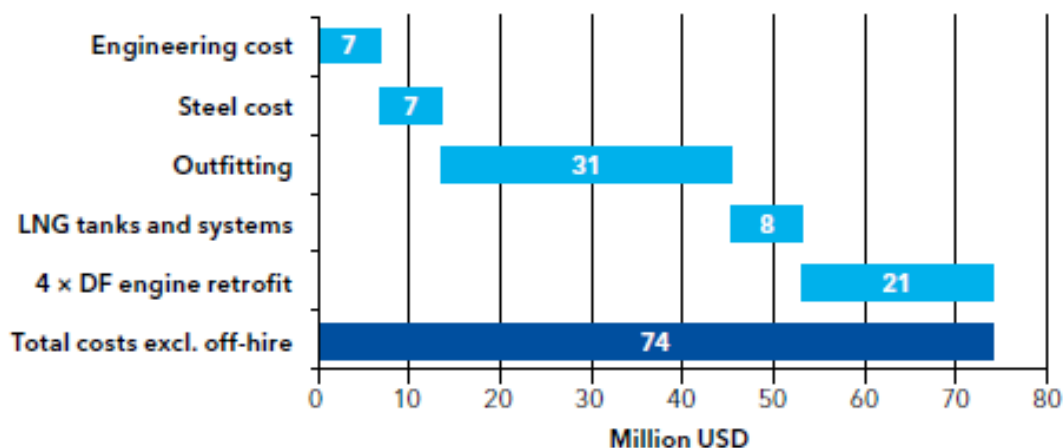
Σχήμα 34. Κεφαλαιουχικές δαπάνες για την επιμήκυνση του πλοίου για χρήση καυσίμου LNG.



Σχήμα 35. Λειτουργικά έξοδα στο σενάριο της χρήσης καυσίμου LNG.

Ύστερα από βιβλιογραφική έρευνα οι κεφαλαιουχικές δαπάνες για την επιμήκυνση ενός κρουαζιερόπλοιου, ώστε να τοποθετηθούν οι δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου, και

για την μετατροπή των κινητήρων πετρελαίου σε κινητήρες διπλού καυσίμου ανέρχονται περίπου στα 74 εκατομμύρια δολάρια [37]. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι αρχικές δαπάνες.



Σχήμα 36. Κεφαλαιουχικές δαπάνες της μετασκευής κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG.[37]

Για τη συγκεκριμένη μελέτη έχουν γίνει ορισμένες παραδοχές :

- Δεν έχει υπολογισθεί ο χρόνος που μένει το κρουαζιερόπλοιο εκτός λειτουργίας κατά το διάστημα της μετασκευής. Ο χρόνος αυτός είναι περίπου 30 ημέρες.
- Για λόγους απλούστευσης τα κόστη συντήρησης του συστήματος υγροποιημένου φυσικού αερίου θεωρούνται ίσα με τα κόστη συντήρησης του συστήματος πετρελαίου.
- Δεν έχουν υπολογιστεί τα κόστη μεταφοράς των δεξαμενών του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν τα οικονομικά οφέλη από την επιμήκυνση του κρουαζιερόπλοιου. Οι πρόσθετες καμπίνες που δημιουργούνται μειώνουν το χρόνο αποπληρωμής της αρχικής επένδυσης. Στις άλλες λύσεις, δηλαδή τόσο στην εγκατάσταση πλυντρίδων, όσο και στη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων δεν δημιουργούνται νέες καμπίνες και συνεπώς δεν αυξάνονται τα έσοδα. Στο υποκεφάλαιο αυτό δεν εξετάζονται τα πρόσθετα έσοδα από τις καμπίνες Το πρόσθετο κόστος λειτουργίας για την κάλυψη των αναγκών των επιβατών στο νέο τμήμα του πλοίου καλύπτονται από το επιπλέον έσοδα.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στο πλοίο MSC Meraviglia της εταιρείας MSC

Cruises. Τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου έχουν δοθεί προηγουμένως και στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα χαρακτηριστικά της μετασκευής του προς μελέτη κρουαζιερόπλοιου. Στη μελέτη οικονομικής εφικτότητας της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στα μεγάλα κρουαζιερόπλοια που πραγματοποιείται, συγκρίνεται στην παρούσα φάση η προοπτική της χρήσης LNG με τη λύση της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων για την κάλυψη της διεθνούς νομοθεσίας.

Επιμήκυνση	23 m
Νέο μήκος πλοίου	338.83 m
Πλάτος του πλοίου	43.00 m
Νέες καμπίνες	225
Συνολικές καμπίνες μετά την επιμήκυνση	2.475
Μηχανές πριν τη μετασκευή	4 κινητήρες πετρελαίου της Wärtsilä :  2x 16V46CR - 16 cylinder 460 x 580 mm diesel engine που η καθεμία είναι 16.800 kW  2X 12V46CR - 12 cylinder 460 x 580 mm diesel engines που η καθεμία είναι 12.600 kW  Συνολική εγκατεστημένη ισχύς : 58.800 kW
Μηχανές μετά τη μετασκευή	4 κινητήρες διπλού καυσίμου της Wärtsilä :  2x 16V50DF - 16 cylinder 500 x 580 mm dual-fuel engines που η καθεμία είναι 15.600 kW  2X 12V50DF - 12 cylinder 500 x 580 mm dual-fuel engines που η καθεμία είναι 11.700 kW  Συνολική εγκατεστημένη ισχύς : 54.600 kW

Πίνακας 29. Στοιχεία της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου MSC Meraviglia.

Προκειμένου να υπολογιστεί η κατανάλωση σε φυσικό αέριο των μηχανών διπλού καυσίμου χρησιμοποιείται ο εξής τύπος :

$$\text{NATURAL GAS CONSUMPTION (GJ/h)} = \text{POWER (85 \% MCR) KW} \times \text{NATURAL GAS HEAT RATE (85 \% MCR) (KJ/KWh)} \times 10^{-6}.$$

Από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή είναι γνωστό ότι :

$$\text{HEAT RATE (85 \% MCR)} = 7.520 \text{ KJ/KWh}$$

$$\text{PILOT FUEL HEAT RATE (1 \% HEAT RATE)} = 75.2 \text{ KJ/KWh}$$

$$\text{NATURAL GAS HEAT RATE (99 \% HEAT RATE)} = 7.444,8 \text{ KJ/KWh}$$

$$\text{POWER (85 \% MCR)} = 46.410 \text{ KW}$$

Συνεπώς υπολογίστηκε ότι η κατανάλωση σε φυσικό αέριο είναι 345.5 GJ/hour. Στη συνέχεια πρέπει να μετατραπεί η ποσότητα του φυσικού αερίου που καταναλώνει η μηχανή σε ποσότητα LNG [38].

Από τον Natural Gas Conversion Guide της International Gas Union (IGU) γίνονται οι εξής μετατροπές :

$$1\text{GJ/hour NATURAL GAS} = 815.2 \text{ ft}^3/\text{hour NATURAL GAS}$$

$$1 \text{ ft}^3/\text{hour NATURAL GAS} = 2.178 \times 10^{-5} \text{ tonnes LNG/hour}$$

$$\text{Tonnes LNG/hour} = 2.222 \text{ m}^3/\text{hour LNG}$$

Συνεπώς υπολογίζεται ότι το πλοίο έχει κατανάλωση LNG = 13.63 m<sup>3</sup>/hour.

Επίσης είναι γνωστό από τους πίνακες της IGU ότι :

$$1 \text{ m}^3 \text{ LNG} = 24.02 \text{ MMBTU}$$

Άρα το πλοίο έχει κατανάλωση LNG ίση με 327.39 MMBTU/hour.

Η τιμή του LNG, παρόλο που παρουσιάζει αυξομειώσεις, είναι γενικά κατά 12.5 % χαμηλότερη από εκείνη του HFO. Για τη συγκεκριμένη μελέτη η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου λαμβάνεται ίση με 7 \$/MMBTU (Million British Thermal Unit) που αντιστοιχεί σε τιμή 363.3 \$/t LNG [30].

Έχει ήδη υπολογιστεί για το κρουαζιερόπλοιο που εξετάζεται ότι οι ώρες λειτουργίας του το χρόνο είναι : 322.5 ημέρες \* 24 ώρες = 7740 ώρες.

