



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Περιβαλλοντική Κατάλυση για Αντιρύπανση και Παραγωγή

Καθαρής Ενέργειας

Διπλωματική Εργασία

**Συγκριτική μελέτη καυσίμων με μηδενικό αποτύπωμα για
εφαρμογή στη Ναυτιλία και την Ηλεκτροπαραγωγή**

Ιωάννα – Αθανασία Δουραλή

Μηχανολόγος Μηχανικός Τ.Ε.

Επιβλέπων καθηγητής: **Βάκρος Ιωάννης**

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («Ιωάννας-Αθανασίας Δουραλή») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Συγκριτική μελέτη καυσίμων με μηδενικό αποτύπωμα για
εφαρμογή στη Ναυτιλία και την Ηλεκτροπαραγωγή

Ιωάννα – Αθανασία Δουραλή

Μηχανολόγος Μηχανικός Τ.Ε.

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βάκρος Ιωάννης

Μέλος Σ.Ε.Π.

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Κορδούλης Χρήστος

Καθηγητής

Τμήμα Χημείας Παν/μιο Πατρών

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2024

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθηγητή κ.

*Ιωάννη Βάκρο για τη βοήθεια και την υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια
εκπόνησής της, αλλά και τους συναδέλφους και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους
όλο αυτό το διάστημα.*

Περίληψη

Ο τομέας της ναυτιλίας είναι ένας από τους τομείς της οικονομίας που η λειτουργία του βασίζεται στα ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα και έχει μια αξιοσημείωτη συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), αναγνωρίζοντας το μερίδιο της ευθύνης που του αναλογεί ξεκίνησε να λαμβάνει μέτρα από τη δεκαετία του 1970. Το 1973 ξεκίνησε την προσπάθεια χαρτογράφησης και μετριάσμού της έκτασης του προβλήματος με τη σύνταξη της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL). Μετά και την υπογραφή της συνθήκης του Παρισιού το 2015, ο IMO έθεσε το στόχο για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία μέχρι το 2050 στο 50% συγκριτικά με τα επίπεδα εκπομπών του 2008. Παράλληλα ωθεί τον τομέα της ναυτιλίας σε πλήρη απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Με δεδομένο ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης μεγάλης ισχύος, που χρησιμοποιούνται κυρίως στη Ναυτιλία και την Ηλεκτροπαραγωγή, δεν είναι εφικτό να αντικατασταθούν από ηλεκτροκινητήρες έπρεπε να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις για χρήση άλλων υλικών στις μηχανές εσωτερικής καύσης ως καύσιμα. Αυτή τη στιγμή, ο τομέας της ναυτιλίας έχει αρχίσει να στρέφεται προς άλλα εναλλακτικά καύσιμα μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού αποτυπώματος στο περιβάλλον, προκειμένου να κατακτήσει αυτόν τον στόχο που έχει θέσει ο IMO. Τα επικρατέστερα υποψήφια εναλλακτικά καύσιμα για τον τομέα της ναυτιλίας είναι η πράσινη μεθανόλη, η πράσινη αμμωνία και το πράσινο υδρογόνο, που έχουν ήδη αρχίσει να τροφοδοτούν τον κύκλο Diesel και Otto και μπορούν να εφαρμοστούν και σε ήδη εγκατεστημένους κινητήρες με κάποιες τροποποιήσεις (Retrofit). Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήσαμε μια συγκριτική μελέτη μεταξύ αυτών των τριών εναλλακτικών καυσίμων αναλύοντας τις ιδιότητές τους, την ετοιμότητα που παρουσιάζουν, την παραγωγή, το κόστος τους, αλλά και τον τρόπο εφαρμογής τους στο πλοίο, το αποτύπωμά τους στο περιβάλλον και την ασφάλεια του εγχειρήματος. Σκοπός της σύγκρισης αυτής, ήταν να διεξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για το αν η μεταστροφή σε κάποιο από αυτά τα καύσιμα είναι δυνατή και αν κάποιο από αυτά θα μπορούσε μελλοντικά να κυριαρχήσει στον τομέα της ναυτιλίας ως καύσιμο. Παράλληλα προτείνουμε τη μεταστροφή που ακολουθεί ο τομέας της ναυτιλίας για χρήση και στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής όπου δεν γίνεται να εγκαταλειφθεί η χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης.

Λέξεις – Κλειδιά

Μηχανή εσωτερικής καύσης, Πράσινη μεθανόλη, Πράσινη Αμμωνία, Πράσινο υδρογόνο,
Ανανεώσιμο diesel, Ναυτιλία, Ηλεκτροπαραγωγή

Comparative study on fuels with zero footprint for use in Maritime and Power sector

Ioanna – Athanasia Dourali

Abstract

The maritime sector is one of the economy sectors whose operation is based on fossil petroleum fuels and has a notable contribution to the greenhouse effect. The International Maritime Organization (IMO), recognizing its share of responsibility, began to take action in the 1970s. In 1973, it began the effort to map and mitigate the extent of the problem by drafting the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). After the signing of the Paris agreement in 2015, IMO set the goal of reducing greenhouse gas emissions from ships by 2050 to 50% compared to 2008 emission levels. At the same time, it is pushing the maritime sector towards complete de-addiction from fossil fuels. Given that high-power internal combustion engines, which are mainly used in Maritime and Power sector, are not feasible to be replaced by electric motors, alternative solutions had to be found for the use of other materials in internal combustion engines as fuel. Currently, the shipping sector has started to turn to other alternative fuels with zero or near-zero footprint on the environment, in order to achieve the goal set by the IMO. The main candidate alternative fuels for the shipping sector are green methanol, green ammonia and green hydrogen, which have already started to feed the Diesel and Otto cycle and can also be applied to already installed engines with some modifications (Retrofit). In this thesis, we carried out a comparative study between these three alternative fuels, analyzing their properties, their readiness, their production, their costs, but also their application on board, their footprint on the environment and the safety of the project. The purpose of this comparison was to draw a conclusion on whether conversion to any of these fuels is possible and whether any of them could dominate the maritime sector as a fuel in the future. At the same time, we propose the conversion followed by the maritime sector for use in the power sector where the use of internal combustion engines cannot be abandoned.

Keywords

Internal combustion engine, Green methanol, Green Ammonia, Green hydrogen, Renewable diesel, Maritime sector, Power sector

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xiii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xiv
1 Εισαγωγή	1
1.1 Η κατάσταση σήμερα στην Παγκόσμια Ναυτιλία	1
1.2 Διατάξεις – Κανονισμοί σε ισχύ για τη μείωση των εκπομπών στη Ναυτιλία	2
1.2.1 Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL)	2
1.2.2 MARPOL παράρτημα VI – οξείδια του αζώτου	4
1.2.3 MARPOL παράρτημα VI – οξείδια του θείου και σωματίδια	8
1.2.4 MARPOL παράρτημα VI – ποιότητα καυσίμου	11
1.2.5 Διοξείδιο του άνθρακα	13
1.2.6 Η Στρατηγική του IMO για τη μείωση των GHG από τα πλοία	18
1.3 Τα καύσιμα της Ναυτιλίας	20
1.4 Νέες Τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα για έναν βιώσιμο τομέα Ναυτιλίας	28
1.5 Εφαρμογή των αλλαγών στη Ναυτιλία και στον τομέα της Ηλεκτροπαραγωγής	30
2 Καύσιμα με μηδενικό αποτύπωμα	35
2.1 Εισαγωγή στα εναλλακτικά καύσιμα	35
2.2 Μεθανόλη	38
2.2.1 Γενική περιγραφή για τη μεθανόλη	38
2.2.2 Παραγωγή πράσινης μεθανόλης	44
Μέθοδος παραγωγής βιομεθανόλης με αεριοποίηση βιομάζας	46
Μέθοδος παραγωγής βιομεθανόλης με αναμόρφωση βιοαερίου	49
Μέθοδος παραγωγής e-μεθανόλης	50
2.2.3 Τρόπος εφαρμογής μεθανόλης στο πλοίο	52
Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα μεταφοράς για τη μεθανόλη	52
Καύση μεθανόλης στον κινητήρα	56
2.2.4 Εκπομπές ρύπων από τη χρήση μεθανόλης	59
2.2.5 Ασφάλεια εγκατάστασης και εργαζομένων σε πλοίο με μεθανόλη	61
Ασφάλεια και υγιεινή πληρώματος στο χειρισμό της μεθανόλης	61
Κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς σε εγκατάσταση μεθανόλης	63
2.2.6 Οικονομοτεχνική ανάλυση για τη μεθανόλη	64
2.3 Αμμωνία	68
2.3.1 Γενική περιγραφή για την αμμωνία	68
2.3.2 Παραγωγή πράσινης αμμωνίας	73
Μέθοδος παραγωγής e-αμμωνίας	76
2.3.3 Τρόπος εφαρμογής αμμωνίας στο πλοίο	77
Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα μεταφοράς για την αμμωνία	78
Καύση αμμωνίας στον κινητήρα	81
2.3.4 Εκπομπές ρύπων από τη χρήση αμμωνίας	82
2.3.5 Ασφάλεια εγκατάστασης και εργαζομένων σε πλοίο με αμμωνία	84
Ασφάλεια και υγιεινή πληρώματος στο χειρισμό της αμμωνίας	84
2.3.6 Οικονομοτεχνική ανάλυση για την αμμωνία	86
2.4 Υδρογόνο	88

2.4.1	Γενική περιγραφή για το υδρογόνο.....	88
2.4.2	Παραγωγή πράσινου υδρογόνου.....	93
	Μέθοδος παραγωγής e-υδρογόνου από ηλεκτρόλυση νερού παρουσία βάσης.....	94
2.4.3	Τρόπος εφαρμογής υδρογόνου στο πλοίο.....	96
	Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα μεταφοράς για το υδρογόνο	97
	Καύση υδρογόνου στον κινητήρα	101
2.4.4	Εκπομπές ρύπων από τη χρήση υδρογόνου	103
2.4.5	Ασφάλεια εγκατάστασης και εργαζομένων σε πλοίο με υδρογόνο	104
	Κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς σε εγκατάσταση υδρογόνου	105
2.4.6	Οικονομοτεχνική ανάλυση για το υδρογόνο	106
2.5	Diesel από βιομάζα.....	108
3	Μετατροπή κινητήρων κι εγκατάστασης σε παλαιότερα πλοία (Retrofit).....	115
4	Σύγκριση των εναλλακτικών καυσίμων.....	121
4.1	Ιδιότητες καυσίμου	121
4.2	Ετοιμότητα εφαρμογής καυσίμου.....	122
4.3	Εφαρμογή στο πλοίο.....	122
4.4	Εκπομπές ρύπων.....	124
4.5	Ασφάλεια πλοίου και πληρώματος.....	125
4.6	Κόστος χρήσης καυσίμου	128
5	Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω ενέργειες	129
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	132
	Παράρτημα Α	141
	Παράρτημα Β.....	148
	Παράρτημα Γ	159

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1-1: Αριστερά: Σχηματική απεικόνιση των καθημερινά κινούμενων πλοίων. Πηγή: www.marinetraffic.com , Δεξιά: Απεικόνιση του αποτελέσματος λειτουργίας μηχανών εσωτερικής καύσης σε ένα πλοίο. Πηγή: www.science.org	1
Εικόνα 1-2: Παρουσίαση των 6 παραρτημάτων της MARPOL. Πηγή: https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/World-Maritime-Day-2023.aspx	3
Εικόνα 1-3: Οι ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών NO _x . Πηγή: www.imo.org	6
Εικόνα 1-4: Οι ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του θείου. [4]	9
Εικόνα 2-1: Σημεία εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινης μεθανόλης σε λιμένες. Πηγή Methanol Institute: https://www.methanol.org/marine	44
Εικόνα 2-2: Είσοδος της μεθανόλης στο θάλαμο καύσης. Αριστερά σε ανάμιξη με τον αέρα και δεξιά με απ' ευθείας ψεκασμό. [39,42]	58
Εικόνα 2-3: Προτεινόμενα σημεία εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινης αμμωνίας σε μεγάλα λιμάνια. [47]	73
Εικόνα 2-4: Είσοδος της αμμωνίας στο θάλαμο καύσης [45]	82
Εικόνα 2-5: Προτεινόμενα σημεία εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινου υδρογόνου σε μεγάλα λιμάνια. [59]	92
Εικόνα 2-6: Απορρόφηση υδρογόνου στην επιφάνεια των μετάλλων. [65]	98
Σχήμα 1-1: Μεταβολή εκπομπών NO _x κατά την μετακίνηση των πλοίων συναρτήσει των στροφών της μηχανής και του Tier της μηχανής τους. [4]	7
Σχήμα 1-2: Πορεία εξέλιξης των ορίων εκπομπών οξειδίων του θείου [4]	10
Σχήμα 1-3: Πρόβλεψη για τις εκπομπές των πλοίων ως ποσοστό των εκπομπών του 2008 [13] ...	17
Σχήμα 1-4: Σχηματική απεικόνιση χρήσης καυσίμου στα πλοία επί του συνόλου ανά δεκαετία έτους ναυπήγησης	25
Σχήμα 1-5: Πορεία εξέλιξης χρήσης καυσίμων στα πλοία ανά δεκαετία έτους ναυπήγησης	25
Σχήμα 1-6: Τάση χρήσης καυσίμου ανά έτος στις νέες ναυπηγήσεις	26
Σχήμα 1-7: Επίπεδο ετοιμότητας μετατροπής πλοίου για χρήση μεθανόλης και αμμωνίας. [25] ...	28
Σχήμα 1-8: Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή από την οποία προήλθε για το έτος 2022 [28]	30
Σχήμα 1-9: Ενδεικτικά στοιχεία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των πολιτειών με τη μεγαλύτερη παραγωγή από μηχανές εσωτερικής καύσης με χρήση ορυκτών καυσίμων στις ΗΠΑ [29]	31
Σχήμα 1-10: Το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας με χρήση πετρελαϊκών ορυκτών καυσίμων για το 2022 [28]	32
Σχήμα 1-11: Το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας με χρήση αέριων ορυκτών καυσίμων για το 2022 [28]	32
Σχήμα 1-12: Αριστερά: Παραγωγή ενέργειας ανά είδος καταναλισκόμενου καυσίμου για το 2022 (πραγματική) και για τα 2030 και 2050 αναμενόμενα βάσει στόχου. Δεξιά: Επικέντρωση στα ορυκτά καύσιμα [30]	33
Σχήμα 1-13: Εξέλιξη της χρηματοδότησης για τις επενδύσεις ενέργειας. Πηγή: www.iea.org	34
Σχήμα 2-1: Τάση χρήσης καυσίμων στη ναυτιλία μέχρι το 2050. [31]	35
Σχήμα 2-2: Αξιολόγηση ετοιμότητας για τη βιομεθανόλη. [22]	43
Σχήμα 2-3: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την e-μεθανόλη. [22]	43
Σχήμα 2-4: Μέθοδοι παραγωγής διάφορων τύπων μεθανόλης. [22]	45
Σχήμα 2-5: Προγράμματα παραγωγής πράσινης μεθανόλης ανά κράτος. [22]	45
Σχήμα 2-6: Σχηματική απεικόνιση της μετατροπής βιομάζας σε βιομεθανόλη. [36]	48
Σχήμα 2-7: Σχηματική απεικόνιση της μετατροπής βιοαερίου σε βιομεθανόλη. [35]	50
Σχήμα 2-8: Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής e-μεθανόλης. [35]	51
Σχήμα 2-9: Διάταξη διαχείρισης μεθανόλης. [22]	54

Σχήμα 2-10: Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα εγκατάστασης μεθανόλης στο πλοίο. [39]	54
Σχήμα 2-11: Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης μεθανόλης σε δεξαμενόπλοιο μεταφοράς μεθανόλης. [40].....	55
Σχήμα 2-12: Σύστημα παροχής μεθανόλης επί του πλοίου. Πηγή: https://www.auramarine.com/solutions-for-methanol-operation	56
Σχήμα 2-13: Χρήση καυσίμων σε μηχανή διπλού καυσίμου ανάλογα το φορτίο [42]	59
Σχήμα 2-14: Σύγκριση των τιμών της μεθανόλης σε παγκόσμιο επίπεδο για το διάστημα από αρχές του 2020 έως αρχές του 2023. Πηγή: https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand 65	65
Σχήμα 2-15: Η ετήσια παραγωγή πράσινης μεθανόλης σε ktn για το 2021 και οι ανάγκες της Mærsk σε πράσινη μεθανόλη πραγματικές και υποθετικές σε ktn. [22]	66
Σχήμα 2-16: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την e-αμμωνία [45]	72
Σχήμα 2-17: Μέθοδοι παραγωγής διάφορων τύπων αμμωνίας. [48].....	74
Σχήμα 2-18: Η ζήτηση της αμμωνίας το 2020 και η προβλεπόμενη ζήτηση για το 2050. [45]	74
Σχήμα 2-19: Προγράμματα παραγωγής πράσινης αμμωνίας ανά κράτος. Πηγή: https://www.pangea-si.com/green-ammonia/	75
Σχήμα 2-20: Μέθοδος παραγωγής e-αμμωνίας. Πηγή: https://www.pangea-si.com/green-ammonia	76
Σχήμα 2-21: Σχηματική απεικόνιση e-αμμωνίας μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch. [49]	77
Σχήμα 2-22: Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα εγκατάστασης αμμωνίας στο πλοίο. [46]	80
Σχήμα 2-23: Αξιολόγηση ετοιμότητας για το e-υδρογόνο. [55].....	92
Σχήμα 2-24: Αναμενόμενη αύξηση παραγωγής πράσινου και μπλε υδρογόνου ως το 2030. [61]..	93
Σχήμα 2-25: Σχηματική απεικόνιση διάταξης ηλεκτρόλυσης νερού σε βασικό pH. [62]	95
Σχήμα 2-26: Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα εγκατάστασης υδρογόνου στο πλοίο. [65]	100
Σχήμα 2-27: Συγκριτικό κόστος συμβατικού πετρελαιοκινητήρα και μηχανής διπλού καυσίμου για υδρογόνο σε eur/kW. [72].....	107
Σχήμα 2-28: Απεικόνιση των εναλλακτικών βιοκαυσίμων βάσει του τρόπου παραγωγής τους [14]	110
Σχήμα 2-29: Εκπομπές GHG από συνθετικά diesel καύσιμα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους. [33].....	113
Σχήμα 3-1: Απαραίτητη χωρητικότητα ναυπηγείων για retrofit, σύμφωνα με την αναμενόμενη ζήτηση. [25]	117
Σχήμα 3-2: Ζήτηση για retrofit σύμφωνα με τα δύο επικρατέστερα σενάρια. [25].....	118
Σχήμα 4-1: Σύγκριση απαιτούμενου όγκου δεξαμενής για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα. [38]...	123
Σχήμα 4-2: Τυπικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα, προσμετρώντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.	125

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1: Όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου ανά κατηγορία Tier [5].....	5
Πίνακας 1-2: Τα όρια των εκπομπών οξειδίων του θείου και η μεταβολή τους [4].....	10
Πίνακας 1-3: Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από πλοία την περίοδο 2012-2018 [13]	16
Πίνακας 1-4: Ποσοστιαία χρήση καυσίμου στα πλοία ανά δεκαετία ναυπήγησης	24
Πίνακας 1-5: Στοιχεία που αφορούν νέες ναυπηγήσεις ανά έτος παράδοσης και καύσιμο	26
Πίνακας 1-6: Ετήσιες συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από παραγωγή ενέργειας με ορυκτά καύσιμα στις ΗΠΑ [29]	31
Πίνακας 2-1: Κατηγοριοποίηση της μεθανόλης ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της. [31].....	38
Πίνακας 2-2: Τιμές αξιολόγησης της ετοιμότητας εφαρμογής ενός εναλλακτικού καυσίμου. [22]	40
Πίνακας 2-3: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την πράσινη μεθανόλη. [34]	42
Πίνακας 2-4: Εκπομπές της μεθανόλης θεωρητικές και πραγματικές σε σύγκριση με το HFO. [42]	61
Πίνακας 2-5: Καθαρό κεφαλαιακό έξοδο για το σύστημα καυσίμου σε ναυπήγηση νέου πλοίου ανά ισχύ μηχανών σε εκατομμύρια δολάρια Αμερικής για το σύστημα καυσίμου μεθανόλης. [44]	64
Πίνακας 2-6: Συγκριτικό κόστος λειτουργίας μηχανής σε HFO και πράσινη μεθανόλη σε εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια. [44].....	66
Πίνακας 2-7: Συγκριτικές τιμές φόρου διοξειδίου του άνθρακα για λειτουργία σε HFO και πράσινη μεθανόλη. [44].....	67
Πίνακας 2-8: Κατηγοριοποίηση της αμμωνίας ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της [45].	69
Πίνακας 2-9: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την πράσινη αμμωνία [34]	71
Πίνακας 2-10 Καθαρό κεφαλαιακό έξοδο για το σύστημα καυσίμου σε ναυπήγηση νέου πλοίου ανά ισχύ μηχανών σε εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια για το σύστημα καυσίμου αμμωνίας. [44]	86
Πίνακας 2-11: Συγκριτικό κόστος λειτουργίας μηχανής σε HFO και πράσινη αμμωνία σε εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια. [44].....	87
Πίνακας 2-12: Συγκριτικές τιμές φόρου διοξειδίου του άνθρακα για λειτουργία σε HFO και πράσινη αμμωνία. [44].....	88
Πίνακας 2-13: Βασική κατηγοριοποίηση του υδρογόνου ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του [56].....	89
Πίνακας 2-14: Πρόσθετη κατηγοριοποίηση του υδρογόνου ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του [57,58].....	90
Πίνακας 2-15: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την πράσινη αμμωνία. [34]	91
Πίνακας 2-16: Υλικά συμβατά με το υδρογόνο [65]	98
Πίνακας 2-17: Πιθανά υποκατάστατα diesel με τα ανάλογα κριτήρια επιλογής [33]	111
Πίνακας 2-18: Σύγκριση δεδομένων παραγωγής 1 MJ βιο-diesel και ανανεώσιμου diesel. [74] .	112
Πίνακας 4-1: Σύγκριση των τριών εναλλακτικών καυσίμων ως προς τις ενεργειακές τους ιδιότητες	121
Πίνακας 4-2: Αξιολόγηση ετοιμότητας για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα.	122
Πίνακας 4-3: Βασικά σημεία σύγκρισης της εγκατάστασης καυσίμου για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα σε σύγκριση με το HFO.	123
Πίνακας 4-4: Εκπομπές GHG και απαιτούμενες διατάξεις μείωσης εκπομπών για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα.	124
Πίνακας 4-5: Παράγοντες επικινδυνότητας για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα.....	126
Πίνακας 4-6: Υπόμνημα στον πίνακα 4-7. [76].....	126
Πίνακας 4-7: Συγκριτικός πίνακας κινδύνων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα. [76]	127
Πίνακας 4-8: Τιμή αγοράς για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα και πρόβλεψη για το πότε θα είναι ανταγωνιστική στα πετρελαϊκά καύσιμα.	128

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

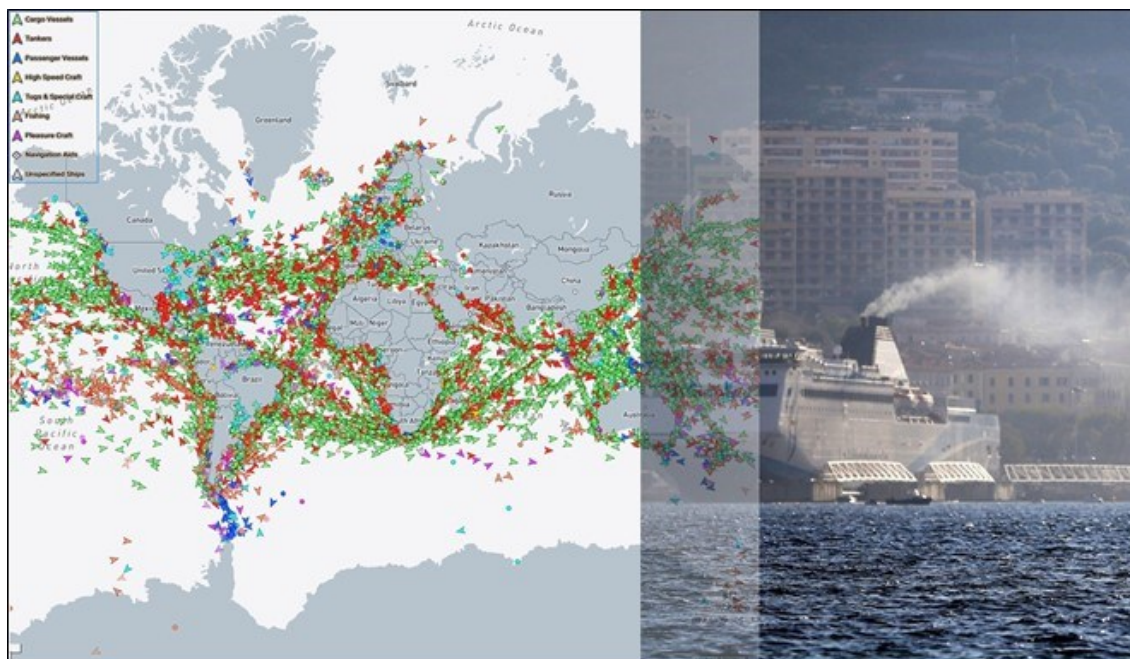
AEA	Ammonia Energy Association
APS	Announced Pledges Scenario
CCS	Carbon Capture and Storage
CRL	Community Readiness Level
DAC	Direct Air Capture
ECA	Emission Control Area
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EIAPP	Engine International Air Pollution Prevention Certificate
FAME	Fatty acid methyl ester
FVT	Fuel Valve Train
FSS	Fuel Supply System
GHG	Αέρια του θερμοκηπίου (Green House Gases)
HFO	Heavy Fuel Oil
HSFO	High Sulfur Fuel Oil
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEA	International Energy Agency
IEE	International Energy Efficiency Certificate
ILUC	Indirect land-use change
IMO	International Maritime Organization
IRL	Investment Readiness Level
LNG	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Liquefied Natural Gas)
LSFO	Low Sulfur Fuel Oil
MARPOL	Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία
MDO	Marine Diesel Oil

MEPC	Marine Environment Protection Committee
MGO	Marine Gas Oil
MI	Methanol Institute
MIRS	Maritime Intelligence Risk Suite
NECA	NOx Emission Control Area
NTC	NOx Technical Code
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
RCP	Representative Concentration Pathway
SCR	Selective Catalyst Reduction
SECA	SOx Emission Control Area
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SSP	Shared Socio-Economic Pathway
TRL	Technology Readiness Level
ULSFO	Ultra-Low Sulfur Fuel Oil
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VOCs	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds)
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1 Εισαγωγή

1.1 Η κατάσταση σήμερα στην Παγκόσμια Ναυτιλία

Ο τομέας της Ναυτιλίας είναι, υπεύθυνος για περίπου το 90% της διακίνησης όλων των σημερινών εμπορευμάτων παγκοσμίως. Συνυπολογίζοντας τα επιβατηγά πλοία, τα αλιευτικά, τα ερευνητικά, τα πολεμικά κλπ., αντιλαμβάνεται κανείς το μέγεθος της εικόνας των πλοίων που κινούνται καθημερινά στη θάλασσα γύρω μας. Τα οποία λειτουργούν με μηχανές εσωτερικής καύσης στον κύκλο diesel, συμβάλλοντας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως σχηματικά φαίνεται στην εικόνα 1-1.



Εικόνα 1-1: Αριστερά: Σχηματική απεικόνιση των καθημερινά κινούμενων πλοίων. Πηγή: www.marinetraffic.com, Δεξιά: Απεικόνιση του αποτελέσματος λειτουργίας μηχανών εσωτερικής καύσης σε ένα πλοίο. Πηγή: www.science.org

Για την ακρίβεια, το έτος 2021 έπλεαν στη θάλασσα 1.124.878 πλοία, το έτος 2022 έπλεαν 1.142.894 πλοία και το 2023 έπλεαν 1.162.818 πλοία με μια –όπως φαίνεται– αυξητική τάση περί τα 20.000 πλοία το χρόνο. Στοιχεία τα οποία προκύπτουν από τη Διάσκεψη Ηνωμένων Εθνών για το εμπόριο και την ανάπτυξη (2023) [1]. Για το 2021 ανέφεραν στο Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό, IMO, κατανάλωση καυσίμου 28.171 πλοία και ήταν ίση με

212 εκατομμύρια τόνους, όπως προκύπτει από την αναφορά της 79^{ης} συνεδρίασης της Κομητείας Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (2021). Ενώ για το 2022 ανέφεραν κατανάλωση σχεδόν 29.000 πλοία, μέγεθος αυξημένο σε πάνω από 800 πλοία από το 2021 και η κατανάλωση ήταν 213 εκατομμύρια τόνοι, ελαφρώς αυξημένη από το 2021. [2,9].

1.2 Διατάξεις – Κανονισμοί σε ισχύ για τη μείωση των εκπομπών στη Ναυτιλία

Προκύπτει, κατ' αυτόν τον τρόπο, η ανάγκη λήψης μέτρων για τη μείωση των εκπομπών στη Ναυτιλία. Το 1979 υπογράφηκε η πρώτη διεθνής σύμβαση με νομικούς δεσμευτικούς όρους για την αντιμετώπιση των εκπομπών που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, η Διεθνής Σύμβαση της Γενεύης. Έτσι, αναγνωρίστηκε η ανάγκη για τον περιορισμό και τον έλεγχο των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και φάνηκε η διάθεση ανάληψης μέτρων από τα κράτη. Σύμφωνα με τα στοιχεία του IMO (2022) [3], το 1973 υιοθετήθηκε από τον IMO η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL).

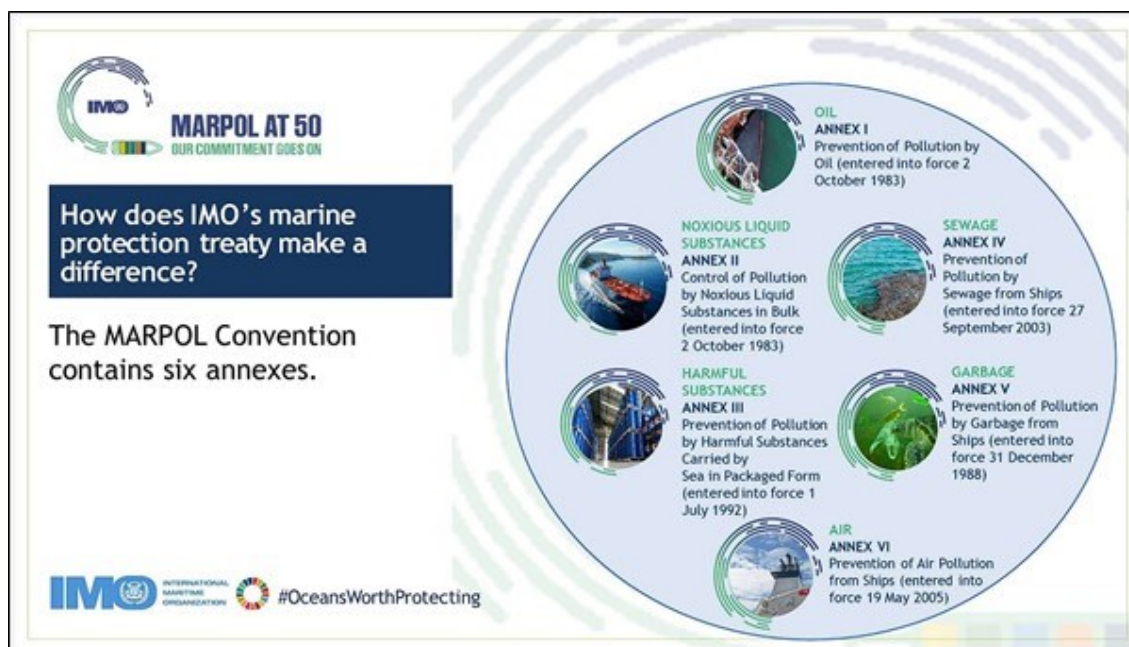
1.1.1 Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL)

Η MARPOL μπορεί να υιοθετήθηκε από τον IMO το 1973, αλλά δεν τέθηκε άμεσα σε ισχύ. Πληροφορίες για τη MARPOL και τα παραρτήματά της είναι διαθέσιμες στο www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/pages/Marpol.aspx.

Η MARPOL, σήμερα, καλύπτεται από τα εξής 6 παραρτήματα, όπως περιγράφονται και στην εικόνα 1-2: [4]

- I. Προστασία θαλάσσιας ρύπανσης από έλαιο.
- II. Προστασία θαλάσσιας ρύπανσης από επιβλαβή υγρά που μεταφέρονται χύδην.
- III. Προστασία θαλάσσιας ρύπανσης από επικίνδυνες ουσίες που μεταφέρονται συσκευασμένες.
- IV. Προστασία θαλάσσιας ρύπανσης από απόβλητα πλοίων.
- V. Προστασία θαλάσσιας ρύπανσης από σκουπίδια προερχόμενα από πλοία.
- VI. Προστασία ατμοσφαιρικής ρύπανσης από εκπομπές πλοίων.

Μετά από μια σειρά ατυχημάτων με δεξαμενόπλοια την περίοδο 1976-1977, κατοχυρώθηκε το πρωτόκολλο του 1978 το οποίο συμπεριέλαβε και τις διατάξεις της MARPOL και γι' αυτό συχνά αναφέρεται ως «MARPOL 73/78», που τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 με τα παραρτήματα I και II μόνο. Στις 31 Δεκεμβρίου του 1988 τέθηκε σε ισχύ το παράρτημα V, το παράρτημα III τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιουλίου 1992 και το παράρτημα IV τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου 2003. Το παράρτημα VI υιοθετήθηκε το 1997 και προσαρτήθηκε στην αναθεωρημένη MARPOL, ενώ τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Τα παραρτήματα της MARPOL είναι δυναμικά κι έχουν εμπλουτιστεί και αναθεωρηθεί ως προς το περιεχόμενο με την πάροδο των ετών.



Εικόνα 1-2: Παρουσίαση των 6 παραρτημάτων της MARPOL. Πηγή:
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/World-Maritime-Day-2023.aspx>

Το παράρτημα VI, προβλέπει μεταξύ άλλων όρια στις ουσίες που μπορούν να βλάψουν το στρώμα του όζοντος (όπως οι χλωροφθοράνθρακες), τις εκπομπές οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και τα σωματίδια που μπορεί να περιέχονται στα καυσαέρια των μηχανών των πλοίων καθώς και τις πτητικές οργανικές ενώσεις που μπορεί να διαφύγουν από τα πλοία. Επίσης προβλέπει τα είδη και τις προδιαγραφές του καυσίμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθώς και τεχνικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές των μηχανών που διαθέτουν. Επιπρόσθετα, προβλέπει και ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών αέριων ρύπων μέσα στις οποίες με ποιον τρόπο μπορούν ή δεν μπορούν να πλεύσουν τα καράβια ανάλογα με τις εκπομπές που έχουν. Τα πλοία υποχρεούνται σε μια σειρά από ελέγχους για να λάβουν

τα απαραίτητα πιστοποιητικά το οποία χρήζουν και ανάλογης ανανέωσης σε προκαθορισμένο διάστημα προκειμένου να διασφαλίζεται η συμμόρφωσή τους με τη MARPOL. Συγκεκριμένα, κάθε πλοίο μικτού βάρους 400 τόννων και άνω υποχρεούται σε 3 είδη ελέγχων. Τα απαραίτητα πιστοποιητικά που πρέπει να έχει ένα πλοίο είναι τα:

- Πιστοποιητικό πρόληψης της αέριας ρύπανσης (Engine International Air Pollution Prevention Certificate – EIAPP). Ισχύς πιστοποιητικού έως και 5 χρόνια.
- Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (International Energy Efficiency Certificate – IEE). Ισχύς πιστοποιητικού, χωρίς λήξη.
- Δήλωση συμμόρφωσης όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου (Statement of Compliance). Ισχύς πιστοποιητικού, 1 χρόνος.

Όλα τα πλοία παγκοσμίως υποχρεούνται σε συμμόρφωση με το παράρτημα VI της MARPOL. Εξαιρούνται μόνο αν βρίσκονται σε κάποια από τις ακόλουθες καταστάσεις:

- Όταν υπάρχει ζημιά στο πλοίο ή τον εξοπλισμό του.
- Όταν βρίσκονται σε επιχείρηση διάσωσης ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα.
- Όταν η κατάσταση για το πλοίο είναι επισφαλής.
- Όταν στο πλοίο πραγματοποιούνται δοκιμές για ερευνητικούς σκοπούς.
- Όταν δεν πληροί τις προδιαγραφές μεγέθους και τύπου πλοίου.

Στις υποενότητες που ακολουθούν αναλύονται οι κανονισμοί του παραρτήματος VI της MARPOL που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση από την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (GHG) λόγω της καύσης των κινητήρων.

1.1.2 MARPOL παράρτημα VI – οξείδια του αζώτου

Τα οξείδια του αζώτου προέρχονται από τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης, ως αποτέλεσμα της καύσης του υδρογονάνθρακα με ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος περιέχει άζωτο. Ο κανονισμός εφαρμόζεται σε πλοία με πετρελαιοκινητήρες που ναυπηγήθηκαν ή υπέστησαν κατάλληλη μετατροπή στους κινητήρες ή αντικατέστησαν τους κινητήρες από την 1^η Ιανουαρίου 2000 και μετά, με ισχύ εξόδου πάνω από 130 kW, και σε πλοία που ναυπηγήθηκαν από την 1^η Ιανουαρίου 1990 έως την 31^η Δεκεμβρίου 1999 με πετρελαιοκινητήρες που μπορεί με αποδεδειγμένη μέθοδο να αποδειχθούν κατάλληλοι. Δεν εφαρμόζεται σε πετρελαιοκινητήρες πλοίων που η χρήση τους προορίζεται για έκτακτη

ανάγκη και σε πετρελαιοκινητήρες που βρίσκονται σε σωστικές λέμβους. Ανάλογα με τις εκπομπές σε NO_x, που οριοθετείται και από την ημερομηνία κατασκευής του πετρελαιοκινητήρα αυτός τοποθετείται σε μία από τις τρεις κατηγορίες (Tier) για τις εκπομπές σε οξειδία του αζώτου όπως φαίνονται στον πίνακα 1-1. [4]

Πίνακας 1-1: Όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου ανά κατηγορία Tier [5]

Tier	Ημ/νία κατασκευής πετρελαιοκινητήρα (από και μετά)	Κατώτερο όριο συνολικής μάζας κύκλου εκπομπών (g/kWh)	Εξίσωση υπολογισμού εκπομπών	Ανώτερο όριο συνολικής μάζας κύκλου εκπομπών
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 Ιανουαρίου 2000	17,0	$45 \times n^{-0.2}$	9,8
II	1 Ιανουαρίου 2011	14,4	$44 \times n^{-0.23}$	7,7
III	1 Ιανουαρίου 2016	3,4	$9 \times n^{-0.2}$	2,0

n = ταχύτητα περιστροφής στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα (rpm).

Με τα παραπάνω ως δεδομένα, το παράρτημα VI θεσπίζει και ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών αέριων ρύπων (ECA) που για τα οξειδία του αζώτου ονομάζονται NECA (NO_x Emission Control Areas). Ο σκοπός τους είναι η προστασία του περιβάλλοντος από φαινόμενα όπως η όξινη βροχή αλλά και η μείωση των σχετιζόμενων προβλημάτων υγείας που προκαλούνται από την αύξηση της ποσότητας των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Τα όρια είναι σημαντικά ιδιαίτερα για τον πληθυσμό που διαμένει σε παράκτιες περιοχές και ειδικά κοντά σε λιμάνια. Σε αυτές τις ζώνες, για να εισέλθει ένα πλοίο, είναι προϋπόθεση οι μηχανές του να είναι της κατηγορίας Tier III. [5,6]

Οι ζώνες NECA είναι από 1^η Ιανουαρίου 2016 [6,8]:

- Η Βορειοαμερικανική ζώνη που περιλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή που βρίσκεται στα ανοιχτά των ακτών του Ειρηνικού των ΗΠΑ και του Καναδά
- Η θαλάσσια ζώνη που βρίσκεται ανοιχτά των ακτών των ΗΠΑ, του Καναδά και της Γαλλίας (Saint-Pierre-et-Miquelon) στον Ατλαντικό Ωκεανό καθώς και των ακτών των ΗΠΑ στον κόλπο του Μεξικού
- Η θαλάσσια ζώνη που βρίσκεται ανοικτά των ακτών των νησιών της Χαβάης: Hawaii, Maui, Oahu, Molokai, Niihau, Kauai, Lānai και Kahoolawe.
- Η θαλάσσια ζώνη της Καραϊβικής θάλασσας.