Άρα η συνολική κατανάλωση καυσίμου LNG αντιστοιχεί σε : 7740 ώρες \* 327.39 MMBTU/ώρα = 2.533.998,6 MMBTU το χρόνο για λειτουργία σε πλήρες φορτίο.

Ωστόσο το κρουαζιερόπλοιο που εξετάζεται δεν λειτουργεί όλες τις στιγμές σε πλήρες φορτίο.



Αν υποτεθεί και εδώ ότι το πλοίο λειτουργεί εντός λιμένων για το 20 % της λειτουργίας του και πλέει με ταχύτητα 16 κόμβων για το 30 % της πλεύσης του τότε θα λειτουργεί:

0.2 (ποσοστό λειτουργίας εντός λιμένων) \* 7740 ώρες = 1548 ώρες λειτουργίας σε λιμένα

0.3 (ποσοστό λειτουργίας για ταχύτητα 16 κόμβων) \* 7740 ώρες = 2322 ώρες λειτουργίας με 16 κόμβους

0.5 (ποσοστό λειτουργίας για πλήρες φορτίο) \* 7740 ώρες = 3870 ώρες λειτουργίας σε πλήρες φορτίο

Συνεπώς η συνολική κατανάλωση καυσίμου LNG το έτος θα είναι :

Για πλήρες φορτίο :  $327.39 \text{ MMBTU/ώρα} * 3870 \text{ ώρες} = 1.266.999,3 \text{ MMBTU}$  καυσίμου το χρόνο.

Για λειτουργία εντός λιμένα η κατανάλωση υπολογίζεται στο 10 % της κατανάλωσης σε πλήρες φορτίο και συνεπώς το πλοίο καταναλώνει εντός λιμένα :

$0.1 * 327,39 \text{ MMBTU/ώρα} * 1548 \text{ ώρες λειτουργίας} = 50.679,972 \text{ MMBTU}$  καυσίμου το χρόνο.

Για τη λειτουργία σε ταχύτητα 16 κόμβων η κατανάλωση υπολογίζεται στο 40% της κατανάλωσης σε πλήρες φορτίο και συνεπώς το πλοίο καταναλώνει σε ταχύτητα 16 κόμβων:

$0.4 * 327,39 \text{ MMBTU/ώρα} * 2322 \text{ ώρες λειτουργίας} = 304.079,832 \text{ MMBTU}$  καυσίμου το χρόνο.

Συνεπώς η συνολική κατανάλωση καυσίμου LNG είναι :  $1.266.999,3 + 50.679,972 + 304.079,832 = 1.621.759,104 \text{ MMBTU}$  καυσίμου το χρόνο.

Προηγουμένως είχε υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση καυσίμου MGO για τους κινητήρες του προς μελέτη κρουαζιερόπλοιου και αντιστοιχούσε σε 52.050 τόνους καυσίμου το χρόνο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές στα συνολικά κόστη του πλοίου με χρήση καυσίμου LNG καθώς και με χρήση καυσίμου MGO.

	<b>Κόστος MGO</b>	<b>Κόστος LNG</b>	<b>Συνολικό κόστος</b>
<b>Χωρίς σύστημα LNG</b>	<b>590 \$/t * 52.050 t = 30.709.500 \$ το χρόνο</b>	-	<b>30.709.500 \$ το χρόνο</b>
<b>Με σύστημα LNG</b>	-	<b>1.621.759,104 MMBTU το χρόνο * 7 \$/MMBTU = 11.352.313,73 \$ το χρόνο</b>	<b>11.352.313,73 \$ το χρόνο</b>

Πίνακας 30. Σύγκριση χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου με χρήση συμμορφούμενων καυσίμων χωρίς τον υπολογισμό των κερδών από τις πρόσθετες καμπίνες.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα λειτουργικά έξοδα για τη συντήρηση των κινητήρων διπλού καυσίμου έχουν θεωρηθεί ίδια με εκείνα των κινητήρων πετρελαίου, ενώ η αρχική επένδυση για τη χρήση κινητήρων διπλού καυσίμου είναι 74 εκατομμύρια δολάρια. Για τη λειτουργία των κινητήρων διπλού καυσίμου υπάρχει η απαίτηση για χρήση MDO (Marine Diesel Oil) ως πιλοτικού καυσίμου. Η ποσότητα του MDO αντιστοιχεί στο 1 % της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου.

Συνεπώς οι κινητήρες διπλού καυσίμου καταναλώνουν κατά τη διάρκεια ενός έτους : 52.050 τόνους καυσίμου \* 1% = 520,5 τόνους MDO. Η τιμή του MDO ανέρχεται στα 750 \$/t. Συνεπώς τα λειτουργικά έξοδα για την έναυση των κινητήρων διπλού καυσίμου ανέρχονται στα 520,5 τόνοι MDO \* 750 \$/τόνο = 390.375 \$ το χρόνο και θα πρέπει να υπολογιστεί και αυτή η δαπάνη στην περίπτωση της χρήσης LNG.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα έσοδα το χρόνο που αποδίδει η επένδυση.

OPEX από τη χρήση MDO	ΕΣΟΔΑ από την εγκατάσταση κινητήρων διπλού καυσίμου	Καθαρά έσοδα το χρόνο
390.375 \$	30.709.500 -11.352.313,73 =19.177.186,27 \$	19.177.186,27 -390.375 =18.786.811,27 \$

Πίνακας 31. Ετήσια καθαρά έσοδα από την χρήση LNG στο κρουαζιερόπλοιο.

Συνεπώς η απόσβεση θα πραγματοποιηθεί σε :  $74.000.000 \$ / 18.786.811,27 \$ = 3.93$  χρόνια.

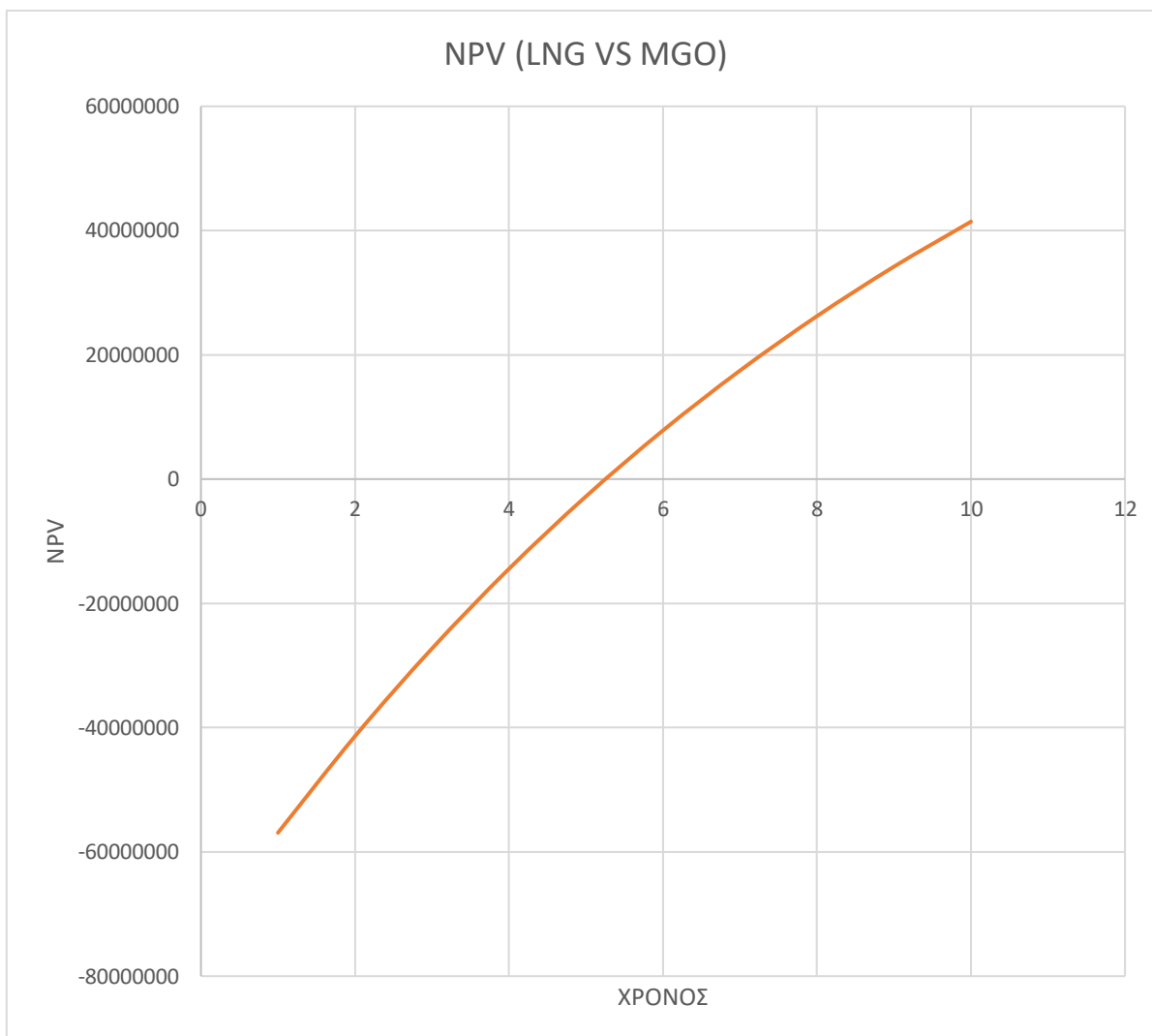
Στη συνέχεια υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία ώστε να γίνει αντιληπτό αν είναι συμφέρουσα η επένδυση.

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value)

Έτος	Έσοδα από την εγκατάσταση των κινητήρων διπλού καυσίμου	Προεξοφλητικό επιτόκιο	Λειτουργικά έξοδα	Καθαρή παρούσα αξία σε κάθε έτος
1	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-56.921.081 \$
2	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-41.394.790 \$
3	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-27.279.981 \$
4	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-14.448.336 \$
5	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-2.783.204 \$
6	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	7.821.461 \$
7	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	17.462.066 \$
8	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	26.226.252 \$
9	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	34.193.694 \$
10	18.786.811,27 \$	10 %	390.375 \$	41.436.823 \$

Πίνακας 32. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας για χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του χρόνου με χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.



Διάγραμμα 11. NPV συναρτήσει του χρόνου με χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για χρονικό διάστημα 5 ετών η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι αρνητική που σημαίνει ότι αν η επένδυση αποσκοπεί σε διάρκεια

μικρότερη των 5 ετών θα καταλήξει σε ζημιά. Επίσης για χρονικό διάστημα 5,1 ετών η Καθαρή παρούσα Αξία είναι μηδέν που σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή. Τέλος, μετά το χρονικό διάστημα των 5.1 ετών η Καθαρή Παρούσα Αξία γίνεται θετική που σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα αν αποσκοπεί σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο αυτής της τιμής.

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR - Internal Rate of Return) και για αυτήν την περίπτωση ώστε να συγκριθούν στο τέλος οι επενδύσεις. Ο Internal Rate of Return (IRR) είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης. Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το IRR.

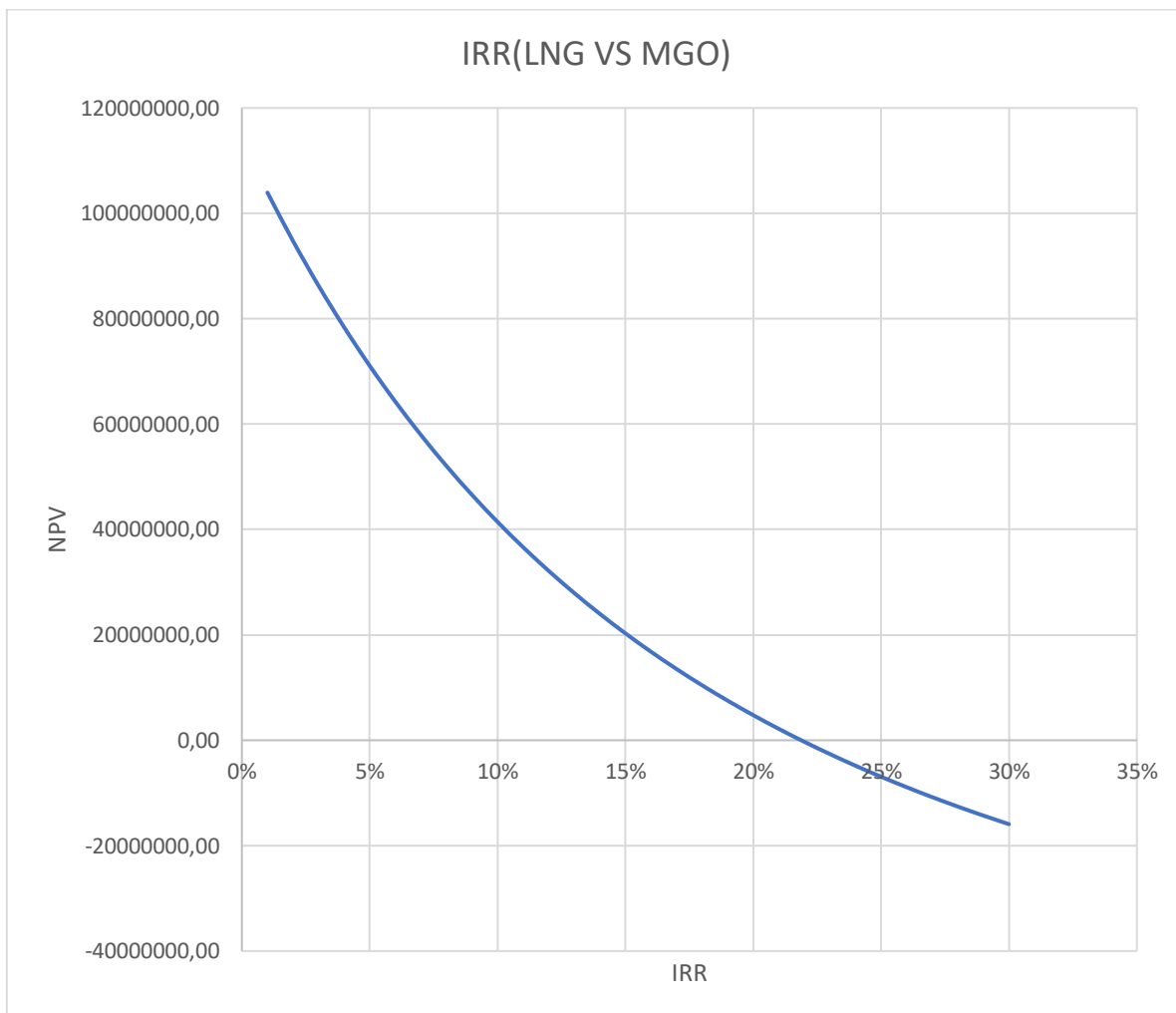
Το IRR χρησιμοποιείται για να συγκρίνει επενδύσεις και διαφέρει από τη καθαρή παρούσα αξία διότι μετράει και το χρόνο των ταμειακών ροών, όχι μόνο το συνολικό όγκο. Για παράδειγμα δύο επενδύσεις με ίδια καθαρή παρούσα αξία μπορούν να έχουν διαφορετικά IRR και η επένδυση με το μεγαλύτερο IRR επιστρέφει χρήματα γρηγορότερα από αυτή με το χαμηλότερο IRR.

Ο υπολογισμός του IRR γίνεται μέσω της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας που έχει προαναφερθεί. Σκοπός είναι να βρεθεί ο IRR, δηλαδή το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα από αυτήν τη διαδικασία .

Discount Rate	NPV
1%	103935610,70
2%	94754129,23
3%	86255310,79
4%	78377868,24
5%	71066776,79
6%	64272566,37
7%	57950700,85
8%	52061032,85
9%	46567324,03
10%	41436822,55
11%	36639890,32
12%	32149673,67
13%	27941812,09
14%	23994180,21
15%	20286658,98
16%	16800932,46
17%	13520307,14
18%	10429551,05
19%	7514750,46
20%	4763181,83
21%	2163197,54
22%	-295876,37
23%	-2623831,81
24%	-4829660,76
25%	-6921628,92
26%	-8907341,99
27%	-10793805,19
28%	-12587476,94
29%	-14294317,14
30%	-15919830,90
31%	-17469107,85
32%	-18946857,82
33%	-20357443,10
34%	-21704907,62
35%	-22993003,44
36%	-24225214,83
37%	-25404780,11
38%	-26534711,48
39%	-27617813,14
40%	-28656697,75

Πίνακας 33. Εύρεση IRR για το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας για χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες.