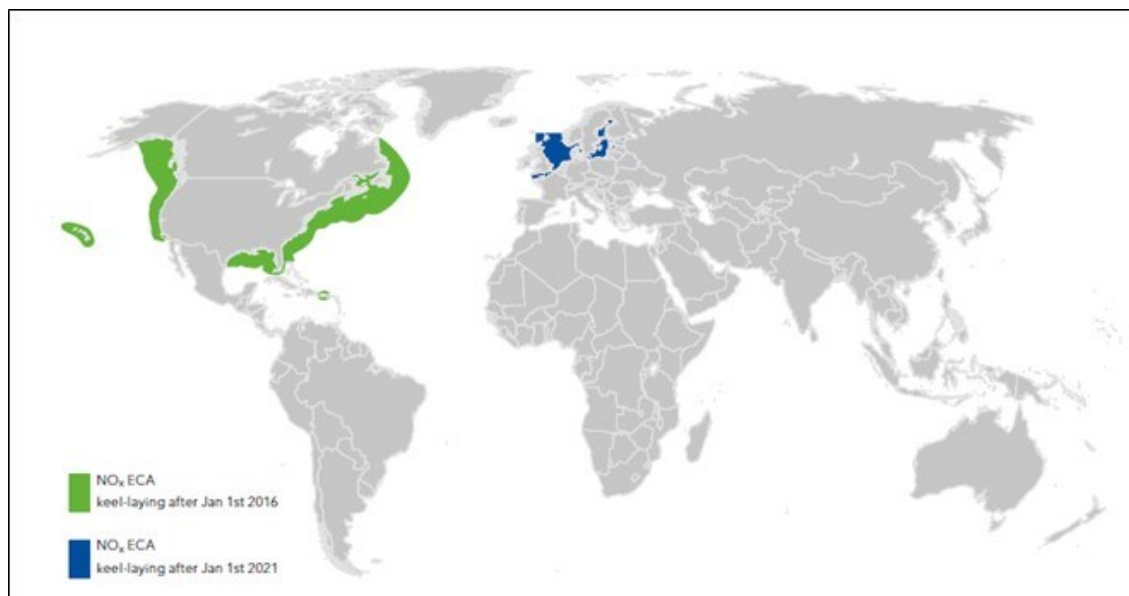
Από 1^η Ιανουαρίου 2021 [6,8]:

- Η ζώνη της Βαλτικής θάλασσας που περιλαμβάνει τη Βαλτική, τον κόλπο της Bothnia, τον κόλπο της Φινλανδίας και την είσοδο της Βαλτικής Θάλασσας που οριοθετείται από τον παράλληλο του Skaw στο Skagerrak.
- Η ζώνη της Βόρειας θάλασσας που περιλαμβάνει τη Βόρεια θάλασσα, συμπεριλαμβάνοντας τις θάλασσες που οριοθετούνται μεταξύ της Βόρειας θάλασσας, το Skagerrak, το νότιο όριο του οποίου καθορίζεται ανατολικά του Skaw και το στενό της Μάγχης.

Και όπως προτάθηκε στην 81^η σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO τον Μάρτιο του 2024, που η έγκρισή τους αναμένεται στην 82^η σύνοδο τον Οκτώβριο του 2024, με αναμενόμενη ημερομηνία ισχύος από 1^η Μαρτίου 2026 [9]:

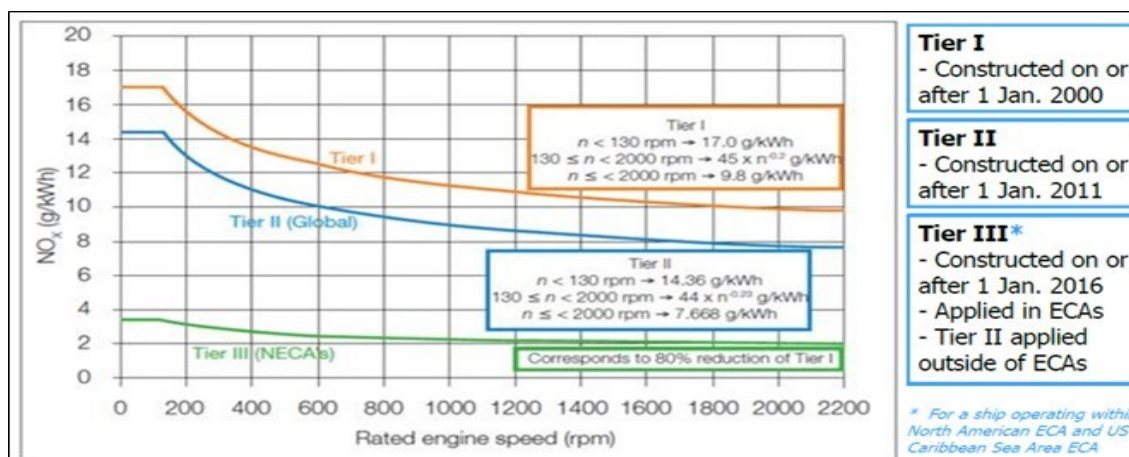
- Η ζώνη των Καναδικών Αρκτικών Νερών
- Η ζώνη της Νορβηγικής θάλασσας

Οι ζώνες NECA απεικονίζονται στην εικόνα 1-3, ενώ στο Παράρτημα Α παρατίθενται και οι συντεταγμένες που τις οριοθετούν.



Εικόνα 1-3: Οι ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών NOx. Πηγή: www.imo.org

Στο σχήμα 1-1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα των εκπομπών NOx για τις Tier I, Tier II και Tier III μηχανές συναρτήσει των στροφών του κινητήρα με τις καμπύλες των ορίων των τριών κατηγοριών. Εδώ να σημειωθεί πως η κατηγορία Tier III επέτευξε 80% μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου έναντι της παλαιότερης κατηγορίας Tier I. [4]



Σχήμα 1-1: Μεταβολή εκπομπών NOx κατά την μετακίνηση των πλοίων συναρτήσει των στροφών της μηχανής και του Tier της μηχανής τους. [4]

Προκειμένου να κατηγοριοποιηθεί μια μηχανή δεν αρκεί απλά η ημερομηνία κατασκευής της. Πρέπει να ελεγχθεί βάσει του Τεχνικού Κώδικα για τα NOx (NTC). Δηλαδή να πραγματοποιηθούν μετρήσεις των εκπομπών στα καυσαέρια σε δοκιμαστικό περιβάλλον για να αποδειχθεί ότι βρίσκονται κάτω από τα όρια κάποιας κατηγορίας Tier. Για κάθε κινητήρα που βρίσκεται στο πλοίο εκδίδεται και από ένα πιστοποιητικό EIAPP. Στη συνέχεια συντάσσεται το IMO NOx Technical File το οποίο περιέχει πληροφορίες για την απόδοση του κινητήρα. Περιέχει τα αποτελέσματα των ελέγχων εκπομπών καυσαερίων κατά τη δοκιμαστική λειτουργία, καθώς και ρυθμίσεις και τιμές θερμοκρασιών, πιέσεων κλπ. Βασικό του μέρος είναι η καταγραφή των μερών του κινητήρα που έχουν επίδραση στις εκπομπές και είναι σημαδεμένα με έναν κωδικό κατά IMO. Τέτοια μέρη είναι η κυλινδροκεφαλή, το χιτώνιο, το έμβολο, ο διωστήρας, τα μέρη του εκκεντροφόρου άξονα, η αντλία υψηλής πίεσης καυσίμου, το ακροφύσιο του καυστήρα, το ψυγείο του αέρα πλήρωσης και ο υπερπληρωτής. Τα μέρη αυτά, από μόνα τους, είναι ικανά να αποδώσουν έναν πετρελαιοκινητήρα εντός των ορίων της κατηγορίας Tier II. Για να μπορέσει, όμως, το πλοίο να εισέλθει εντός των ζωνών NECA πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων της κατηγορίας Tier III. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να διαθέτει κάποια πρόσθετη εξωτερική διάταξη μείωσης των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου όπως το SCR (Selective Catalyst Reduction), για το οποίο χρειάζεται ένα επιπλέον πιστοποιητικό. Εναλλακτικά θα πρέπει να διαθέτει μηχανές διπλού καυσίμου, οι οποίες όταν λειτουργούν με αέριο καύσιμο πληρούν τις προδιαγραφές των ορίων της κατηγορίας Tier III. Για να αποδείξει ένα πλοίο ότι συμμορφώνεται με τις διατάξεις για τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου, εκτός από τα παραπάνω πιστοποιητικά, θα πρέπει να είναι σε θέση να επιδείξει

επιπλέον τα βιβλία στα οποία καταγράφονται τα στοιχεία συντήρησης ή και αλλαγών των κινητήρων και να επιδείξει επί των μηχανών ότι οι ορθές πρακτικές και ρυθμίσεις εφαρμόζονται στην πράξη. Ένα παράδειγμα των απαραίτητων πιστοποιητικών βρίσκεται στο Παράρτημα Β της παρούσας εργασίας. [4]

1.1.3 MARPOL παράρτημα VI – οξείδια του θείου και σωματίδια

Τα οξείδια του θείου προκύπτουν από την οξειδωση του θείου που βρίσκεται στο καύσιμο κατά τη διάρκεια της καύσης εντός του κινητήρα. Τοιουτοτρόπως καταλήγουν στα καυσαέρια ποσότητες διοξειδίου και τριοξειδίου του θείου. Οπότε η ποσότητά τους είναι ευθέως ανάλογη της ποσότητας του θείου που περιέχεται στο καύσιμο. Επιπροσθέτως, υπάρχει μια σύνδεση μεταξύ της δημιουργίας οξειδίων του θείου και της απελευθέρωσης σωματιδίων στα καυσαέρια, γι' αυτό και στο παράρτημα VI της MARPOL εξετάζονται κάτω από τον ίδιον κανονισμό. [6]

Ο κανονισμός του παραρτήματος VI της MARPOL για τα οξείδια του θείου αρχικά όριζε ρητά ότι η περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο που χρησιμοποιείται από τα πλοία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 4,5%. Η περιεκτικότητα σε θείο του παγκόσμια διαθέσιμου καυσίμου για χρήση σε πλοία εποπτεύεται από τον IMO. Τα όρια, όμως, έχουν αυστηροποιηθεί από τότε.

Θεσπίζονται ζώνες ελέγχου εκπομπών οξειδίων του θείου (SECAs) οι οποίες περιλαμβάνουν και τις NECAs και είναι οι ακόλουθες [7]:

Από 19 Μαΐου 2006 [7]:

- Η ζώνη της Βαλτικής θάλασσας που περιλαμβάνει τη Βαλτική, τον κόλπο της Bothnia, τον κόλπο της Φινλανδίας και την είσοδο της Βαλτικής Θάλασσας που οριοθετείται από τον παράλληλο του Skaw στο Skagerrak

Από 22 Νοεμβρίου 2006 [7]:

- Η ζώνη της Βόρειας θάλασσας που περιλαμβάνει τη Βόρεια θάλασσα, συμπεριλαμβάνοντας τις θάλασσες που οριοθετούνται μεταξύ της Βόρειας θάλασσας, το Skagerrak, το νότιο όριο του οποίου καθορίζεται ανατολικά του Skaw και το στενό της Μάγχης.

Από 1^η Αυγούστου 2011 [7]:

- Η Βορειοαμερικανική ζώνη που περιλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή που βρίσκεται στα ανοιχτά των ακτών του Ειρηνικού των ΗΠΑ και του Καναδά.

Από 1^η Ιανουαρίου 2013 [7]:

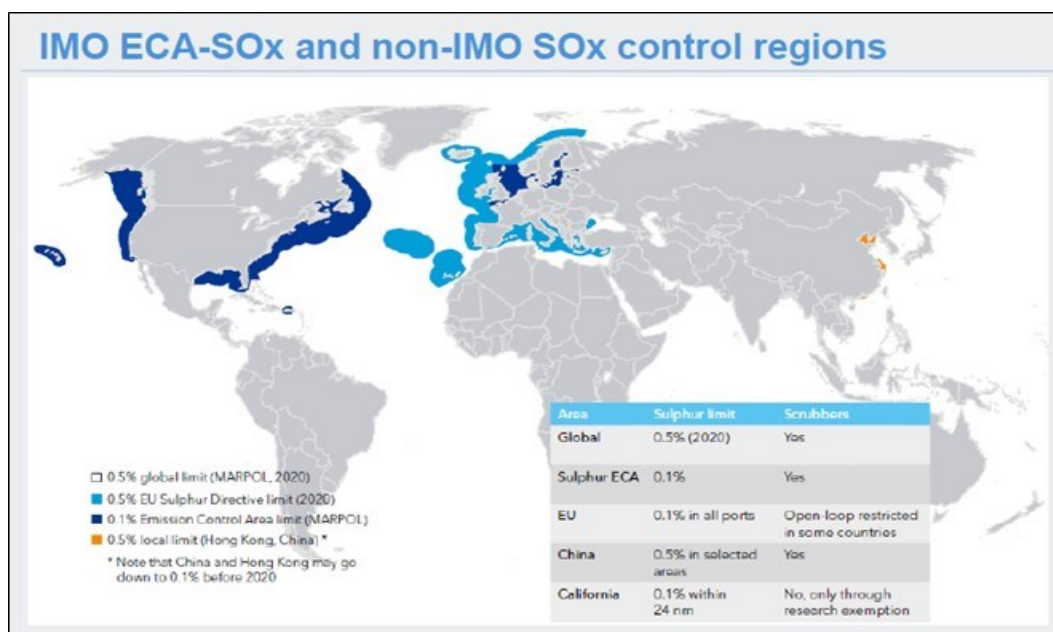
- Η θαλάσσια ζώνη που βρίσκεται ανοιχτά των ακτών των ΗΠΑ, του Καναδά και της Γαλλίας (Saint-Pierre-et-Miquelon) στον Ατλαντικό Ωκεανό καθώς και των ακτών των ΗΠΑ στον κόλπο του Μεξικού.
- Η θαλάσσια ζώνη που βρίσκεται ανοιχτά των ακτών των νησιών της Χαβάης: Hawaii, Maui, Oahu, Molokai, Niihau, Kauai, Lānai και Kahoolawe.
- Η θαλάσσια ζώνη της Καραϊβικής θάλασσας.

Όπως αποφασίστηκε στην 79^η συνεδρίαση της MEPC του IMO (2021) από 1^η Μαΐου 2024 θα ενταχθεί και η ζώνη της Μεσογείου θάλασσας. [2,8]

Και όπως προτάθηκε στην 81^η σύνοδο της MEPC τον Μάρτιο του 2024, που η έγκρισή τους αναμένεται στην 82^η σύνοδο τον Οκτώβριο του 2024, με αναμενόμενη ημερομηνία ισχύος από 1^η Μαρτίου 2026 [9]:

- Η ζώνη των Καναδικών Αρκτικών Νερών
- Η ζώνη της Νορβηγικής θάλασσας

Στην εικόνα 1-4 φαίνονται οι περιοχές SECA, ενώ στο Παράρτημα Α παρατίθενται και οι συντεταγμένες που τις οριοθετούν.

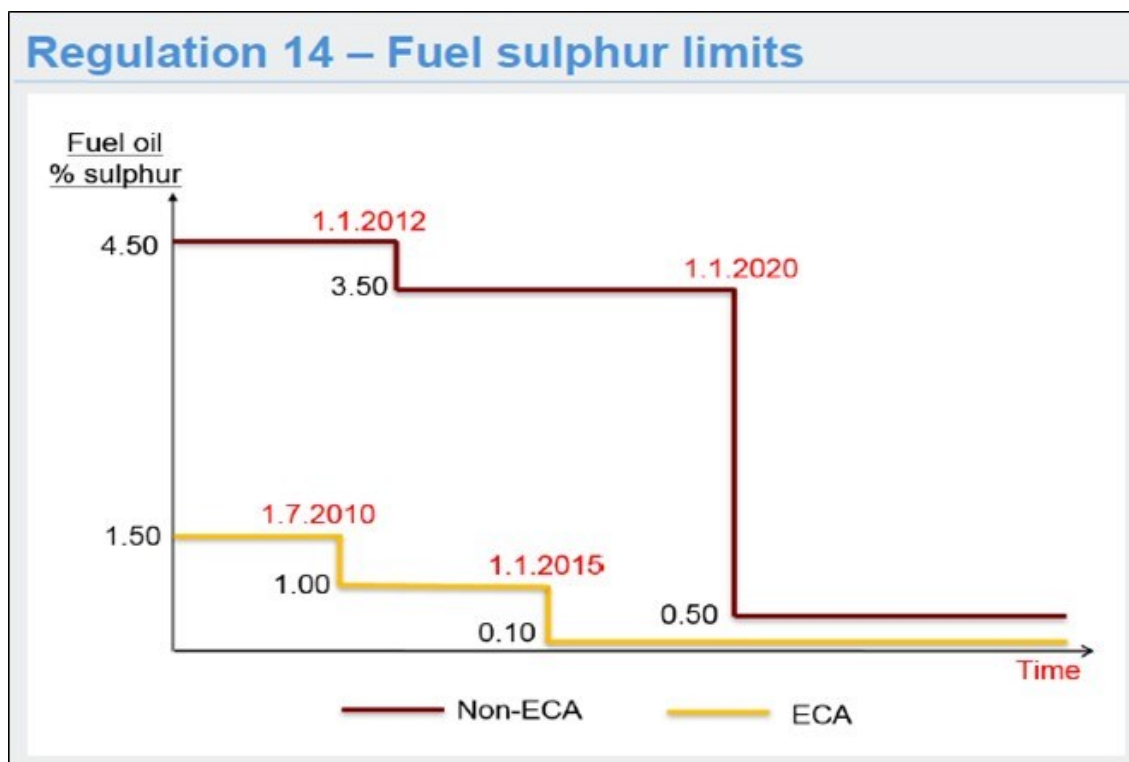


Εικόνα 1-4: Οι ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του θείου. [4]

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 1-2, τα όρια που θεσπίστηκαν αρχικά από το παράρτημα VI της MARPOL αυστηροποιήθηκαν με την πάροδο του χρόνου. Ενώ φαίνεται ως χρονολογία – σταθμός το 2020 όπου τα όρια γίνονται πολύ αυστηρά. Ειδικά για τις περιοχές εκτός των ζωνών ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του θείου που πλησιάζουν πολύ κοντά στα όρια των περιοχών εντός των ζωνών ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του θείου. Στο σχήμα 1-2 παρουσιάζεται η πορεία εξέλιξης των ορίων εκπομπών οξειδίων του θείου. [5]

Πίνακας 1-2: Τα όρια των εκπομπών οξειδίων του θείου και η μεταβολή τους [4]

Εκτός ζώνης ελεγχόμενων εκπομπών θείου	Εντός ζώνης ελεγχόμενων εκπομπών θείου
4,5% πριν την 1 ^η Ιανουαρίου 2012	1,5% πριν την 1 ^η Ιουλίου 2010
3,5% από την 1 ^η Ιανουαρίου 2012 και μετά	1% από την 1 ^η Ιουλίου 2010 και μετά
0,5% από την 1 ^η Ιανουαρίου 2020 και μετά	0,1% από την 1 ^η Ιανουαρίου 2015 και μετά



Σχήμα 1-2: Πορεία εξέλιξης των ορίων εκπομπών οξειδίων του θείου [4]

Κατά αυτόν τον τρόπο έκαναν την εμφάνισή τους τα νέα καύσιμα, τα καύσιμα του 2020 – όπως λέγονται – έναντι του υψηλής περιεκτικότητας σε θείο καυσίμου (HSFO) έχουν χαμηλή ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (LSFO/ULSFO).

Τα πλοία, λοιπόν, για να μπορέσουν να εισέλθουν στις ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών θείου πρέπει να χρησιμοποιούν LSFO/ULSFO καύσιμο ή να έχουν εν πλω και τα δύο καύσιμα (HSFO – LSFO/ULSFO) σε ξεχωριστές δεξαμενές και να επιλέγουν καύσιμο ανάλογα την περιοχή που πλέουν. Διαφορετικά πρέπει να χρησιμοποιούν υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Εναλλακτικά, μπορούν να εισέλθουν στις ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών θείου πλοία με χρήση HSFO, με απαραίτητη προϋπόθεση τη χρήση Scrubber, μιας διάταξης έκπλυσης των καυσαερίων για την απομάκρυνση των οξειδίων του θείου. Μετά δε το 2020, αν δεν υπάρχει εγκατεστημένο και σε χρήση Scrubber, τότε ένα πλοίο δε δύναται να χρησιμοποιεί καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο άνω του 0,5%, επιτρέπεται να το μεταφέρει μόνο ως εμπόρευμα. [4]

1.1.4 MARPOL παράρτημα VI – ποιότητα καυσίμου

Στον κανονισμό 18 του Παραρτήματος VI της MARPOL, ορίζεται η ποιότητα του καυσίμου που πρέπει να χρησιμοποιείται από τα πλοία ούτως ώστε να ελέγχεται με έναν τρόπο και το ποσό και το είδος των εκπεμπόμενων ρύπων. Ο κανονισμός αυτός, βέβαια εκ των πραγμάτων, περισσότερο αναφέρεται στους προμηθευτές πετρελαϊκών καυσίμων και στις πολιτικές αρχές που ελέγχουν τα καύσιμα των πλοίων παρά στα ίδια τα πλοία [8]. Ο κανονισμός αυτός ορίζει τις προδιαγραφές των καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις μηχανές εσωτερικής καύσης των πλοίων ως εξής:

- a. Όσον αφορά το πετρέλαιο που αποτελεί προϊόν διύλισης: [10]
 - i. Πρέπει το καύσιμο να είναι καθαρό και αποκλειστικό προϊόν διύλισης χωρίς να αποκλείεται η μικρή ποσότητα προσθέτων που σκοπό έχουν τη βελτίωση της απόδοσής του.
 - ii. Πρέπει το καύσιμο να μην περιέχει ανόργανα οξέα.
 - iii. Πρέπει το καύσιμο να μην περιέχει άλλες πρόσθετες ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των κινητήρων, να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του πλοίου και του προσωπικού ή να επιβαρύνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων.
- b. Όσον αφορά το πετρέλαιο που δεν αποτελεί προϊόν διύλισης: [10]
 - i. Πρέπει το καύσιμο να συμμορφώνεται με τα όρια περιεκτικότητας σε θείο που θέτει ο κανονισμός 14.

- ii. Πρέπει το καύσιμο να μην επιβαρύνει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου του κινητήρα.
- iii. Πρέπει το καύσιμο να μην περιέχει ανόργανα οξέα.
- iv. Πρέπει το καύσιμο να μην περιέχει άλλες πρόσθετες ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των κινητήρων, να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του πλοίου και του προσωπικού ή να επιβαρύνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων.

Κάθε πλοίο που υποχρεούται από το Παράρτημα VI της MARPOL να υπόκειται σε ελέγχους και σε έκδοση πιστοποιητικών, υποχρεούται και στην καταγραφή των στοιχείων του καυσίμου που παραδίδεται στο πλοίο με σκοπό την καύση, στο δελτίο παράδοσης καυσίμου. Το δελτίο, αυτό, φυλάσσεται στο πλοίο για ένα διάστημα τριών ετών μετά την παράδοση του καυσίμου και πρέπει να επιδεικνύεται σε περίπτωση ελέγχου μαζί με ένα δείγμα αυτού του καυσίμου. Τους ελέγχους διενεργούν οι αρχές των κρατών που έχουν συνυπογράψει το Πρωτόκολλο του 1997 και υποχρεούνται στα κάτωθι: [10]

- a. Να διατηρούν έναν κατάλογο των εγχώριων προμηθευτών καυσίμου
- b. Να απαιτούν από τους προμηθευτές να παραδίδουν δελτίο παράδοσης καυσίμου και δείγμα όπως ορίζεται από τον κανονισμό του παραρτήματος VI της MARPOL για να μπορεί να στοιχειοθετηθεί ότι το καύσιμο πληροί τις προϋποθέσεις που ορίζονται.
- c. Να απαιτούν από τους προμηθευτές να διατηρούν αντίγραφο των δελτίων παράδοσης για τουλάχιστον τρία χρόνια για να μπορεί να επιδειχθεί σε ελέγχους των λιμενικών αρχών.
- d. Να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ενάντια σε προμηθευτές που έχει βρεθεί ότι παραδίδουν καύσιμο το οποίο δεν πληροί τα όσα γραφόμενα στο δελτίο παράδοσης.
- e. Να ενημερώνουν τον Οργανισμό για όποιο πλοίο βρεθεί να χρησιμοποιεί καύσιμο που δεν πληροί τις προϋποθέσεις που θέτει ο κανονισμός του παραρτήματος VI της MARPOL.
- f. Να ενημερώνουν τον Οργανισμό για όσες περιπτώσεις βρεθούν που ο προμηθευτής δεν παρέδωσε καύσιμο που να πληρούσε τις προϋποθέσεις του παραρτήματος VI της MARPOL.

Επιπρόσθετα υποχρεούνται να ενημερώνουν τις αρχές της χώρας κάτω από τη δικαιοδοσία της οποίας εκδόθηκε δελτίο παράδοσης καυσίμου το οποίο δεν πληρούσε τις προϋποθέσεις,

είτε αυτή η χώρα συνυπογράφει το Πρωτόκολλο του 1997 είτε όχι. Καθώς και να διασφαλίζουν ότι θα διενεργηθούν όλες οι απαραίτητες ενέργειες ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η συμμόρφωση με τον κανονισμό για κάποιο καύσιμο που διαπιστώθηκε ότι δεν πληροί τις προϋποθέσεις. [10]

Σε αυτό το σημείο είναι ευνόητο ότι παραδόσεις καυσίμων γίνονται και σε χώρες οι οποίες δε συνυπογράφουν το Πρωτόκολλο του 1997. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν υπάρχει ευθεία απαίτηση από τον IMO να πληρούνται οι προϋποθέσεις του κανονισμού του παραρτήματος VI της MARPOL. Παρ' όλ' αυτά, οι πλοιοκτήτριες εταιρείες συνηθίζουν να θέτουν κάποιες ρήτρες για να διασφαλίζουν ότι η προμήθεια καυσίμου που θα λάβουν θα πληροί τις προϋποθέσεις του παραρτήματος VI. Ό,τι θα είναι με κατάλληλη μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο ούτως ώστε να μπορέσουν να καλύψουν τη χρήση του στο πλοίο ανάλογα και με τη μελλοντική πορεία που θα ακολουθήσει μέχρι τον επόμενο ανεφοδιασμό. [8]

1.1.5 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι προϊόν της αντίδρασης καύσης των υδρογονανθράκων. Υπολογίζεται πως η αύξησή του στην ατμόσφαιρα είναι η βασική ανθρωπογενής συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας της γης και αποτελεί ρίζα της λεγόμενης κλιματικής αλλαγής. Κάθε μηχανή, λοιπόν, εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί υδρογονάνθρακες εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα. Σήμερα, έχουν γίνει πολλά βήματα στην προσπάθεια μείωσης των ανθρωπογενών εκπομπών GHG. Στη συνέχεια παραθέτουμε μια σύντομη ιστορική αναδρομή αυτών των προσπαθειών γύρω από τον τομέα της Ναυτιλίας.

Η επιστημονική κοινότητα άρχισε να πιέζει για λήψη μέτρων κατά της υπερθέρμανσης του πλανήτη από τις δεκαετίες του 1960-1970 αλλά χρειάστηκαν κάποια χρόνια για να ανταποκριθεί η πολιτική κοινότητα. Όπως αναφέραμε, ήδη, η πρώτη διεθνής σύμβαση με νομικούς δεσμευτικούς όρους για την αντιμετώπιση των εκπομπών που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, η Διεθνής Σύμβαση της Γενεύης, υπογράφηκε το 1979. Το 1988, ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών ίδρυσαν το Διακυβερνητικό Συμβούλιο της Κλιματικής Αλλαγής το οποίο εξέδωσε την πρώτη του αναφορά το 1990. Η αναφορά αυτή συγκέντρωνε την εργασία 400

επιστημόνων και δήλωνε πως η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι πραγματική, ωθώντας προς τη λήψη μέτρων. [11]

Η αναφορά αυτή ώθησε, πράγματι, τις κυβερνήσεις διαφόρων κρατών να δημιουργήσουν το Πλαίσιο Συνθήκης της Κλιματικής Αλλαγής των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC) η οποία ήταν έτοιμη προς υπογραφή το 1992. Το 1997 υιοθετήθηκε Διεθνές Σύμφωνο που συνδέεται με το UNFCCC, το Πρωτόκολλο του Κιότο. Του οποίου ο βασικός στόχος ήταν να δεσμεύσει με νομικό πλαίσιο 37 μεγάλες βιομηχανικές χώρες και τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Το Πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπει τη μείωση των GHG και στους τομείς της Ναυτιλίας και της Αεροπλοΐας. Ενώ σαν τομείς τους ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους τομείς εκπομπής GHG όπως η Βιομηχανία, πιέζοντας τον IMO και τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), αντίστοιχα, σε λήψη μέτρων για τη μείωση των εκπομπών. Στο Παράρτημα I του Πρωτοκόλλου τίθενται εθνικοί στόχοι για κάθε χώρα μείωσης των εκπομπών στις εγχώριες πτήσεις και στα εγχώρια δρομολόγια πλοίων. Ο IMO και ο ICAO αναφέρουν περιοδικά στο UNFCCC την πρόοδο που σημειώνουν σε αυτόν τον τομέα. Παράλληλα την ίδια χρονιά ο IMO υιοθετεί το Παράρτημα VI της MARPOL για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO καλείται να λάβει υπόψη και τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και τη σχέση τους με τους υπόλοιπους εκπεμπόμενους αέριους ρύπους. Ο IMO αναλαμβάνει να διεξάγει έρευνα μαζί με το UNFCCC για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία και τη συνεισφορά του τομέα της Ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. [11]

Το 2000, ο IMO, δημοσιεύει την πρώτη μελέτη για τις εκπομπές GHG από τα πλοία που εκτίμησε ότι το 1996 τα πλοία συνεισέφεραν στις παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 1,8%. Η δεύτερη μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2009 εκτίμησε ότι το 2007 η Ναυτιλία είχε το μερίδιο του 2,7% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. [11]

Το 2011, ο IMO υιοθέτησε υποχρεωτικά μέτρα βελτίωσης της απόδοσης των κινητήρων των πλοίων μέσω ανάλυσης της MEPC. Η υιοθεσία αυτών των μέτρων αποτελεί το πρώτο, υπό εντολή, πρότυπο ενεργειακής απόδοσης για έναν διεθνή βιομηχανικό τομέα με δεσμευτικό νομικό πλαίσιο που στοχεύει στη μείωση των εκπομπών GHG μετά το Πρωτόκολλο του Κιότο. Το πρότυπο αυτό οδήγησε σε αναθεώρηση της MARPOL

προσθέτοντας έναν κανονισμό με τίτλο «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων» στο Παράρτημα VI. Ο κανονισμός αυτός θέτει απαραίτητη προϋπόθεση ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης των κινητήρων η οποία μετριέται σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο-μίλι και τέθηκε σε ισχύ τον Ιανουάριο του 2013. Απαιτεί από τα πλοία άνω των 400 τόννων να εφαρμόζουν το Energy Efficiency Design Index (EEDI) για πλοία διαφορετικού τύπου και μεγέθους και το Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) για όλα τα πλοία. Το EEDI υπολογίστηκε ότι καλύπτει περίπου το 85% των εκπομπών της διεθνούς ναυσιπλοΐας και το SEEMP θέτει μηχανισμό λειτουργίας που κάνει δυνατή την εποπτεία της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Η εφαρμογή του πλαισίου των EEDI και SEEMP ως το 2050, υπολογίζεται ότι μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μέχρι και κατά 1,3 Gtn το χρόνο. Το 2014 δημοσιεύεται η Τρίτη μελέτη του IMO για τα GHG, όπου εκτιμήθηκε η συνεισφορά της Ναυτιλίας στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το έτος 2012 στο 2,79%. [11]

Το 2015 υπογράφηκε η Συνθήκη του Παρισιού από 196 χώρες. Τέθηκε σε ισχύ στις 4 Νοεμβρίου 2016. Αποτελεί το μεγαλύτερο σύμφωνο, με τη μεγαλύτερη αποδοχή και το πιο στοχευμένο πλαίσιο δράσης με νομική δέσμευση σε αυτήν την κατεύθυνση. Είναι το πρώτο δεσμευτικό σύμφωνο που συμπεριλαμβάνει όλες τις χώρες παγκοσμίως. Θέτει ως στόχο τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη στον 1,5°C μέχρι το τέλος του αιώνα που διανύουμε. Παρ' όλ' αυτά, όμως, δεν υπάρχει καμία αναφορά στον IMO ή στον ICAO. Η MEPC αναγνωρίζοντας το μεγάλο αυτό επίτευγμα της σύναψης τέτοιας Συνθήκης, επεσήμανε ότι είναι εφικτό και απαραίτητο να επιδιώξει περαιτέρω βελτιώσεις στις εκπομπές που προέρχονται από τον τομέα της Ναυτιλίας. Εκτίμησε επίσης και το θετικό αποτέλεσμα που επέφεραν οι ενέργειες του IMO στη μείωση των εκπομπών των GHG από την Διεθνή Ναυτιλία. [11,12]

Η MEPC το 2016 ενέκρινε τον οδηγό δημιουργίας της στρατηγικής του IMO για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία. Ο οδηγός αυτός περιλαμβάνει μια προσέγγιση σε τρία βήματα:

- a. Τη συλλογή δεδομένων από τα πλοία όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου
- b. Την ανάλυση αυτών των δεδομένων
- c. Την εξαγωγή συμπερασμάτων για το αν κρίνεται απαραίτητη η λήψη περαιτέρω μέτρων για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων

Έτσι η MEPC έκρινε απαραίτητη την προσάρτηση στο παράρτημα VI της MARPOL την οδηγία προς τα πλοία για την καταγραφή και αναφορά της κατανάλωσης καυσίμου, η οποία τέθηκε σε εφαρμογή από 1^η Ιανουαρίου 2019 για όλα τα πλοία 5000 GT και πάνω. Τα πλοία αυτά αντιπροσωπεύουν το 85% των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Ο IMO θα συλλέγει και θα αναλύει αυτά τα δεδομένα σε ετήσια βάση.

Το 2018 ενέκρινε το πρόγραμμα για τις επακόλουθες ενέργειες της στρατηγικής του IMO για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία μέχρι το 2023. Προκειμένου να βρίσκεται εντός χρονοδιαγράμματος για τον στόχο που θέτει η στρατηγική για μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία μέχρι το 2050 στο 50% συγκριτικά με τα επίπεδα του 2008, ορίζει την κλιμάκωση επίτευξης του στόχου για το 2030 στο 30%, το 2040 στο 80% και το 2050 στο 100%. Υιοθέτησε, λοιπόν, κάποιες αναθεωρήσεις για να ενισχύσει τις υπάρχουσες απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα ότι τα νέα πλοία που ναυπηγούνται πρέπει να έχουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Προέτρεψε τη συνεργασία με τα λιμάνια για τη μείωση των εκπομπών των GHG από τα πλοία, ενέκρινε ένα σχέδιο αποτίμησης του αντίκτυπου των νέων μέτρων που προτάθηκαν και συμφώνησε στη δημιουργία ενός ταμείου για τα GHG. [11]

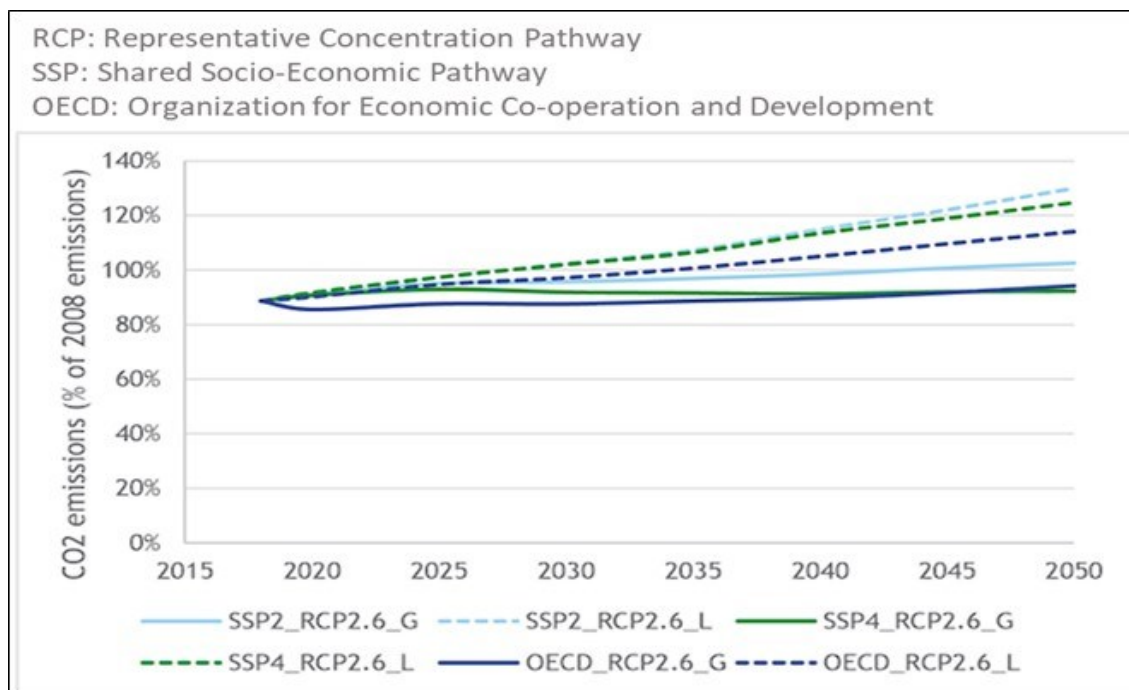
Σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη του IMO για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που δημοσιεύτηκε το 2020, το 2018 ο τομέας της ναυτιλίας ήταν υπεύθυνος για το 2.89% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αποδίδοντας εκπομπές ίσες με 1,056 δισεκατομμύρια τόνους, αυξημένο ποσοστό κατά 0,13 ποσοστιαίες μονάδες από το 2012 που είχαν εκπεμφθεί 962 εκατομμύρια τόνοι. Η συνεισφορά του τομέα της Ναυτιλίας στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα έτη 2012 έως 2018 φαίνεται στον Πίνακα 1-3 [13]

Πίνακας 1-3: Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από πλοία την περίοδο 2012-2018 [13]

Έτος	Παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές CO ₂ × 10 ⁶ (tn)	Εκπομπές CO ₂ από πλοία × 10 ⁶ (tn)	Συνεισφορά της Ναυτιλίας στις εκπομπές CO ₂ (%)
2012	34.793	962	2,76
2013	34.959	957	2,74
2014	35.225	964	2,74
2015	35.239	991	2,81
2016	35.380	1.026	2,90
2017	35.810	1.064	2,97
2018	36.573	1.056	2,89

Η τάση που διαφαίνεται είναι αυξητική, με τις προβλέψεις για το μέλλον να είναι ανησυχητικές. Αναμένεται, σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη του IMO για τις εκπομπές

αερίων του θερμοκηπίου (2020), μέχρι το 2050 αύξηση έως και 130% σε σύγκριση με τις εκπομπές του 2008 όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 1-3. [13]



Σχήμα 1-3: Πρόβλεψη για τις εκπομπές των πλοίων ως ποσοστό των εκπομπών του 2008 [13]

Στην 81^η Σύνοδο της MEPC προτάθηκε να εισαχθεί ένα νέο κεφάλαιο στο παράρτημα VI της MARPOL. Η πρόταση αυτή βασίζεται στα μεσοπρόθεσμα μέτρα που ενέκρινε ο IMO στη στρατηγική του για μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία το 2023. Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει [9,15]:

- Ένα πρότυπο για τα καύσιμα βασισμένο στο στόχο για τη σταδιακή μείωση της έντασης των εκπομπών GHG από τα πλοία
- Έναν οικονομικό μηχανισμό που θα παρέχει κίνητρα για τη μετάβαση σε καύσιμα μηδενικού αποτυπώματος.