Πλέον είναι ορατό ότι το προεξοφλητικό επιτόκιο για το οποίο μηδενίζεται η καθαρή παρούσα αξία είναι 22%. Στη συνέχεια ακολουθεί και το διάγραμμα του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) συναρτήσεως της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για την επένδυση της χρήσης καυσίμου LNG.



Διάγραμμα 12. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) συναρτήσεως της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για τη χρήση καυσίμου LNG χωρίς τον υπολογισμό των εσόδων από τις πρόσθετες καμπίνες..

#### 5.4. Σύγκριση της μεθόδου της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες

Στη συνέχεια θα υπολογιστούν τα ίδια με προηγουμένως μόνο που αυτή τη φορά θα ληφθούν υπόψη και τα έσοδα από τις νέες καμπίνες που έχουν δημιουργηθεί λόγω της επιμήκυνσης του κρουαζιερόπλοιου. Θα εξετασθεί η περίπτωση κατά την οποία τα ετήσια καθαρά έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες αντιστοιχούν στο 5% της αρχικής επένδυσης, κάνοντας την παραδοχή ότι τα επιπλέον λειτουργικά έξοδα για την κάλυψη των αναγκών των νέων επιβατών έχουν συμπεριληφθεί στο ποσοστό αυτό. Συνεπώς τα επιπλέον καθαρά έσοδα του πλοίου λόγω των νέων καμπινών αντιστοιχούν σε  $5\% * 74.000.000 \$ = 3.700.000 \$$  ετησίως.

Υπενθυμίζεται ότι στις άλλες δύο λύσεις, δηλαδή στην εγκατάσταση των πλυντρίδων και στη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων δεν δημιουργείται πρόσθετο κέρδος καθώς δεν πραγματοποιείται επιμήκυνση του κρουαζιερόπλοιου. Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζονται τα συνολικά ετήσια κόστη με τη χρήση κινητήρων διπλού καυσίμου και 5 % κέρδος επί της αρχικής επένδυσης από τις πρόσθετες καμπίνες.

	<b>Κόστος MGO</b>	<b>Κόστος LNG</b>	<b>Κέρδη από τις επιπρόσθετες καμπίνες</b>	<b>Συνολικό κόστος</b>
<b>Χωρίς σύστημα LNG</b>	<b>590 \$/t * 52.050 t = 30.709.500 \$ το χρόνο</b>	-	-	<b>30.709.500 \$ το χρόνο</b>
<b>Με σύστημα LNG</b>	-	<b>1.621.759,104 MMBTU το χρόνο * 7 \$/MMBTU = 11.352.313,73 \$ το χρόνο</b>	<b>3.700.000 \$</b>	<b>7.662.313,73 \$ το χρόνο</b>

Πίνακας 34. Σύγκριση χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου με χρήση συμμορφούμενων καυσίμων και τον υπολογισμό των κερδών από τις πρόσθετες καμπίνες.

Στην περίπτωση της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου πρέπει να προστεθεί στα λειτουργικά έξοδα και η χρήση του πιλοτικού καυσίμου MDO, όπως έχει αναφερθεί. Τα ετήσια λειτουργικά έξοδα για τη χρήση αυτού του καυσίμου έχουν ήδη υπολογιστεί και αντιστοιχούν σε 390.375 \$. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα έσοδα το χρόνο που αποδίδει η επένδυση.



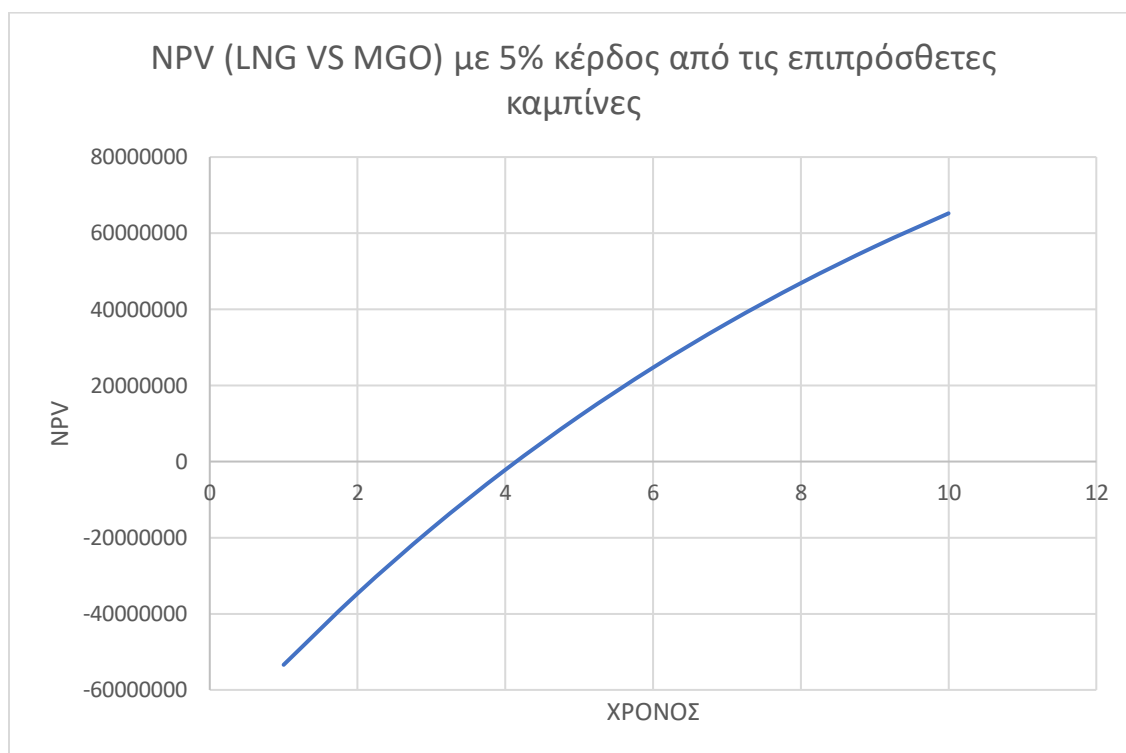
ΟΡΕΧ από τη χρήση MDO	ΕΣΟΔΑ από την εγκατάσταση κινητήρων διπλού καυσίμου	Καθαρά έσοδα το χρόνο
390.375 \$	30.709.500 -7.662.313,73 =23.047.186,27 \$	23.047.186,27 -390.375 =22.656.811,27 \$

Πίνακας 35. Ετήσια καθαρά έσοδα από την χρήση LNG στο κρουαζιερόπλοιο και 5 % κέρδος επί της αρχικής επένδυσης από τις πρόσθετες καμπίνες.

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value)

Έτος	Έσοδα από την εγκατάσταση των κινητήρων διπλού καυσίμου	Προεξοφλητικό επιτόκιο	Λειτουργικά έξοδα από τη χρήση MDO	Καθαρή παρούσα αξία σε κάθε έτος
1	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-53.402.899
2	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-34.678.261
3	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-17.655.864
4	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	-2.180.957
5	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	11.887.140
6	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	24.676.320
7	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	36.302.846
8	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	46.872.416
9	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	56.481.116
10	22.656.811,27 \$	10 %	390.375 \$	65.216.297

Πίνακας 36. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας για χρήση καυσίμου LNG και 5 % κέρδος από τις πρόσθετες καμπίνες.



Διάγραμμα 13. NPV συναρτήσεως του χρόνου για χρήση καυσίμου LNG και 5 % κέρδος από τις πρόσθετες καμπίνες.

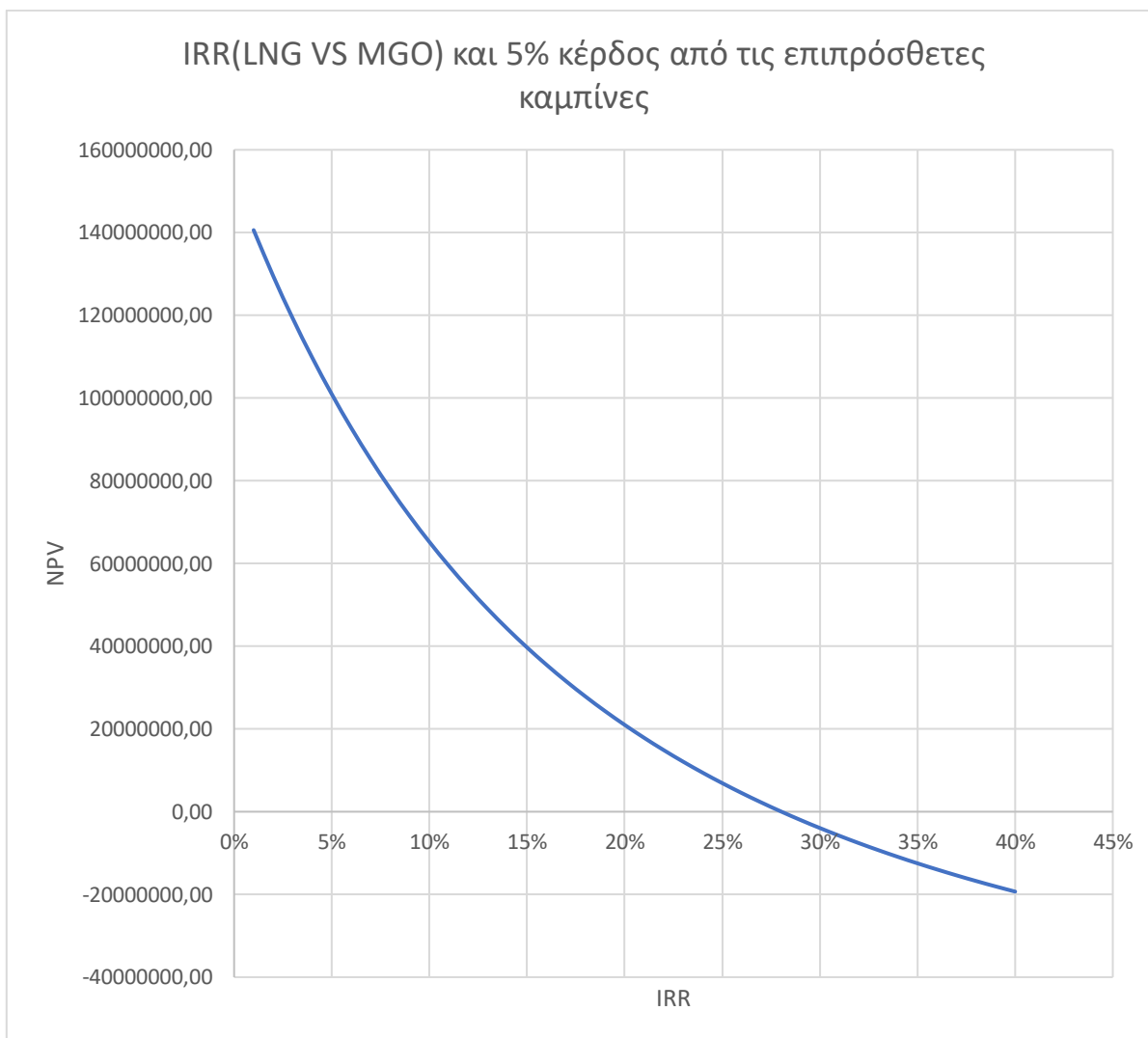
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι για χρονικό διάστημα 4 ετών η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι αρνητική που σημαίνει ότι αν η επένδυση αποσκοπεί σε διάρκεια μικρότερη των 4 ετών θα καταλήξει σε ζημιά. Επίσης για χρονικό διάστημα ίσο με 4 έτη η Καθαρή παρούσα Αξία είναι μηδέν που σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημιά για τον επενδυτή. Τέλος, μετά το χρονικό διάστημα των 4 ετών η Καθαρή Παρούσα Αξία γίνεται θετική που σημαίνει ότι η επένδυση είναι κερδοφόρα αν αποσκοπεί σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο αυτής της τιμής.

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR - Internal Rate of Return) και για αυτήν την περίπτωση. Ο υπολογισμός του IRR γίνεται μέσω της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας που έχει προαναφερθεί. Σκοπός είναι να βρεθεί ο IRR, δηλαδή το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα από αυτήν τη διαδικασία στην περίπτωση της χρήσης καυσίμου LNG και 5 % κέρδος από τις πρόσθετες καμπίνες.

Discount Rate	NPV
1%	140589559,23
2%	129516733,20
3%	119267195,77
4%	109767034,90
5%	100949890,97
6%	92756103,25
7%	85131961,41
8%	78029047,86
9%	71403659,33
10%	65216297,25
11%	59431218,20
12%	54016036,79
13%	48941374,34
14%	44180547,76
15%	39709293,56
16%	35505522,80
17%	31549103,18
18%	27821665,02
19%	24306428,39
20%	20988048,80
21%	17852479,25
22%	14886847,00
23%	12079343,04
24%	9419123,09
25%	6896218,74
26%	4501457,56
27%	2226391,28
28%	63231,10
29%	-1995210,64
30%	-3955573,04
31%	-5823994,18
32%	-7606154,12
33%	-9307313,72
34%	-10932349,96
35%	-12485787,82
36%	-13971829,32
37%	-15394379,82
38%	-16757072,05
39%	-18063287,86
40%	-19316178,10

Πίνακας 37. Εύρεση IRR για το μηδενισμό της καθαρής παρούσας αξίας για χρήση καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες.

Πλέον είναι ορατό ότι το προεξοφλητικό επιτόκιο για το οποίο μηδενίζεται η καθαρή παρούσα αξία είναι 28%. Στη συνέχεια ακολουθεί και το διάγραμμα του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) συναρτήσεως της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για την επένδυση της χρήσης καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες.



Διάγραμμα 14. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) συναρτήσεως της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για χρήση καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες.

## **5.5. Σύγκριση της μεθόδου εγκατάστασης πλυντρίδων με τη μέθοδο της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG υπολογίζοντας και τα έσοδα από τις πρόσθετες καμπίνες**

Για την κάλυψη των διεθνών απαιτήσεων ως προς τις εκπομπές των αέριων ρύπων από τα μεγάλα κρουαζιερόπλοια παραπάνω πραγματοποιήθηκε μια σύγκριση των δυνητικών μεθόδων. Αρχικά συγκρίθηκε η μέθοδος της εγκατάστασης των πλυντρίδων με τη μέθοδο της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων και στη συνέχεια συγκρίθηκε η μετασκευή για χρήση καυσίμου LNG με τη χρήση συμμορφούμενων καυσίμων.

Με στόχο την εύρεση της βέλτιστης επένδυσης, παρακάτω πραγματοποιείται μια σύγκριση μεταξύ της λύσης της χρήσης πλυντρίδων και της λύσης της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου για την κάλυψη των διεθνών κανονισμών του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού. Στο σενάριο της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου λαμβάνονται ως επιπλέον έσοδα εκείνα που προκύπτουν από τη χρήση των επιπρόσθετων καμπινών (5 % της αρχικής επένδυσης).

Από προηγούμενο κεφάλαιο έχουν υπολογιστεί οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) για κάθε μια από τις εφικτές λύσεις, καθώς και τα επιπλέον λειτουργικά έξοδα σε κάθε περίπτωση (συντήρηση και λειτουργία πλυντρίδων, κατανάλωση NaOH, κατανάλωση MDO για την έναυση των κινητήρων διπλού καυσίμου).

Υπενθυμίζεται ότι τα λειτουργικά έξοδα για τη συντήρηση των κινητήρων έχουν θεωρηθεί ίδια σε κάθε περίπτωση. Δηλαδή, είτε χρησιμοποιούνται οι κινητήρες πετρελαίου για την περίπτωση των πλυντρίδων, είτε οι κινητήρες διπλού καυσίμου, για την περίπτωση της χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου, τα λειτουργικά έξοδα συντήρησης είναι τα ίδια.