Από αυτήν τη σύνοδο επίσης σημαντικά πεδία αναφοράς για τα καύσιμα και τις εκπομπές αέριων ρύπων είναι ότι:

- Επαναπροσδιορίζεται ο τρόπος αξιολόγησης των εκπομπών. Αναθεωρείται ο τρόπος υπολογισμού των εκπομπών ενός καυσίμου από την παραγωγή του μέχρι τον εφοδιασμό στο πλοίο (Well-to-Tank) και εισάγεται παράρτημα υπολογισμού των εκπομπών από την καύση στο πλοίο (Tank-to-Wake).

- Ανατέθηκε στην ανάλογη ομάδα εργασίας του IMO να αναπτύξει ένα σχέδιο για την καθιέρωση κανονιστικού πλαισίου για τη χρήση συστημάτων δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα στα πλοία.
- Εγκρίθηκε το σχέδιο εργασίας της υποεπιτροπής για τη μεταφορά φορτίων και εμπορευματοκιβωτίων που αφορά κατευθυντήριες γραμμές για τα νέα εναλλακτικά καύσιμα μηδενικού αποτυπώματος. Συγκεκριμένα, το σχέδιο αφορά την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών για το υδρογόνο και την αμμωνία ως νέα καύσιμα για τη ναυτιλία, για τα καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης και για τις μεθυλ/αιθυλικές αλκοόλες ως καύσιμο στη ναυτιλία.

1.1.6 Η Στρατηγική του IMO για τη μείωση των GHG από τα πλοία

Ο IMO καταβάλλει διαρκείς προσπάθειες στην αναστροφή της κλιματικής αλλαγής. Η δουλειά που κάνει παραμένει αφοσιωμένη στη μείωση των GHG στη διεθνή ναυσιπλοΐα. Αντιμετωπίζει την ανάγκη για σταδιακή και πλήρη κατάργηση των εκπομπών αυτών, στον τομέα της ναυτιλίας ως μια διαδικασία που επείγει να γίνει. Παράλληλα όμως επιδιώκει μια δίκαιη και ομαλή μετάβαση. Η στρατηγική, λοιπόν, του 2023 για τη μείωση των εκπομπών GHG αποτελεί αναθεώρηση της αρχικής στρατηγικής του 2018. Βάζει τους οδηγούς για την πραγματοποίηση αυτού του σκοπού ορίζοντας κάποιους σταθμούς για την προοδευτική μετάβαση προς τον τελικό στόχο. Σχεδιάζει το όραμα για το μέλλον της διεθνούς ναυσιπλοΐας, τα βήματα που πρέπει να γίνουν προς τη φιλοδοξία της μείωσης των εκπομπών GHG από τα πλοία και ορίζει τις κατάλληλες κατευθυντήριες γραμμές. Περιλαμβάνει τα πιθανά βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα μέτρα που πρέπει να παρθούν με ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, μελετώντας παράλληλα και τις επιπτώσεις που απορρέουν από αυτές τις κινήσεις στα κράτη. Εντοπίζει τα πιθανά εμπόδια που θα συναντήσει ο τομέας της ναυτιλίας κινούμενος σε αυτήν την κατεύθυνση και προτείνει μέτρα για την υποστήριξη της προσπάθειας αυτής. [15]

Όπως προκύπτει και από την προηγούμενη υποενότητα, μεγάλο βάρος πέφτει στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, εφ' όσον είναι και ο κύριος ανθρωπογενής ρύπος που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έτσι και η στρατηγική του IMO αποδίδει την ανάλογη βαρύτητα στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Λαμβάνει υπόψη την απόφαση της 107^{ης} συνόδου της Κομητείας της Ναυτιλιακής Ασφάλειας που αποφάσισε την ανάπτυξη ενός κανονιστικού πλαισίου ασφάλειας για τη

στήριξη της μείωσης των εκπομπών GHG από τα πλοία με τη χρήση νέων τεχνολογιών και εναλλακτικών καυσίμων. Θέτει τη φιλοδοξία για χρήση τεχνολογιών για μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές GHG, χρήση καυσίμων ή και άλλων πηγών ενέργειας μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών GHG στη ναυτιλία. Σημειώνει δε, πως η χρήση τέτοιων τεχνολογιών, καυσίμων και πηγών ενέργειας είναι καίριας σημασίας για την επίτευξη του τελικού στόχου για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία για το 2050 στο 50% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008. [15]

Ο στόχος που τίθεται για χρήση εναλλακτικών καυσίμων μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών για το 2030 είναι να αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 5% της ναυτιλίας πασχίζοντας για το 10%, ούτως ώστε να συμβάλλει στο στόχο για τη μείωση των εκπομπών GHG στο 40% των επιπέδων του 2008. Στα μεσοπρόθεσμα μέτρα που θέτει περιλαμβάνει και μέτρα για τη στήριξη της διαθεσιμότητας των τεχνολογιών, των καυσίμων και άλλων πηγών ενέργειας μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών παγκοσμίως. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται και ο υπολογισμός και η ανάλυση μέτρων για την παρακίνηση της ανάπτυξης των λιμένων παγκοσμίως, ούτως ώστε να διευκολύνουν τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία. Η ανάπτυξη αυτή των λιμένων περιλαμβάνει εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας, που θα προέρχονται από πηγές φιλικές προς το περιβάλλον, στα πλοία όσο βρίσκονται δεμένα στο λιμάνι. Καθώς και έργα υποδομής για να μπορούν να υποστηρίξουν τη διάθεση καυσίμων μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών ή άλλων αντίστοιχων πηγών ενέργειας. Στη συνέχεια παραθέτουμε τα πιθανά εμπόδια που εντοπίζει ο IMO με τις αντίστοιχες ενέργειες επίλυσης που προτείνει:

- a. Αναγνωρίζει ότι η ανάπτυξη και η διάθεση καυσίμων με μηδενικούς ή σχεδόν μηδενικούς ρύπους, άλλων αντίστοιχων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών καθώς και η ανάπτυξη των ανάλογων έργων υποδομής στα λιμάνια μπορεί να προκαλέσουν συγκεκριμένους ειδικούς φραγμούς στην εφαρμογή των μέτρων μείωσης των εκπομπών GHG.
- b. Αναγνωρίζει την ανάγκη για μια ολιστική προσέγγιση για τον καθορισμό κανονισμού ασφάλειας των πλοίων που θα χρησιμοποιούν καύσιμα ή άλλες πηγές ενέργειας μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών. Συμπεριλαμβάνοντας και τον ανθρώπινο παράγοντα προκειμένου να διασφαλιστεί η εφαρμογή αυτής της στρατηγικής με κάθε ασφάλεια.

- c. Αναγνωρίζει ότι θα βοηθούσε την προσπάθεια για την προώθηση των τεχνολογιών, των καυσίμων και των άλλων πηγών ενέργειας μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών η διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφορίας μέσω και συμπράξεων ιδιωτικού-δημοσίου τομέα.

Επίσης προτείνει ενέργειες που θα ενισχύσουν την εφαρμογή των μέτρων όπως:

- a. Την ανάπτυξη προγραμμάτων εκπαίδευσης των ναυτικών για να ενισχύσουν τη μείωση των εκπομπών GHG στη Ναυτιλία.
- b. Την έναρξη προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης καθώς και δοκιμών που αφορούν την πρόωση με χρήση τεχνολογιών, καυσίμων ή και άλλων πηγών ενέργειας μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών. Στόχος είναι η παραπέρα ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων και η στήριξη της διαθεσιμότητας των εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών σε άνθρακα με μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές.
- c. Την εφαρμογή των υφιστάμενων βραχυπρόθεσμων μέτρων για τη μείωση των εκπομπών GHG στη Ναυτιλία με ενίσχυση, δια μέσου εταιρικών σχέσεων, στον οικονομικό και τεχνολογικό τομέα που υπάρχει ανάγκη.
- d. Την έναρξη προσπάθειών για τη διερεύνηση ευκαιριών παραγωγής ανανεώσιμων καυσίμων προς διάθεση στη Ναυτιλία αξιοποιώντας αναπτυσσόμενες χώρες. [15]

Τέλος ανακοινώνει τα προγράμματα που έχει οργανώσει για την ενίσχυση της μείωσης των εκπομπών GHG στη Ναυτιλία. Μεταξύ αυτών βρίσκεται και πρόγραμμα που διεξάγει ο IMO σε συνεργασία με τη Δημοκρατία της Κορέας την περίοδο 2022-2024, κόστους 1,2 εκατομμυρίων δολαρίων Αμερικής με τίτλο «Τα καύσιμα του μέλλοντος και η τεχνολογία για χαμηλό και μηδενικό άνθρακα στη Ναυτιλία». Το πρόγραμμα αυτό σχεδιάζεται να αποδώσει την απαραίτητη τεχνική ανάλυση στον IMO για τη μείωση των εκπομπών GHG. [15]

1.3 Τα καύσιμα της Ναυτιλίας

Όπως κανείς φαντάζεται, παραδοσιακά, εδώ και πάνω από έναν αιώνα το πετρέλαιο μονοπωλεί τον τομέα της Ναυτιλίας ως πηγή ενέργειας. Από το πρώτο πετρελαιοκίνητο

καράβι, το M/S SELANDIA, που ναυπηγήθηκε το 1912, μέχρι σήμερα τα πλοία κινούνται με πετρελαιοκινητήρες στον κύκλο Diesel με βασικό καύσιμο ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίου όπως το Marine Diesel Oil (MDO) και το Marine Gas Oil (MGO) αλλά και βαρύτερα κλάσματα όπως το Heavy Fuel Oil (HFO). Τα τελευταία όμως χρόνια, σε πλήρη εναρμόνιση και με τις διατάξεις και τους κανονισμούς που είδαμε στην προηγούμενη υποενότητα, έχουν κάνει την εμφάνισή τους και άλλα καύσιμα. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, γίνεται συλλογή και ανάλυση δεδομένων από το Maritime Intelligence Risk Suite (MIRS) της S&P Global από διάφορα πλοία¹. Σε μια προσπάθεια απεικόνισης των αποτελεσμάτων αυτών των διατάξεων στη Ναυτιλία, παρόλο που βρισκόμαστε σε μια μεταβατική περίοδο όσον αφορά τα καύσιμα. Παραθέτουμε λοιπόν μια ανάλυση που έγινε σε ένα δείγμα 70.024 πλοίων που έχουν καταχωρημένη την πληροφορία είδους καταναλισκόμενου καυσίμου στο MIRS, με χρονολογία ναυπήγησης από 1960 έως 2028 (αναμενόμενη). Δυστυχώς, τα δεδομένα αφορούν ημερομηνία ναυπήγησης του πλοίου και το καύσιμο που χρησιμοποιούν σήμερα. Οπότε αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα μας, δεν αφορούν το καύσιμο με το οποίο σχεδιάστηκαν, αρχικά, τα πλοία να κινούνται διότι συμπεριλαμβάνονται και πλοία που μετά τη ναυπήγησή τους οι κινητήρες μπορεί να τροποποιήθηκαν κατάλληλα προς καύση άλλου καυσίμου. Τη δεκαετία του 2010 με την εμφάνιση των μηχανών διπλού καυσίμου έλαβαν χώρα αρκετές μετατροπές κινητήρων, σε παλαιότερα της τότε χρονολογίας πλοία, για να μπορούν να χρησιμοποιούν αέρια καύσιμα. Αυτό δυστυχώς δε μας επιτρέπει τον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου που εμφανίστηκε ένα καύσιμο να χρησιμοποιείται στη ναυτιλία. Επίσης έγινε και μια ανάλυση στα πλοία που έχουν καταχωρηθεί στη βάση δεδομένων του MIRS και αφορούν νέες ναυπηγήσεις, δηλαδή βρίσκονται είτε σε στάδιο ναυπήγησης είτε σε στάδιο παραγγελίας. [16]

Τα καύσιμα που προέκυψαν από την ανάλυση μας, να χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι:

1. Ελαφρότερα κλάσματα πετρελαίου: Τα ελαφρότερα κλάσματα πετρελαίου είναι ορυκτά καύσιμα μη μηδενικού αποτυπώματος και περιλαμβάνουν τα MDO και MGO. Αποτελούν προϊόντα του αργού πετρελαίου. Κατά τη διάρκεια εξαγωγής τους, το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται και τα κλάσματα που εξατμίζονται

¹ Από την ανάλυση έχουν εξαιρεθεί τα πλοία που χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια. Η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιείται σε πολύ περιορισμένες εφαρμογές, κυρίως σε παγοθραυστικά και πολεμικά πλοία, χωρίς να διαφαίνεται τάση χρήσης της σε ευρεία κλίμακα στον τομέα της ναυτιλίας. Θεωρείται μη-ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, ενώ από τη χρήση της προκύπτουν άλλα προβλήματα όπως αυτό της διαχείρισης πυρηνικών αποβλήτων. [14]

- επανυγροποιούνται και συλλέγονται (διαδικασία κλασματικής απόσταξης). Αυτά αποτελούν τα ελαφρότερα κλάσματα που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο στη ναυτιλία. Το MGO μοιάζει με το MDO αλλά συγκεντρώνει καθαρά κλάσματα του αργού πετρελαίου κι έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, ενώ το MDO αποτελείται από καθαρά κλάσματα του αργού πετρελαίου αναμεμειγμένα με μια μικρή ποσότητα HFO (μαζούτ). Και τα δύο διακρίνονται από χαμηλό ιξώδες. Η καύση τους στον κινητήρα παράγει διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς, οξείδια του αζώτου και οξείδια του θείου (σε πολύ μικρότερες ποσότητες όταν πρόκειται για LSFO/ULSFO) καθώς και άλλα προϊόντα της ατελούς καύσης όπως άνθρακας και μονοξείδιο του άνθρακα. [17]
2. Βαρύτερα κλάσματα πετρελαίου: Τα βαρύτερα κλάσματα πετρελαίου είναι ορυκτά καύσιμα μη μηδενικού αποτυπώματος και είναι επίσης προϊόντα του αργού πετρελαίου. Μετά την απομάκρυνση όσων κλασμάτων εξατμίζονται κατά τη θέρμανσή του, αυτό που απομένει είναι το HFO. Διακρίνεται από υψηλό ιξώδες και είναι απαραίτητη η θέρμανσή του κατά την αποθήκευση και τη χρήση του στο πλοίο. Η καύση του στον κινητήρα παράγει, όπως και τα ελαφρότερα κλάσματα, διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς, οξείδια του αζώτου και οξείδια του θείου (σε πολύ μικρότερες ποσότητες όταν πρόκειται για LSFO/ULSFO) καθώς και άλλα προϊόντα της ατελούς καύσης όπως άνθρακας και μονοξείδιο του άνθρακα. [17]
 3. Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG): Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι μίγμα αέριων ορυκτών καυσίμων, κυρίως μεθανίου στο μεγαλύτερό του ποσοστό (70–99%) αλλά και άλλων υδρογονανθράκων όπως αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο. Η χρήση του ως καύσιμο στη ναυτιλία αφήνει σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον αφού εκπέμπει σχεδόν 80% λιγότερα οξείδια του αζώτου σε σύγκριση με τα MDO, MGO και HFO και οι εκπομπές σε οξείδια του θείου είναι σχεδόν μηδενικές. Τα πλοία που χρησιμοποιούν LNG έχουν σχεδόν 20% καλύτερη ενεργειακή απόδοση και με τις νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις μηχανές εσωτερικής καύσης το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να είναι μέχρι και 23% λιγότερο από μια μηχανή που χρησιμοποιεί MDO, MGO ή HFO [18,19]
 4. Υγραέριο (LPG): Το υγραέριο εξάγεται από το φυσικό αέριο με απορρόφηση και δεν υπάρχει περιορισμός στην αποθήκευσή του με κίνδυνο να υποβαθμιστεί η ποιότητά του στην πάροδο του χρόνου. Είναι ορυκτό αέριο καύσιμο που αποτελείται από προπάνιο και βουτάνιο και μπορεί να περιέχει αμελητέες ποσότητες θείου. Η

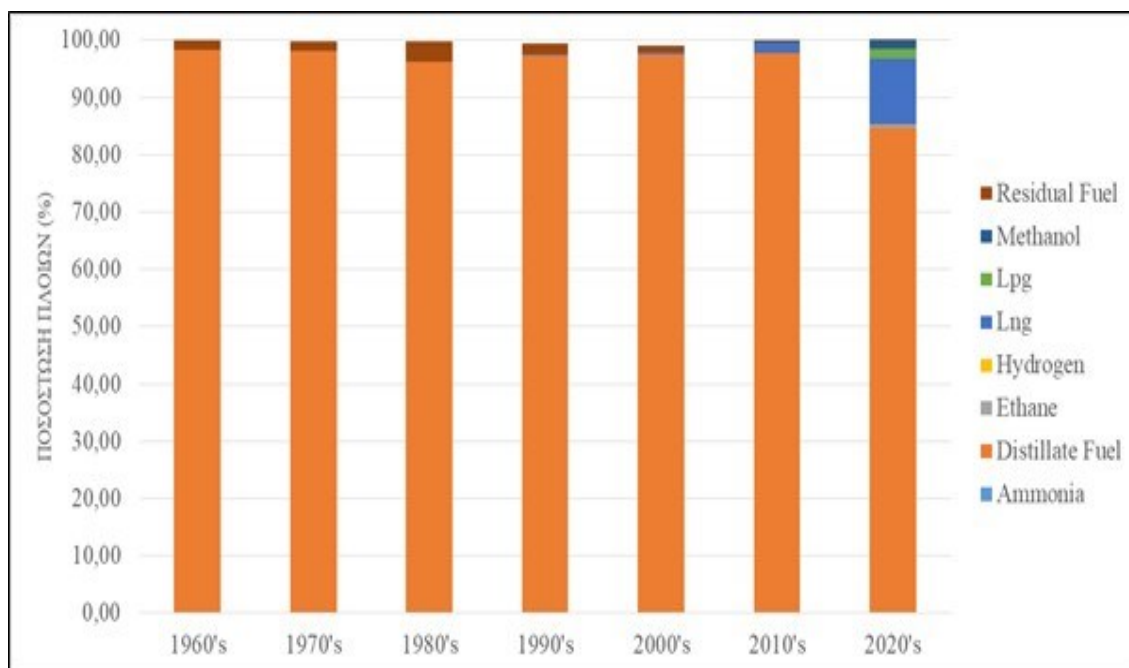
- καύση του παράγει πολύ μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του θείου και γι' αυτό αποτελεί καύσιμο με σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα. Χρησιμοποιείται χρόνια στις κτιριακές εγκαταστάσεις για θέρμανση και παροχή ενέργειας. [20]
5. Αιθάνιο: Το αιθάνιο είναι υδροποιημένο ορυκτό καύσιμο που η χρήση του ως καύσιμο στη ναυτιλία αφήνει σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον όπως και το υγραέριο και το υδροποιημένο φυσικό αέριο. Οι φυσικές και οι χημικές του ιδιότητες το καθιστούν ένα πολύ καλό καύσιμο. Ενδεικτικά στον ίδιο όγκο καυσίμου, συγκριτικά με το υδροποιημένο φυσικό αέριο, αποδίδει ελαφρώς μεγαλύτερη ισχύ κατά την καύση του. [21]
6. Μεθανόλη: Η μεθανόλη είναι μια ελαφριά, πτητική άχρωμη κι εύφλεκτη αλκοόλη που σε κανονικές συνθήκες βρίσκεται σε υγρή κατάσταση. Είναι η απλούστερη αλκοόλη με ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου στο μόριό της. Είναι ένα ανανεώσιμο καύσιμο, που παράγεται κυρίως από βιομάζα, με σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον αφού περιέχει αμελητέα ποσότητα θείου η οποία οδηγεί στην απουσία οξειδίων του θείου στα καυσάεiria του κινητήρα. Κατά την καύση της απελευθερώνει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα MDO, MGO ή HFO. Τα μειονεκτήματά της βρίσκονται στο γεγονός ότι είναι πολύ εύφλεκτη οδηγώντας σε αυξημένο κίνδυνο έκρηξης και πυρκαγιάς, ότι δεν έχει ιδιαίτερα μεγάλη ενεργειακή απόδοση, σχεδόν τη μισή από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και ότι είναι τοξική. [22]
7. Αμμωνία: Η Αμμωνία είναι ένα άχρωμο, καυστικό και τοξικό αέριο. Στο μόριό της περιέχει ένα άτομο αζώτου και τρία άτομα υδρογόνου. Είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο με σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον διότι η καύση της στη μηχανή εσωτερικής καύσης παράγει άζωτο και υδρατμούς το οποία πιθανόν να οδηγούν σε μικρές ποσότητες οξειδίων του αζώτου. Επίσης η καύση της είναι δυνατή σε μηχανές διπλού καυσίμου με χρήση κάποιου υδρογονάνθρακα ως καύσιμο-οδηγό για να πραγματοποιηθεί η καύση, όπως και στα περισσότερα αέρια καύσιμα, έχοντας μια μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στα καυσάεiria. [23]
8. Υδρογόνο: Το Υδρογόνο είναι αέριο υπό κανονικές συνθήκες και ως καύσιμο είναι μηδενικών ρύπων. Ειδικά αν η παραγωγή του με ηλεκτρόλυση καταναλώνει ρεύμα που έχει παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) τότε σε όλον του τον

κύκλο είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Εκτιμάται πως είναι μια φιλόδοξη επιλογή ως εναλλακτικό καύσιμο στη ναυτιλία αλλά μένει ακόμα να διερευνηθεί εκτενέστερα η δυνατότητα που δίνεται από τη χρήση του. [24]

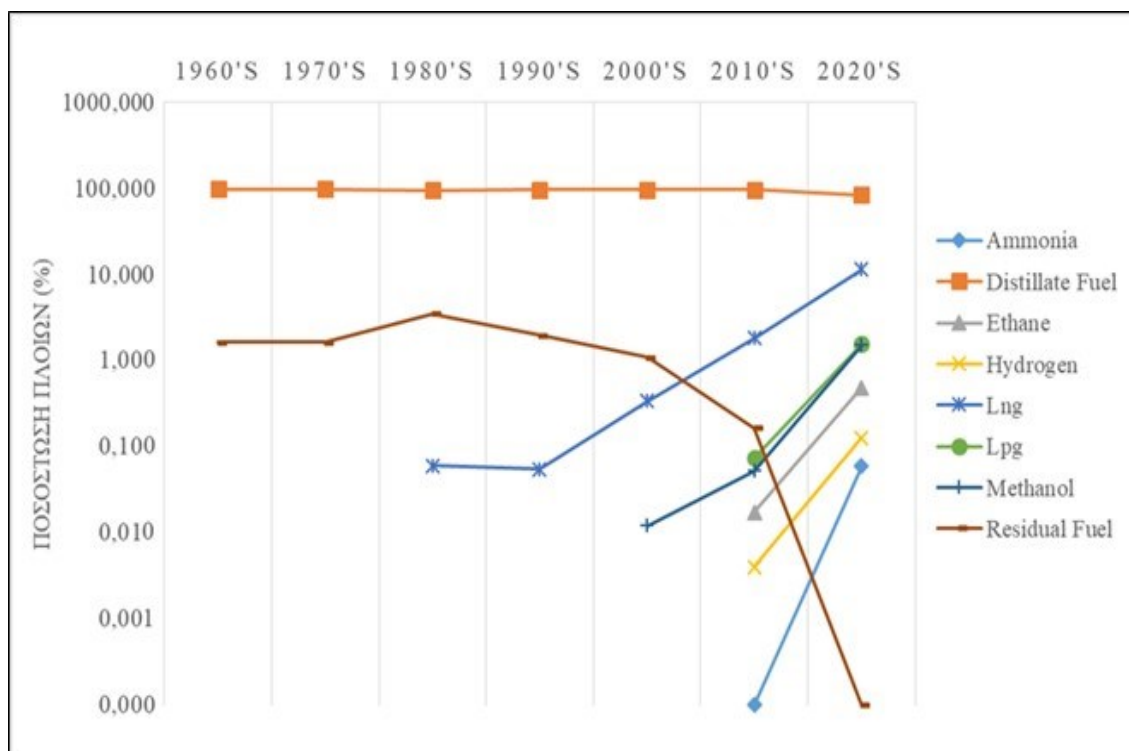
Αρχίζουμε την παράθεση με όσον αφορά τα πλοία που βρίσκονται ήδη στη θάλασσα. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων μας έδειξε ότι τα πλοία που ναυπηγήθηκαν μέχρι και τη δεκαετία του 1970, χρησιμοποιούν τα μόνα δύο καύσιμα που χρησιμοποιούσαν τότε τα πλοία, τα βαρύτερα και ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου. Στα πλοία που ναυπηγήθηκαν τη δεκαετία του 1980 κάνει την εμφάνισή του το υγροποιημένο φυσικό αέριο ενώ ταυτόχρονα αρχίζει μια μικρή μείωση στα ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίου και μια μεγαλύτερη μείωση χρήσης στα βαρύτερα κλάσματα πετρελαίου. Στα πλοία που ναυπηγήθηκαν τη δεκαετία του 1990 βλέπουμε μια αύξηση χρήσης στο υγροποιημένο φυσικό αέριο, μια σταθεροποίηση της ποσόστωσης των πλοίων που χρησιμοποιούν ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίου και μια παραπάνω μείωση στα πλοία που χρησιμοποιούν βαρύτερα κλάσματα πετρελαίου. Στα πλοία που ναυπηγήθηκαν τη δεκαετία του 2000 βλέπουμε τη συνέχιση του μοτίβου που παρουσίασε η προηγούμενη δεκαετία ενώ έχουμε και πλοία που χρησιμοποιούν μεθανόλη. Στα πλοία που ναυπηγήθηκαν τη δεκαετία του 2010 βλέπουμε την παραπέρα συνέχιση του μοτίβου που περιγράφει τις δύο προηγούμενες δεκαετίες όσον αφορά τη χρήση των κλασμάτων του πετρελαίου και του υγροποιημένου φυσικού αερίου, παρατηρούμε αύξηση της χρήσης της μεθανόλης ενώ παράλληλα κάνουν την εμφάνισή τους το υγραέριο, το αιθάνιο, το υδρογόνο και η αμμωνία. Τέλος τη δεκαετία που διανύουμε, του 2020, βλέπουμε την πρώτη μεγάλη μείωση χρήσης των ελαφρύτερων κλασμάτων του πετρελαίου (πάνω από 13 ποσοστιαίες μονάδες), το μηδενισμό χρήσης των βαρύτερων κλασμάτων πετρελαίου και σημαντική αύξηση χρήσης για τα υπόλοιπα καύσιμα από 0,06 ποσοστιαίες μονάδες στην αμμωνία μέχρι 9,66 ποσοστιαίες μονάδες στο υγροποιημένο φυσικό αέριο. Τα όσα περιγράψαμε παρουσιάζονται στον πίνακα 1-4 και στα σχήματα 1-4 και 1-5. [16]

Πίνακας 1-4: Ποσοστιαία χρήση καυσίμου στα πλοία ανά δεκαετία ναυπήγησης

	1960's	1970's	1980's	1990's	2000's	2010's	2020's
Ammonia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%
Distillate Fuel	98,35%	98,20%	96,21%	97,41%	97,61%	97,74%	84,69%
Ethane	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,49%
Hydrogen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
Lng	0,00%	0,00%	0,06%	0,06%	0,34%	1,83%	11,48%
Lpg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	1,58%
Methanol	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	1,51%
Residual Fuel	1,65%	1,63%	3,55%	1,97%	1,09%	0,17%	0,00%



Σχήμα 1-4: Σχηματική απεικόνιση χρήσης καυσίμου στα πλοία επί του συνόλου ανά δεκαετία έτους ναυπήγησης



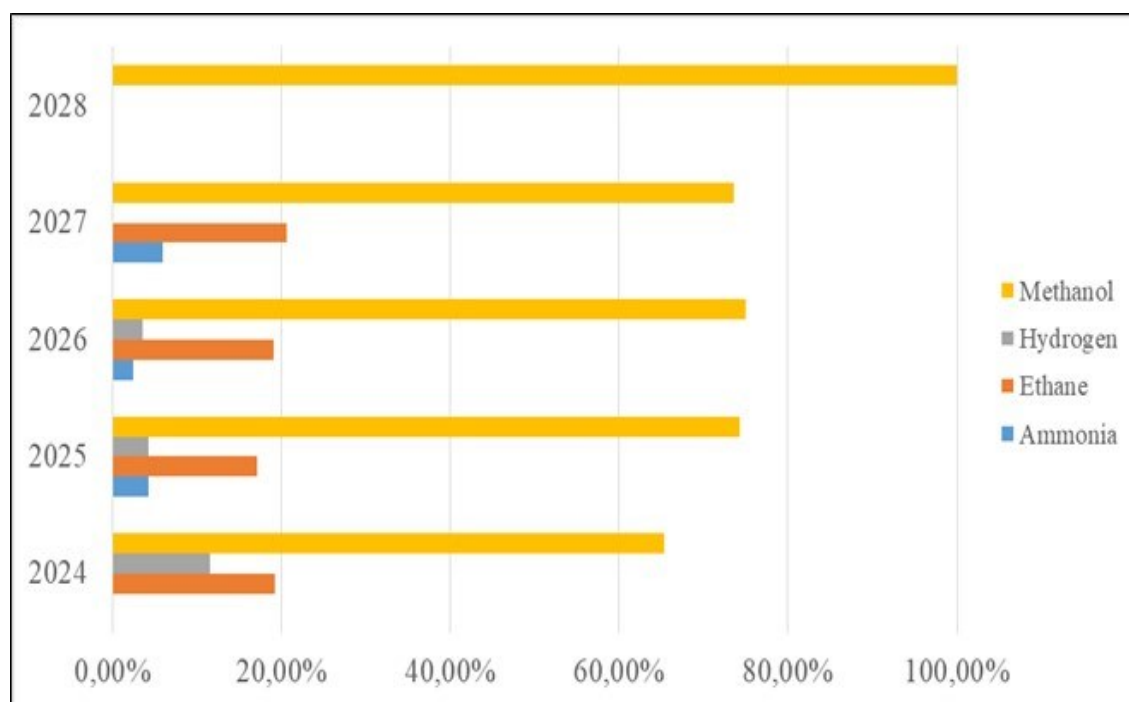
Σχήμα 1-5: Πορεία εξέλιξης χρήσης καυσίμων στα πλοία ανά δεκαετία έτους ναυπήγησης

Όσον αφορά τις νέες ναυπηγήσεις, υπάρχουν καταχωρημένα στοιχεία για 219 πλοία που αναμένεται να παραδοθούν από 2024 έως 2028 και τα καύσιμα που έχουν καταχωρηθεί

είναι το αιθάνιο, το υδρογόνο, η μεθανόλη και η αμμωνία. Η τάση χρήσης φαίνεται στον πίνακα 1-5 και στο σχήμα 1-6 που ακολουθούν. [16]

Πίνακας 1-5: Στοιχεία που αφορούν νέες ναυπηγήσεις ανά έτος παράδοσης και καύσιμο

Έτος παράδοσης	Ammonia	Ethane	Hydrogen	Methanol
2024	0,00%	19,23%	11,54%	65,38%
2025	4,29%	17,14%	4,29%	74,29%
2026	2,38%	19,05%	3,57%	75,00%
2027	5,88%	20,59%	0,00%	73,53%
2028	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
2024-2028	3,21%	18,35%	4,13%	74,31%



Σχήμα 1-6: Τάση χρήσης καυσίμου ανά έτος στις νέες ναυπηγήσεις

Βλέπουμε, από τα παραπάνω, ότι σχεδόν τα $\frac{3}{4}$ των νέων ναυπηγήσεων αφορούν πλοία που θα κινούνται με μεθανόλη. Διαφαίνεται μια τάση μείωσης της χρήσης των ορυκτών καυσίμων με μη μηδενικό αποτύπωμα και μια τάση αύξησης της χρήσης των καυσίμων με μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον είτε είναι ορυκτά είτε όχι. [16]

Βλέπουμε ότι η ετοιμότητα του παγκόσμιου στόλου να υποδεχθεί τα νέα καύσιμα διαρκώς μεγαλώνει. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 225 πλοία που θα χρησιμοποιούν αμμωνία και 120

που θα χρησιμοποιούν μεθανόλη είτε ήδη σε λειτουργία είτε σε στάδιο ναυπήγησης. Η πραγματική πρόκληση, όμως, στο εγχείρημα αυτό είναι η μεταστροφή του υπάρχοντος στόλου στα νέα εναλλακτικά καύσιμα. Αν δεν καταστεί αυτό δυνατό, τότε μέχρι το 2050 θα υπάρχουν ακόμα περίπου 20.000 εμπορικά, τουλάχιστον, πλοία που θα χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Κάτι τέτοιο θέτει σε κίνδυνο το στόχο για μηδενικές εκπομπές του τομέα της ναυτιλίας μέχρι το 2050. Γι' αυτόν το λόγο ο νηογνώμονας Lloyd's Register προχώρησε σε μια έρευνα προκειμένου να φανούν οι δυνατότητες και η τεχνολογική ετοιμότητα για αυτήν τη μεταστροφή. Η ετοιμότητα μετριέται σε όρους όπου η μετατροπή για το νέο καύσιμο είναι εγκεκριμένη επί όρους αρχών είτε ακόμα και ήδη εφαρμοσμένη με απαραίτητη προϋπόθεση ότι επιτυγχάνεται το απαραίτητο επίπεδο για την ασφάλεια της εγκατάστασης. Δεν λαμβάνεται όμως υπόψιν το απαραίτητο κόστος και το χρονοδιάγραμμα για να καταστεί το πλοίο έτοιμο να λειτουργήσει με κάποιο καύσιμο μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού αποτυπώματος. Έχει εντοπιστεί ένας όγκος 9.000 – 12.900 μεγάλων εμπορικών πλοίων που θα πρέπει να κάνει κάποια μετατροπή μέχρι το 2030. Μετά το 2030 αναμένεται πως όλα τα πλοία, πια, θα κατασκευάζονται εξ' αρχής να χρησιμοποιούν κάποιο καύσιμο με μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Το πιο πιθανό σενάριο είναι ότι μικρός αριθμός από τα παλαιότερα πλοία (με χρονολογία ναυπήγησης παλαιότερη των 10 ετών) θα προχωρήσουν σε κάποια μετατροπή ενώ είναι αβέβαιο το τι θα γίνει με τα μικρότερα πλοία και ειδικά εκείνα που δεν υπόκεινται στις διατάξεις του IMO. [25]

Σε πολλές περιπτώσεις, ο τρόπος και η διαδικασία μετατροπής των εγκαταστάσεων του πλοίου είναι ακόμα υπό διερεύνηση ή δοκιμή. Η διαδικασία της μετατροπής του πλοίου περιλαμβάνει τη μετατροπή του ίδιου του κινητήρα, των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμου και των σωληνώσεων μεταφοράς του καυσίμου από το σημείο εφοδιασμού του πλοίου στη δεξαμενή αποθήκευσης/κατανάλωσης και από τη δεξαμενή στους κινητήρες. Όσον αφορά τη μεθανόλη, που είναι ήδη σε χρήση, υπάρχουν τουλάχιστον δύο πάροχοι που μπορούν να διεκπεραιώσουν μια πλήρη μετατροπή. Η μετατροπή για χρήση με μεθανόλη, αυτή τη στιγμή, είναι στα πρόθυρα να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Από την άλλη πλευρά η μετατροπή για χρήση με αμμωνία αναμένεται να θέσει προκλήσεις λόγω του αυξημένου κινδύνου της χρήσης της αμμωνίας, ως τοξικό υλικό. Για λόγους ασφάλειας αναμένεται η διαδικασία μετατροπής να είναι πιο περίπλοκη. Θα αναλύσουμε εκτενέστερα τους τρόπους μετατροπής και στο κυρίως μέρος της παρούσας εργασίας. Στο σχήμα 1-7

φαίνεται η τεχνολογική ετοιμότητα μετατροπής προς μεθανόλη και αμμωνία αυτή τη στιγμή. [25]

TRL	Level description	Technology	TRL
1	Basic principle observed		
2	Technology concept formulated		
3	First assessment of feasibility concept and technologies	Two-stroke engine retrofit package, methanol	4
4	Validation of integrated prototype in test environment	Four-stroke engine retrofit package, methanol	5
5	Testing prototype in user environment	Methanol fuel handling and storage	5
6	Pre-production product	Two-stroke engine retrofit package, ammonia	3
7	Low scale pilot production demonstrated	Four-stroke engine retrofit package, ammonia	3
8	Manufacturing fully tested, validated and qualified	Ammonia fuel handling and storage	3
9	Product fully operational		

TRL: Technology Readiness Level

Σχήμα 1-7: Επίπεδο ετοιμότητας μετατροπής πλοίου για χρήση μεθανόλης και αμμωνίας. [25]

Όσον αφορά το υδρογόνο δεν υπάρχουν ακόμα αρκετά στοιχεία για την περίπτωση μετατροπής διότι και η εισαγωγή του ως καύσιμο στον κύκλο diesel είναι σε ερευνητικό στάδιο.

Σε κάθε περίπτωση, όμως, εξετάζουμε πιθανούς αντικαταστάτες για ορυκτούς υδρογονάνθρακες σε μηχανές στον κύκλο diesel. Κανένας από τους πιθανούς αντικαταστάτες δεν έχει τη βασική ιδιότητα των υδρογονανθράκων στο φάσμα του πετρελαίου diesel και βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει ένας κινητήρας στον κύκλο diesel, που είναι η αυτανάφλεξη. Επομένως, είναι κατανοητό ότι μιλάμε, πλέον, για κινητήρες διπλού καυσίμου με κάποιο κύριο καύσιμο και κάποιο καύσιμο-οδηγό (pilot) που θα είναι υδρογονάνθρακας στο φάσμα του diesel ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η αυτανάφλεξη του καυσίμου μίγματος. Η αναγκαία ποσότητα του pilot καυσίμου είναι πάρα πολύ μικρή (~5%) και δεν μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις εκπομπές του κινητήρα.

1.4 Νέες Τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα για έναν βιώσιμο τομέα Ναυτιλίας

Από όσα είδαμε παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχει και η ανάγκη και ο τρόπος για να γίνουν σημαντικές αλλαγές στον τομέα της Ναυτιλίας. Αλλαγές που είναι απαραίτητες για να

έχουμε σημαντική μείωση όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα που οι ποσότητές τους είναι πεπερασμένες.

Ο IMO δουλεύει πάνω σε μια έρευνα που στόχο έχει να διερευνήσει την ετοιμότητα και τη διαθεσιμότητα καυσίμων χαμηλής ή μηδενικής περιεκτικότητας σε άνθρακα και της αντίστοιχης τεχνολογίας που θα κάνει δυνατή την ευρεία χρήση τους στα πλοία. [26]

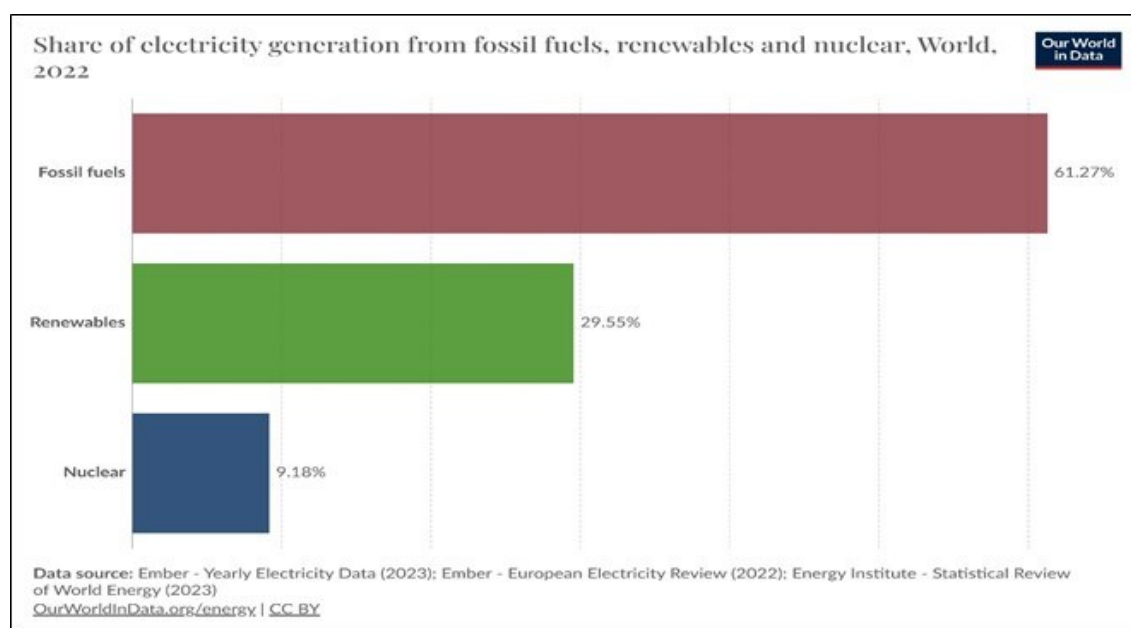
Ο IMO σε συνεργασία με τους νηογνώμονες και τους σχεδιαστές των μηχανών εσωτερικής καύσης προσπαθούν να ανοίξουν το φάσμα των εναλλακτικών προτάσεων που μπορεί να υπάρξουν στα καύσιμα για το μέλλον της Ναυτιλίας. Τα καύσιμα εξετάζονται ως προς το αποτύπωμα που αφήνουν σε όλον τον κύκλο ζωής τους διότι μπορεί ένα καύσιμο το οποίο να μην αφήνει αποτύπωμα στο περιβάλλον κατά την καύση του να είναι πιο ρυπογόνο και από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα αν απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για να παραχθεί. Υπό αυτό το πρίσμα ως καλύτερες εναλλακτικές φαίνονται να είναι το υδρογόνο και η αμμωνία τα οποία μπορούν να παραχθούν από την ηλεκτρόλυση του νερού με χρήση ρεύματος που προέρχεται από ΑΠΕ. Επίσης διερευνάται και το κόστος για την παραγωγή τεχνολογίας και τεχνογνωσίας ούτως ώστε να μπορέσουν να γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στις υποδομές του πλοίου για αποθήκευση και μεταφορά του καυσίμου αλλά και στους κινητήρες για να μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν τα νέα εναλλακτικά καύσιμα. Παράλληλα ο τομέας της ναυτιλίας εξετάζει γενικότερες αλλαγές που μπορούν να γίνουν στη λειτουργία ενός πλοίου που να το καταστήσουν πιο φιλικό στο περιβάλλον όπως η εγκατάσταση και άλλων πηγών ενέργειας, η μείωση της ταχύτητας πλεύσης, η σωστή συντήρηση του κύτους του και ο καλύτερος σχεδιασμός της πορείας πλεύσης.

Γι' αυτούς τους λόγους και στο κυρίως μέρος της παρούσας εργασίας θα ασχοληθούμε με μη ορυκτά καύσιμα που έχουν μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Θα αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά τους, τον τρόπο παραγωγής τους, μεταφοράς και αποθήκευσής τους, το πώς μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικά καύσιμα σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης, καθώς και προσδοκίες και προκλήσεις αυτού του εγχειρήματος. Τέλος θα τα συγκρίνουμε σε μια προσπάθεια να δούμε αν κάποιο από αυτά μπορεί να κυριαρχήσει σε αυτόν τον τομέα έναντι των άλλων. [27]

1.5 Εφαρμογή των αλλαγών στη Ναυτιλία και στον τομέα της Ηλεκτροπαραγωγής

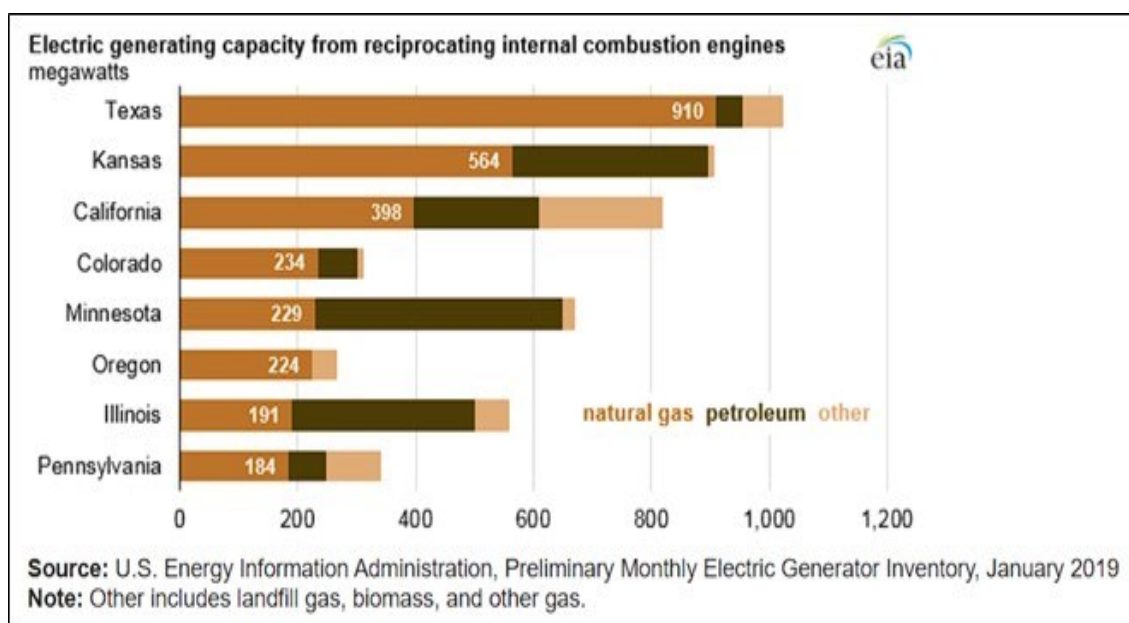
Πρακτικά, τα όσα αναφέραμε στις προηγούμενες υποενότητες αφορούν αλλαγές που θα εφαρμοστούν σε μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται στη Ναυτιλία είτε για πρόωση είτε για ηλεκτροπαραγωγή. Ο τομέας της παραγωγής ενέργειας ενώ έχει αναπτύξει αρκετά την παραγωγή από ΑΠΕ διατηρεί πολλές ακόμα εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης. Αυτές είτε βρίσκονται σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές όπως νησιά μιας χώρας είτε σε μικρές νησιωτικές χώρες ή ακόμα και σε περιοχές που η παραγωγή με άλλα μέσα δεν είναι εύκολη. Επίσης υπάρχουν πιο μικρές παραγωγές με μηχανές εσωτερικής καύσης που κάνουν χρήση ορυκτών καυσίμων σε μη ηλεκτροδοτημένες περιοχές πχ εργοτάξια ή σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις κλπ. Οπότε ένα ζήτημα που προκύπτει είναι το κατά πόσο είναι εφικτό οι αλλαγές που διαφαίνονται ως τάση στον τομέα της Ναυτιλίας να επεκταθούν και σε άλλους τομείς με παρόμοια χαρακτηριστικά όπως αυτός της ηλεκτροπαραγωγής.

Σύμφωνα με έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2022 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε παγκοσμίως από ορυκτά καύσιμα ήταν περισσότερη από τη μισή όπως φαίνεται και στο σχήμα 1-8 που ακολουθεί. [28]



Σχήμα 1-8: Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή από την οποία προήλθε για το έτος 2022 [28].

Σύμφωνα με την United States Environmental Protection Agency και τη συλλογή δεδομένων της από το Emissions and Generation Resource Integrated Database (eGRID), το CAMD Power Sector Emissions Data (CAMD) και το Environmental Screening and Mapping Tool (EJSCREEN), στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, αυτή τη στιγμή, λειτουργούν 3.477 εργοστάσια παραγωγής ρεύματος με χρήση ορυκτών καυσίμων, εξαιρουμένου του λιγνίτη. Στο σχήμα 1-9 βλέπουμε ενδεικτικά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των πολιτειών με τη μεγαλύτερη παραγωγή από μηχανές εσωτερικής καύσης με χρήση ορυκτών καυσίμων. Στον πίνακα 1-6 βλέπουμε τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως προκύπτουν από τα δεδομένα της United States Environmental Protection Agency και αφορούν τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής σε ετήσια βάση. [29]

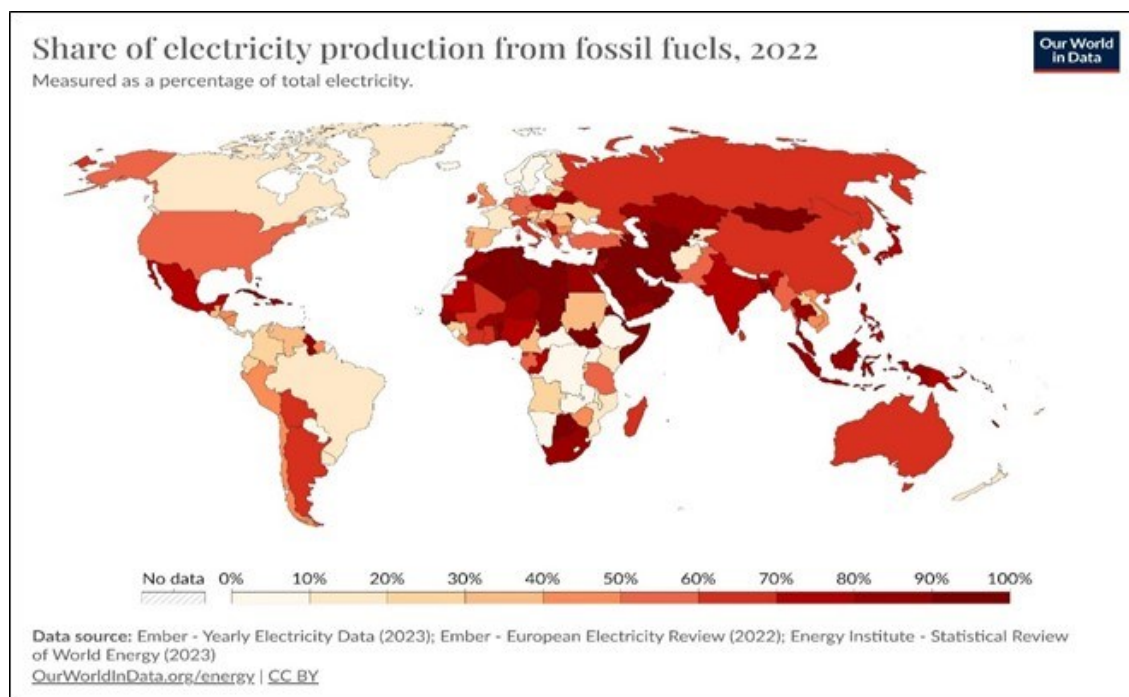


Σχήμα 1-9: Ενδεικτικά στοιχεία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των πολιτειών με τη μεγαλύτερη παραγωγή από μηχανές εσωτερικής καύσης με χρήση ορυκτών καυσίμων στις ΗΠΑ [29]

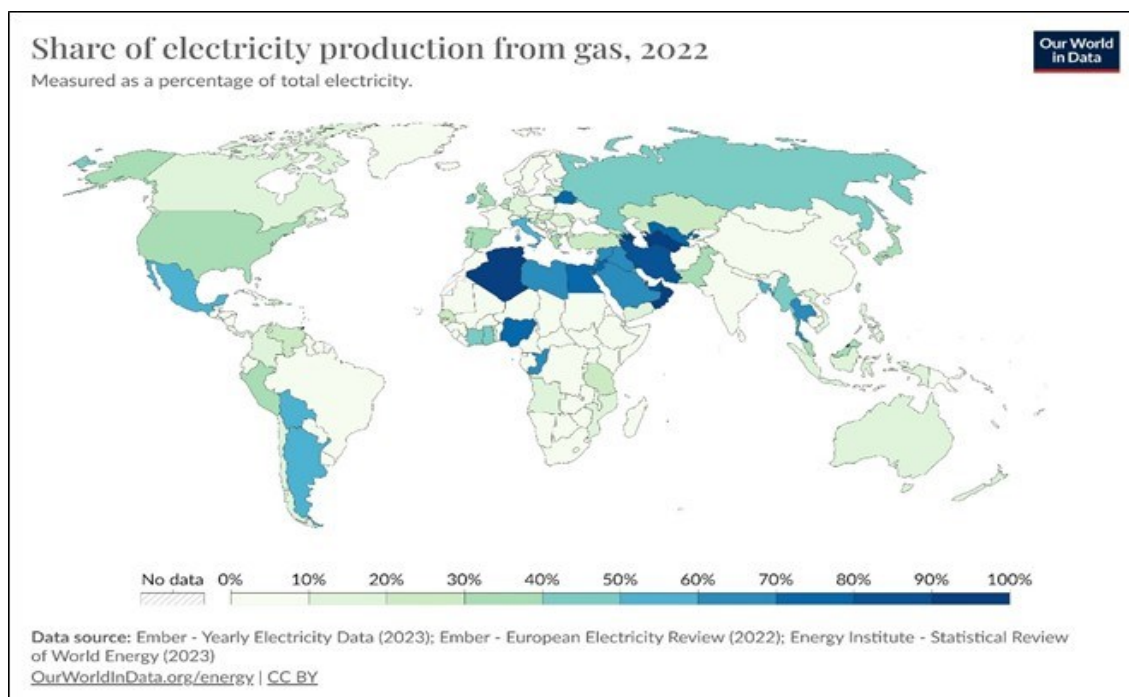
Πίνακας 1-6: Ετήσιες συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από παραγωγή ενέργειας με ορυκτά καύσιμα στις ΗΠΑ [29]

Ρύπος	Μάζα εκπεμπόμενων ρύπων (tn/MWh)	% ποσοστό εκπεμπόμενων ρύπων
NO _x	29,64	0,730%
CO ₂	4027,52	99,154%
SO ₂	3,04	0,075%
PM	1,68	0,041%
GHG total	4061,87	100,000%

Στα σχήματα 1-10 και 1-11 μπορούμε να δούμε το ποσοστό που είχε κάθε χώρα σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα και αέρια καύσιμα αντίστοιχα για το έτος 2022. [28]

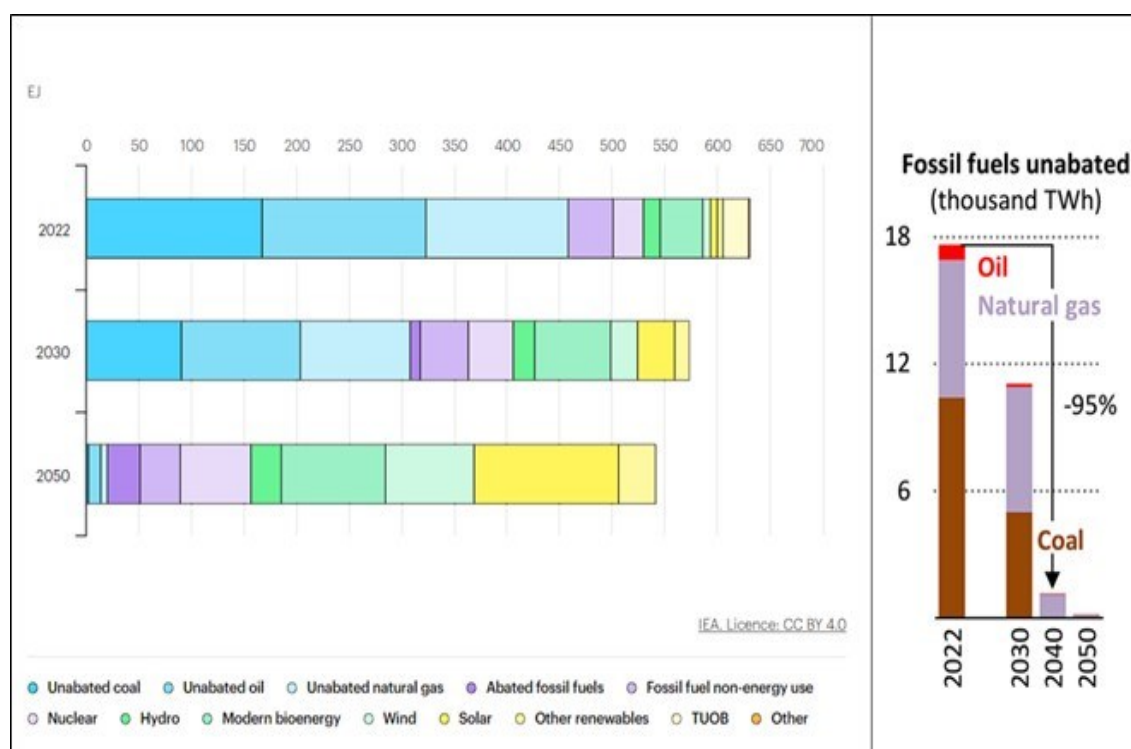


Σχήμα 1-10: Το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας με χρήση πετρελαϊκών ορυκτών καυσίμων για το 2022 [28]



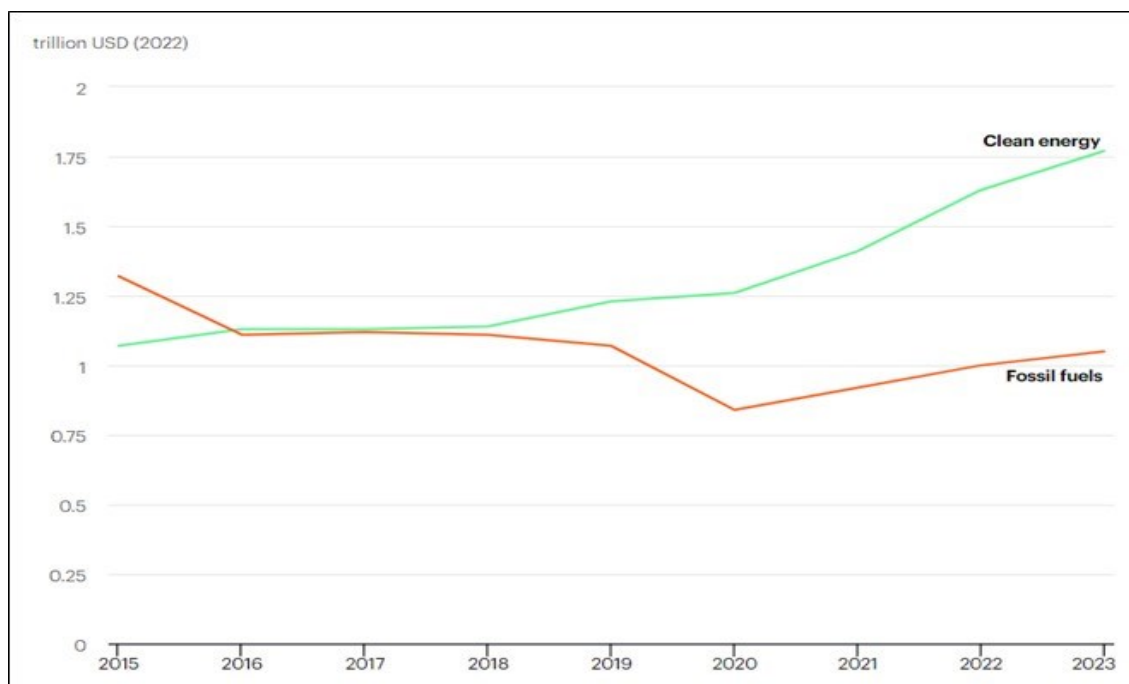
Σχήμα 1-11: Το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας με χρήση αέριων ορυκτών καυσίμων για το 2022 [28]

Μετά και την υπογραφή της Συνθήκης του Παρισιού πάρθηκαν δραστικά μέτρα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η International Energy Agency (IEA) έθεσε το 2021 το Announced Pledges Scenario (APS). Το APS, όπως δηλώνει και η ονομασία του, είναι μια συλλογή υποσχέσεων διαφόρων χωρών παγκοσμίως για τη συμβολή τους στην κατάκτηση του στόχου που έχει οριστεί για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2030 και το 2050. Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 1-11 η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα για το 2022 ξεπερνάει το μισό της συνολικής παραγωγής. Με πρόβλεψη για το 2030 να περιοριστεί περίπου στο μισό της συνολικής παραγωγής, έχοντας μία μείωση γύρω στο 20% και το 2050 να φτάσει σε πολύ χαμηλές τιμές. Ο στόχος, άλλωστε για τα ορυκτά καύσιμα είναι καταρχήν η εξάλειψη του λιγνίτη μέχρι το 2030, εξάλειψη της χρήσης του πετρελαίου μέχρι το 2040 και μείωση κατά 80% στη χρήση του φυσικού αερίου με συνολική μείωση κατά 95% στη χρήση των ορυκτών καυσίμων συνολικά. [30]



Σχήμα 1-12: Αριστερά: Παραγωγή ενέργειας ανά είδος καταναλισκόμενου καυσίμου για το 2022 (πραγματική) και για τα 2030 και 2050 αναμενόμενα βάσει στόχου. Δεξιά: Επικέντρωση στα ορυκτά καύσιμα [30]

Κατά αντιστοιχία, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1-12 που ακολουθεί, από το 2016 και μετά τα χρήματα που επενδύονται στην ενέργεια που είναι φιλική προς το περιβάλλον είναι περισσότερα από τα χρήματα που επενδύονται στα ορυκτά καύσιμα.



Σχήμα 1-13: Εξέλιξη της χρηματοδότησης για τις επενδύσεις ενέργειας. Πηγή: www.iea.org

Ακριβώς όπως και στη Ναυτιλία, το κύριο αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται από την ηλεκτροπαραγωγή είναι το διοξείδιο του άνθρακα, όταν γίνεται χρήση ορυκτών καυσίμων. Σε συμφωνία με τις συνθήκες που έχουν υπογραφεί, οι χώρες παγκοσμίως προσπαθούν να μειώσουν τις εκπομπές από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής στρεφόμενες στην παραγωγή από ΑΠΕ και στους αεριοστροβίλους. Όπου, όμως, η αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα δεν είναι δυνατή ή δεν είναι προσοδοφόρα, θα μπορούσε να ακολουθηθεί ένα σχέδιο αντίστοιχο με το σχέδιο του τομέα της Ναυτιλίας για την πλήρη απανθρακοποίησή του.

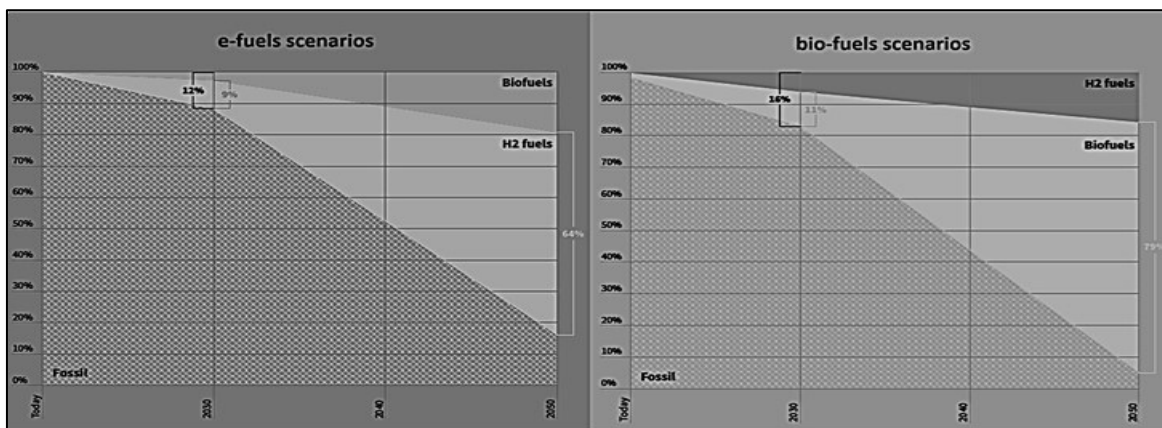
2 Καύσιμα με μηδενικό αποτύπωμα

2.1 Εισαγωγή στα εναλλακτικά καύσιμα

Τα μη ορυκτά εναλλακτικά καύσιμα μπορούμε να πούμε πως χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: [31]

- Τα βιοκαύσιμα: Όλα εκείνα τα καύσιμα που μπορούν να συντεθούν από βιομάζα. Συμπεριλαμβάνοντας τη βιομεθανόλη και το ανανεώσιμο diesel.
- Τα καύσιμα που βασίζονται στο υδρογόνο: Το ίδιο το υδρογόνο ως καύσιμο και όλα εκείνα τα καύσιμα που χρειάζονται υδρογόνο για να συντεθούν. Συμπεριλαμβάνοντας την e-μεθανόλη και την e-αμμωνία.

Στη μελέτη που δημοσιοποίησε το 2023 ο νηογνώμονας Lloyd's Register (LR) με τίτλο «The future of maritime fuels» συγκρίνει τις τάσεις για τις δύο αυτές κατηγορίες καυσίμων. Συγκεντρώνει τα διάφορα σενάρια ανά κατηγορία υπολογίζοντας έναν μέσο όρο αυτών. Με το πρώτο σενάριο τα καύσιμα που βασίζονται στο υδρογόνο φαίνεται ότι μπορεί μέχρι το 2030 να αποτελούν το 9% του καταναλισκόμενου καυσίμου και μέχρι το 2050 να αποτελούν το 64%. Ενώ σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο τα βιοκαύσιμα φαίνεται ότι μπορεί μέχρι το 2030 να αποτελούν το 11% του καταναλισκόμενου καυσίμου και μέχρι το 2050 να αποτελούν το 79%, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-1, με την ποσότητα των ορυκτών καυσίμων σε χρήση να πέφτει κάτω από 20% ή ακόμα και κάτω από 10% μέχρι το 2050. [31]



Σχήμα 2-1: Τάση χρήσης καυσίμων στη ναυτιλία μέχρι το 2050. [31]

Η μετάβαση του τομέα της ναυτιλίας θα πραγματοποιηθεί από την ανάγκη της απανθρακοποίησης αυτού του τομέα. Όλες οι χώρες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ναυτιλίας επιχειρούν να βρουν βιώσιμες λύσεις κατά τις δικές τους ανάγκες. Μολονότι η αγορά αναμένει από την επιστημονική και τεχνολογική κοινότητα να δώσει τη βέλτιστη επιλογή, έχει ήδη ξεκινήσει κάποιες μετατροπές πλοίων και παραγγελίες ναυπήγησης νέων σε κάποιο εναλλακτικό καύσιμο. [32]

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα επικρατέστερα εναλλακτικά καύσιμα με μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα για τα οποία διαφαίνεται η τάση χρήσης τους στη ναυτιλία. [31,32]

- Μεθανόλη: Η μεθανόλη είναι η απλούστερη αλκοόλη με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδρογόνο. Σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης είναι σε υγρή κατάσταση στο θερμοκρασιακό εύρος από -93°C έως $+65^{\circ}\text{C}$, γεγονός που αυξάνει την ευκολία μεταφοράς της. Είναι μια χημική ουσία που βρίσκει πολλές χρήσεις, ενώ μπορεί να παραχθεί από μια πληθώρα ανανεώσιμων πηγών. Γι' αυτούς τους λόγους θεωρείται ως ένα από τα πιθανά εναλλακτικά καύσιμα για τη ναυτιλία και βρίσκεται ήδη σε χρήση.
- Αμμωνία: Η αμμωνία δεν περιέχει καθόλου άνθρακα στο μόριό της. Είναι επίσης μια χημική ουσία που βρίσκει πολλές χρήσεις. Μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές και χρησιμοποιείται κυρίως ως λίπασμα. Αυτή τη στιγμή η ετήσια παραγωγή της ανέρχεται στους 150 εκατομμύρια τόνους. Επειδή μπορεί να παραχθεί χωρίς να συμβάλλει στους αέριους ρύπους και η καύση της δεν απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται ως ένα από τα πιθανά εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία. Αυτή τη στιγμή βρίσκονται ήδη σε στάδιο παραγγελίας και ναυπήγησης πλοία που θα χρησιμοποιούν αμμωνία ως καύσιμο.
- Υδρογόνο: Είναι το απλούστερο χημικό στοιχείο στη φύση. Σε κανονικές συνθήκες βρίσκεται σε αέρια κατάσταση. Η παραγωγή του μπορεί να επιτευχθεί από ΑΠΕ χωρίς να συμβάλλει στους αέριους ρύπους. Μπορεί να αποθηκευτεί στο πλοίο σε υγρή κατάσταση σε κρυογενικό θάλαμο ή να γίνεται η παραγωγή του απ' ευθείας στο πλοίο. Η καύση του παράγει νερό και δε συμβάλλει στην απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου. Γι' αυτόν το λόγο εξετάζεται η πιθανότητα χρήσης του ως εναλλακτικό καύσιμο στη ναυτιλία. Αυτή τη στιγμή βρίσκεται σε ερευνητικό και

δοκιμαστικό στάδιο η χρήση του σε μηχανές εσωτερικής καύσης, ενώ υπάρχει περιορισμένη χρήση του σε μικρά πλοία με κυψέλες καυσίμου.

- **Ανανεώσιμο diesel:** Είναι βιοκαύσιμο που παράγεται κυρίως από έλαια όπως το φοινικέλαιο. Με υψηλή θερμική αξία και αριθμό κετανίων, μοιάζει πολύ με το ορυκτό diesel. Παρουσιάζει υψηλή σταθερότητα σε αντίθεση με το κλασικό βιο-diesel το οποίο το καθιστά ικανό για χρήση στη ναυτιλία. Γι' αυτούς του λόγους το ανανεώσιμο ή πράσινο diesel προτείνεται για χρήση στη ναυτιλία ως εναλλακτικό του ορυκτού MDO στις μηχανές διπλού καυσίμου ως καύσιμο οδηγός ή ως κύριο καύσιμο σε περίπτωση ανάγκης. [33]

Η μεθανόλη είναι ένα καύσιμο που είναι ήδη σε χρήση. Η MAN Energy Solutions, η Wärtsilä και η WinGD οι τρεις μεγαλύτεροι σχεδιαστές² δίχρονων και τετράχρονων κινητήρων για πρόωση και ηλεκτροπαραγωγή που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, αλλά και σε άλλους τομείς όπως η ενέργεια, η βιομηχανία τροφίμων, οι ένοπλες δυνάμεις κ.α. έχουν ήδη παραδώσει τέτοιες μηχανές προς χρήση. Επίσης και οι τρεις σχεδιαστές έχουν αναπτύξει μηχανές για χρήση αμμωνίας, με αρκετά πλοία να βρίσκονται σε στάδιο παραγγελίας. Παράλληλα και οι τρεις σχεδιαστές παρέχουν ολοκληρωμένες λύσεις μετατροπών κινητήρων υφιστάμενων πλοίων για χρήση μεθανόλης και αμμωνίας. Τα project που έχουν παραδοθεί αφορούν και νέες ναυπηγήσεις αλλά και μετατροπές κινητήρων σε παλαιότερα πλοία. Επιπλέον η MAN Energy Solutions πραγματοποιεί ερευνητικές δοκιμές στις εγκαταστάσεις της στο Augsburg σε τετράχρονο κινητήρα με χρήση υδρογόνου ως καύσιμο και σε συνεργασία με τη MITSUI δοκιμές σε δίχρονο κινητήρα στις εγκαταστάσεις της δεύτερης στο Tamaro. Τα στοιχεία αυτά ανακτήθηκαν από τους επίσημους ιστοτόπους τους <https://www.man-es.com/company/press-releases>, <https://www.wartsila.com/media/news-releases> και <https://www.wingd.com/en/news-media/press-releases> αντίστοιχα.

Οι μηχανές όλων των σχεδιαστών που έχουν πάρει έγκριση πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις για την απόδοση και την ασφάλειά τους.

² Θεωρούνται οι τρεις μεγαλύτεροι σχεδιαστές μηχανών εσωτερικής καύσης για πρόωση και ηλεκτροπαραγωγή διότι οι μηχανές τους αντιπροσωπεύουν τη μεγάλη πλειοψηφία μηχανών εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται κυρίως στη ναυτιλία και την ηλεκτροπαραγωγή. [22]

2.2 Μεθανόλη

2.2.1 Γενική περιγραφή για τη μεθανόλη

Η μεθανόλη είναι μια ελαφριά, πτητική άχρωμη κι εύφλεκτη αλκοόλη. Το μόριό της περιέχει ένα άτομο άνθρακα, τέσσερα άτομα υδρογόνου κι ένα άτομο οξυγόνου. Όσον αφορά τη χρήση της σε μηχανές εσωτερικής καύσης, η καύση της είναι πολύ καθαρή συγκριτικά με τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα. Η περιεκτικότητα σε θείο ενός καυσίμου μεθανόλης είναι σχεδόν μηδαμινή αποφεύγοντας τις εκπομπές οξειδίων του θείου. Με αυτόν τον τρόπο, το καράβι που τη χρησιμοποιεί καθίσταται, αυτομάτως, να εμπίπτει εντός του κανονισμού για τις εκπομπές οξειδίων του θείου εντός και εκτός ζωνών ελεγχόμενων εκπομπών. Η ειδική της ενέργεια ως καύσιμο υπολογίζεται στα 19,9 MJ/kg και η ενεργειακή της πυκνότητα στα 15 MJ/L. Ως μέτρο σύγκρισης, το HFO παρουσιάζει περίπου τις διπλάσιες τιμές για τα μεγέθη αυτά. Επίσης στο πλοίο μπορεί να αποθηκευτεί σε δεξαμενή κανονικής θερμοκρασίας και πίεση 1 bar. [22,42]

Είναι μια χημική ουσία η οποία ήδη παρασκευάζεται ευρέως σε βιομηχανική κλίμακα επειδή βρίσκει χρήση σε πολλούς τομείς. Υπάρχουν ήδη έτοιμες εγκαταστάσεις, μέσα αποθήκευσης και μεταφοράς της. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεθανόλης, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής της, ανάλογοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται για το H₂. Συνήθως αναφερόμαστε στον κάθε τύπο χρησιμοποιώντας έναν χρωματικό κώδικα, παρόμοιο με του H₂, όπως φαίνεται στον πίνακα 2-1. [22]

Πίνακας 2-1: Κατηγοριοποίηση της μεθανόλης ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της. [31]

Χρωματικός κώδικας	Άλλη ονομασία	Τρόπος παραγωγής	Εκπομπές
Μαύρη/Καφέ	-	Με χρήση λιγνίτη ως πρώτη ύλη.	Θεωρείται ο τρόπος παραγωγής με τις υψηλότερες εκπομπές.
Γκρι	-	Με χρήση φυσικού αερίου ως πρώτη ύλη, παράγεται αέριο σύνθεσης το οποίο μετατρέπεται σε μεθανόλη μέσω της διεργασίας Fischer-Tropsch	Οι εκπομπές χαρακτηρίζονται ανεξέλεγκτες.
Μπλε	ng-methanol	Με χρήση ορυκτών καυσίμων ως πρώτη ύλη και παράλληλη χρήση συστήματος δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.	Σημαντικά μειωμένες από τη μαύρη/καφέ.

Πράσινη	e-methanol	Με χρήση υδρογόνου που προέρχεται από ηλεκτρόλυση νερού και διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από τεχνολογία άμεσης δέσμευσης αέρα ως πρώτη ύλη.	Χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές έχει τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές
	biomethanol	Με χρήση λιγνοκυτταρικών ενώσεων (βιομάζα) ως πρώτη ύλη	
Ροζ	Κόκκινη	Με χρήση πυρηνικής ενέργειας	Χαμηλές
Κίτρινη	-	Ίδιος τρόπος παραγωγής με την πράσινη με τη διαφορά ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται προέρχεται από το εθνικό δίκτυο.	Πλήρως εξαρτώμενες από τις εκπομπές του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Η μεθανόλη ανεξάρτητα με ποιον τρόπο παράγεται έχει ακριβώς τις ίδιες ιδιότητες οπότε προκύπτουν και ακριβώς οι ίδιες προοπτικές και δυσκολίες από το εγχείρημα της χρήσης της ως καύσιμο σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. [22]

Πλεονεκτήματα και προοπτικές από τη χρήση της μεθανόλης ως καύσιμο στη ναυτιλία: [22]

- Υπάρχει ήδη υψηλή διαθεσιμότητα σε μεθανόλη (όχι σε πράσινη μεθανόλη) λόγω της ευρείας βιομηχανικής της χρήσης.
- Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας βρίσκεται σε υγρή κατάσταση
- Είναι υδατοδιαλυτή μέσω της διαδικασίας της βιοδιάσπασης.
- Η χρήση της έχει πολύ πιο χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα της ναυτιλίας (εξετάζοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής της).
- Υπάρχει ήδη μεγάλη ετοιμότητα κανονιστικού πλαισίου και αγοράς.
- Η μεταφορά και η αποθήκευσή της είναι φθηνή κι εύκολη.
- Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της.
- Οι δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου των πλοίων μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα για την αποθήκευση της μεθανόλης.

Προκλήσεις και προβληματισμοί από τη χρήση της μεθανόλης ως καύσιμο στη ναυτιλία: [22]

- Είναι εξαιρετικά διαβρωτική. Επομένως, απαιτεί ειδική εγκατάσταση αποθήκευσης και πλάνο χειρισμού της.

- Είναι τοξική κι έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης. Οπότε χρειάζονται αυξημένα μέτρα για την ασφάλεια της εγκατάστασης.
- Έχει χαμηλότερη θερμική αξία συγκριτικά με τα πετρελαϊκά καύσιμα. Κατά συνέπεια χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα μεθανόλης για να επιτευχθεί η απόδοση του πετρελαίου.
- Η καύση 1kg μεθανόλης σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης παράγει 1,375kg διοξειδίου του άνθρακα. Με τα προτεινόμενα, όμως, κριτήρια αξιολόγησης των εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της οι εκπομπές μετριάζονται. Και μετριάζονται ιδιαίτερα όταν μιλάμε για καύση μπλε και πράσινης μεθανόλης.
- Η παραγωγή της πράσινης μεθανόλης πρέπει να αυξηθεί σημαντικά για να φτάσει τα επίπεδα της εκτιμώμενης ανάγκης για κατανάλωση.
- Το υψηλό κόστος διάθεσης της μεθανόλης την καθιστά μη ανταγωνιστική στα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα.