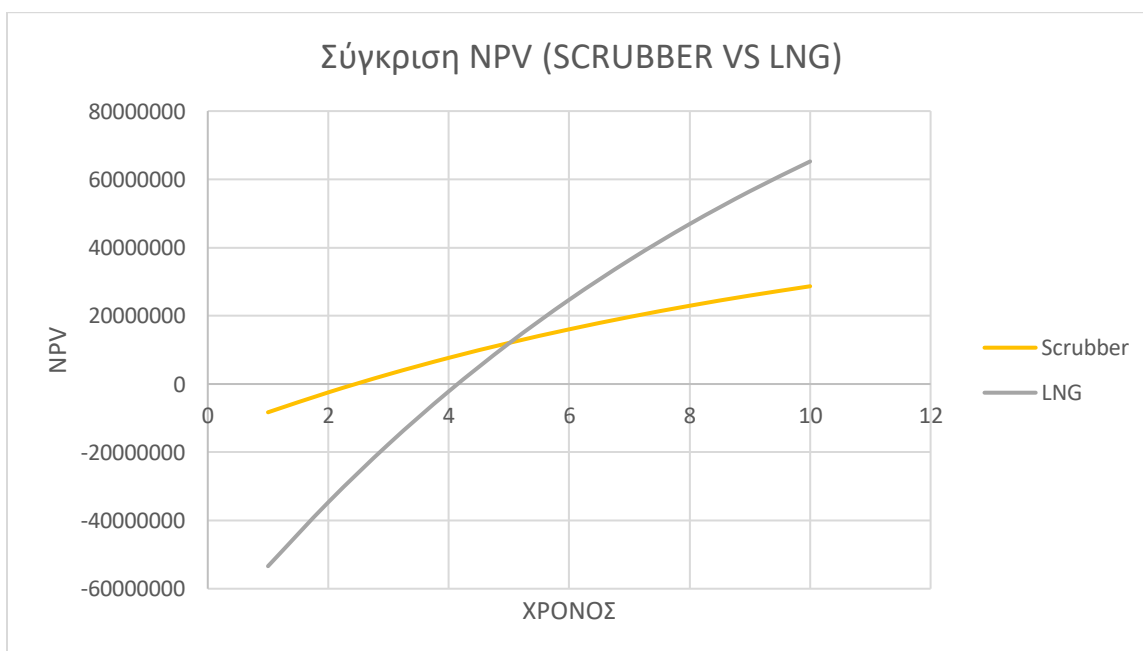
Στην περίπτωση των πλυντρίδων το πλοίο καταναλώνει καύσιμο HFO με τιμή 430 \$/t, ενώ στην περίπτωση των κινητήρων διπλού καυσίμου το πλοίο καταναλώνει LNG με τιμή 7 \$/MMBTU.

Συνεπώς προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τα έξοδα και τα πρόσθετα έσοδα από την εγκατάσταση του κάθε συστήματος.

Σύστημα	CAPEX	OPEX	Πρόσθετα έσοδα από καμπίνες
Scrubber	14.700.000 \$	430 \$/t * 52.050 t + 1.272.430,5 \$ (συντήρηση +NaOH) = 23.653.930,5 \$ το χρόνο	-
LNG	74.000.000 \$	1.621.759,104 MMBTU το χρόνο * 7 \$/MMBTU + 390.375 \$ για MDO = 11.742.688,72 \$ το χρόνο	3.700.000 \$
MGO	-	590 \$/t * 52.050 t = 30.709.500 \$ το χρόνο	-

Πίνακας 38. Έξοδα και πρόσθετα έσοδα από την εγκατάσταση του κάθε συστήματος.

Στη συνέχεια δίνεται το συγκεντρωτικό διάγραμμα της καθαρής παρούσας αξίας για τα συστήματα που μελετήθηκαν.



Διάγραμμα 15. Σύγκριση NPV για τα συστήματα που μελετήθηκαν.

Όπως έχει αναφερθεί θετική καθαρή παρούσα αξία σημαίνει πως η επένδυση είναι συμφέρουσα, ενώ αρνητική πως δεν είναι. Στα παραπάνω διάγραμμα είναι ορατό ότι στην εγκατάσταση των πλυντρίδων γίνεται γρηγορότερα απόσβεση σε σχέση με την εγκατάσταση των κινητήρων διπλού καυσίμου για χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ωστόσο και οι δύο επενδύσεις κρίνονται συμφέρουσες καθώς παρουσιάζουν θετική καθαρή παρούσα αξία μετά από κάποιο διάστημα (2 χρόνια για την εγκατάσταση πλυντρίδων και 4 χρόνια για τη χρήση LNG). Συνεπώς για τη σύγκριση των επενδύσεων και τη λήψη της τελικής απόφασης πρέπει να μπει στην εξίσωση και ο χρόνος.

Αν λοιπόν μελετάται ένα κρουαζιερόπλοιο με υπολειπόμενα έτη ζωής λιγότερα από 2, δεν είναι συμφέρουσα ούτε η επένδυση των πλυντρίδων, ούτε η επένδυση της χρήσης κινητήρων διπλού καυσίμου για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Δηλαδή αν ένα πλοίο πρόκειται να αποσυρθεί είναι προτιμότερη η χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (MGO) για τα υπολειπόμενα έτη ζωής αυτού, παρά η εγκατάσταση των συστημάτων που αναφέρθηκαν καθώς δεν θα πραγματοποιηθεί απόσβεση αυτών (για χρόνο < 2 έτη η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι αρνητική και στις δύο περιπτώσεις..

Στην περίπτωση όπου το πλοίο εξακολουθεί να λειτουργεί για διάστημα από 2 έως 4 έτη η επένδυση των πλυντρίδων έχει συγκριτικό πλεονέκτημα, κάτι το οποίο προκύπτει και από το διάγραμμα της Καθαρής Παρούσας Αξίας στη σύγκριση των δύο μεθόδων. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται ότι για το χρονικό διάστημα 2-4 έτη η ΚΠΑ της επένδυσης των πλυντρίδων έχει μεγαλύτερες τιμές από την αντίστοιχη καμπύλη της ΚΠΑ της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Τέλος, αν το πλοίο πρόκειται να συνεχίσει τη λειτουργία του για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από 5 χρόνια τότε και οι δύο επενδύσεις κρίνονται συμφέρουσες. Στην περίπτωση όμως της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου, μετά το διάστημα αυτό παρατηρείται ότι η Καθαρή Παρούσα Αξία λαμβάνει θετικές τιμές και μάλιστα η κλίση της καμπύλης είναι μεγαλύτερη από την κλίση της καμπύλης της ΚΠΑ στην περίπτωση των πλυντρίδων. Συνεπώς για χρονικό διάστημα λειτουργίας του κρουαζιερόπλοιου μεγαλύτερο των 5 ετών θεωρείται προτιμότερη η επένδυση της μετασκευής του κρουαζιερόπλοιου για χρήση καυσίμου LNG.

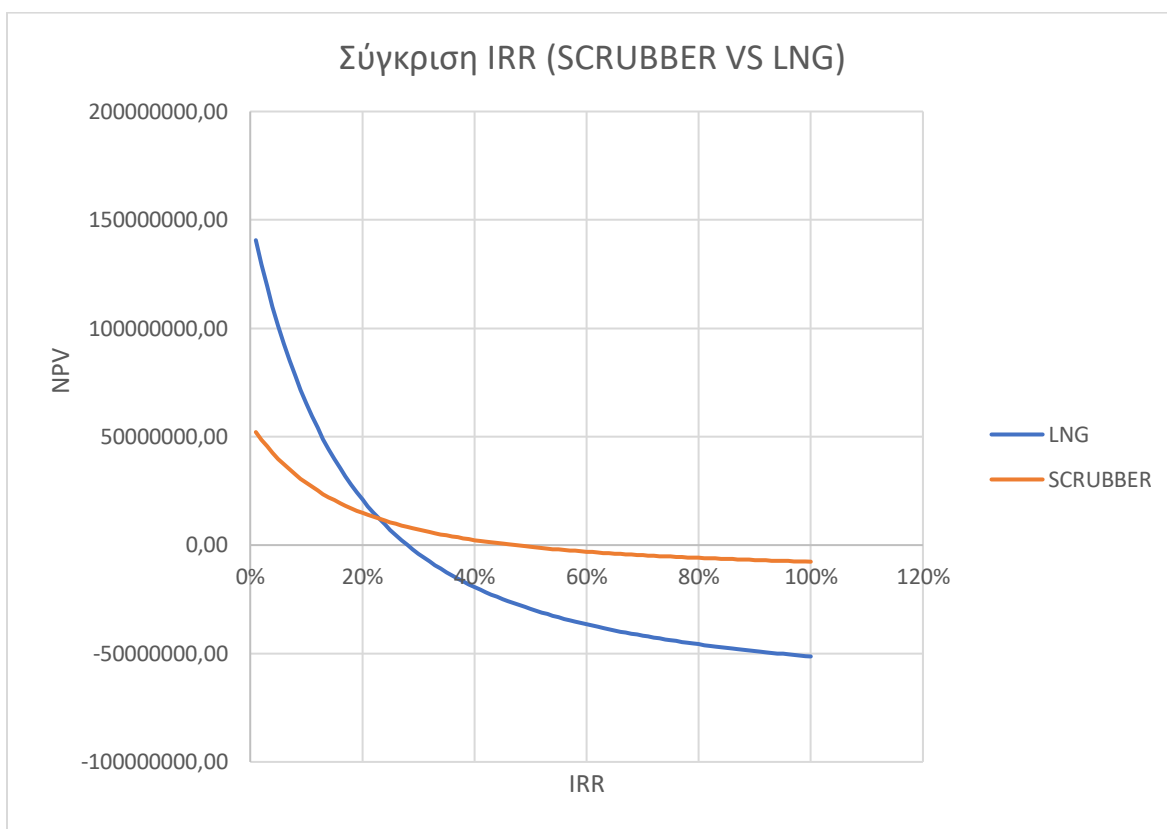
Στη συνέχεια γίνονται υπολογισμοί και εξετάζεται ο δείκτης IRR για τις δύο επενδύσεις.