Η ετοιμότητα εφαρμογής του καυσίμου μετριέται από τρεις δείκτες. Τον TRL (Technology Readiness Level), τον IRL (Investment Readiness Level) και τον CRL (Community Readiness Level). Ο δείκτης TRL δείχνει την τεχνολογική ετοιμότητα ενός εναλλακτικού καυσίμου να καταστεί έτοιμο προς εφαρμογή στη ναυτιλία. Ο δείκτης IRL αξιολογεί την εμπορική ετοιμότητα ενός εναλλακτικού καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψιν τις οικονομικές προϋποθέσεις, τη δυναμική της βιομηχανίας για διάθεση και τις επιλογές της αγοράς. Τέλος, ο δείκτης CRL αξιολογεί την κοινωνική ωριμότητα ενός εναλλακτικού καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψιν την αποδοχή και την υιοθέτηση από ιδιώτες, εταιρείες και οργανισμούς σε όρους κανονιστικού πλαισίου και βιωσιμότητας. Η κλίμακα αξιολόγησης παίρνει τιμές από 1 έως 9 για τον δείκτη TRL και 1-6 για τους δείκτες IRL και CRL όπως φαίνονται στον πίνακα 2-2. [22,34]

Πίνακας 2-2: Τιμές αξιολόγησης της ετοιμότητας εφαρμογής ενός εναλλακτικού καυσίμου. [22]

Level	Technology Readiness Level (TRL)	
	Name	Description
1	Idea	Basic principle observed
2	Concept	Technology concept formulated
3	Feasibility	First assessment of feasibility concept and technologies
4	Validation	Validation of integrated prototype in test environment
5	Prototype	Testing prototype in user environment
6	Product	Pre-production product
7	Pilot	Low scale pilot production demonstrated

8	Market introduction	Manufacturing fully tested, validated and qualified
9	Market growth	Product fully operational
Level	Investment Readiness Level (IRL)	
	Name	Description
1	Idea	Hypothetical commercial proposition
2	Trial	Small-scale commercial trial
3	Scale up	Commercial scale up
4	Adoption	Multiple commercial applications
5	Growth	Market competition driving widespread development
6	Bankable asset	Bankable asset class
Level	Community Readiness Level (CRL)	
	Name	Description
1	Challenge	Identifying problems and expected societal readiness, formulation of possible solutions and potential impact
2	Testing	Initial testing of proposed solutions with relevant stakeholders
3	Validation	Proposed solutions validated, by relevant stakeholders
4	Piloting	Solutions demonstrated in relevant environment to gain initial feedback on potential impact
5	Planning	Proposed solutions and plan for societal adaptation completed and qualified
6	Proven solution	Actual project solutions proven in relevant environment

Αυτή τη στιγμή η περισσότερη από την παγκόσμια ζήτηση σε μεθανόλη καλύπτεται από μαύρη/καφέ και γκρι μεθανόλη. Διότι οι περισσότερες μονάδες παραγωγής μεθανόλης χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη λιγνίτη ή φυσικό αέριο για την παραγωγή μεθανόλης από αέριο σύνθεσης χωρίς να είναι σε χρήση και κάποιο σύστημα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα. Οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι περίπου 0,3 γιγατόνοι το χρόνο. Κι εκτιμάται ότι αν η παραγωγή της συνεχίσει να γίνεται με ορυκτά καύσιμα, μέχρι το 2050 θα εκπέμπονται 1,5 γιγατόνοι διοξειδίου του άνθρακα, δεδομένης της αναμενόμενης αύξησης της ζήτησής της σε πολλούς τομείς συμπεριλαμβανομένου και αυτού της ναυτιλίας. Η παραγωγή πράσινης μεθανόλης το 2021 ήταν μόλις 0,2 εκατομμύρια τόνοι ενώ η παραγωγή μαύρης/καφέ και γκρι έχει φτάσει τους 98 εκατομμύρια τόνους. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ανάλυση της πράσινης μεθανόλης και την αναγκαιότητα ανάπτυξης της παραγωγής της. Διότι η επιτυχής ανάπτυξη ενός εναλλακτικού καυσίμου για τη ναυτιλία βασίζεται στην προϋπόθεση μεταστροφής σε ένα καύσιμο με μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Για να είναι αυτό αληθές, θα πρέπει να μετριέται ολόκληρος ο κύκλος ζωής του και όχι

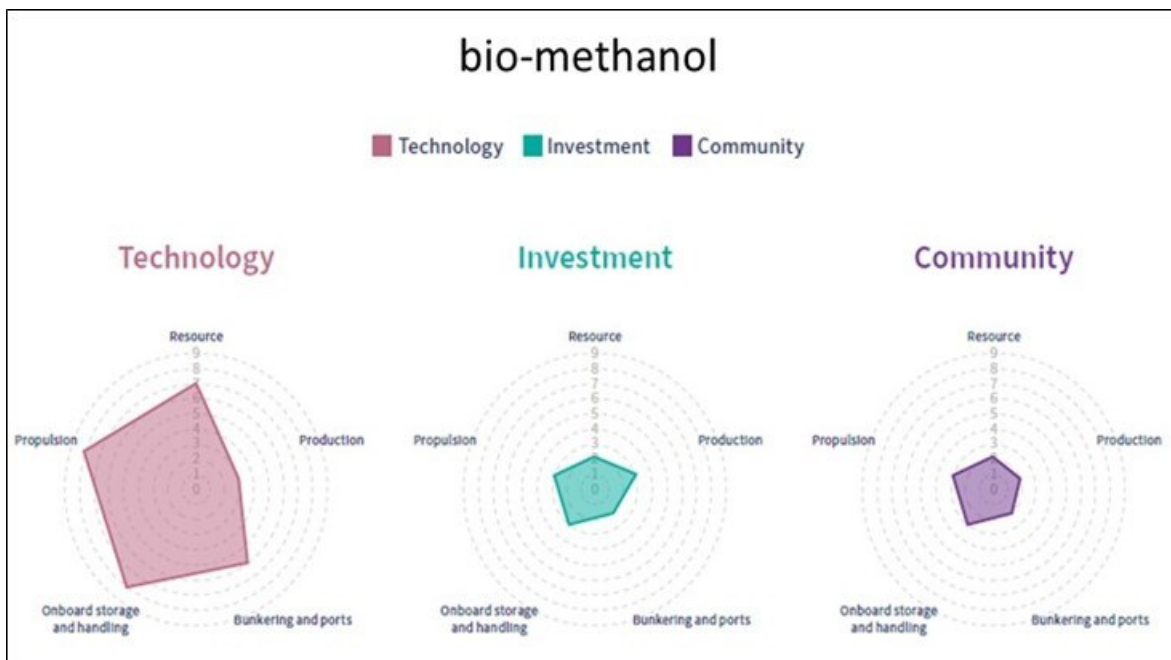
μόνο οι εκπομπές που προκύπτουν κατά την καύση του σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Και εφ' όσον οι εκπομπές κατά την καύση είναι ίδιες για κάθε τύπο μεθανόλης πρέπει να εστιάσουμε στους χαμηλότερους αέριους ρύπους κατά την παραγωγή της. Όπως είδαμε παραπάνω, στον πίνακα 2-1, τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές αέριων ρύπων κατά την παραγωγή της, τις δίνει η πράσινη μεθανόλη. Κατ' επέκτασιν και καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Η μπλε μεθανόλη αποτελεί καλή επιλογή για τη μεταβατική περίοδο μέχρι την αύξηση της παραγωγής της πράσινης μεθανόλης. Στη συνέχεια θα πρέπει να εγκαταλειφθεί για να πραγματοποιηθεί πλήρης απανθρακοποίηση του τομέα. Η παραγωγή της πράσινης μεθανόλης, αναμένεται μέχρι το 2027, να ξεπεράσει τους 8 εκατομμύρια τόνους. Σε κάθε περίπτωση, αν δεν καλύπτεται η ζήτηση σε μεθανόλη από την παραγωγή πράσινης, η καλύτερη εναλλακτική είναι η μπλε μεθανόλη υπό το πρίσμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [22]

Στον πίνακα 2-3 και στα σχήματα 2-2 και 2-3 φαίνεται η ετοιμότητα εφαρμογής της πράσινης μεθανόλης με αξιολόγηση των τριών δεικτών ετοιμότητας TRL, IRL και CRL. [22, 34]

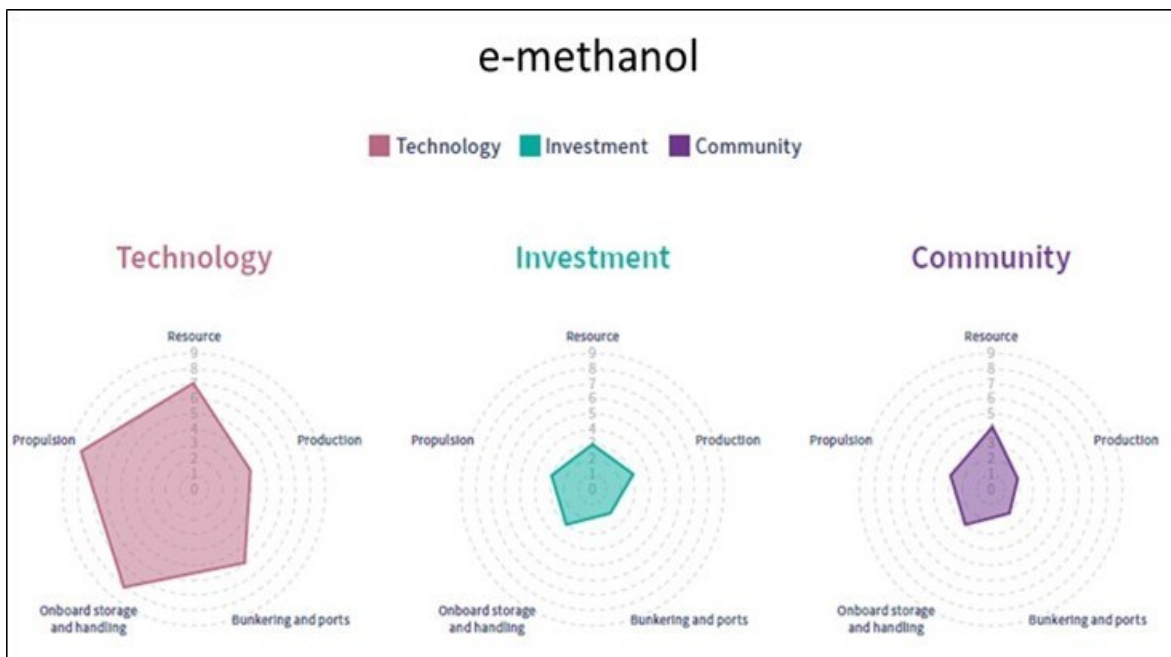
Πίνακας 2-3: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την πράσινη μεθανόλη. [34]

	TRL					IRL				CRL			
	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship Onboard storage and handling	Ship Propulsion	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship
Bio-methanol	7	3	6	8	8	2	3▲	2▲	3▲	2	2	2	3
E-methanol	7	4▲	6	8	8	3	3	2▲	3▲	4	2▼	2	3

Τα σύμβολα ▲ και ▼ υποδηλώνουν τάση αύξησης και μείωσης αντίστοιχα.



Σχήμα 2-2: Αξιολόγηση ετοιμότητας για τη βιομεθανόλη. [22]

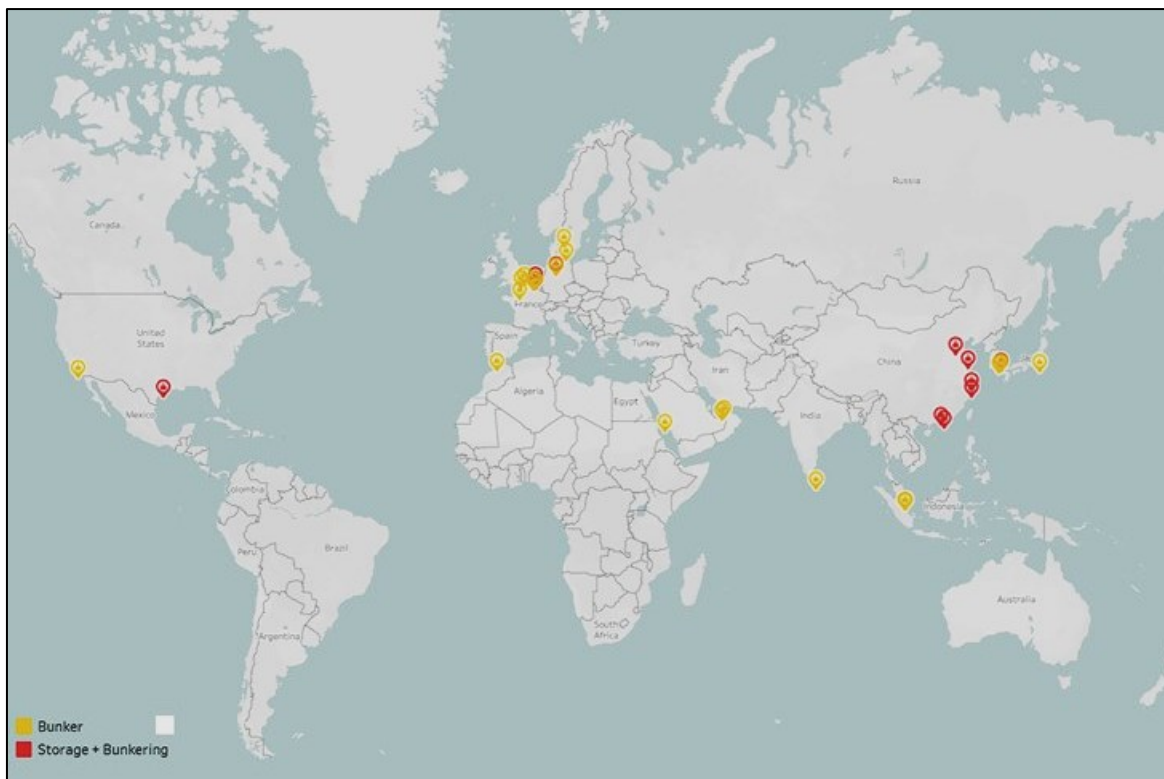


Σχήμα 2-3: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την e-μεθανόλη. [22]

Παρατηρούμε ένα καλό επίπεδο ετοιμότητας στη μεθανόλη, πράγμα που είναι λογικό διότι είναι μια τεχνολογία που ήδη έχει αρχίσει να εφαρμόζεται στη ναυτιλία. Το αξιοσημείωτο είναι ότι η e-μεθανόλη έχει ελαφρώς καλύτερη αξιολόγηση από τη βιομεθανόλη.

Κατά συνέπεια υπάρχουν ήδη έτοιμες εγκαταστάσεις εφοδιασμού και αποθήκευσης μεθανόλης σε μεγάλα λιμάνια για εμπορικούς λόγους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-1. Αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τον τομέα της ναυτιλίας για

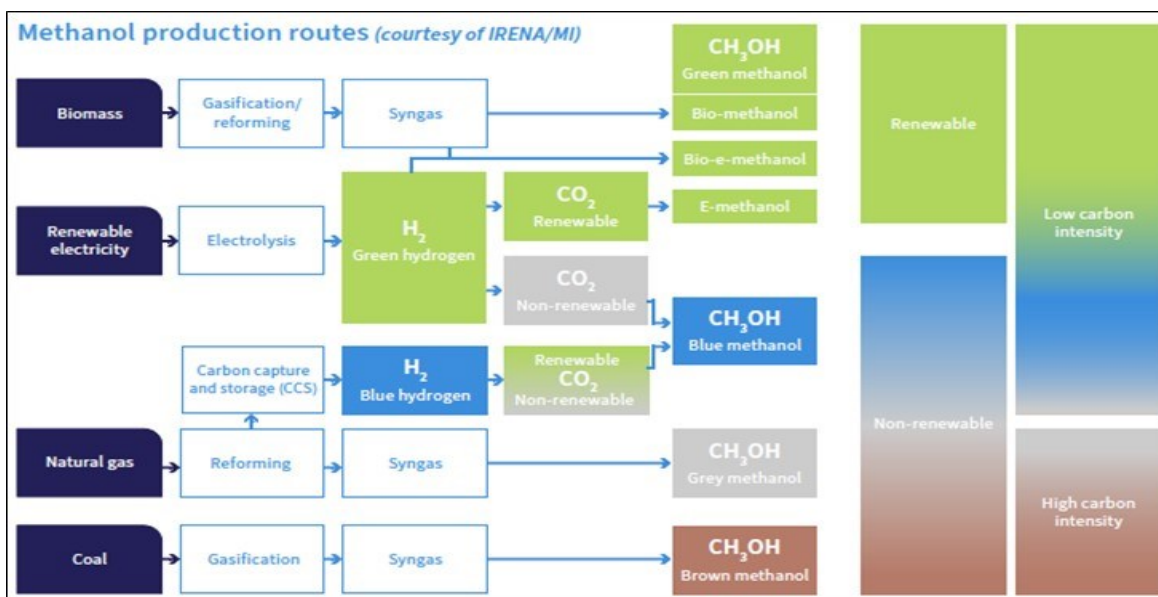
τον ανεφοδιασμό καυσίμου των πλοίων. Είναι πολύ λίγες, ακόμα, βέβαια αλλά αναμένεται να αυξηθούν καθώς θα αυξάνεται και η χρήση μεθανόλης.



Εικόνα 2-1: Σημεία εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινης μεθανόλης σε λιμένες. Πηγή Methanol Institute: <https://www.methanol.org/marine>

2.2.2 Παραγωγή πράσινης μεθανόλης

Αυτή τη στιγμή η μεθανόλη σε βιομηχανική κλίμακα παράγεται κυρίως με την ατμοαναμόρφωση φυσικού αερίου προς αέριο σύνθεσης και τη μετατροπή του σε μεθανόλη. Η παραγωγή μεθανόλης όλων των τύπων ξεπερνά τα 110 εκατομμύρια τόνους το χρόνο. Οι μεγαλύτεροι καταναλωτές είναι η βιομηχανία χημικών και πετρελαϊκών ειδών και η παραγωγή καταναλωτικών προϊόντων. Με την εισαγωγή και άλλων τομέων όπως αυτός των μεταφορών η ζήτηση θα αυξηθεί και η παραγωγή της θα πρέπει να αυξηθεί αντίστοιχα για να καλύψει τη διευρυμένη ανάγκη. Στο σχήμα 2-4 φαίνονται σχηματικά οι μέθοδοι παραγωγής διαφόρων τύπων μεθανόλης. [22]



Σχήμα 2-4: Μέθοδοι παραγωγής διάφορων τύπων μεθανόλης. [22]

Όπως αναφέραμε, θα επικεντρωθούμε στην παραγωγή πράσινης μεθανόλης. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν περισσότερα από 80 προγράμματα παραγωγής πράσινης μεθανόλης από τα οποία αναμένεται και η αύξηση της παραγωγής σε 8 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2027. Στο σχήμα 2-5 βλέπουμε αυτά τα προγράμματα ανά κράτος με πρώτη δύναμη την Κίνα που ακολουθείται από τη Δανία, τη Γερμανία, τις ΗΠΑ και άλλες χώρες με πολύ λιγότερα προγράμματα. Στο Παράρτημα Γ υπάρχει πίνακας με στοιχεία γι' αυτά τα προγράμματα σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν καταχωρηθεί στο Ινστιτούτο Μεθανόλης (<https://www.methanol.org/renewable>). [22]



Σχήμα 2-5: Προγράμματα παραγωγής πράσινης μεθανόλης ανά κράτος. [22]

Η παραγωγή της βιομεθανόλης γίνεται με χρήση βιομάζας ως πρώτη ύλη, όπως απόβλητα και υποπροϊόντα του τομέα της γεωργίας, της βιομηχανίας χαρτοποιίας, το βιοαέριο των ΧΥΤΑ, και τα λύματα και στερεά αστικά απόβλητα. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι παραγωγής βιομεθανόλης. Ο ένας είναι η αναμόρφωση του βιοαερίου σε μεθανόλη και ο άλλος η αεριοποίηση της βιομάζας προς παραγωγή μεθανόλης. Ενώ η παραγωγή της ε-μεθανόλης γίνεται με την αντίδραση υδρογόνωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Σε αυτήν τη διεργασία, το υδρογόνο προέρχεται από την ηλεκτρόλυση του νερού με χρήση ρεύματος που προέρχεται αποκλειστικά από ΑΠΕ και το διοξείδιο του άνθρακα από τεχνολογία άμεσης δέσμευσης αέρα (DAC). [22,35]

Μέθοδος παραγωγής βιομεθανόλης με αεριοποίηση βιομάζας

Η διαδικασία μετατροπής της βιομάζας σε μεθανόλη περιλαμβάνει την προεπεξεργασία της βιομάζας, την παραγωγή βιοαερίου μέσω αεριοποίησης και πυρόλυσης, τον καθαρισμό του βιοαερίου, την ατμό-αναμόρφωση του μεθανίου, τη μετατροπή του βιοαερίου μέσω αντίδρασης μετατόπισης για τη βελτίωση της αναλογίας υδρογόνου – μονοξειδίου του άνθρακα, τον καθαρισμό του αερίου σύνθεσης, τη σύνθεση μεθανόλης και τα στάδια διαχωρισμού της. [36]

Αρχικά η βιομάζα τεμαχίζεται και ξεραίνεται σε μία μονάδα ξήρανσης με αέρα. Η βιομάζα πρέπει να περιέχει υγρασία κάτω από 10 με 15%. Τα τεμαχίδια της βιομάζας έχουν μέγεθος από 20 έως 80 mm πριν την πυρόλυση και την αεριοποίηση. Με τη μείωση του μεγέθους των τεμαχιδίων της βιομάζας αυξάνεται ο αριθμός των αντιδράσεων και μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος για την επεξεργασία της βιομάζας. Όταν η αεριοποίηση χρησιμοποιείται για την παραγωγή αερίου σύνθεσης, η άμεση αεριοποίηση με αέρα οδηγεί σε διάλυση του αζώτου το οποίο οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις όσον αφορά το μέγεθος του αντιδραστήρα. Οπότε βελτιστοποιείται το κόστος των μονάδων παραγωγής αερίου σύνθεσης από βιομάζα. Σε γενικές γραμμές το παραγόμενο βιοαέριο περιέχει πίσσα, σκόνη και αλκαλικά σύμπλοκα τα οποία μπορούν να δηλητηριάσουν τον καταλύτη. Επομένως θα πρέπει το βιοαέριο να επεξεργαστεί προκειμένου να καθαριστεί από ανεπιθύμητες ουσίες. Για τον καθαρισμό του χρησιμοποιείται κάποια τεχνολογία όπως η συμύκνωση, η διήθηση, η ηλεκτροστατική καθίζηση, η έκπλυση με νερό, ο φυγοκεντρικός διαχωρισμός, η απορρόφηση και η προσρόφηση. [36]

Επειδή το βιοαέριο περιέχει μεθάνιο και άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες, το ρεύμα της τροφοδοσίας αναμιγνύεται με ατμό στην επιθυμητή αναλογία προς τροφοδοσία στον αναμορφωτή. Ο αναμορφωτής είναι ένας αντιδραστήρας που λειτουργεί σε υψηλή θερμοκρασία και διαθέτει σωλήνες σε σπείρες που είναι γεμισμένοι με τον καταλύτη. Η τροφοδοσία περνάει πάνω από τα τεμαχίδια του καταλύτη. Κατά την ατμό-αναμόρφωση οι υδρογονάνθρακες μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο με καταλύτη νικελίου και θερμοκρασία διεργασίας από 700 έως 1.100°C. Η αντίδραση ατμο-αναμόρφωσης του μεθανίου είναι λιγότερο κοστοβόρα συγκριτικά με άλλες μεθόδους λόγω της υψηλής αποδοτικότητας και της παραγωγής ρεύματος αερίου πλούσιο σε υδρογόνο. Η βασική πρόκληση σε αυτή τη διεργασία είναι η απενεργοποίηση και δηλητηρίαση του καταλύτη λόγω εναπόθεσης κωκ. [36]

Η απαιτούμενη θερμότητα για την ενδόθερμη αντίδραση της ατμό-αναμόρφωσης θα μπορούσε να παρέχεται από τη μερική οξείδωση του μεθανίου. Τα προϊόντα στην έξοδο του αντιδραστήρα περιέχουν υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς και μεθάνιο και ατμό που δεν αντέδρασαν προς σύνθεση μεθανόλης. Η βέλτιστη αναλογία υδρογόνου προς μονοξείδιου του άνθρακα είναι από 2 έως 2,5. Οι διαδικασίες αεριοποίησης και πυρόλυσης της βιομάζας οδηγούν σε αέριο με πολύ χαμηλή αναλογία υδρογόνου – μονοξειδίου του άνθρακα και χαμηλή συγκέντρωση υδρογόνου. Προκειμένου να ελεγχθεί η αναλογία υδρογόνου – μονοξειδίου του άνθρακα και να επιτευχθούν οι απαιτούμενες τιμές για την παραγωγή μεθανόλης, η έξοδος του αντιδραστήρα τροφοδοτεί τον μετατροπέα της αντίδρασης μετατόπισης. Στον μετατροπέα το μονοξείδιο του άνθρακα και ο ατμός αντιδρούν πάνω στον καταλύτη προς παραγωγή υδρογόνου. [36]

Στη βιομηχανία, χρησιμοποιούνται καταλύτες οξειδίων σιδήρου – χρωμίου για τους αντιδραστήρες μετατροπής με υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας. Για τους αντιδραστήρες μετατροπής με χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας χρησιμοποιούνται καταλύτες οξειδίων χαλκού – ψευδαργύρου. [36]

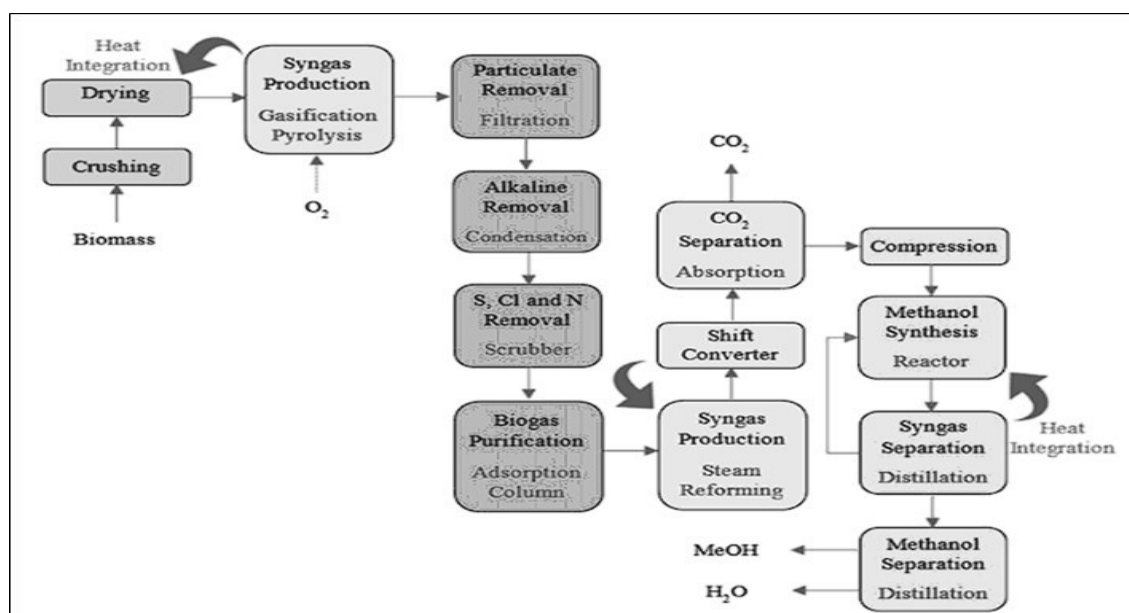
Η αντίδραση μετατόπισης είναι εξώθερμη και η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας είναι η βέλτιστη συνθήκη για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις. Η ενσωμάτωση της διαδικασίας αυτής στην παραγωγή μεθανόλης εξαρτάται από την ποιότητα του παραγόμενου βιοαερίου στο προηγούμενο στάδιο. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης από τους μετατροπείς περιέχει ένα σημαντικό ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα. Οι χημικές εξισώσεις που περιγράφουν τις αντιδράσεις της διαδικασίας είναι οι ακόλουθες: [36]



Τέλος, το αέριο σύνθεσης που προέρχεται από τη βιομάζα μετατρέπεται σε μεθανόλη και ατμό, σε μία καταλυτική κλίνη με καταλύτη οξειδίων χαλκού – ψευδαργύρου σε στήριξη αλουμίνας. Οι αντιδράσεις που περιγράφουν τη διαδικασία αυτή είναι οι ακόλουθες: [36]



Οι αντιδράσεις σύνθεσης της μεθανόλης είναι εξώθερμες. Η μετατροπή του αερίου σύνθεσης σε μεθανόλη σε ένα πέρασμα μέσω του αντιδραστήρα είναι πάρα πολύ χαμηλή. Για να ρυθμιστεί αυτό, εφαρμόζεται υψηλή πίεση και χαμηλή θερμοκρασία στο σύστημα. Τέλος το προϊόν από τον αντιδραστήρα παραγωγής μεθανόλης τροφοδοτείται σε έναν διαχωριστήρα για να εξαχθεί η καθαρή μεθανόλη. Σε αυτό το στάδιο το αέριο σύνθεσης που δεν αντέδρασε διαχωρίζεται και ανακυκλώνεται ξανά στην τροφοδοσία του αντιδραστήρα μεθανόλης. Για να αποφευχθεί η παρουσία αδρανών αερίων στο σύστημα, τμήμα του ανακυκλούμενου αυτού ρεύματος απορρίπτεται. Στο σχήμα 2-6 μπορούμε να δούμε μια απεικόνιση της διεργασίας που περιγράψαμε.



Σχήμα 2-6: Σχηματική απεικόνιση της μετατροπής βιομάζας σε βιομεθανόλη. [36]

Μέθοδος παραγωγής βιομεθανόλης με αναμόρφωση βιοαερίου

Η παραγωγή βιομεθανόλης από βιοαέριο είναι μια άριστη εναλλακτική, φιλική προς το περιβάλλον στην αντίδραση ατμοαναμόρφωσης του μεθανίου που προέρχεται από φυσικό αέριο και άρα από ορυκτή πρώτη ύλη. Σε αυτήν την περίπτωση το βιοαέριο παρέχει την αναγκαία ποσότητα μεθανίου για την παραγωγή μεθανόλης. Το βιοαέριο είναι ένα μίγμα μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και μικρών ποσοτήτων άλλων αερίων. Τυπικά αποτελείται από περίπου 55% – 70% κατ' όγκο μεθάνιο και 30% – 45% κατ' όγκο διοξείδιο του άνθρακα. Προκύπτει από την αναερόβια χώνευση οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου. Όπως είδαμε παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και βιομάζα για την παραγωγή βιοαερίου για την αντίδραση της αναμόρφωσης προς παραγωγή μεθανόλης. [35,36]

Η γενική διαδικασία αναμόρφωσης του βιοαερίου προς σύνθεση μεθανόλης αναπαρίσταται από τη διπλή αναμόρφωση ή την τριπλή αναμόρφωση του βιοαερίου. Η διπλή αναμόρφωση είναι ο συνδυασμός της ατμο-αναμόρφωσης του μεθανίου και της αντίδρασης της ξηρής αναμόρφωσης του μεθανίου. Η αναμόρφωση πραγματοποιείται με το διοξείδιο του άνθρακα που εκ φύσεως υπάρχει στο βιοαέριο σύμφωνα με τις εξισώσεις (1), (3) (7): [35]

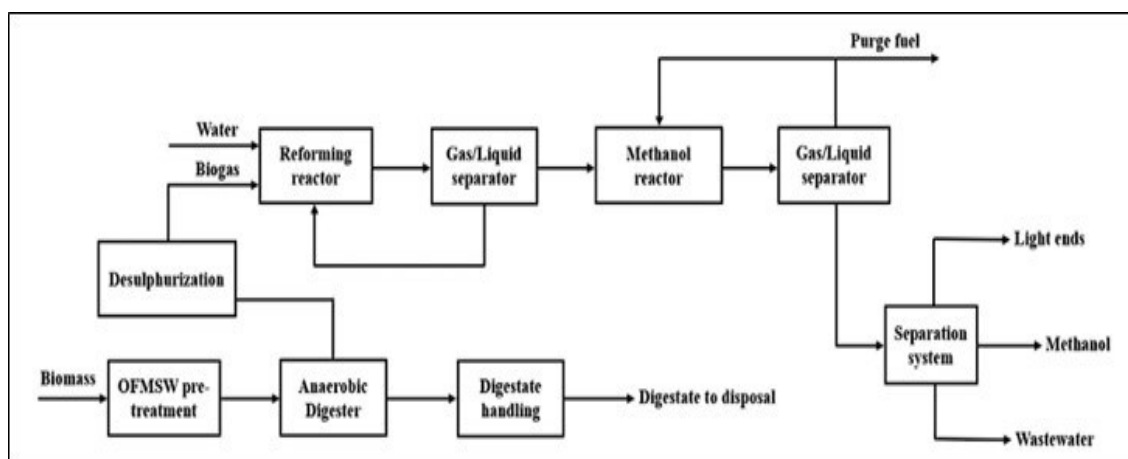


Η τριπλή αναμόρφωση απαιτεί την παρουσία και οξυγόνου στο περιβάλλον της αντίδρασης. Με αυτόν τον τρόπο συμβαίνει παράλληλα και η μερική οξείδωση του μεθανίου σύμφωνα με την εξίσωση (8): [35]



Όταν το βιοαέριο προέρχεται από την αναερόβια χώνευση οργανικής ύλης κρίνεται απαραίτητη η αποθείωσή του για να απομακρυνθούν οι θειούχες ενώσεις που παράγονται κατά τη διαδικασία της χώνευσης από τους αποικοδομητές. Αν δεν γίνει αποθείωση υπάρχει κίνδυνος δηλητηρίασης και απενεργοποίησης των καταλυτών της διεργασίας αναμόρφωσης. Η αποθείωση συνήθως γίνεται μέσω προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα. Το καθαρό βιοαέριο συνδυάζεται με ατμό για να τροφοδοτήσει τον αντιδραστήρα αναμόρφωσης σε μία αναλογία περίπου 1,28 mol ατμού ανά mol άνθρακα. Το παραγόμενο

αέριο σύνθεσης από την ατμο-αναμόρφωση του βιοαερίου, αφού συμπιεστεί στα 5 bar, διαχωρίζεται από την υγρή φάση η οποία ανακυκλώνεται στην τροφοδοσία του αντιδραστήρα. Το αέριο σύνθεσης συμπιέζεται περαιτέρω στην πίεση λειτουργίας του αντιδραστήρα παραγωγής μεθανόλης, στα 75 bar. Στη συνέχεια τροφοδοτείται στον τομέα σύνθεσης μεθανόλης του αντιδραστήρα και τέλος η μεθανόλη που παράγεται περνάει σε μονάδα απόσταξης για να προκύψει η καθαρή μεθανόλη ως τελικό προϊόν. Στο σχήμα 2-7 μπορούμε να δούμε μια απεικόνιση της διεργασίας που περιγράψαμε. [35]



Σχήμα 2-7: Σχηματική απεικόνιση της μετατροπής βιοαερίου σε βιομεθανόλη. [35]

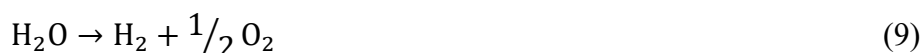
Μέθοδος παραγωγής e-μεθανόλης

Η e-μεθανόλη παράγεται από την υδρογόνωση του διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα δεσμεύεται από τον αέρα μέσω της τεχνολογίας DAC, ενώ το υδρογόνο παράγεται από την ηλεκτρόλυση του νερού. Σημειώνεται ότι για να θεωρηθεί η παραγωγή αυτή της μεθανόλης ως e-μεθανόλη, τμήμα της πράσινης μεθανόλης, υπάρχει η προϋπόθεση για την παραγωγή του υδρογόνου με αποκλειστική χρήση ρεύματος που παράγεται από ΑΠΕ. [35]

Η τεχνολογία DAC αντιπροσωπεύει μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον, ως πηγή διοξειδίου του άνθρακα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αλλά και για τη χρήση του για παραγωγή καυσίμων. Βέβαια, αυτή η τεχνολογία απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας, πράγμα που καθιστά τη διεργασία αρκετά κοστοβόρα. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες για χρήση στη DAC, με την πιο ευρείας χρήσης να βασίζεται στην απορρόφηση

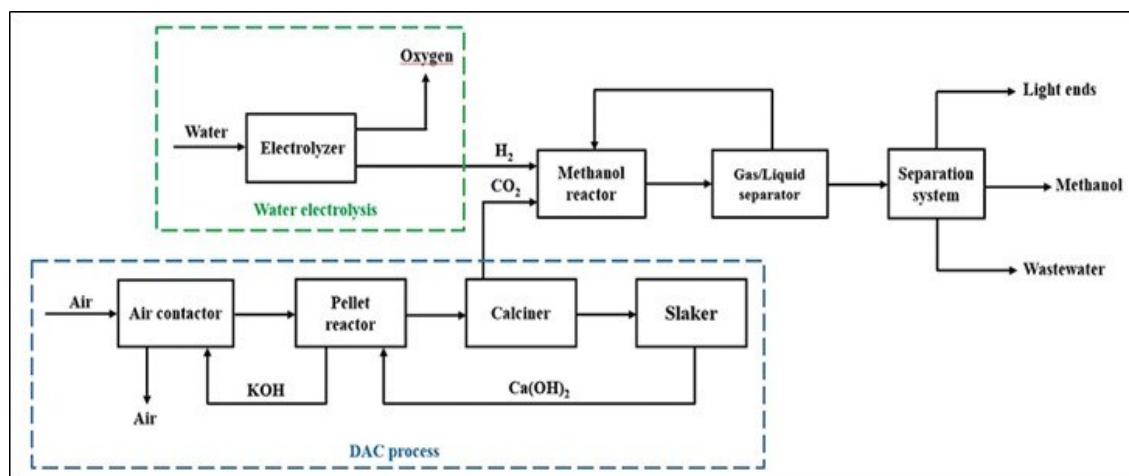
του διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιώντας ένα υδατικό διάλυμα καυστικού καλίου σε συνδυασμό με έναν βρόχο ανάκτησης καυστικού ασβεστίου. [35]

Οι βασική τεχνολογία παραγωγής πράσινου υδρογόνου είναι η ηλεκτρόλυση με χρήση ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Είναι μια ηλεκτροχημική διεργασία που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό του νερού σε αέρια υδρογόνου και οξυγόνου και η γενική αντίδραση που τη διέπει παρουσιάζεται στην εξίσωση (9): [35]



Το νερό, λοιπόν, εισέρχεται στην ηλεκτρολυτική διάταξη και μέσω δύο αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην άνοδο και στην κάθοδο της διάταξης παράγεται υδρογόνο. Η μέθοδος αυτή θα αναλυθεί εκτενώς στην ενότητα 0 της παρούσας εργασίας. [35]

Η εισαγωγή των αντιδρώντων της τροφοδοσίας στον αντιδραστήρα παραγωγής μεθανόλης γίνεται στις συνθήκες που βρίσκεται το καθένα κατά την έξοδό του από τη μονάδα παραγωγής του. Το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται από τη DAC σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας. Το υδρογόνο που παράγεται από την πρώτη τεχνολογία ηλεκτρόλυσης είναι σε συνθήκες θερμοκρασίας 60 – 90 °C και πίεσης 10 – 30 bar. Το υδρογόνο που παράγεται από τη δεύτερη τεχνολογία ηλεκτρόλυσης είναι σε συνθήκες θερμοκρασίας 50 – 80 °C και πίεσης 20 – 50 bar. Βάσει της στοιχειομετρίας της αντίδρασης υδρογόνωσης του διοξειδίου του άνθρακα απαιτείται μια αναλογία υδρογόνου προς διοξείδιο του άνθρακα ίση με 3, η οποία και διατηρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της αντίδρασης παραγωγής μεθανόλης. Στο σχήμα 2-8 μπορούμε να δούμε μια απεικόνιση της διεργασίας που περιγράψαμε. [35]



Σχήμα 2-8: Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής e-μεθανόλης. [35]

2.2.3 Τρόπος εφαρμογής μεθανόλης στο πλοίο

Όπως αναφέραμε, η μεθανόλη είναι ένα εξαιρετικά διαβρωτικό, τοξικό καθώς κι εύφλεκτο υλικό. Αυτό σημαίνει ότι οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμου στο πλοίο αλλά και τα δίκτυα των σωληνώσεων μεταφοράς του θα πρέπει να πληρούν κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές. Αντίστοιχα, συγκεκριμένες προδιαγραφές θα πρέπει να πληρούν και οι σωληνώσεις και τα εξαρτήματα της μηχανής που θα κυκλοφορούν το καύσιμο ως το θάλαμο καύσης, καθώς και κάθε μέρος του κινητήρα που θα έρχεται σε επαφή μαζί του.

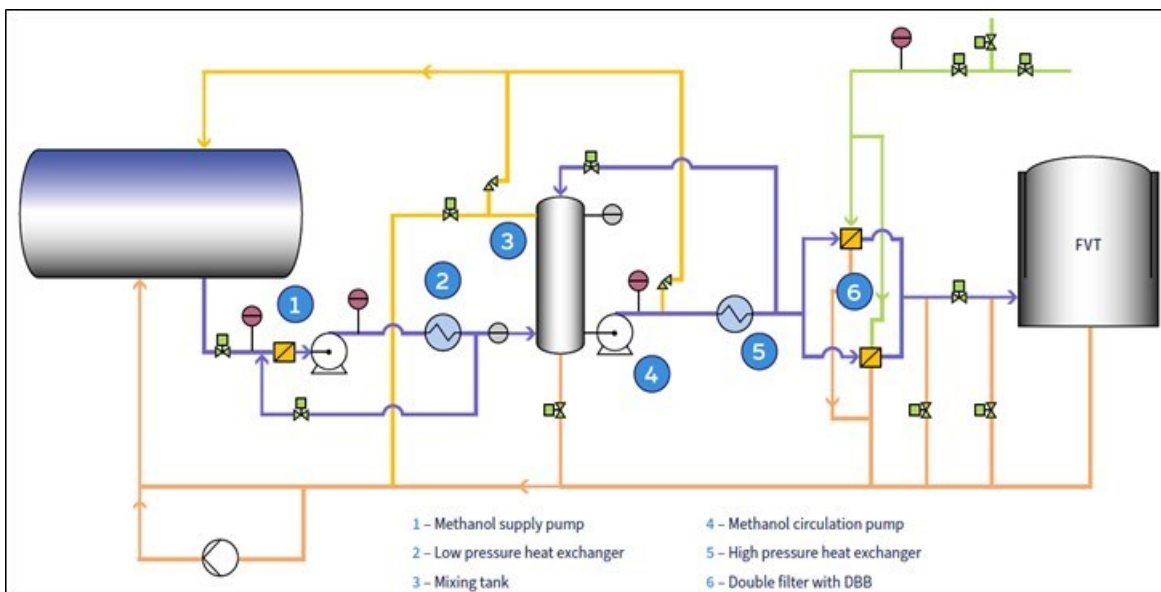
Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα μεταφοράς για τη μεθανόλη

Οι δεξαμενές καυσίμου θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο ατσάλι ή από ανθρακούχο ατσάλι με ειδική επίστρωση, σαν αυτήν που έχουν οι δεξαμενές μεταφοράς της μεθανόλης. Αυτά τα υλικά έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για χρήση στη μεθανόλη και στους ατμούς μεθανόλης που αναπτύσσονται στον κενό χώρο της δεξαμενής πάνω από την επιφάνεια της υγρής μεθανόλης. Οι δεξαμενές θα χρειάζεται να έχουν ένα απομονωτικό διαμέρισμα, ένα διπλό τοίχωμα δηλαδή με κενό ανάμεσα, προβλέποντας τον αερισμό, τον εντοπισμό διαφεύγοντος αερίου και ασφαλή πρόσβαση στη δεξαμενή. Σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι η ενεργειακή πυκνότητα της μεθανόλης σε MJ/L είναι σχεδόν η μισή σε σύγκριση με το HFO, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη δεξαμενή καυσίμου και συγκεκριμένα αυξημένη κατά 133% σε σύγκριση με το HFO. Επιπλέον απαιτείται η εγκατάσταση δεξαμενής υπερχειλίσσης. Στο πλοίο επίσης κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος κάποιου αδρανούς αερίου. Η χρήση μεθανόλης ως καύσιμο στο πλοίο απαιτεί ως επιπλέον εγκατάσταση τα εξής: [22,37]

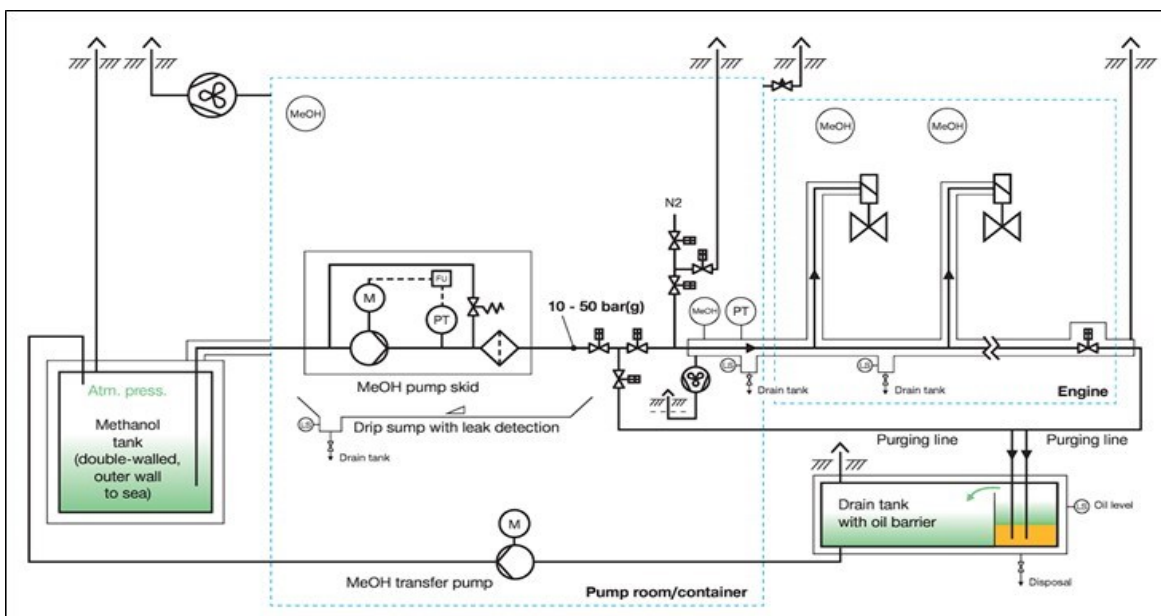
- Fuel Valve Train: Η διάταξη αυτή βρίσκεται πριν την αντλία καυσίμου στην είσοδο της μηχανής κι ελέγχει την παροχή της μεθανόλης. Χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση της μεθανόλης από τα δίκτυα με κάποιο αδρανές αέριο.
- Αντλία υψηλής πίεσης μεθανόλης: Είναι πιθανή αναγκαιότητα η χρήση αντλίας που να μπορεί να συμπιέσει τη μεθανόλη σε έως και 300 bar για χρήση στον κινητήρα.
- Γεννήτρια αδρανούς αερίου: Η διάταξη αυτή θα παρέχει στο πλοίο άζωτο ή κάποιο άλλο αδρανές αέριο για την απομάκρυνση της μεθανόλης από τα δίκτυα και τις σωληνώσεις για προστασία από διαρροές.

- Σωληνώσεις με διπλό τοίχωμα: Η ύπαρξη διπλού τοιχώματος στις σωληνώσεις που μεταφέρουν τη μεθανόλη και ιδιαίτερα όπου βρίσκεται σε υψηλή πίεση μέσα στο μηχανοστάσιο κρίνεται απαραίτητη για λόγους ασφάλειας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια δικλείδα ασφάλειας στην περίπτωση διαφυγής της. Σε περίπτωση διαφυγής δε θα απελευθερωθεί στον περιβάλλοντα χώρο αλλά θα παραμείνει στο κενό μεταξύ των δύο τοιχωμάτων των σωληνώσεων.
- Μηχανικός αερισμός των σωληνώσεων: Με αυτόν τον τρόπο εάν υπάρξει κάποια διαφυγή στο κενό μεταξύ των τοιχωμάτων θα κατευθυνθεί προς κάποιον αισθητήρα ανίχνευσης για εντοπισμό και επιπλέον θα είναι δυνατή η απομάκρυνσή της.
- Σύστημα παρακολούθησης, αισθητήρων ανίχνευσης και προειδοποιητικών σημάτων για την κυκλοφορία της μεθανόλης.
- Αντλία υψηλής πίεσης λαδιού για την ασφαλή σφράγιση βαλβίδων κι ενώσεων από όπου περνάει μεθανόλη υπό πίεση.

Στο σχήμα 2-9 φαίνεται μια τυπική διάταξη διαχείρισης της μεθανόλης για χρήση ως καύσιμο στο πλοίο. Παρατηρούμε τη διαδρομή που ακολουθεί το καύσιμο από τη δεξαμενή ως τη fuel valve train. Στο σχήμα 2-10 μπορούμε να δούμε το ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα της εγκατάστασης από τη δεξαμενή αποθήκευσης του καυσίμου ως τη μηχανή. Παρατηρούμε τους σωλήνες με τα διπλά τοιχώματα και το διπλό τοίχωμα των δεξαμενών. Είναι ευδιάκριτο ότι δεξαμενές και αντλιοστάσιο είναι σε διαφορετικό χώρο από αυτόν του μηχανοστασίου και ότι κάθε ξεχωριστή διάταξη είναι περικλειστη. Επιπλέον φαίνεται το σύστημα αδρανούς αερίου και το σύστημα μηχανικού αερισμού. Στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι σε κανένα από τα δύο σχήματα δε φαίνεται ο τρόπος και η συνδεσμολογία για την πλήρωση της δεξαμενής καυσίμου. Σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο του IMO για τη μεθανόλη, η συνδεσμολογία δεν μπορεί να είναι μόνιμη και πρέπει να γίνεται με αποσπώμενη βάνα. [22,38,39]



Σχήμα 2-9: Διάταξη διαχείρισης μεθανόλης. [22]

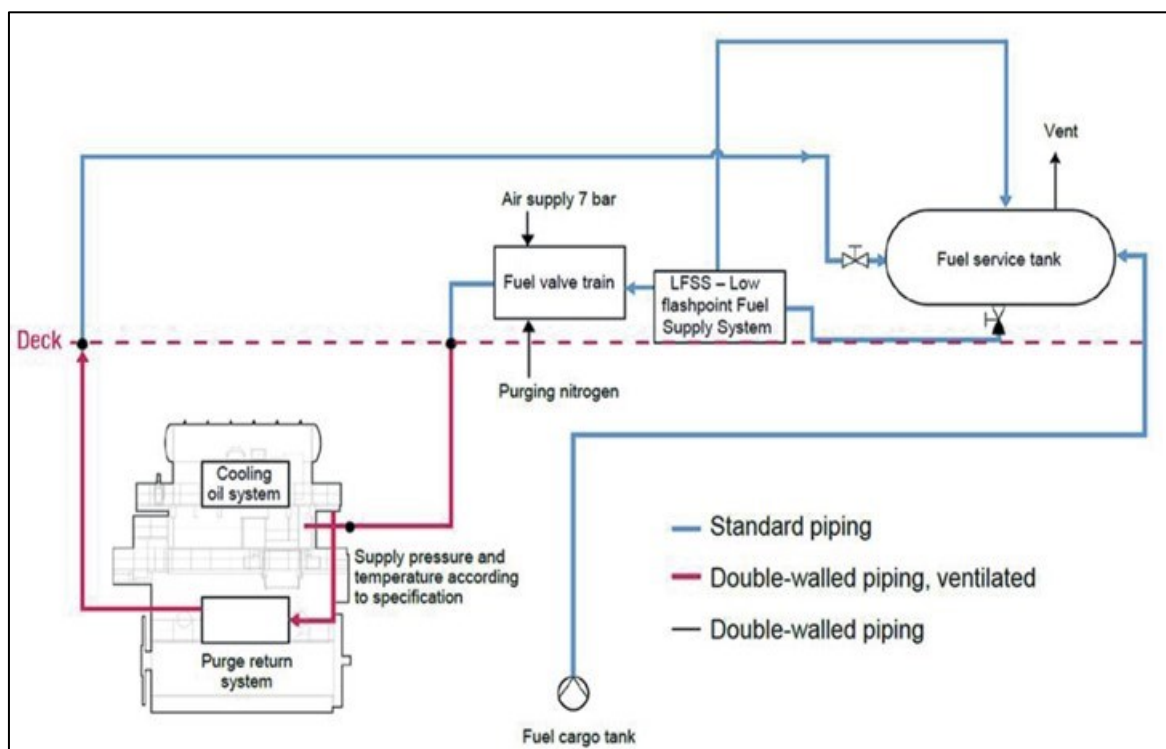


Σχήμα 2-10: Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα εγκατάστασης μεθανόλης στο πλοίο. [39]

Ο IMO έχει ενσωματώσει κανονιστικό πλαίσιο για τα πλοία που λειτουργούν με /αιθυλική αλκοόλη, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια του πλοίου (MSC.1/Circ.1621). Κατά συνέπεια αυτού, οι νηογνώμονες ακολουθούν συγκεκριμένες διατάξεις προκειμένου να πιστοποιηθεί η καταλληλότητα του πλοίου για χρήση σε μεθανόλη/αιθανόλη. Όπως για παράδειγμα το πλαίσιο που έχει δημοσιοποιήσει ο νηογνώμονας Bureau Veritas (BV) (https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/670-NR_2022-08.pdf). Οι διατάξεις αυτές αφορούν το σχεδιασμό του πλοίου, τις εγκαταστάσεις

καυσίμου και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις αυτών, τα δίκτυα μεταφοράς του και τις μηχανές με τις βοηθητικές εγκαταστάσεις αυτών. Επίσης καλύπτουν τον έλεγχο και την εποπτεία λειτουργίας του εξοπλισμού αυτού και των απαραίτητων συστημάτων, ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον. Η κατηγοριοποίηση των επικίνδυνων περιοχών είναι αρκετά παρόμοια με την εγκατάσταση του LNG. [38]

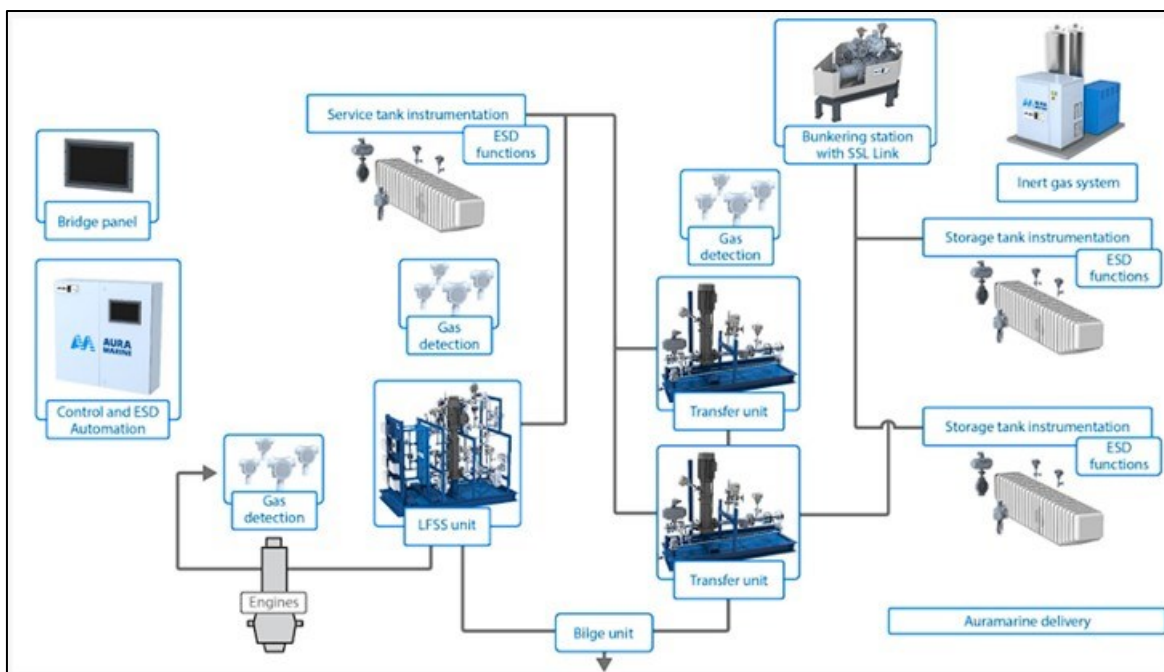
Όπως ακριβώς με τα LPG και LNG, στην περίπτωση δεξαμενόπλοιου μεταφοράς μεθανόλης, τότε μπορεί και το φορτίο να χρησιμοποιηθεί στην καύση στο πλοίο. Είναι μια πρακτική που ακολουθείται και κύριο στόχο έχει το φορτίο που ούτως ή άλλως «χάνεται» μέσω της εξάτμισης εντός της δεξαμενής. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν απαιτούνται ειδικές συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας για να παραμείνει το καύσιμο σε υγρή μορφή ενώ παράλληλα είναι μια πτητική οργανική ένωση. Σε αυτήν την περίπτωση θα έχουμε μια εγκατάσταση όπως είναι αυτή του σχήματος 2-11. Εξ' αιτίας αυτού αναμένεται οι νέες ναυπηγήσεις δεξαμενόπλοιων μεταφοράς μεθανόλης να είναι σε χρήση μεθανόλης και όχι κάποιου άλλου εναλλακτικού καυσίμου. Επίσης αναμένεται να είναι ο τύπος πλοίου όπου θα γίνουν πιο γρήγορα οι μετατροπές στα παλαιότερα πλοία προς χρήση μεθανόλης, ενώ δε φαίνεται να γίνουν μετατροπές προς άλλα εναλλακτικά καύσιμα. [40]



Σχήμα 2-11: Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης μεθανόλης σε δεξαμενόπλοιο μεταφοράς μεθανόλης. [40]

Σε κάθε περίπτωση η μεθανόλη βρίσκεται στη δεξαμενή σε συνθήκες παρόμοιες με τις κανονικές. Μέχρι να φτάσει στη fuel valve train και στη μηχανή θα περάσει από στάδιο συμπίεσης. Ενδεχομένως και από θέρμανση μιας κι έρευνες έχουν δείξει ότι η αστάθεια που παρουσιάζει η καύση της μεθανόλης σε υψηλή αναλογία καυσίμου ειδικά σε χαμηλό φορτίο της μηχανής μειώνεται σημαντικά με τη θέρμανση που ενισχύει την εξάτμισή της. [41]

Καθ' όλη την πορεία μεταφοράς της μεθανόλης μέσα στο πλοίο και ανάμεσα από τις διατάξεις από τις οποίες περνά κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος ανίχνευσης για ενδεχόμενη διαφυγή, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-12. Ανάλογοι αισθητήρες ανίχνευσης θα χρειάζεται να εγκατασταθούν κι επί της μηχανής, ενδεχομένως και σε κάθε έναν κύλινδρο ή μεταξύ αυτών. Επίσης αισθητήρες ανίχνευσης χρειάζονται και στην έξοδο του συστήματος μηχανικού αερισμού.



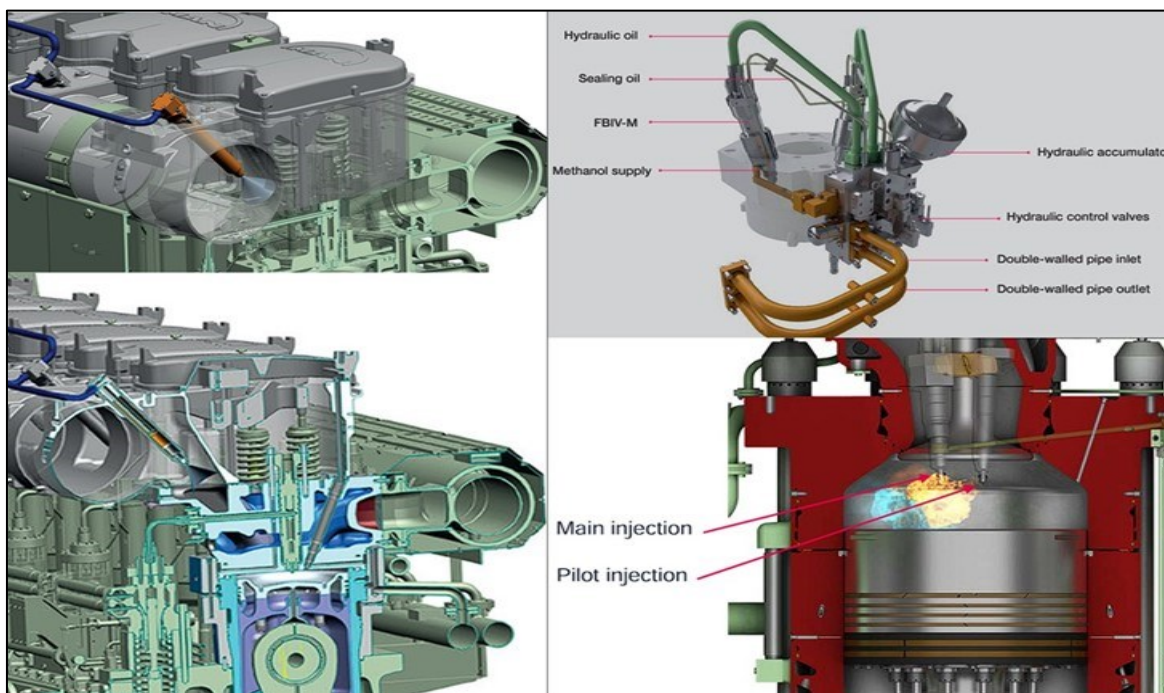
Σχήμα 2-12: Σύστημα παροχής μεθανόλης επί του πλοίου. Πηγή:
<https://www.auramarine.com/solutions-for-methanol-operation>

Καύση μεθανόλης στον κινητήρα

Η καύση της μεθανόλης σε έναν κινητήρα στηρίζεται στην τεχνολογία μηχανών διπλού καυσίμου. Η τεχνολογία αυτή έχει αναπτυχθεί εδώ και αρκετά χρόνια και είναι σε ευρεία χρήση από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 με βασικά καύσιμα τα LNG και LPG. Υπάρχουν, βέβαια, ορισμένες τροποποιήσεις σε σύγκριση με εκείνες τις μηχανές. Οι

διαφοροποιήσεις αυτές έγκεινται στις ιδιότητες της μεθανόλης και κυρίως στη διαβρωτική της φύση. Λόγω του ότι η μεθανόλη δεν έχει την ιδιότητα της αυτανάφλεξης με τη συμπίεση όπως συμβαίνει με το MDO και το HFO, σε έναν κινητήρα στον κύκλο diesel. Οπότε είναι απαραίτητη η χρήση μιας πολύ μικρής ποσότητας πετρελαίου ως καυσίμου-οδηγού για να πραγματοποιηθεί η αυτανάφλεξη. Η MAN Energy Solutions εξετάζει το ενδεχόμενο ανάπτυξης κινητήρα στον κύκλο otto, με σπινθηριστή που δε θα χρειάζεται καύσιμο οδηγό. Οι ήδη ανεπτυγμένες μηχανές στον κύκλο otto που λειτουργούν επιτυχώς και με μεθανόλη, ακόμη χρειάζονται καύσιμο οδηγό. [22]

Η μεθανόλη μπορεί είτε να αναμειχθεί με τον αέρα πριν την είσοδό του στο θάλαμο καύσης είτε να ψεκαστεί απευθείας στο θάλαμο καύσης όπως και το καύσιμο οδηγός. Στην περίπτωση της ανάμιξης του αέρα με τη μεθανόλη πριν την είσοδό του στον θάλαμο καύσης η μεθανόλη δε χρειάζεται να βρίσκεται σε υψηλή πίεση (περίπου 10 bar). Στην περίπτωση του ψεκασμού της μεθανόλης στο θάλαμο καύσης τότε η μεθανόλη πρέπει να βρίσκεται σε υψηλή πίεση (περίπου στα 500 bar) διότι ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται στο χρόνο της συμπίεσης όπου η πίεση στο θάλαμο καύσης είναι υψηλή. Στη μηχανή υπάρχουν δύο ανεξάρτητα δίκτυα καυσίμου αυτό του καυσίμου οδηγού και αυτό της μεθανόλης. Το δίκτυο της μεθανόλης είναι κατασκευασμένο από σωλήνες διπλού τοιχώματος, με ηλεκτρονικά και υδραυλικά συστήματα να ελέγχουν την παροχή της και λάδι υψηλής πίεσης να σφραγίζει κάθε βαλβίδα και κάθε ένωση προς αποφυγή διαρροών. Η μεθανόλη φτάνει στη μηχανή μετά την συμπίεσή της από αντλία περίπου στα 10 bar. Στην περίπτωση ανάμιξής της με τον αέρα πριν την είσοδό του στο θάλαμο καύσης γίνεται η έγχυσή της με μία βαλβίδα στην εισαγωγή του αέρα στην κεφαλή της μηχανής όπως φαίνεται στην αριστερή πλευρά της εικόνας 2-2. Στην περίπτωση του ψεκασμού της στο θάλαμο καύσης τότε υπάρχει ψεκαστήρας καυσίμου μεθανόλης πάνω στην κεφαλή της μηχανής ακριβώς δίπλα στον ψεκαστήρα καυσίμου οδηγού όπως φαίνεται στη δεξιά πλευρά της εικόνας 2-2. Αυτός ο ψεκαστήρας θα ψεκάσει και τη μεθανόλη με πίεση στα 500 bar. Στη δεξιά πλευρά της εικόνας 2-2 μπορούμε να δούμε και τον hydraulic accumulator, ένα υδραυλικό σύστημα που ελέγχει τη ροή της μεθανόλης αλλά και το δίκτυο του λαδιού υψηλής πίεσης που χρησιμοποιείται ως σφραγιστικό μέσο. [37,39,40,41,42]

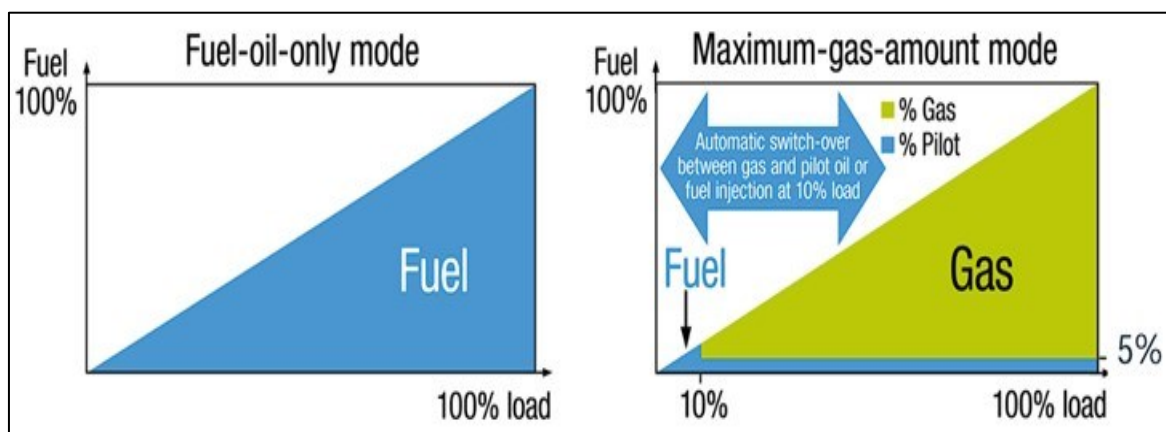


Εικόνα 2-2: Είσοδος της μεθανόλης στο θάλαμο καύσης. Αριστερά σε ανάμιξη με τον αέρα και δεξιά με απ' ευθείας ψεκασμό. [39,42]

Στην περίπτωση της ανάμιξης της μεθανόλης με τον αέρα πριν την είσοδο στο θάλαμο καύσης, τότε το μίγμα εισέρχεται στο θάλαμο κατά το χρόνο της εισαγωγής ενώ το έμβολο κινείται προς το κάτω νεκρό σημείο. Στην περίπτωση του ψεκασμού της απ' ευθείας στο θάλαμο καύσης τότε εισέρχεται στο θάλαμο μετά την εισαγωγή του αέρα και ενώ το έμβολο ανεβαίνει στο χρόνο της συμπίεσης. Όταν το έμβολο φτάσει στο άνω νεκρό σημείο και ολοκληρωθεί ο χρόνος της συμπίεσης τότε μια μικρή ποσότητα του καυσίμου οδηγού ψεκάζεται στο θάλαμο καύσης, το οποίο λόγω της συμπίεσης αυταναφλέγεται και οδηγεί στην καύση της μεθανόλης με το έμβολο να κινείται προς το κάτω νεκρό σημείο κατά το χρόνο της εκτόνωσης. Οι επιστροφές της μεθανόλης που δεν έγινε η εισαγωγή της στο θάλαμο καύσης επιστρέφονται σε δεξαμενή αποστράγγισης που επιστρέφει τη μεθανόλη στη δεξαμενή καυσίμου όπως φαίνεται στο σχήμα 2-10. [37,39,40,41,42]

Οι μηχανές διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν μια πολύ μικρή ποσότητα καυσίμου οδηγού η οποία ανέρχεται στο 5% του συνολικού καυσίμου που καταναλώνεται όταν η μηχανή λειτουργεί σε φορτίο άνω του 10% του ονομαστικού. Δυστυχώς σε φόρτιση της μηχανής χαμηλότερη του 10% του ονομαστικού φορτίου η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει με το εναλλακτικό καύσιμο και πρέπει να γίνει η εναλλαγή στον οδηγό ως κύριο για όσο διατηρείται σε τόσο χαμηλή φόρτιση. Επίσης μπορούν να λειτουργήσουν κανονικά σε

φορτίο με το καύσιμο οδηγό ως κύριο καύσιμο. Αυτό τους δίνει το πλεονέκτημα ότι αν συμβεί οποιαδήποτε βλάβη ή αστοχία στο σύστημα της μεθανόλης μπορεί να γίνει εναλλαγή καυσίμου και να μην υποστεί το πλοίο ολική απώλεια ισχύος. Επιπλέον μπορεί να λειτουργήσει με το καύσιμο οδηγό για κύριο καύσιμο μέχρι να μπορέσει να αποκατασταθεί η βλάβη, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-13. [42]

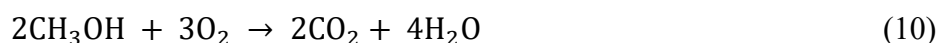


Σχήμα 2-13: Χρήση καυσίμων σε μηχανή διπλού καυσίμου ανάλογα το φορτίο [42]

Η μεθανόλη έχει χαμηλό ιξώδες και πολύ λίγες ξένες προσμίξεις. Αυτό οδηγεί στη διατήρηση του ελαίου λίπανσης του κινητήρα καθαρότερου σε σύγκριση με τα πετρελαϊκά καύσιμα. Οπότε έχουμε καλύτερη λίπανση των μερών του κινητήρα. Η χρήση όμως της μεθανόλης ως καύσιμο οδηγεί σε γρηγορότερη φθορά των μερών του κινητήρα σε σύγκριση με τα πετρελαϊκά καύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται συχνότερα συντήρηση, κάτι που αυξάνει το κόστος λειτουργίας. Η Wärtsilä σημειώνει ότι η ενεργειακή απόδοση της μηχανής που λειτουργεί με μεθανόλη είναι ίδια με αυτή που έχει η μηχανή όταν λειτουργεί με πετρελαϊκό καύσιμο και η απόδοση είναι 1% με 2% καλύτερη στη μεθανόλη. Επίσης αναφέρει μια ελάχιστα μεγαλύτερη κατανάλωση λιπαντελαίου η οποία μπορεί να θεωρηθεί και αμελητέα. [40]

2.2.4 Εκπομπές ρύπων από τη χρήση μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι οργανική ένωση. Οπότε η καύση της θα απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, σύμφωνα με την αντίδραση της καύσης της, εξίσωση (10):



Συγκριτικά με τα πετρελαϊκά καύσιμα HFO, MDO και MGO η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται από την καύση της μεθανόλης είναι μειωμένη. Αυτό συμβαίνει διότι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση είναι ανάλογη της ποσότητας του άνθρακα που περιέχεται στο καύσιμο ανά MJ. Ο IMO υπολογίζει πως απελευθερώνονται περίπου 69g διοξειδίου του άνθρακα για κάθε 1MJ καύσης μεθανόλης στον κινητήρα. Σε σύγκριση με το HFO έχουμε μια μείωση γύρω στο 5% από την καύση. Εξετάζοντας όμως ολόκληρο τον κύκλο ζωής της μεθανόλης αυτό το ποσοστό μπορεί να ανέβει σημαντικά και ειδικά στην περίπτωση της e-μεθανόλης όπου δεσμεύεται διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα για την παραγωγή της. Οπότε στο τέλος μπορούμε να μιλήσουμε για ένα πολύ ευρύ φάσμα που κυμαίνεται από 15% έως και 80% μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. [22,37,40]

Επειδή όπως αναφέραμε παραπάνω η περιεκτικότητα της μεθανόλης σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή μιλάμε για μείωση σχεδόν κατά 100% στους ρύπους του θείου. Συγκεκριμένα ο IMO έχει υπολογίσει περίπου 0g Sox για κάθε 1MJ καύσης μεθανόλης στον κινητήρα και η MAN Energy Solutions έχει μετρήσει στη μηχανή μια μείωση σε σύγκριση με το HFO κατά 90-97%. Μια ανάλογη μείωση παρατηρείται και στην απελευθέρωση σωματιδίων, που όπως έχουμε δει συνδέονται με την απελευθέρωση Sox. [37,40]

Όσον αφορά τα οξείδια του αζώτου τα οποία προέρχονται από την οξείδωση του αζώτου που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά την καύση κι εκεί παρατηρείται μια σημαντική μείωση. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται σύμφωνα με την εξίσωση (11):



Ο IMO έχει υπολογίσει περίπου 0,4g Nox για κάθε 1MJ καύσης μεθανόλης στον κινητήρα, ενώ η MAN Energy Solutions και η Wärtsilä έχουν μετρήσει στη μηχανή μια μείωση σε σύγκριση με το HFO από 30% έως και 50%. Κατά αυτόν τον τρόπο η μηχανή εμπίπτει στα χαμηλότερα σημεία της κατηγορίας Tier II. [37,40]

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι έχει βρεθεί πως η μηχανή μπορεί να έχει ακόμα μεγαλύτερη μείωση των οξειδίων του αζώτου όταν γίνεται μίξη της μεθανόλης με νερό σε αναλογία 3:2. Τότε η μηχανή εμπίπτει εντός της κλίμακας των Tier III χωρίς τη χρήση καταλυτικού συστήματος SCR. Η παρουσία όμως του νερού στο καύσιμο προκαλεί φθορά στα χιτώνια και τα ελατήρια του εμβόλου. Το αν και πώς μπορεί να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο είναι υπό διερεύνηση. [42]

Οι εκπομπές από την καύση της μεθανόλης συνοψίζονται στον πίνακα 2-4. Η πρώτη στήλη δίνει τις εκπομπές του θεωρητικού υπολογισμού του IMO, η δεύτερη στήλη το ποσοστό μείωσης των πραγματικών μετρήσεων κατά την καύση σε σύγκριση με το HFO και η Τρίτη το ίδιο ποσοστό με συνυπολογισμό ολόκληρου του κύκλου ζωής της μεθανόλης. [40]

Πίνακας 2-4: Εκπομπές της μεθανόλης θεωρητικές και πραγματικές σε σύγκριση με το HFO. [42]

Compound	IMO calculations (g/MJ methanol) / Tank-to-wake	Experimental reduction in emissions compared to HFO (%) / Tank-to-wake	Experimental reduction in emissions compared to HFO (%) / Well-to-wake
CO ₂	69	5	15-80
Sox	0	90-97	90-97
PM	0	90	90
Nox	0.4	30-50	30-50

Βλέπουμε, λοιπόν ότι, πλέον δε χρειάζεται σύστημα έκπλυσης των καυσαερίων (scrubber) για τα πλοία που κάνουν χρήση μεθανόλης. Για να είναι όμως πλήρως ουδέτερο το αποτύπωμά τους χρειάζεται η χρήση συστήματος κατάλυσης SCR για την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου και σύστημα δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα CCS.

2.2.5 Ασφάλεια εγκατάστασης και εργαζομένων σε πλοίο με μεθανόλη

Η ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματός του όταν γίνεται χρήση μεθανόλης είναι ένας πολύ βασικός παράγοντας για το εγχείρημα μεταστροφής του τομέα της ναυτιλίας στη μεθανόλη ως εναλλακτικό καύσιμο. Δεδομένης της φύσης και των ιδιοτήτων της μεθανόλης ο IMO και οι σχεδιαστές/κατασκευαστές των εγκαταστάσεων και των μηχανών έχουν κάνει κάποιες συγκεκριμένες προβλέψεις ασφάλειας. Αυτές συμπεριλαμβάνονται και στο κανονιστικό πλαίσιο MSC.1/Circ.1621 που έχει εκδώσει ο IMO και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη και να ακολουθούνται κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες.

Ασφάλεια και υγιεινή πληρώματος στο χειρισμό της μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι τοξικό υλικό και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο χειρισμό της. Πρέπει σε κάθε περίπτωση να αποφεύγεται η εισπνοή, η κατάποση της καθώς και η επαφή της με τα μάτια και το δέρμα. Μολονότι η απορρόφησή της από το δέρμα είναι μια βραδεία διαδικασία δηλητηρίασης που χρειάζεται μεγάλη έκθεση, τα μέσα ατομικής προστασίας κρίνονται απαραίτητα κατά τον χειρισμό της. Τα αποτελέσματα έκθεσης του ανθρώπου στη

μεθανόλη δεν εμφανίζουν άμεσα συμπτωματολογία και η δηλητηρίαση από μεθανόλη μπορεί να προκαλέσει τύφλωση, απώλεια συνείδησης και να οδηγήσει στο θάνατο. Μια μικρή ποσότητα των 10mL μπορεί να προκαλέσει μόνιμες βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα του ανθρώπου και μια ποσότητα ίση με 30mL είναι ικανή να προκαλέσει θάνατο. Σε μικρότερες ποσότητες, υπάρχουν αντιδότα που μπορούν να προλάβουν την όποια μόνιμη βλάβη αν ο άνθρωπος που εκτέθηκε λάβει άμεσα την απαραίτητη ιατρική φροντίδα. [22,40]

Σε περίπτωση διαφυγής ατμών μεθανόλης στον περιβάλλοντα χώρο, εκείνη θα εξαπλωθεί κατά μήκος της επιφάνειας του δαπέδου, διότι είναι πιο πυκνή και βαριά από τον αέρα. Εκεί θα συμπυκνωθεί και θα παραμείνει στην επιφάνεια του δαπέδου. Ειδικά όταν μιλάμε για χώρους ανεπαρκώς αεριζόμενους, χαμηλούς σε ύψος ή περιορισμένους όπως αυτοί του μηχανοστασίου, του αντλιοστασίου κλπ. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος εξαερισμού και ανίχνευσης μεθανόλης σε χαμηλά σημεία των χώρων του πλοίου που γίνεται χειρισμός μεθανόλης. Σε περίπτωση διαφυγής στον περιβάλλοντα χώρο, το σύστημα μεθανόλης θα πρέπει να τερματίζεται αυτόματα για λόγους έκτακτης ανάγκης και δεν θα πρέπει να εκκινείται εκ νέου έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη. [22,40]

Επίσης πριν την έναρξη της οποιασδήποτε εργασίας συντήρησης θα πρέπει να απομακρύνεται πλήρως η μεθανόλη από τη μηχανή και τα δίκτυα με τη βοήθεια του συστήματος αδρανούς αερίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα αποφευχθεί η οποιαδήποτε απελευθέρωση μεθανόλης στον περιβάλλοντα χώρο κατά την αποσυναρμολόγηση των υπό συντήρηση μερών και θα διασφαλίζεται η υγεία των εργαζομένων. Αντίστοιχα τερματισμός της λειτουργίας της μεθανόλης θα πρέπει να γίνεται αν κάποιος αισθητήρας ανιχνεύσει παρουσία μεθανόλης στο εσωτερικό διπλών τοιχωμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση ελεγχόμενης διαρροής θα πρέπει να γίνει εναλλαγή καυσίμου και να καθαριστούν πλήρως τα δίκτυα με το σύστημα αδρανούς αερίου. Ενώ δεν θα πρέπει να εκκινείται εκ νέου το σύστημα μεθανόλης έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη. Επιπλέον πριν την έναρξη λειτουργίας στο σύστημα μεθανόλης μπορούν να δοκιμαστούν τα δίκτυα για διαρροές με το σύστημα αδρανούς αερίου. Όλοι οι περικλειστοί χώροι, τα διπλά τοιχώματα, τα συστήματα ανίχνευσης και αερισμού είναι εγκαταστάσεις απαραίτητες για να διασφαλίζεται η υγεία του πληρώματος και η ασφάλειά του. [22,40]

Κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς σε εγκατάσταση μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι ένα υλικό εύφλεκτο που καίγεται αναπτύσσοντας καθαρή μπλε φλόγα υψηλής θερμοκρασίας. Το χρώμα της φλόγας σε συνδυασμό με την απουσία καπνού που παρουσιάζει, την κάνει ιδιαίτερα δυσδιάκριτη. Γι' αυτόν το λόγο είναι ενδεχομένως απαραίτητη εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης θερμικής απεικόνισης, ή κάποιου άλλου συστήματος ανίχνευσης φλόγας στους χώρους όπου γίνεται χειρισμός του καυσίμου. Το χαμηλό σημείο ανάφλεξης της μεθανόλης στους μόλις 12°C οδηγεί στον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς σε περίπτωση που φτάσει την ικανή συγκέντρωση ατμών. Σε αυτήν την περίπτωση κρίνονται απαραίτητα συστήματα εποπτείας και ελέγχου των συγκεντρώσεων ατμού της μεθανόλης σε δεξαμενές και δίκτυα. Σε περίπτωση που οι αισθητήρες εντοπίσουν συγκεντρώσεις που πλησιάζουν τα επικίνδυνα επίπεδα θα πρέπει να γίνεται αυτόματος τερματισμός λειτουργίας έκτακτης ανάγκης του συστήματος μεθανόλης. Στη συνέχεια το σύστημα αερισμού θα καθαρίσει πλήρως τα σημεία όπου συγκεντρώθηκαν οι ατμοί μεθανόλης. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η καλή σφράγιση των δεξαμενών και η διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών στη μεθανόλη. [22,40]

Επιπρόσθετα του χαμηλού σημείου ανάφλεξης, η μεθανόλη είναι επίσης ένα υλικό που μπορεί να αντιδράσει βίαια με ισχυρά οξειδωτικά μέσα. Αυτό οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο έκρηξης και πυρκαγιάς σε περίπτωση διαρροής. Ο κίνδυνος της έκρηξης είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την ασφάλεια που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στο σχεδιασμό της εγκατάστασης των δεξαμενών και των δικτύων. Τα διπλά τοιχώματα και ο μηχανικός αερισμός μπορούν να προλάβουν επικίνδυνες καταστάσεις σε περίπτωση διαρροής. Αν υπάρξει κάποια διαρροή αυτή θα διαφύγει προς το κενό μεταξύ των δύο τοιχωμάτων και δε θα έρθει σε επαφή με υλικά που μπορούν να αντιδράσουν και να προξενήσουν έκρηξη. Οι αισθητήρες ανίχνευσης θα προειδοποιήσουν το πλήρωμα για να τερματίσει τη λειτουργία του συστήματος μεθανόλης, να καθαρίσει τα δίκτυα με τον μηχανικό αερισμό και με τη βοήθεια κάποιου συστήματος αδρανούς αερίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις το σύστημα μεθανόλης δεν θα πρέπει να εκκινείται εκ νέου έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη. [22,40]