SCRUBBER	
Discount Rate	NPV
1%	52125447,37
2%	48677252,80
3%	45485438,96
4%	42526988,88
5%	39781237,45
6%	37229605,72
7%	34855367,70
8%	32643445,66
9%	30580229,94
10%	28653420,26
11%	26851885,76
12%	25165541,27
13%	23585237,97
14%	22102666,46
15%	20710270,84
16%	19401172,38
17%	18169101,67
18%	17008338,19
19%	15913656,51
20%	14880278,18
21%	13903828,82
22%	12980299,72
23%	12106013,44
24%	11277592,94
25%	10491933,97
26%	9746180,14
27%	9037700,55
28%	8364069,70
29%	7723049,28
30%	7112571,80
31%	6530725,79
32%	5975742,43
33%	5445983,42
34%	4939930,03
35%	4456173,13
36%	3993404,17
37%	3550406,97
38%	3126050,26
39%	2719280,91
40%	2329117,70
41%	1954645,72
42%	1595011,20
43%	1249416,82
44%	917117,38
45%	597415,94
46%	289660,14
47%	-6761,08
48%	-292420,45
49%	-567855,24
50%	-833569,74

LNG	
Discount Rate	NPV
1%	140636915,85
2%	129561646,22
3%	119309846,87
4%	109807589,46
5%	100988499,72
6%	92792903,76
7%	85167079,39
8%	78062598,34
9%	71435747,68
10%	65247020,15
11%	59460664,42
12%	54044287,96
13%	48968505,61
14%	44206628,39
15%	39734387,46
16%	35529688,99
17%	31572396,24
18%	27844135,49
19%	24328123,11
20%	21009011,20
21%	17872749,68
22%	14906462,96
23%	12098339,42
24%	9437532,41
25%	6914071,29
26%	4518781,62
27%	2243213,27
28%	79575,71
29%	-1979320,29
30%	-3940115,31
31%	-5808948,79
32%	-7591502,01
33%	-9293037,04
34%	-10918431,90
35%	-12472212,58
36%	-13958582,02
37%	-15381446,46
38%	-16744439,42
39%	-18050943,49
40%	-19304110,23
41%	-20506878,24
42%	-21661989,77
43%	-22772005,73
44%	-23839319,58
45%	-24866169,89
46%	-25854651,96
47%	-26806728,42
48%	-27724238,88
49%	-28608908,96
50%	-29462358,40

Πίνακας 39. Υπολογισμός Εσωτερικού συντελεστή απόδοσης για κάθε σύστημα.





Διάγραμμα 16. Σύγκριση του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (IRR) για το σύστημα των πλυντρίδων και για το σύστημα της χρήσης LNG.

Όπως έχει αναφερθεί ο Internal Rate of Return (IRR) είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης. Ο υπολογισμός του IRR γίνεται μέσω της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας που έχει προαναφερθεί. Σκοπός είναι να βρεθεί ο IRR, δηλαδή το προεξοφλητικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι ορατό το προεξοφλητικό επιτόκιο για το οποίο μηδενίζεται η καθαρή παρούσα αξία σε κάθε επένδυση που μελετήθηκε. Για το σύστημα των πλυντρίδων λοιπόν η τιμή αντιστοιχεί στο 46 % και για το σύστημα της χρήσης LNG η τιμή αντιστοιχεί στο 28 %.

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μια μελέτη οικονομικής εφικτότητας της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στα κρουαζιερόπλοια. Ουσιαστικά έγινε μια σύγκριση των εφικτών λύσεων για την κάλυψη των διεθνών απαιτήσεων σχετικά με τις εκπομπές των αέριων ρύπων από τα πλοία και κυρίως των οξειδίων του θείου (SOx). Αρχικά έγινε μια ανάλυση της αγοράς κρουαζιέρας τόσο σε Ελληνικό επίπεδο, όσο και σε Ευρωπαϊκό και Παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια εξετάστηκαν αναλυτικά οι ρύποι που προέρχονται από τα πλοία, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Αναλύθηκε η υπάρχον νομοθεσία, καθώς και οι κανονισμοί που πρόκειται να τεθούν σε εφαρμογή στο κοντινό μέλλον. Το παγκόσμιο όριο της περιεκτικότητας του θείου στα καύσιμα των πλοίων θα πρέπει να είναι 0,5 % (κ.β.), ενώ για τη λειτουργία του πλοίου εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών θα πρέπει να είναι ίσο με 0,1 % (κ.β.) σύμφωνα με το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020 [39].

Για την κάλυψη των απαιτήσεων αυτών οι πλοιοκτήτες αναγκάζονται να στραφούν σε λύσεις που θα επιτρέψουν στα πλοία τους να εκτελούν δρομολόγια. Οι λύσεις αυτές είναι η χρήση συμμορφούμενων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (MGO), η εγκατάσταση πλυντρίδων για πλύση των καυσαερίων και η μετασκευή των πλοίων για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τα μεγάλα κρουαζιερόπλοια, που αποτελούν και το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα στη λύση της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου, καθώς παρόλο που η επένδυση της μετασκευής τους είναι μεγάλου κόστους, παρατηρήθηκε ότι κρίνεται συμφέρουσα σε βάθος 10ετίας. Στα κρουαζιερόπλοια η μετασκευή αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με 'LNG Ready' τμήμα, το οποίο δημιουργεί νέες καμπίνες στο πλοίο με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα έσοδα του πλοιοκτήτη. Οι λύσεις που εξετάστηκαν για την συμμόρφωση των κρουαζιερόπλοιων με τους διεθνείς και τοπικούς κανονισμούς έδειξαν ότι η απόσβεση των αρχικών επενδύσεων εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής των πλοίων.

Για τα πλοία που έχουν λίγα έτη ζωής μέχρι την απόσυρσή τους (< 3 έτη) κρίθηκε βέλτιστη λύση η χρήση συμμορφούμενων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, καθώς στη λύση αυτή δεν απαιτούνται κεφαλαιουχικές δαπάνες και είναι προτιμότερη η αύξηση των λειτουργικών εξόδων για την καύση MGO, από τις άλλες δύο λύσεις.

Για τα πλοία με διάρκεια ζωής από 4 έως 6 έτη η εγκατάσταση πλυντρίδων πλεονεκτεί των άλλων δυο λύσεων, καθώς οι πλυντρίδες έχουν μικρότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες από τη μετασκευή των κρουαζιερόπλοιων για χρήση καυσίμου LNG, ενώ τα λειτουργικά έξοδα είναι μικρότερα από τη λύση της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων. Σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίστηκαν ο δείκτης Καθαρής Παρούσας Αξίας και ο Εσωτερικός βαθμός απόδοσης για τη σύγκριση των λύσεων. Πρέπει να επισημανθεί εδώ πως στην παρούσα

μελέτη εξετάστηκε η χρήση υβριδικών πλυντρίδων που δίνει τη δυνατότητα για χρήση των πλυντρίδων είτε ως ανοιχτού τύπου, είτε ως κλειστού τύπου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς κάποια κράτη απαγορεύουν την απόρριψη έρματος στα ύδατα τους.