Στο κανονιστικό πλαίσιο MSC.1/Circ.1621, που έχει εκδώσει ο IMO, προβλέπεται ως μέσο πυρόσβεσης αφρός, μικρής διαστολής όγκου, ανθεκτικός στην αλκοόλη. Αυτό συμβαίνει διότι οι δοκιμές που έχουν διεξαχθεί έδειξαν ότι τα συμβατικά μέσα πυρόσβεσης ενός πλοίου, ενώ είναι αποτελεσματικά σε πυρκαγιές πετρελαϊκών καυσίμων και ελαίων, δεν έχουν το ίδιο αποτέλεσμα και με τη μεθανόλη. Οι πυρκαγιές αυτές έχουν τελείως

διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες και δεν μπορούν να κατασβεστούν το ίδιο εύκολα. Το κανονιστικό πλαίσιο του IMO, παρέχει γενικές οδηγίες και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να μπορέσει να κατατεθεί και να επικυρωθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο κανόνων για την προστασία από πυρκαγιά μεθανόλης. [43]

2.2.6 Οικονομοτεχνική ανάλυση για τη μεθανόλη

Το κόστος ναυπήγησης ενός πλοίου εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου, το μέγεθος και το εκτόπισμά του. Το κόστος ανέρχεται κατά το μέσο όρο σε μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια. Η διαφορά του κόστους για τη ναυπήγηση ενός πλοίου σε χρήση μεθανόλης αν το συγκρίνουμε με τη ναυπήγηση ενός πλοίου με μηχανές διπλού καυσίμου για χρήση σε LNG είναι πολύ μικρές γιατί και τα δύο αυτά καύσιμα έχουν παρόμοιο κανονιστικό πλαίσιο για τον τρόπο εγκατάστασης επί του πλοίου. Η διαφορά είναι στα υλικά που χρησιμοποιούνται που αναμένεται να είναι λίγο πιο ακριβά για τη μεθανόλη. Ενδεικτικά, το κόστος της εγκατάστασης της μηχανής που μπορεί να λειτουργεί με μεθανόλη υπολογίζεται από τον IMO για κάθε νέα ναυπήγηση περί τα 273€/kW. [40]

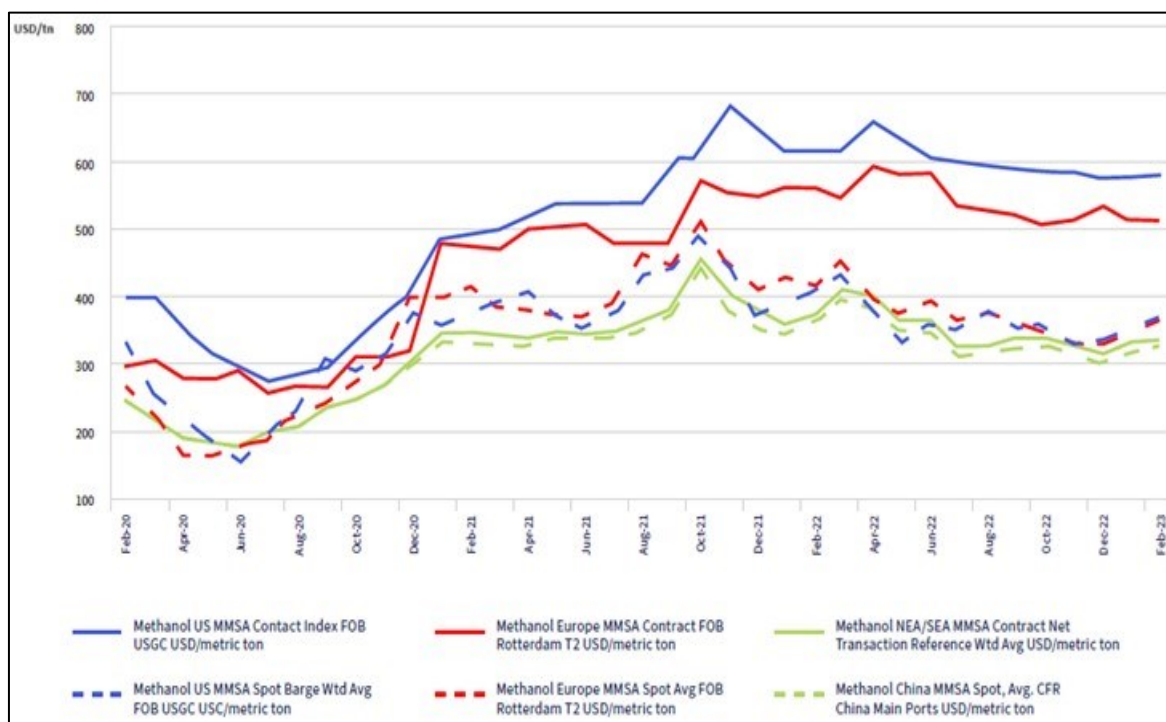
Στον πίνακα 2-5 βλέπουμε συγκριτικές τιμές για το καθαρό κεφαλαιακό έξοδο για μια ναυτιλιακή εταιρεία, όσον αφορά το σύστημα καυσίμου για ναυπήγηση νέου πλοίου με μηχανές ισχύος 6, 14 ή 50 MW. [44]

Πίνακας 2-5: Καθαρό κεφαλαιακό έξοδο για το σύστημα καυσίμου σε ναυπήγηση νέου πλοίου ανά ισχύ μηχανών σε εκατομμύρια δολάρια Αμερικής για το σύστημα καυσίμου μεθανόλης. [44]

Fuel type	6 MW	14 MW	50 MW
Heavy Fuel Oil	2,5	3,5	5
Green Methanol	3	4,5	8

Βλέπουμε ότι οι τιμές για τη μεθανόλη σε σύγκριση με το HFO είναι ελαφρώς αυξημένες αλλά δεν αποκλίνουν σημαντικά. Υπολογίζοντας και τις νέες ναυπηγήσεις σε πλοία με χρήση μεθανόλης, συμπεραίνουμε ότι το κόστος ναυπήγησης δεν είναι αποτρεπτικό. Οπότε κύριος παράγοντας για το κόστος της μεταστροφής στη μεθανόλη ως εναλλακτικό καύσιμο για τη ναυτιλία φαίνεται να είναι το κόστος του ίδιου του καυσίμου. [40]

Οι τιμές για τη μαύρη και τη γκρι μεθανόλη κινούνται αυτή τη στιγμή από 327 έως 366 δολάρια Αμερικής ανά τόνο (USD/tn). Στο σχήμα 2-14 μπορούμε να δούμε την εξέλιξη που έχει σημειώσει παγκοσμίως η τιμή της μεθανόλης σε ένα διάστημα 2 ετών από τις αρχές του 2020 έως τις αρχές του 2023. [22]

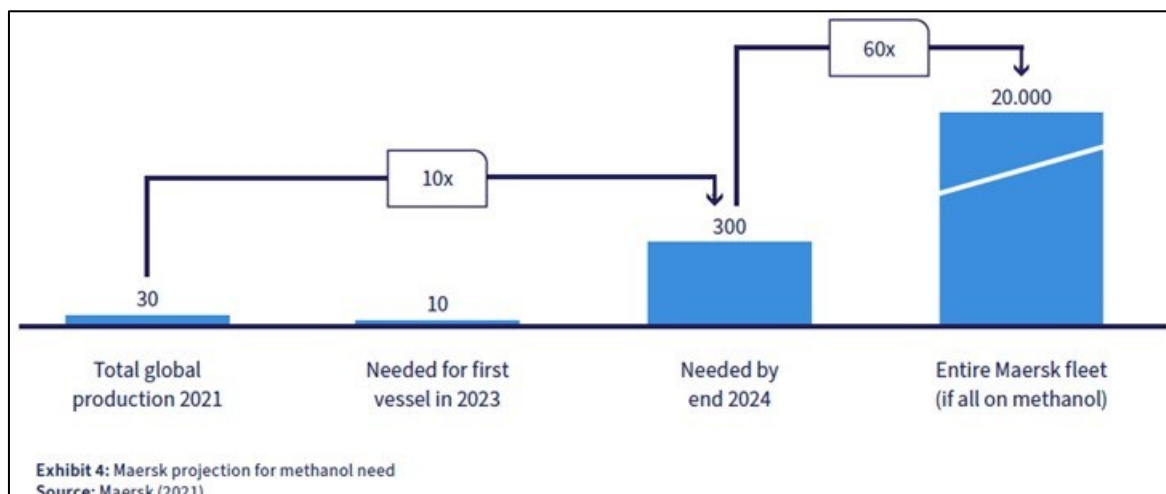


Σχήμα 2-14: Σύγκριση των τιμών της μεθανόλης σε παγκόσμιο επίπεδο για το διάστημα από αρχές του 2020 έως αρχές του 2023. Πηγή: <https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand>

Η παραγωγή της πράσινης μεθανόλης είναι ακόμη πολύ χαμηλή και το κόστος που θα διαμορφωθεί είναι αβέβαιο. Ενώ οι υπό κατασκευή μονάδες παραγωγής πράσινης μεθανόλης αυξάνονται, πολύ λίγες είναι σε λειτουργία και παράγουν αξιοσημείωτη ποσότητα. Η αγορά πιέζει για διαθεσιμότητα και βιώσιμο κόστος στη μπλε και την πράσινη μεθανόλη καθώς νέοι τομείς στρέφονται προς αυτήν την επιλογή ως μέσο παροχής ενέργειας, όπως αυτός της ναυτιλίας. Παράλληλα οι τομείς που κάνουν χρήση γκρι, μαύρης και καφέ μεθανόλης θέλουν να στραφούν σε φιλικότερες προς το περιβάλλον επιλογές όπως η μπλε και η πράσινη. Αυτό όμως δε θα μπορέσει να επιτευχθεί αν δεν ολοκληρωθούν περισσότερες μονάδες παραγωγής πράσινης και μπλε μεθανόλης και να ξεκινήσουν να αποδίδουν σημαντικές ποσότητες παραγωγής. [22]

Για παράδειγμα το 2021 η παγκόσμια παραγωγή πράσινης μεθανόλης άγγιζε τους 30.000 τόνους. Την ίδια περίοδο η εταιρεία Mærsk Line παρήγγειλε μια σειρά πλοία προς ναυπήγηση με μηχανές διπλού καυσίμου για χρήση με μεθανόλη. Τα πλοία αυτά αναμένεται να παραδοθούν προς το τέλος του 2024. Η Mærsk, λοιπόν, δημοσίευσε την ετήσια ποσότητα πράσινης μεθανόλης που θα χρειαζόταν το πρώτο πλοίο που θα παραδιδόταν το 2023, την ποσότητα που θα χρειαζόταν ετησίως για όλα τα πλοία που θα είχαν παραδοθεί μέχρι το τέλος του 2024 και υποθετικά ποια θα ήταν η ετήσια ποσότητα πράσινης μεθανόλης που θα

χρειαζόταν η εταιρεία εάν όλος της ο στόλος χρησιμοποιούσε μεθανόλη. Τα νούμερα που δημοσίευσε η Maersk φαίνονται στο σχήμα 2-15. Μπορούμε να δούμε πως η παγκόσμια παραγωγή πράσινης μεθανόλης για το 2021 έφτανε μόλις να τροφοδοτήσει 3 πλοία. [22]



Σχήμα 2-15: Η ετήσια παραγωγή πράσινης μεθανόλης σε ktn για το 2021 και οι ανάγκες της Maersk σε πράσινη μεθανόλη πραγματικές και υποθετικές σε ktn. [22]

Αναμένεται πως οι τιμές για την μπλε και την πράσινη μεθανόλη θα είναι αρκετά υψηλότερες από αυτές που είδαμε για τη μαύρη και την γκρι και υπολογίζεται ότι θα ξεκινήσουν από μια τιμή γύρω στα 1.000 USD/tn. Συγκριτικά με το LSFO/ULSFO που κοστίζει περί τα 600 USD/tn, το MGO που κοστίζει 876 USD/tn και το HFO που κοστίζει 465 USD/tn η διαφορά είναι σημαντική. Επίσης το γεγονός ότι η ενεργειακή πυκνότητα της μεθανόλης είναι αρκετά χαμηλότερη από αυτή των πετρελαϊκών καυσίμων (2,4 φορές) σημαίνει ότι χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα μεθανόλης. [22]

Στον πίνακα 2-6 μπορούμε να δούμε συγκριτικές τιμές του κόστους λειτουργίας ενός πλοίου μεταξύ του HFO και των δύο τύπων μεθανόλης όπως μετρήθηκε το 2021 σε μια μηχανή 6 MW. Παρατηρούμε ότι το κόστος του καυσίμου είναι πενταπλάσιο με τις τιμές του 2021. [44]

Πίνακας 2-6: Συγκριτικό κόστος λειτουργίας μηχανής σε HFO και πράσινη μεθανόλη σε εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια. [44]

Fuel type	Pilot fuel (%)	Average load (%)	Specific Fuel Oil Consumption (tn/year)	Specific Pilot Oil Consumption (tn/year)	Annual total fuel cost (2021) (x 1000 USD)
Heavy Fuel Oil	0	75	3.052	0	1.361
biomethanol	5	75	5.797	195	5.744
e-methanol	5	75	5.797	195	6.677

Αυτά, δυστυχώς, καθιστούν την επιλογή της πράσινης μεθανόλης προς το παρόν μη ανταγωνιστική. Αναμένεται, βέβαια, στο μέλλον με την ανάπτυξη της παραγωγής, οι τιμές να διαμορφωθούν σε επίπεδα που θα μπορούν να ανταγωνιστούν αυτές του πετρελαίου, δυστυχώς όμως δεν υπάρχει κάποια πρόβλεψη στο πότε θα είναι ώριμες οι συνθήκες για να διαμορφωθούν αυτές οι τιμές στην αγορά. [22]

Τέλος όσον αφορά το κόστος πρέπει να συνυπολογίσουμε και τον φόρο για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όπου αναμένεται η κλιμακωτή αύξησή του μέχρι το 2030 και 2050. Η αύξηση του φόρου, αυτού, θα δώσει κίνητρο στις ναυτιλιακές εταιρείες να στραφούν σε καύσιμα με ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα. Στον πίνακα 2-7 μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα μίας μηχανής ισχύος 6 MW με 4000 ώρες λειτουργίας σε μέση φόρτιση 75% σε HFO και πράσινη μεθανόλη με ποσόστωση καυσίμου οδηγού 5%. Βλέπουμε τις εκπομπές της σε διοξείδιο του άνθρακα και τον φόρο που αναλογεί με το σενάριο για χαμηλότερο όριο στα 27 USD/tn και το σενάριο για το υψηλότερο όριο στα 322 USD/tn. [44]

Πίνακας 2-7: Συγκριτικές τιμές φόρου διοξειδίου του άνθρακα για λειτουργία σε HFO και πράσινη μεθανόλη. [44]

Fuel type	Operating hours for main fuel	Operating hours for pilot fuel	CO ₂ (g/kWh)	CO ₂ from main fuel (tn)	CO ₂ from pilot fuel (tn)	Total CO ₂ (tn)	Low Tax scenario (x 1000 USD)	High Tax scenario (x 1000 USD)
Heavy Fuel Oil	4.000	0	570	13.680	0	13.680	369,36	4.405
Green Methanol	3.733	160	35	783,93	33,6	817,53	22,07	263,25

Κλείνοντας αυτήν την ενότητα είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η πρόβλεψη είναι η πράσινη μεθανόλη να μπορεί να ανταγωνιστεί τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα από το 2030 και μετά. [44]

2.3 Αμμωνία

2.3.1 Γενική περιγραφή για την αμμωνία

Η αμμωνία είναι ένα άχρωμο και ιδιαίτερα καυστικό και τοξικό αέριο. Το μόριό της περιέχει ένα άτομο αζώτου και τρία άτομα υδρογόνου. Ο βασικότερος λόγος που έχει επιλεγεί ως πιθανό εναλλακτικό καύσιμο για τη ναυτιλία είναι η πλήρης απουσία ατόμων άνθρακα στο μόριό της. Τα κύρια χαρακτηριστικά της ως χημική ουσία είναι: [45]

- Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας βρίσκεται σε αέρια κατάσταση
- Είναι ένα άχρωμο αέριο που είναι ελαφρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα
- Μπορεί να απορροφηθεί από το νερό
- Είναι διαβρωτική
- Έχει έντονη διαπεραστική μυρωδιά
- Μπορεί να αυταναφλεγεί στους 651°C

Όσον αφορά τη χρήση της σε μηχανές εσωτερικής καύσης, η καύση της είναι πολύ καθαρή συγκριτικά με τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα. Η περιεκτικότητα σε θείο ενός καυσίμου αμμωνίας είναι μηδενική αποφεύγοντας τις εκπομπές οξειδίων του θείου. Με αυτόν τον τρόπο, το καράβι που τη χρησιμοποιεί καθίσταται, αυτομάτως, να εμπίπτει εντός του κανονισμού για τις εκπομπές οξειδίων του θείου εντός και εκτός ζωνών ελεγχόμενων εκπομπών. Η καύση της παράγει άζωτο και νερό και είναι πολύ πιθανό να έχουμε την ανεπιθύμητη παραγωγή NOx και N₂O. Η ειδική της ενέργεια ως καύσιμο υπολογίζεται στα 18,6 MJ/kg και η ενεργειακή της πυκνότητα στα 12,7 MJ/L. Ως μέτρο σύγκρισης, το HFO παρουσιάζει τιμές για τα μεγέθη αυτά, λίγο μεγαλύτερες από τις διπλάσιες. Επίσης στο πλοίο μπορεί να αποθηκευτεί υγροποιημένη, σε δεξαμενή θερμοκρασίας στους -33°C και πίεση 1 bar. [42,45]

Είναι μια χημική ουσία η οποία ήδη παρασκευάζεται ευρέως σε βιομηχανική κλίμακα επειδή βρίσκει χρήση σε πολλούς τομείς, κυρίως προς χρήση ως λίπασμα και ο τρόπος παραγωγής της έχει αρχίσει να κινείται προς νέες πιο φιλικές προς το περιβάλλον οδούς. Περίπου το 70% της παραγόμενης αμμωνίας προορίζεται για χρήση ως λίπασμα. Οι βασικές χώρες παραγωγής είναι η Κίνα, οι ΗΠΑ, η Ινδία και η Ρωσία. Υπάρχουν ήδη έτοιμες εγκαταστάσεις, μέσα αποθήκευσης και μεταφοράς της. Υπάρχουν διάφοροι τύποι

αμμωνίας, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής της. Συνήθως αναφερόμαστε στον κάθε τύπο χρησιμοποιώντας έναν χρωματικό κώδικα, όπως φαίνεται στον πίνακα 2-8. [45]

Πίνακας 2-8: Κατηγοριοποίηση της αμμωνίας ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της [45].

Χρωματικός κώδικας	Άλλη ονομασία	Τρόπος παραγωγής	Εκπομπές
Μαύρη/Καφέ	-	Με χρήση λιγνίτη ως πρώτη ύλη.	Θεωρείται ο τρόπος παραγωγής με τις υψηλότερες εκπομπές.
Γκρι	-	Με χρήση φυσικού αερίου ως πρώτη ύλη, παράγεται υδρογόνο με την αντίδραση ατμο-αναμόρφωσης και άζωτο που προέρχεται από διαχωρισμό του από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η παραγωγή αμμωνίας γίνεται μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch.	Οι εκπομπές χαρακτηρίζονται ανεξέλεγκτες.
Μπλε	-	Ίδιος τρόπος παραγωγής με τη γκρι αλλά με παράλληλη χρήση συστήματος δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.	Σημαντικά μειωμένες από τη μαύρη/γκρι/καφέ.
Πράσινη	e-ammonia	Με χρήση υδρογόνου που προέρχεται από ηλεκτρόλυση νερού και άζωτο που προέρχεται από διαχωρισμό του από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η παραγωγή αμμωνίας γίνεται μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch.	Χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές έχει τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές
Ροζ	Κόκκινη	Με χρήση πυρηνικής ενέργειας	Χαμηλές
Κίτρινη	-	Ίδιος τρόπος παραγωγής με την πράσινη με τη διαφορά ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται προέρχεται από το εθνικό δίκτυο.	Πλήρως εξαρτώμενες από τις εκπομπές του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Η αμμωνία ανεξάρτητα με ποιον τρόπο παράγεται έχει ακριβώς τις ίδιες ιδιότητες οπότε προκύπτουν και ακριβώς οι ίδιες προοπτικές και δυσκολίες από το εγχείρημα της χρήσης της ως καύσιμο σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. [45]

Πλεονεκτήματα και προοπτικές από τη χρήση της αμμωνίας ως καύσιμο στη ναυτιλία: [45,46]

- Υπάρχει ήδη υψηλή διαθεσιμότητα σε αμμωνία (όχι σε πράσινη αμμωνία) λόγω της ευρείας της χρήσης.

- Η χρήση της έχει πολύ πιο χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα της ναυτιλίας (εξετάζοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής της).
- Η μεταφορά και η αποθήκευσή της είναι φθηνή κι εύκολη.
- Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της.
- Υπάρχει η δυνατότητα ασφαλούς χειρισμού της με μειωμένο κίνδυνο για την εγκατάσταση
- Η χρήση της δεν ενέχει κινδύνους έκρηξης και πυρκαγιάς

Προκλήσεις και προβληματισμοί από τη χρήση της αμμωνίας ως καύσιμο στη ναυτιλία: [45,46]

- Είναι εξαιρετικά διαβρωτική. Επομένως, απαιτεί ειδική εγκατάσταση αποθήκευσης και πλάνο χειρισμού της.
- Είναι τοξική. Οπότε χρειάζονται αυξημένα μέτρα για την ασφάλεια των εργαζομένων.
- Έχει χαμηλότερη θερμική αξία συγκριτικά με τα πετρελαϊκά καύσιμα. Κατά συνέπεια χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνίας για να επιτευχθεί η απόδοση του πετρελαίου.
- Η καύση της αμμωνίας σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης μπορεί να παράξει N_2O το οποίο μπορεί δυνητικά να αποτελέσει αέριο του θερμοκηπίου.
- Υπάρχει κίνδυνος διαφυγής άκαυστης αμμωνίας στα καυσαέρια.
- Η παραγωγή της πράσινης αμμωνίας πρέπει να αυξηθεί σημαντικά για να φτάσει τα επίπεδα της εκτιμώμενης ανάγκης για κατανάλωση.
- Το υψηλό κόστος διάθεσης της πράσινης αμμωνίας την καθιστά μη ανταγωνιστική στα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα για τη μεθανόλη, η ετοιμότητα εφαρμογής του καυσίμου μετρίεται από τρεις δείκτες. Τον TRL, τον IRL, και τον CRL. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ανάλυση της πράσινης αμμωνίας και την αναγκαιότητα ανάπτυξης της παραγωγής της. Διότι, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η επιτυχής ανάπτυξη ενός εναλλακτικού καυσίμου για τη ναυτιλία βασίζεται στην προϋπόθεση μεταστροφής σε ένα καύσιμο με μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Για να είναι αυτό

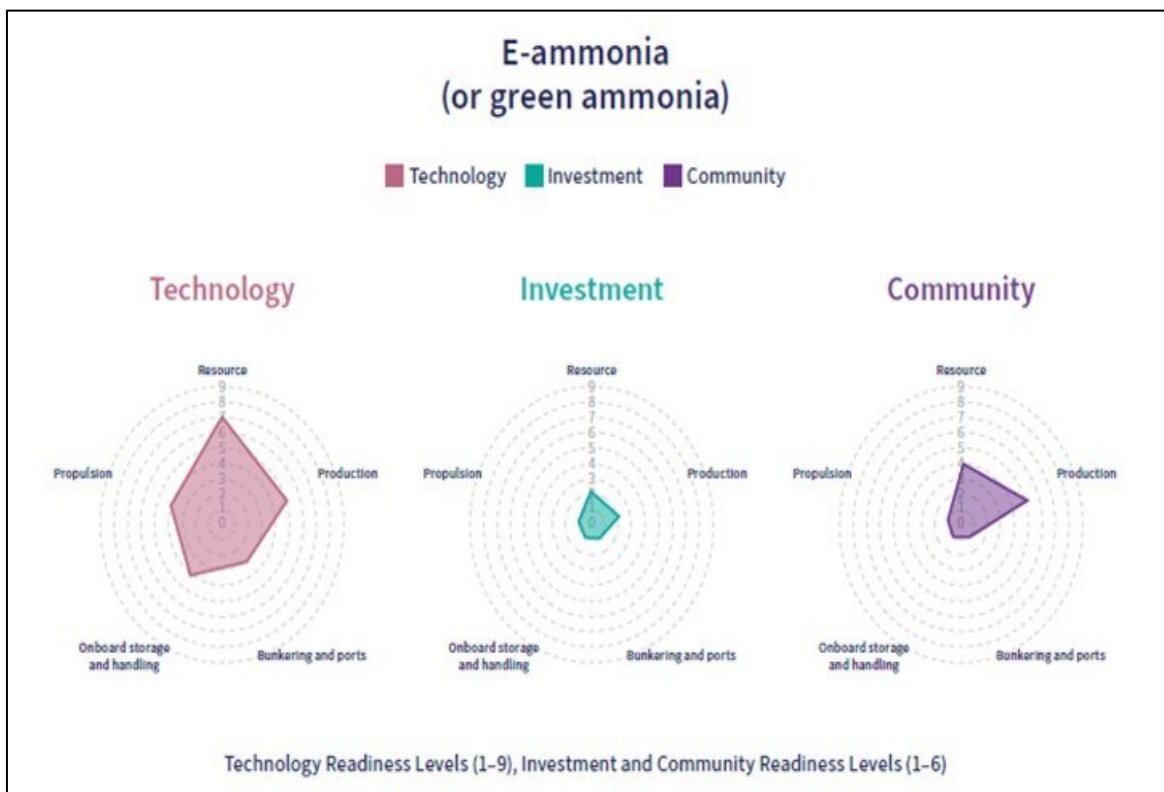
αληθές, θα πρέπει να μετριέται ολόκληρος ο κύκλος ζωής του και όχι μόνο οι εκπομπές που προκύπτουν κατά την καύση του σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Και εφ' όσον οι εκπομπές κατά την καύση είναι ίδιες για κάθε τύπο αμμωνίας πρέπει να εστιάσουμε στους χαμηλότερους αέριους ρύπους κατά την παραγωγή της. Όπως είδαμε παραπάνω, στον πίνακα 2-8, τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές αέριων ρύπων κατά την παραγωγή της, τις δίνει η πράσινη αμμωνία. Κατ' επέκτασιν και καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Η μπλε αμμωνία αποτελεί καλή επιλογή για τη μεταβατική περίοδο μέχρι την αύξηση της παραγωγής της πράσινης αμμωνίας. Στη συνέχεια θα πρέπει να εγκαταλειφθεί για να πραγματοποιηθεί πλήρης απανθρακοποίηση του τομέα. Σε κάθε περίπτωση, αν δεν καλύπτεται η ζήτηση σε αμμωνία από την παραγωγή πράσινης, η καλύτερη εναλλακτική είναι η μπλε αμμωνία υπό το πρίσμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [45]

Στον πίνακα 2-9 και στο σχήμα 2-16 φαίνεται η ετοιμότητα εφαρμογής της πράσινης αμμωνίας με αξιολόγηση των τριών δεικτών ετοιμότητας TRL, IRL και CRL. [34,45]

Πίνακας 2-9: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την πράσινη αμμωνία [34]

	TRL					IRL				CRL			
	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship Onboard storage and handling	Ship Propulsion	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship
E-ammonia	7	5	3▲	4▲	4▲	2▲	2	1	1	4	5▲	1	1

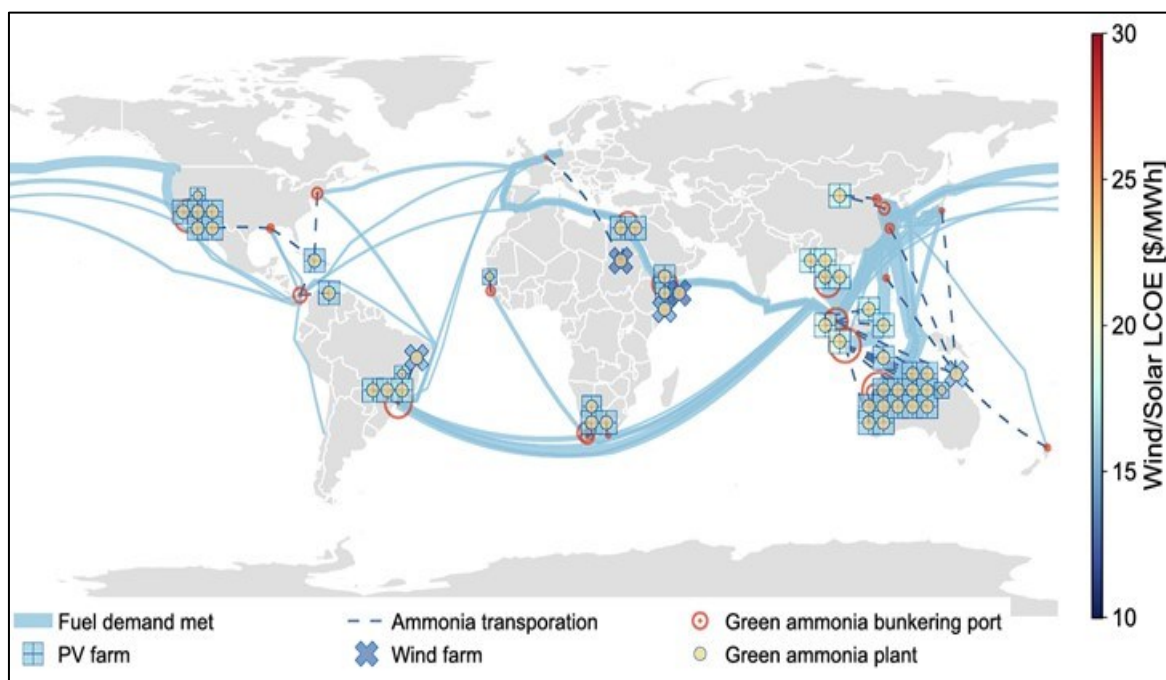
Το σύμβολο ▲ υποδηλώνει τάση αύξησης.



Σχήμα 2-16: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την e-αμμωνία [45]

Παρατηρούμε ένα σχετικά καλό επίπεδο ετοιμότητας στην αμμωνία, ειδικά στον TRL, πράγμα που είναι λογικό διότι είναι μια τεχνολογία που έχει φτάσει στο στάδιο παραγγελίας. Άρα μπορούμε να πούμε ότι αρχίζει να εφαρμόζεται στη ναυτιλία.

Κατά συνέπεια, έχουν αναπτυχθεί σχέδια για εγκαταστάσεις εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινης αμμωνίας σε μεγάλα λιμάνια για εμπορικούς λόγους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-3. Αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τον τομέα της ναυτιλίας για τον ανεφοδιασμό καυσίμου των πλοίων. Ένα παράδειγμα είναι το σχέδιο που ανέπτυξαν οι H. Wang et al. Στο άρθρο τους με τίτλο «Ammonia-based green corridors for sustainable maritime transportation», [47], όπως φαίνεται στην εικόνα 2-3. Με την αυξανόμενη ζήτηση της πράσινης αμμωνίας, ήδη κάποιοι τερματικοί σταθμοί έχουν εγκατασταθεί σε μεγάλα λιμάνια.

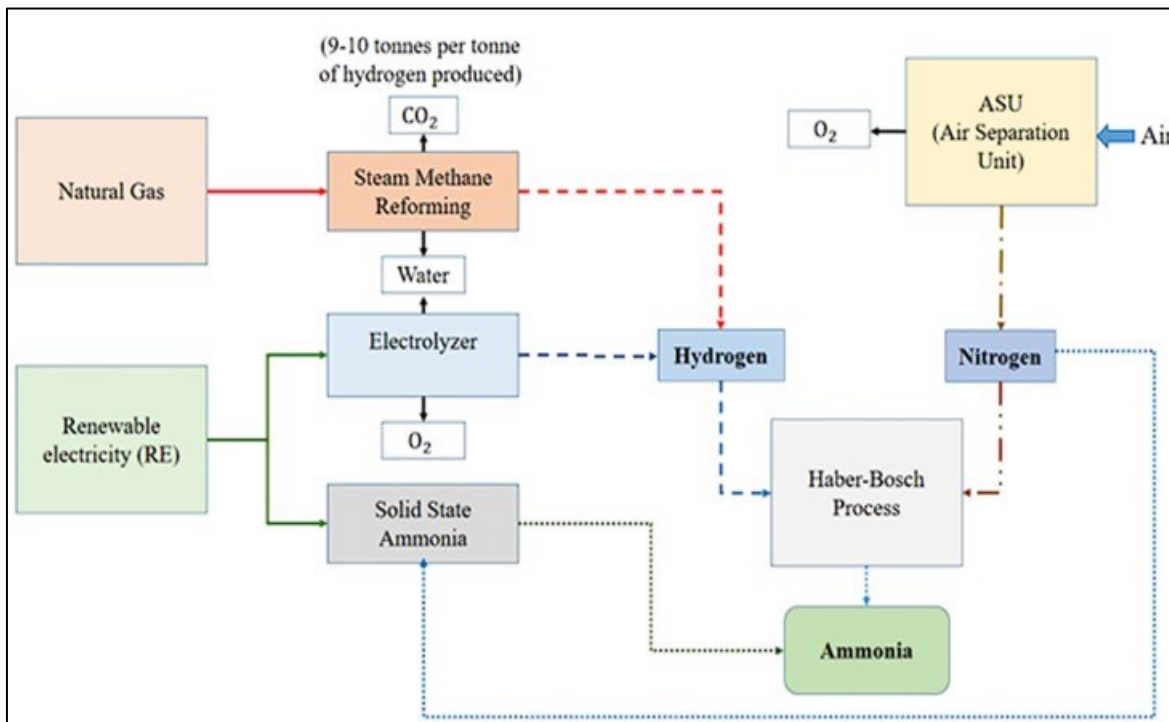


Εικόνα 2-3: Προτεινόμενα σημεία εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινης αμμωνίας σε μεγάλα λιμάνια. [47]

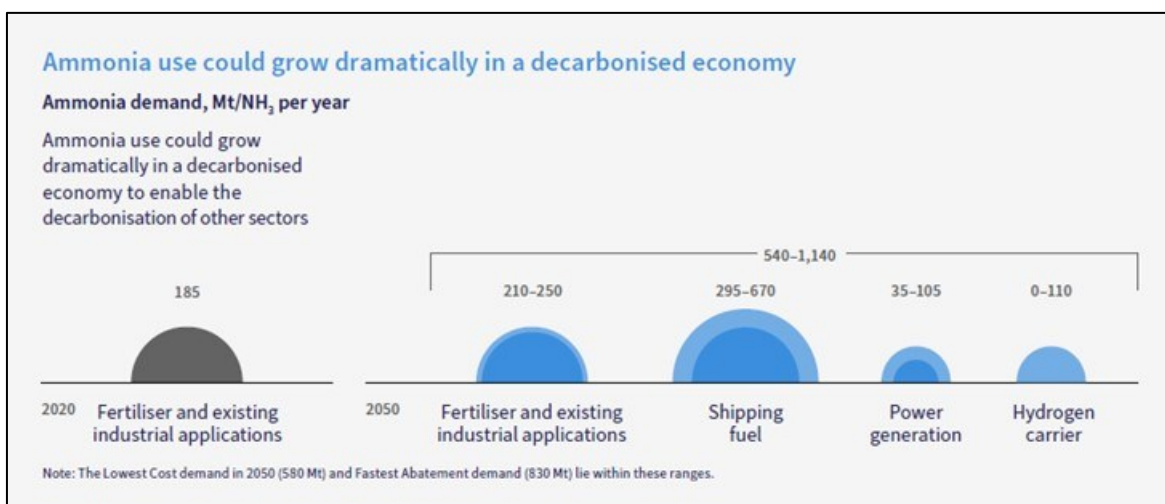
2.3.2 Παραγωγή πράσινης αμμωνίας

Η διαθεσιμότητα της αμμωνίας ως καύσιμο για τη ναυτιλία εξαρτάται από την ανάπτυξη της παραγωγής της πράσινης αμμωνίας σε επίπεδα που τα αποθέματά της να μπορούν να καλύψουν την ανάγκη τροφοδότησης των πλοίων που θα λειτουργούν με αμμωνία. Η ανάπτυξη της παραγωγής πράσινης αμμωνίας προϋποθέτει και την ανάπτυξη του τομέα παραγωγής υδρογόνου από ΑΠΕ. Αυτή τη στιγμή η παραγωγή αμμωνίας που είναι κατά κύριο λόγο η γκρι, ακολουθούμενη από μαύρη/καφέ, δε θεωρείται κατάλληλη επιλογή για τη ναυτιλία. Διότι οι εκπομπές της, συνυπολογίζοντας όλον τον κύκλο ζωής της, ξεπερνούν ακόμα και αυτές των ορυκτών πετρελαϊκών καυσίμων. Η πλειονότητα της αμμωνίας, αυτή τη στιγμή, παράγεται με την ατμοαναμόρφωση φυσικού αερίου προς υδρογόνο και τη μετατροπή του σε αμμωνία μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch, ενώ το άζωτο προέρχεται από το διαχωρισμό του από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η παραγωγή αμμωνίας, αυτή τη στιγμή ευθύνεται για το 1,3% των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Κι ενώ η ζήτησή της αυξάνεται διαρκώς στους τομείς χρήσης της, η εισαγωγή νέων τομέων χρήσης όπως αυτός της ναυτιλίας αναμένεται να έχουν μεγάλη επίπτωση στην αύξηση της ζήτησής της. Φυσικά αναμένεται μεγάλη αύξηση στη ζήτηση αμμωνίας που παράγεται από πηγές πιο φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς όλοι οι τομείς στρέφονται προς οδούς με καλύτερο

αποτύπωμα. Στο σχήμα 2-17 φαίνονται οι διάφοροι τρόποι παραγωγής αμμωνίας ενώ στο σχήμα 2-18 φαίνεται η ζήτηση της αμμωνίας για το 2020 και η προβλεπόμενη ζήτηση μέχρι το 2050. Αναμένεται μια μεγάλη αύξηση στη ζήτηση ως το 2050 καθώς όλο και περισσότεροι τομείς στρέφονται σε εναλλακτικές οδούς παραγωγής ενέργειας. [45]



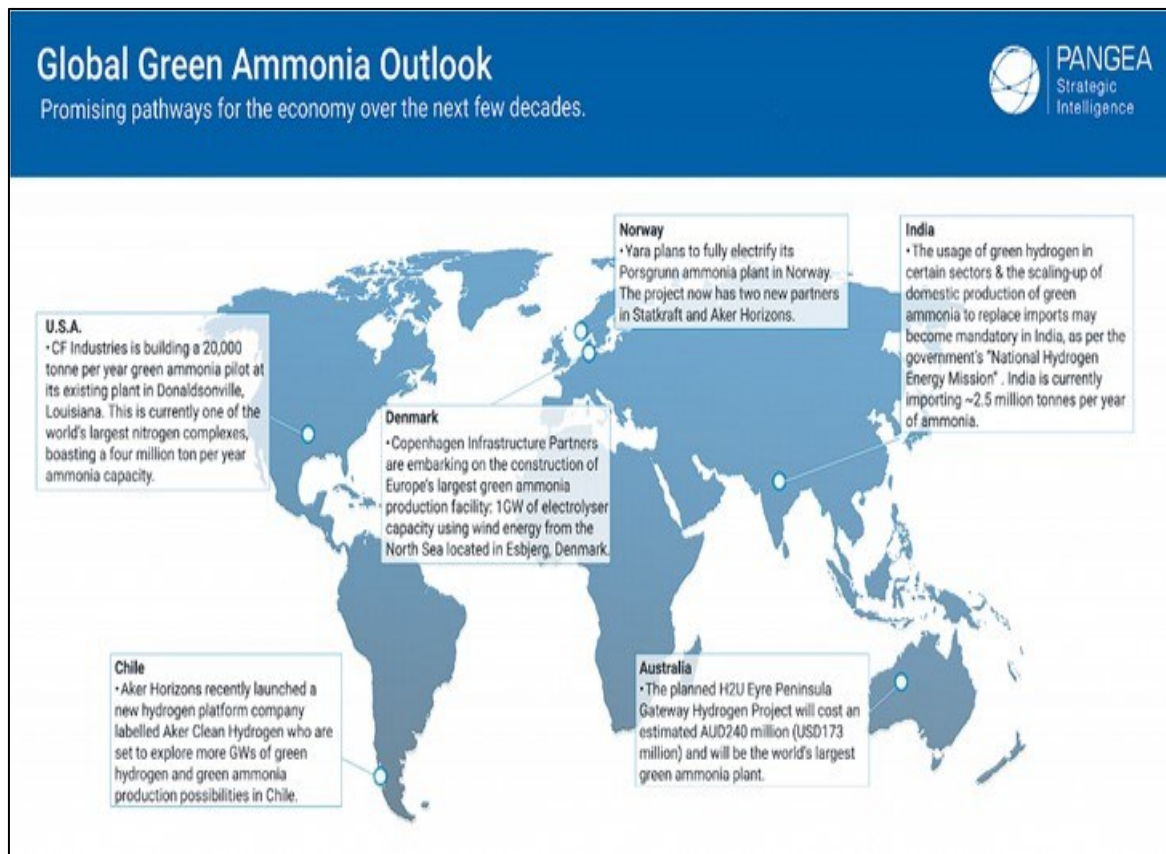
Σχήμα 2-17: Μέθοδοι παραγωγής διάφορων τύπων αμμωνίας. [48]