Τέλος, για πλοία με διάρκεια ζωής μεγαλύτερη των 7 ετών η μετασκευή του κρουαζιερόπλοιου για χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι προτιμότερη όπως αποδείχτηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και στις συγκρίσεις των δεικτών Καθαρής Παρούσας Αξίας. Ωστόσο υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν μελλοντικά την παρούσα μελέτη, καθώς σε μια πιθανή αύξηση των τιμών των καυσίμων τα παραπάνω αποτελέσματα θα διαφοροποιηθούν. Για παράδειγμα αν η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου αυξηθεί, τότε ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης θα αυξηθεί, με αποτέλεσμα η επένδυση της εγκατάστασης των πλυντρίδων να αποκτήσει πλεονέκτημα. Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου στα μεγάλα κρουαζιερόπλοια είναι η διαθεσιμότητα των σταθμών ανεφοδιασμού των πλοίων, καθώς και η χωρητικότητα των δεξαμενών LNG επί του πλοίου. Αν για παράδειγμα ένα κρουαζιερόπλοιο εκτελεί ένα μεγάλο δρομολόγιο, ίσως η χωρητικότητα των δεξαμενών LNG να μη μπορούν να καλύψουν τη συνολική κατανάλωση του πλοίου για την κάλυψη του ταξιδιού, με συνέπεια να πρέπει να πραγματοποιηθεί ανεφοδιασμός στο πλοίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να δημιουργηθούν περισσότεροι σταθμοί ανεφοδιασμού LNG για την κάλυψη των αναγκών.

Συμπερασματικά λοιπόν για τα υπάρχον πλοία η λύση που θα επιλέξει ο κάθε πλοιοκτήτης εξαρτάται από την περίοδο λειτουργίας του πλοίου. Σίγουρα η λύση της χρήσης συμμορφούμενων καυσίμων είναι η πιο ελκυστική από την άποψη ότι δεν υπάρχουν κεφαλαιουχικές δαπάνες και δεν χρειάζεται να γίνει κάποια τροποποίηση στο πλοίο. Σε αντίθεση για τα νέα πλοία η λύση της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου αποτελεί σίγουρα το μέλλον στον τομέα της κρουαζιέρας και έχουν ήδη πραγματοποιηθεί αρκετές παραγγελίες στα ναυπηγεία.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εταιρεία AIDA Cruises που έχει ήδη θέσει σε λειτουργία το πρώτο κρουαζιερόπλοιο στον κόσμο που λειτουργεί εξ' ολοκλήρου με υγροποιημένο φυσικό αέριο τόσο στη θάλασσα, όσο και εντός λιμένων και ονομάζεται "AIDAnova". Η εν λόγω εταιρία που είναι θυγατρική της Carnival Corporation, θα έχει στην κατοχή της δύο ακόμα κρουαζιερόπλοια που θα χρησιμοποιούν υγροποιημένο φυσικό αέριο για την πρόωσή τους μέχρι το τέλος του 2023 [40].

Τέλος, το επόμενο τεχνολογικό βήμα για την εξάλειψη των εκπομπών είναι η χρήση κυψελών καυσίμου για την πρόωση των πλοίων. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να δώσει μηδενικές εκπομπές και σίγουρα θα αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

## Βιβλιογραφία

- [1] Αντωνόπουλος, Ν.Κ., Ιστορία του Εμπορικού Ναυτικού, Πειραιεύς, 1963
- [2] Σιμόπουλος, Κ., Ξένοι ταξιδιώτες στην Ελλάδα, τόμος Α΄ 333-1700, 1972
- [3] Lundberg, D.E. and Lundberg, C.B., International Travel and Tourism. John Wiley and Sons, New York, 1993.
- [4] Foster, D., First Class: An Introduction to Travel and Tourism, McGraw-Hill International Editions, 1994
- [5] Styliadis, T. (2012), "Greek Sea is not in Crisis. An institutional approach of the economic impact cruise ships have on local societies: the case of two Ionian Islands", Thesis, Erasmus University Rotterdam
- [6] CLIA – Cruise Lines International Association
- [7] Ανακοίνωση της Ένωσης Λιμένων Ελλάδος, Πειραιάς 2019
- [8] Agrawal, H., Malloy, Q. G. J., Welch, W. A., Miller, J. W. & Cocker, D. R. (2008). In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel, *Atmospheric Environment*, 42, 5504-5510.
- [9] Τα κρουαζιερόπλοια βλάπτουν σοβαρά το περιβάλλον, Ντίνα Ιωακειμίδου, 2017
- [10] [www.NABU.de/Schiffe](http://www.NABU.de/Schiffe)
- [11] Διεθνείς κανονισμοί – Ναυτιλιακή πολιτική και Δίκαιο της θάλασσας, Αριστ.Β. Αλεξοπούλου, Νικ.Γ. Φουρναράκη, Αθήνα 2015
- [12] MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships Amended by Resolution MEPC.111(50) Amended by Resolution MEPC.115(51) Amended by Resolution MEPC.116(51)
- [13] 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
- [14] IMO Resolution MEPC.82(43) - Guidelines for monitoring the worldwide average sulfur content of residual fuel oils supplied for use on board ships; July 1, 1999
- [15] IMO Resolution MEPC.192(61) - 2010 Guidelines for monitoring the worldwide average sulfur content of residual fuel oils supplied for use on board ships; October 1, 2010

- [16] IMO MEPC 62/4 - Sulfur monitoring for 2010; February 28, 2011
- [17] IMO Resolution MEPC.190(60) - 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 (North American Emission Control Area); March 26, 2010
- [18] IMO Resolution MEPC.202(62) - 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; (Designation of the United States Caribbean Sea Emission Control Area and exemption of certain ships operating in the North American Emission Control Area and the United States Caribbean Sea Emission Control Area under Regulations 13 and 14 and Appendix VII of MARPOL Annex VI); July 15, 2011
- [19] IMO Resolution MEPC.132(53) - 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 (Amendments to MARPOL Annex VI and the NOx Technical Code); July 22, 2005
- [20] IMO Resolution MEPC.183(59) - 2009 Guidelines for monitoring the worldwide average sulfur content of residual fuel oils supplied for use on board ships; July 17, 2009
- [21] CARB Marine Notice 2012-1 - Advisory to owners and operators of oceangoing vessels or ships visiting California ports; July 2, 2012
- [22] Marine Emission Control Area Plan for Pearl River Delta, Yangtze River Delta, Bohai Rim Area, translated from the Chinese text source posted by Ministry of Transport of People's Republic of China, website: <http://www.moc.gov.cn/> (not an official English version of the Plan)
- [23] Introduction to Scrubber Technologies, Newark, NJ Jan 2015
- [24] ABS ADVISORY ON EXHAUST GAS SCRUBBER SYSTEMS
- [25] Understanding Exhaust Gas treatment systems, Lloyd's Register, 2012
- [26] Exhaust Gas Cleaning. How to choose the correct Scrubber, Wartsila, 2017
- [27] SOx Scrubber Technologies, Wartsila
- [28] Scrubber Technologies, Maran Tankers, Stavros Hatzigrigoris, Paraschos Liadis, 2017]
- [29] Nicotra, D. A. (2013). LNG, a Sustainable Fuel for all Transport Modes. NGVA Europe.
- [30] International Gas Union, World LNG Report 2019

- [31] LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory, ABS
- [32] Lloyds Register. (2012). *LNG fuelled deep sea shipping*. London: Lloyds Register.
- [33] MAN Diesel and Turbo. (n.d.). *Secondary Measures*. Retrieved 03 27, 2013, from MAN Diesel - Green Technology
- [34] Scrubbers – An economic and ecological assessment, NABU, Delph, 2015
- [35] MSC Cruises Annual Report, 2018
- [36] [www.shipandbunker.com/prices](http://www.shipandbunker.com/prices)
- [37] LNG as ship fuel, The future day, DNV-GL, 2014
- [38] Wärtsilä 50DF, Product Guide, 2019
- [39] [www.imo.org](http://www.imo.org)
- [40] AIDA Cruises presents latest sustainability report\_ World's first LNG-operated cruise ship, AIDAnova, commissioned in 2018
- [41] [www.royalcaribbean.com/cruise-ships](http://www.royalcaribbean.com/cruise-ships)
- [42] [www.ncl.com/fr/en/cruise-ship](http://www.ncl.com/fr/en/cruise-ship)
- [43] <https://www.elime.gr/>
- [44] Scrubber surge 'insufficient' to handle post-2020 HSFO surplus, Jamey Bergman, Aug 2018
- [45] Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers, Tu Huan, Fan Hongjun, Lei Wei and Zhou Guoqiang, July 2018
- [46] Liquefied gas carriers, D.J. Eyres M.Sc., F.R.I.N.A., G.J. Bruce M.B.A, F.R.I.N.A., MSNAME., in Ship Construction (Seventh Edition), 2012