Σχήμα 2-18: Η ζήτηση της αμμωνίας το 2020 και η προβλεπόμενη ζήτηση για το 2050. [45]

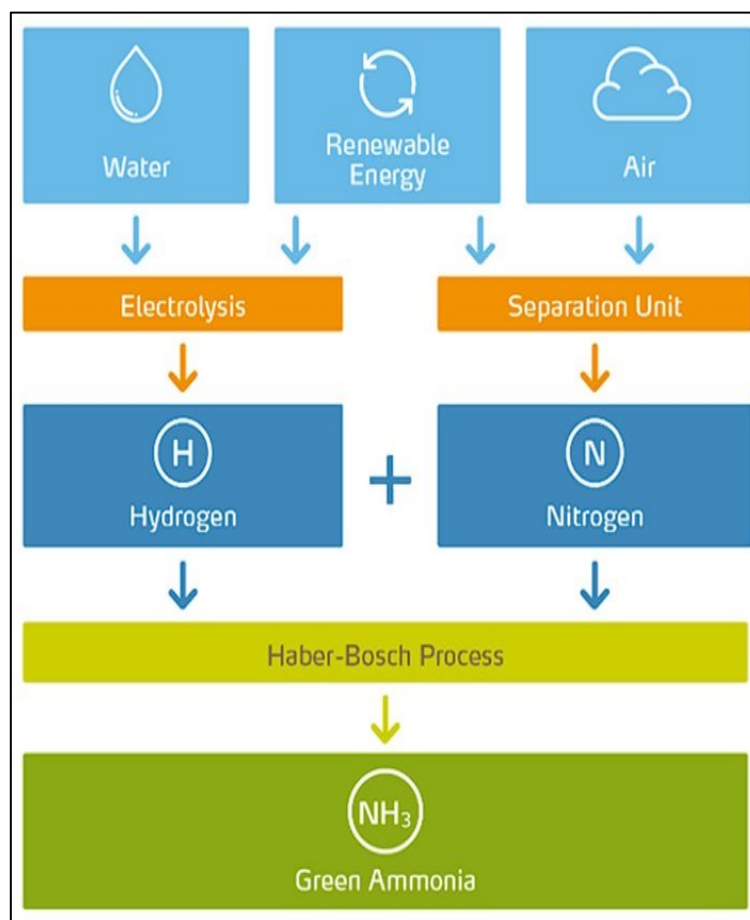
Όπως αναφέραμε, θα επικεντρωθούμε στην παραγωγή πράσινης αμμωνίας. Οι εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής πράσινης αμμωνίας έχουν χωρητικότητα, σύμφωνα με

την Ammonia Energy Association (AEA), 230 εκατομμύρια τόνους το χρόνο. Η παραγωγή τους, βέβαια, ανέρχεται στους 20 εκατομμύρια τόνους. Έχουν ανακοινωθεί νέες υπό κατασκευή εγκαταστάσεις που αναμένεται μέχρι το 2025 να προστεθούν 24 εκατομμύρια τόνοι στην ετήσια παραγωγή. Η πρόβλεψη για το 2030 είναι η παραγωγή να αγγίζει τους 100 εκατομμύρια τόνους. Στο σχήμα 2-19 βλέπουμε τα κυριότερα προγράμματα ανά χώρα. [45]



Σχήμα 2-19: Προγράμματα παραγωγής πράσινης αμμωνίας ανά κράτος. Πηγή: <https://www.pangea-si.com/green-ammonia/>

Η παραγωγή της e-αμμωνίας γίνεται με χρήση νερού και αέρα ως πρώτη ύλη. Το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης και ο αέρας για την παροχή αζώτου που απομονώνεται από αυτόν. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται ενέργεια που προέρχεται από ΑΠΕ. Στη συνέχεια το υδρογόνο και το αζώτο παράγουν αμμωνία μέσω της διεργασίας Haber-Bosch, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-20. [42]



Σχήμα 2-20: Μέθοδος παραγωγής e-αμμωνίας. Πηγή: <https://www.pangea-si.com/green-ammonia>

Μέθοδος παραγωγής e-αμμωνίας

Η παραγωγή της e-αμμωνίας γίνεται μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch. Η τροφοδοσία αποτελείται από άζωτο και υδρογόνο. Το άζωτο προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Για να γίνει ο διαχωρισμός του χρησιμοποιείται μονάδα κρυογενικού διαχωρισμού αέρα. Η μονάδα αυτή μπορεί να αποδώσει μεγάλες ποσότητες σε άζωτο υψηλής καθαρότητας με χαμηλό κόστος λειτουργίας. Το πράσινο υδρογόνο, όπως αναφέραμε στην ενότητα 0, παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές βάσει της εξίσωσης (9): [35,48]

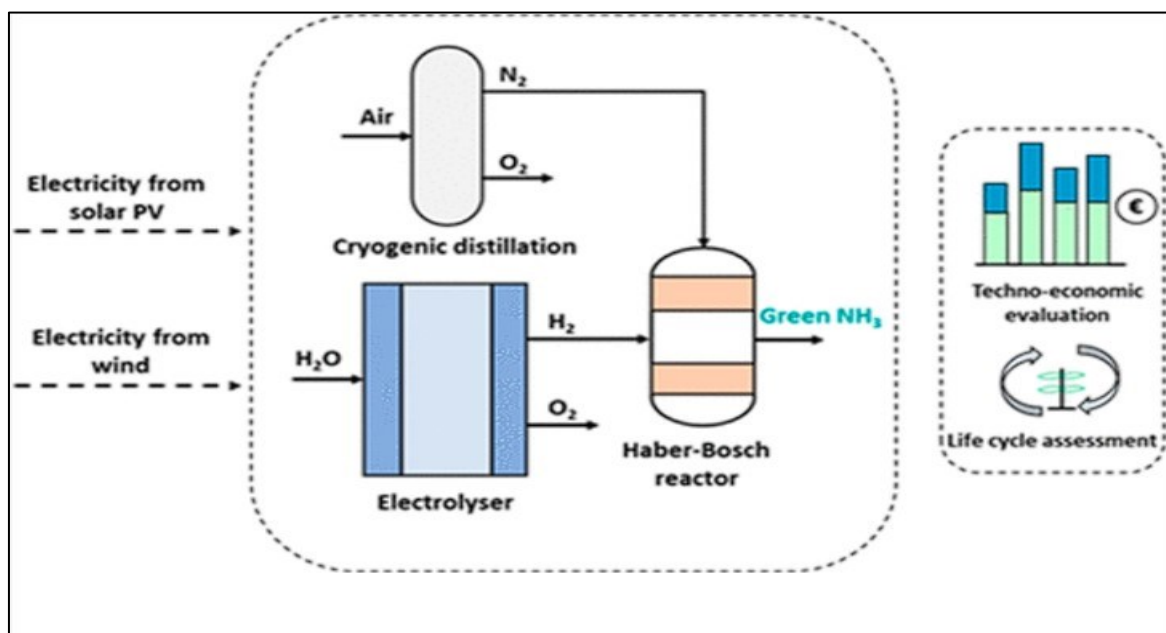


Το νερό, λοιπόν, εισέρχεται στην ηλεκτρολυτική διάταξη και μέσω δύο αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην άνοδο και στην κάθοδο της διάταξης παράγεται υδρογόνο. Η μέθοδος αυτή θα αναλυθεί εκτενώς στην ενότητα 0 της παρούσας εργασίας. [35]

Κατά τη διαδικασία Haber-Bosch μια τροφοδοσία υδρογόνου και αζώτου σε αναλογία 3:1 παίρνει μέρος στην εξώθερμη αντίδραση της εξίσωσης (11): [48]



Οι δεσμοί που συγκρατούν τα δύο άτομα του αζώτου στο μόριό του πρέπει να διασπαστούν για να μπορέσουν να αντιδράσουν. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σιδήρου ως καταλύτη. Οι συνθήκες της διεργασίας είναι σε ένα θερμοκρασιακό εύρος 723 – 873 K και ένα εύρος πίεσης 100 – 250 bar. Σε αυτές τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης τα μόρια του αζώτου προσροφώνται στην επιφάνεια του καταλύτη και διαχωρίζονται σε άτομα αζώτου. Τα άτομα αζώτου προσροφούν άτομα υδρογόνου κι έχουμε τον σχηματισμό της αμμωνίας στην επιφάνεια του καταλύτη. Το σχήμα 2-21 απεικονίζει τη διαδικασία που περιγράψαμε. [47]



Σχήμα 2-21: Σχηματική απεικόνιση e-αμμωνίας μέσω της διαδικασίας Haber-Bosch. [49]

2.3.3 Τρόπος εφαρμογής αμμωνίας στο πλοίο

Η αμμωνία, όπως και η μεθανόλη, είναι ένα εξαιρετικά διαβρωτικό και τοξικό υλικό. Αυτό σημαίνει ότι οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμου στο πλοίο αλλά και τα δίκτυα των σωληνώσεων μεταφοράς του θα πρέπει να πληρούν κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές. Αντίστοιχα, συγκεκριμένες προδιαγραφές θα πρέπει να πληρούν και οι σωληνώσεις και τα εξαρτήματα της μηχανής που θα κυκλοφορούν το καύσιμο ως το θάλαμο καύσης, καθώς και κάθε μέρος του κινητήρα που θα έρχεται σε επαφή μαζί του.

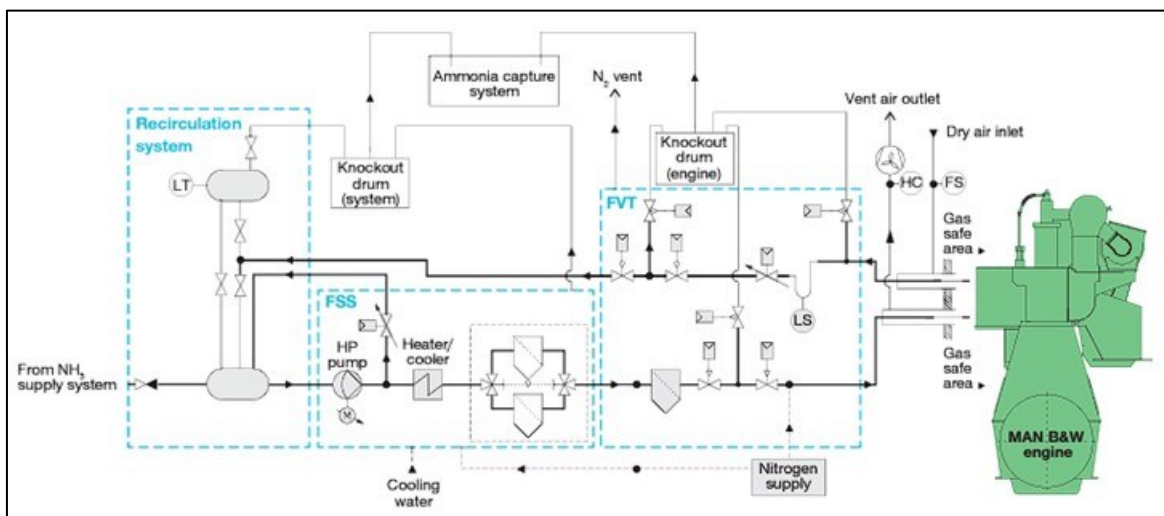
Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα μεταφοράς για την αμμωνία

Η εγκατάσταση είναι αρκετά παρόμοια με εκείνη που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα για τη μεθανόλη. Οι δεξαμενές καυσίμου θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο ατσάλι ή από ανθρακούχο ατσάλι με ειδική επίστρωση, σαν αυτήν που έχουν οι δεξαμενές μεταφοράς της αμμωνίας. Αυτά τα υλικά έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για χρήση στην αμμωνία και στους ατμούς αμμωνίας που αναπτύσσονται στον κενό χώρο της δεξαμενής πάνω από την επιφάνεια της υγρής αμμωνίας. Θα πρέπει να υπάρχει σύστημα ψύξης ούτως ώστε να διατηρείται η αποθηκευμένη αμμωνία στους -33°C και σε υγρή κατάσταση. Οι δεξαμενές θα χρειάζεται να έχουν ένα απομονωτικό διαμέρισμα, ένα διπλό τοίχωμα δηλαδή με κενό ανάμεσα, προβλέποντας τον αερισμό, τον εντοπισμό διαφεύγοντος αερίου και ασφαλή πρόσβαση στη δεξαμενή. Σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι η ενεργειακή πυκνότητα της αμμωνίας σε MJ/L είναι λιγότερη από τη μισή σε σύγκριση με το HFO, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη δεξαμενή καυσίμου και συγκεκριμένα αυξημένη κατά 176% σε σύγκριση με το HFO. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα διότι οι δεξαμενές θα καταβάλλουν ακόμη περισσότερο χώρο στο πλοίο μειώνοντας άλλους λειτουργικούς χώρους, για παράδειγμα φορτίου εμπορευμάτων. Επιπλέον απαιτείται η εγκατάσταση δεξαμενής υπερχειλίσσης. Στο πλοίο επίσης κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος κάποιου αδρανούς αερίου. Η χρήση αμμωνίας ως καύσιμο στο πλοίο απαιτεί ως επιπλέον εγκατάσταση τα εξής: [37,45,46]

- Fuel Valve Train: Η διάταξη αυτή βρίσκεται πριν την αντλία καυσίμου στην είσοδο της μηχανής κι ελέγχει την παροχή της αμμωνίας. Χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση της αμμωνίας από τα δίκτυα με κάποιο αδρανές αέριο.
- Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου: Η διάταξη αυτή θα διασφαλίζει την παροχή της αμμωνίας στη μηχανή στην επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση. Μια τυπική, τέτοια, διάταξη περιλαμβάνει αντλία υψηλής πίεσης, θερμαντήρα, φίλτρα και σύστημα ελέγχου για να διατηρεί την παροχή αμμωνίας σταθερή στις διάφορες καταναλώσεις της μηχανής
- Σύστημα ανακυκλοφορίας της αμμωνίας: Η ανακυκλοφορία της αμμωνίας βοηθάει στην αποφυγή παρουσίας καυσίμου και στις δύο φάσεις υγρή-αέρια.
- Γεννήτρια αδρανούς αερίου: Η διάταξη αυτή θα παρέχει στο πλοίο άζωτο ή κάποιο άλλο αδρανές αέριο για την απομάκρυνση της αμμωνίας από τα δίκτυα και τις σωληνώσεις για προστασία από διαρροές.

- Σωληνώσεις με διπλό τοίχωμα: Η ύπαρξη διπλού τοιχώματος στις σωληνώσεις που μεταφέρουν την αμμωνία και ιδιαίτερα όπου βρίσκεται σε υψηλή πίεση μέσα στο μηχανοστάσιο κρίνεται απαραίτητη για λόγους ασφάλειας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια δικλείδα ασφάλειας στην περίπτωση διαφυγής της. Σε περίπτωση διαφυγής δε θα απελευθερωθεί στον περιβάλλοντα χώρο αλλά θα παραμείνει στο κενό μεταξύ των δύο τοιχωμάτων των σωληνώσεων.
- Μηχανικός αερισμός των σωληνώσεων: Με αυτόν τον τρόπο εάν υπάρξει κάποια διαφυγή στο κενό μεταξύ των τοιχωμάτων θα κατευθυνθεί προς κάποιον αισθητήρα ανίχνευσης για εντοπισμό και επιπλέον θα είναι δυνατή η απομάκρυνσή της.
- Σύστημα παρακολούθησης, αισθητήρων ανίχνευσης και προειδοποιητικών σημάτων για την κυκλοφορία της αμμωνίας.
- Αντλία υψηλής πίεσης λαδιού για την ασφαλή σφράγιση βαλβίδων κι ενώσεων από όπου περνάει αμμωνία υπό πίεση.
- Σύστημα δέσμευσης αμμωνίας: Αυτή η διάταξη αποτελείται από ένα τύμπανο και είναι απαραίτητη στην εγκατάσταση της αμμωνίας για να μπορεί να αποφευχθεί η οποιαδήποτε απελευθέρωση αμμωνίας.

Στο σχήμα 2-22 φαίνεται το ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα της εγκατάστασης από τη δεξαμενή αποθήκευσης του καυσίμου ως τη μηχανή. Παρατηρούμε τους σωλήνες με τα διπλά τοιχώματα και το διπλό τοίχωμα των δεξαμενών. Είναι ευδιάκριτο ότι δεξαμενές και αντλιοστάσιο είναι σε διαφορετικό χώρο από αυτόν του μηχανοστασίου και ότι κάθε ξεχωριστή διάταξη είναι περικλειστη. Επιπλέον φαίνεται το σύστημα αδρανούς αερίου και το σύστημα μηχανικού αερισμού. Επίσης βλέπουμε το σύστημα δέσμευσης αμμωνίας, το σύστημα τροφοδοσίας και το σύστημα ανακυκλοφορίας. [46]



Σχήμα 2-22: Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα εγκατάστασης αμμωνίας στο πλοίο. [46]

Ο IMO έχει ενσωματώσει κανονιστικό πλαίσιο για τα πλοία που λειτουργούν με αμμωνία, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια του πλοίου. Κατά συνέπεια αυτού, οι νηογνώμονες ακολουθούν συγκεκριμένες διατάξεις προκειμένου να πιστοποιηθεί η καταλληλότητα του πλοίου για χρήση σε αμμωνία. Όπως για παράδειγμα το πλαίσιο που έχει δημοσιοποιήσει ο νηογνώμονας Bureau Veritas (BV) (https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/671-NR_2022-07.pdf). Οι διατάξεις αυτές αφορούν το σχεδιασμό του πλοίου, τις εγκαταστάσεις καυσίμου και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις αυτών, τα δίκτυα μεταφοράς του και τις μηχανές με τις βοηθητικές εγκαταστάσεις αυτών. Επίσης καλύπτουν τον έλεγχο και την εποπτεία λειτουργίας του εξοπλισμού αυτού και των απαραίτητων συστημάτων, ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον. Η κατηγοριοποίηση των επικίνδυνων περιοχών είναι αρκετά παρόμοια με την εγκατάσταση της μεθανόλης. [50]

Καθ' όλη την πορεία μεταφοράς της αμμωνίας μέσα στο πλοίο και ανάμεσα από τις διατάξεις από τις οποίες περνά κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος ανίχνευσης για ενδεχόμενη διαφυγή. Ανάλογοι αισθητήρες ανίχνευσης θα χρειάζεται να εγκατασταθούν κι επί της μηχανής, ενδεχομένως και σε κάθε έναν κύλινδρο ή μεταξύ αυτών. Επίσης αισθητήρες ανίχνευσης χρειάζονται και στην έξοδο του συστήματος μηχανικού αερισμού.

Μια βασική διαφορά της εγκατάστασης της αμμωνίας από εκείνη του LNG, LPG και της μεθανόλης είναι ότι η απομάκρυνση του καυσίμου από τα δίκτυα δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να διαφύγει στο περιβάλλον. Το σύστημα αδρανούς αερίου είναι απαραίτητο

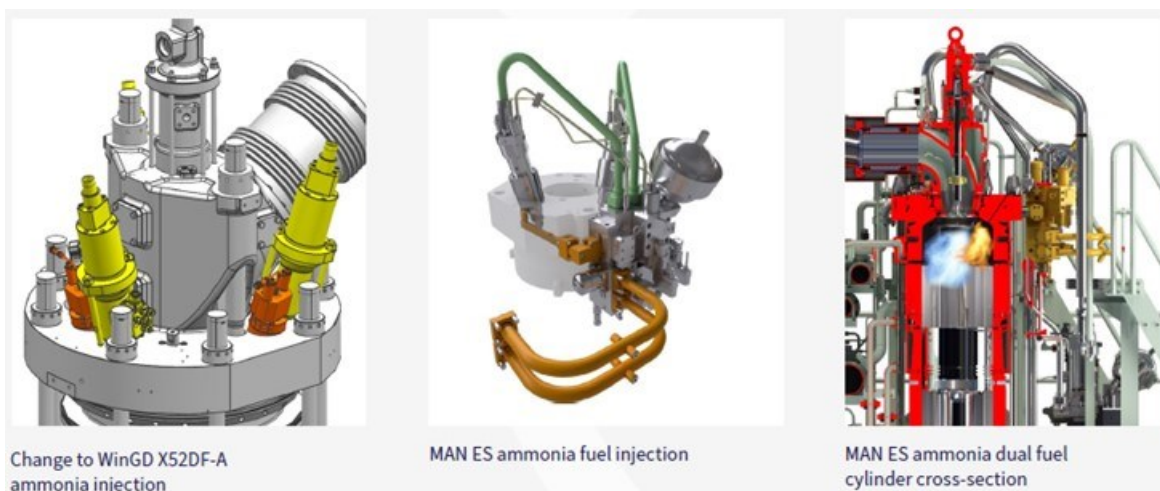
και η αμμωνία που απομακρύνεται από τα δίκτυα πρέπει να κατευθύνεται προς κάποιο σύστημα συλλογής και αποθήκευσης.

Καύση αμμωνίας στον κινητήρα

Επειδή η αμμωνία, όπως και η μεθανόλη δεν έχει τη δυνατότητα να αυταναφλεγεί στις συνθήκες καύσης εντός του κινητήρα, η καύση της αμμωνίας στηρίζεται στην τεχνολογία μηχανών διπλού καυσίμου. [45]

Η αμμωνία φτάνει στη μηχανή με τη βοήθεια του συστήματος τροφοδοσίας. Ένα μικρό ποσοστό της αμμωνίας δεν εισέρχεται στη μηχανή και τίθεται σε ανακυκλοφορία προς το σύστημα τροφοδοσίας. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η διατήρηση της αμμωνίας στην επιθυμητή κατάσταση κατά την είσοδό της στη μηχανή. [46]

Οι μηχανές που έχουν αναπτυχθεί ως στιγμές πραγματοποιούν την εισαγωγή της αμμωνίας στο θάλαμο καύσης με ψεκασμό όπως και το καύσιμο οδηγός. Η αμμωνία, επομένως, πρέπει να βρίσκεται σε υψηλή πίεση (περίπου στα 600-700 bar) διότι ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται στο χρόνο της συμπίεσης όπου η πίεση στο θάλαμο καύσης είναι υψηλή. Στη μηχανή υπάρχουν δύο ανεξάρτητα δίκτυα καυσίμου αυτό του καυσίμου οδηγού και αυτό της αμμωνίας. Το δίκτυο της αμμωνίας είναι κατασκευασμένο από σωλήνες διπλού τοιχώματος, με ηλεκτρονικά και υδραυλικά συστήματα να ελέγχουν την παροχή της και λάδι υψηλής πίεσης να σφραγίζει κάθε βαλβίδα και κάθε ένωση προς αποφυγή διαρροών. Στην κεφαλή της μηχανής υπάρχει ψεκαστήρας καυσίμου αμμωνίας ακριβώς δίπλα στον ψεκαστήρα καυσίμου οδηγού. Αυτός ο ψεκαστήρας θα ψεκάσει και την αμμωνία με πίεση στα 600-700 bar. Η αμμωνία εισέρχεται στο θάλαμο μετά την εισαγωγή του αέρα και ενώ το έμβολο ανεβαίνει στο χρόνο της συμπίεσης. Όταν το έμβολο φτάσει στο άνω νεκρό σημείο και ολοκληρωθεί ο χρόνος της συμπίεσης τότε μια μικρή ποσότητα του καυσίμου οδηγού ψεκάζεται στο θάλαμο καύσης, το οποίο λόγω της συμπίεσης αυταναφλέγεται και οδηγεί στην καύση της αμμωνίας με το έμβολο να κινείται προς το κάτω νεκρό σημείο κατά το χρόνο της εκτόνωσης. Στην αριστερή και τη μεσαία θέση της εικόνας 2-4 μπορούμε να δούμε τους ψεκαστήρες καυσίμου. Στη μεσαία θέση της εικόνας 2-4 μπορούμε να δούμε και τον hydraulic accumulator, ένα υδραυλικό σύστημα που ελέγχει τη ροή της αμμωνίας αλλά και το δίκτυο του λαδιού υψηλής πίεσης που χρησιμοποιείται ως σφραγιστικό μέσο. Τέλος στη δεξιά θέση φαίνεται και η πραγματοποίηση της καύσης. [45,46]



Εικόνα 2-4: Είσοδος της αμμωνίας στο θάλαμο καύσης [45]

Ακριβώς όπως είδαμε και με τη μεθανόλη, οι μηχανές διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν μια πολύ μικρή ποσότητα καυσίμου οδηγού η οποία ανέρχεται στο 5% του συνολικού καυσίμου που καταναλώνεται όταν η μηχανή λειτουργεί σε φορτίο άνω του 10% του ονομαστικού. Δυστυχώς σε φόρτιση της μηχανής χαμηλότερη του 10% του ονομαστικού φορτίου η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει με το εναλλακτικό καύσιμο και πρέπει να γίνει η εναλλαγή στον οδηγό ως κύριο για όσο διατηρείται σε τόσο χαμηλή φόρτιση. Επίσης μπορούν να λειτουργήσουν κανονικά σε φορτίο με το καύσιμο οδηγό ως κύριο καύσιμο. Αυτό τους δίνει το πλεονέκτημα ότι αν συμβεί οποιαδήποτε βλάβη ή αστοχία στο σύστημα της αμμωνίας μπορεί να γίνει εναλλαγή καυσίμου και να μην υποστεί το πλοίο ολική απώλεια ισχύος. Επιπλέον μπορεί να λειτουργήσει με το καύσιμο οδηγό για κύριο καύσιμο μέχρι να μπορέσει να αποκατασταθεί η βλάβη.

2.3.4 Εκπομπές ρύπων από τη χρήση αμμωνίας

Η αμμωνία είναι ανόργανη ένωση. Οπότε η καύση της δε θα απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με την αντίδραση της καύσης της τα προϊόντα είναι άζωτο και νερό, όπως φαίνεται στην εξίσωση (12):



Στα καυσαέρια θα περιέχεται μια μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, η οποία θα οφείλεται στο καύσιμο οδηγό. Οι δοκιμές έχουν δείξει πως αυτή η ποσότητα είναι πάρα πολύ μικρή και συγκεκριμένα μειωμένη συγκριτικά με το HFO περισσότερο από 95%. [37]

Επειδή όπως αναφέραμε παραπάνω η περιεκτικότητα της αμμωνίας σε θείο είναι μηδενική, μιλάμε για μείωση κατά 100% σε SOx συγκριτικά με το HFO. Όσον αφορά την απελευθέρωση σωματιδίων, που όπως έχουμε δει συνδέονται με την απελευθέρωση Sox., έχουμε μια μείωση συγκριτικά με το HFO μεγαλύτερη του 90%. Βλέπουμε, λοιπόν ότι, πλέον δε χρειάζεται σύστημα έκπλυσης των καυσαερίων (scrubber) για τα πλοία που κάνουν χρήση αμμωνίας. [37]

Όσον αφορά τα οξείδια του αζώτου τα οποία προέρχονται από την οξείδωση του αζώτου που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά την καύση αλλά και των οξειδίων του αζώτου που μπορεί να προκύψουν ως ανεπιθύμητα προϊόντα από την ατελή καύση της αμμωνίας, οι δοκιμές έχουν δείξει ότι η μηχανή εμπίπτει εντός της κατηγορίας Tier II. Δοκιμές που έγιναν σε τετράχρονο κινητήρα της Wärtsilä έδειξαν ότι κατά την καύση της αμμωνίας, απελευθερώνονται μικρότερες ποσότητες NO, και ακόμα μικρότερες ποσότητες NO₂. Απελευθερώνονται, όμως, σημαντικές ποσότητες N₂O σε συγκέντρωση που μπορεί να φτάσει και τα 400 ppm. Αυτό είναι ένα ακόμα ανεπιθύμητο προϊόν της ατελούς καύσης της αμμωνίας και αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου και μάλιστα έως και 300 φορές πιο επικίνδυνο από το διοξείδιο του άνθρακα. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε πως στις δοκιμές της MAN ES σε κινητήρα με αμμωνία η παραγωγή N₂O βρέθηκε σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα. (<https://www.lloydslist.com/LL1148963/MAN-claims-its-ammonia-engines-N2O-emissions-are-extremely-low>). Αυτό μας δείχνει πως είναι δυνατό να ελεγχθεί η απελευθέρωση τέτοιων ανεπιθύμητων αερίων στην ατμόσφαιρα. Αυτά σε συνδυασμό με ποσότητες άκαυστης αμμωνίας που μπορούν να διαφύγουν στα καυσαέρια αποτελούν τις βασικές εκπομπές από την καύση της αμμωνίας σε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα προϊόντα ατελούς καύσης μπορούν, ως ένα βαθμό, να ελεγχθούν εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη λειτουργία του κινητήρα. Παρ' όλ' αυτά για να μηδενιστεί ο οποιοσδήποτε κίνδυνος ρύπανσης αλλά και για να μπορεί το πλοίο να εισέλθει στις ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του αζώτου κρίνεται απαραίτητη η χρήση καταλυτικού συστήματος SCR [37,42,51]

Όσον αφορά το σύστημα κατάλυσης είναι πιθανό να χρειάζεται μια διάταξη αυξημένη σε όγκο. Η διάταξη αυτή απομακρύνει τα οξείδια του αζώτου από τα καυσαέρια μέσω της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής, SCR. Ενώ είναι ικανό να απομακρύνει και άλλες ανεπιθύμητες αζωτούχες ενώσεις από τα καυσαέρια όπως το υποξείδιο του αζώτου και η αμμωνία. Το πλεονέκτημα για τα πλοία που κινούνται με αμμωνία έγκειται στο ότι είναι

εφικτό να αντικατασταθεί η ουρία που χρησιμοποιείται κοινώς ως αναγωγικός παράγοντας με αμμωνία η οποία βρίσκεται ήδη σε απόθεμα επί του πλοίου. [46]

Τέλος, για να είναι πλήρως ουδέτερο το αποτύπωμά των πλοίων που κινούνται με αμμωνία ίσως να χρειάζεται και η χρήση συστήματος δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα CCS για να δεσμεύει τις μικρές ποσότητες που απελευθερώνονται από το καύσιμο οδηγό ή σε περίπτωση ανάγκης που το σύστημα της αμμωνίας μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας.

2.3.5 Ασφάλεια εγκατάστασης και εργαζομένων σε πλοίο με αμμωνία

Στην περίπτωση χρήσης αμμωνίας η εγκατάσταση δεν έχει αυξημένο κίνδυνο έκρηξης και πυρκαγιάς, όπως συμβαίνει με τη μεθανόλη. Η αμμωνία μπορεί να οδηγήσει σε πυρκαγιά σε περίπτωση που υγρή αμμωνία υψηλής πίεσης διαρρεύσει. Σε αυτήν την περίπτωση εξατμίζεται βίαια κι ενώ κανονικά είναι πιο ελαφριά από τον αέρα, σε αυτήν την περίπτωση δημιουργεί ένα πυκνό σύννεφο ατμών το οποίο είναι εύφλεκτο. Κίνδυνο πυρκαγιάς μπορεί, επίσης, να παρουσιάσει σε περίπτωση που αναμειχθεί με νερό στο οποίο η αμμωνία παρουσιάζει μεγάλη διαλυτότητα. Το υδατικό διάλυμα είναι τοξικό, και παρόλο που δεν είναι εύφλεκτο, η υψηλή θερμοκρασία της φωτιάς αυξάνει την αμμωνία στην αέρια φάση που είναι εύφλεκτη και αυξάνεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Θα επικεντρωθούμε λοιπόν, στην τοξικότητα της αμμωνίας και στους κινδύνους για την υγεία του πληρώματος. [45]

Ασφάλεια και υγιεινή πληρώματος στο χειρισμό της αμμωνίας

Η αμμωνία είναι τοξικό υλικό και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο χειρισμό της. Πρέπει σε κάθε περίπτωση να αποφεύγεται η εισπνοή, η κατάποση της, καθώς και η επαφή της με τα μάτια και το δέρμα. Η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό και εγκαύματα σε περίπτωση επαφής με το δέρμα, ενώ μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμες βλάβες στα μάτια. Επομένως τα μέσα ατομικής προστασίας κρίνονται απαραίτητα κατά τον χειρισμό της. Είναι επίσης ερεθιστική για το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό και έγκαυμα στο στόμα, το λαιμό και τους πνεύμονες. Υψηλά επίπεδα έκθεσης μπορούν να προκαλέσουν μόνιμες βλάβες στους πνεύμονες που είναι ικανές να προκαλέσουν θάνατο. [45]

Η αποθήκευση της αμμωνίας σε χαμηλή θερμοκρασία (-33°C) και σε χαμηλή πίεση (1 bar) φαίνεται να είναι η βέλτιστη, καθώς έτσι σε περίπτωση διαρροής θα λιμνάσει και θα εξατμιστεί με κανονικούς ρυθμούς. Αν ήταν υπό πίεση (που είναι ένα σενάριο για μείωση όγκου της δεξαμενής στο πλοίο) τότε θα εξατμιζόταν βίαια, σχεδόν ακαριαία, σχηματίζοντας πυκνό σύννεφο που θα παρέμενε χαμηλά στο χώρο. [52]

Σε περίπτωση απλής διαρροής ή διαφυγής ατμών αμμωνίας στον περιβάλλοντα χώρο, εκείνη θα εξαπλωθεί στα ανώτερα στρώματα του περιβάλλοντος χώρου, διότι είναι πιο ελαφριά από τον αέρα. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος εξαερισμού και ανίχνευσης αμμωνίας σε υψηλά σημεία των χώρων του πλοίου που γίνεται χειρισμός αμμωνίας. Σε περίπτωση διαφυγής στον περιβάλλοντα χώρο, το σύστημα αμμωνίας θα πρέπει να τερματίζεται αυτόματα για λόγους έκτακτης ανάγκης και δεν θα πρέπει να εκκινείται εκ νέου έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη. [45,52]

Αντίστοιχα τερματισμός της λειτουργίας της αμμωνίας θα πρέπει να γίνεται αν κάποιος αισθητήρας ανιχνεύσει παρουσία αμμωνίας στο εσωτερικό διπλών τοιχωμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση ελεγχόμενης διαρροής θα πρέπει να γίνει εναλλαγή καυσίμου και να καθαριστούν πλήρως τα δίκτυα με το σύστημα αδρανούς αερίου. Ενώ δεν θα πρέπει να εκκινείται εκ νέου το σύστημα αμμωνίας έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη. Όλοι οι περικλειστοί χώροι, τα διπλά τοιχώματα, τα συστήματα ανίχνευσης και αερισμού είναι εγκαταστάσεις απαραίτητες για να διασφαλίζεται η υγεία του πληρώματος και η ασφάλειά του. [46,52]

Επίσης πριν την έναρξη της οποιασδήποτε εργασίας συντήρησης θα πρέπει να απομακρύνεται πλήρως η αμμωνία από τη μηχανή και τα δίκτυα με τη βοήθεια του συστήματος αδρανούς αερίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα αποφευχθεί η οποιαδήποτε απελευθέρωση αμμωνίας στον περιβάλλοντα χώρο κατά την αποσυναρμολόγηση των υπό συντήρηση μερών και θα διασφαλίζεται η υγεία των εργαζομένων. Επιπλέον πριν την έναρξη λειτουργίας στο σύστημα μεθανόλης μπορούν να δοκιμαστούν τα δίκτυα για διαρροές με το σύστημα αδρανούς αερίου. [46,52]

Παρ' ότι η αμμωνία τώρα αρχίζει να εφαρμόζεται ως καύσιμο στη ναυτιλία, υπάρχει μεγάλη εμπειρία από το χειρισμό της ως εμπόρευμα ή ως ψυκτικό μέσο στις εγκαταστάσεις του πλοίου. Υπάρχει εμπειρία, δυστυχώς, από προηγούμενα ατυχήματα στον τομέα της ναυτιλίας που έχουν οδηγήσει σε θάνατο μελών πληρώματος λόγω διαφυγής αμμωνίας. Το

βασικό πρόβλημα είναι η διασπορά που μπορεί να παρουσιάσει η αμμωνία από μια ενδεχόμενη διαρροή. Από τις δοκιμές που έχουν γίνει έχει βρεθεί ότι μια μικρή διαρροή της τάξης των 30 ppm είναι ικανή να κατακλύσει σχεδόν όλους τους χώρους του πλοίου. Επίσης έχει βρεθεί ότι σε περίπτωση διαφυγής αμμωνίας, ένα σύστημα καταιονισμού νερού που αποτελείται από ένα σύνολο ακροφυσίων ψεκασμού υψηλής πίεσης, που είναι τοποθετημένα ακτινικά γύρω από το χώρο είναι πολύ αποτελεσματικό. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να καθαρίσει το χώρο από το αέριο αμμωνίας που διαχέεται, να μειώσει τη διασπορά του και να μετριάσει τις συγκεντρώσεις αυτού του τοξικού αερίου. [53]

2.3.6 Οικονομοτεχνική ανάλυση για την αμμωνία

Η διαφορά του κόστους για τη ναυπήγηση ενός πλοίου σε χρήση αμμωνίας αν το συγκρίνουμε με τη ναυπήγηση ενός πλοίου με μηχανές διπλού καυσίμου για χρήση σε μεθανόλη που περιγράψαμε στην προηγούμενη υποενότητα είναι πολύ μικρές γιατί και τα δύο αυτά καύσιμα έχουν παρόμοιο κανονιστικό πλαίσιο για τον τρόπο εγκατάστασης επί του πλοίου. Η διαφορά είναι στις δεξαμενές που πρέπει να κρατούν την αποθηκευμένη αμμωνία στους -33°C και στο σύστημα τροφοδοσίας και ανακυκλοφορίας. Γι' αυτό το λόγο αναμένεται η εγκατάσταση της αμμωνίας να είναι λίγο πιο ακριβή. [45]

Στον πίνακα 2-10 βλέπουμε συγκριτικές τιμές για το καθαρό κεφαλαιακό έξοδο για μια ναυτιλιακή εταιρεία, όσον αφορά το σύστημα καυσίμου για ναυπήγηση νέου πλοίου με μηχανές ισχύος 6, 14 ή 50 MW. [44]

Πίνακας 2-10 Καθαρό κεφαλαιακό έξοδο για το σύστημα καυσίμου σε ναυπήγηση νέου πλοίου ανά ισχύ μηχανών σε εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια για το σύστημα καυσίμου αμμωνίας. [44]

Fuel type	6 MW	14 MW	50 MW
Heavy Fuel Oil	2,5	3,5	5
Ammonia	4	6	10

Βλέπουμε ότι οι τιμές για την αμμωνία σε σύγκριση με το HFO είναι περίπου διπλάσιες. Παρ' όλ' αυτά υπολογίζοντας και τις νέες ναυπηγήσεις σε πλοία με χρήση αμμωνίας, συμπεραίνουμε ότι το κόστος ναυπήγησης δεν είναι αποτρεπτικός παράγοντας. Οπότε κύριος παράγοντας για το κόστος της μεταστροφής στην αμμωνία ως εναλλακτικό καύσιμο για τη ναυτιλία φαίνεται να είναι το κόστος του ίδιου του καυσίμου.

Οι τιμές για την αμμωνία αυτή τη στιγμή εξαρτώνται από τις εκάστοτε τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και διαφέρουν πολύ ανά περιοχή και ανά μέγεθος παραγωγικής μονάδας, ένας μέσος όρος είναι περίπου στα 1.000 δολάρια Αμερικής ανά τόνο (USD/tn). [54]

Η παραγωγή της πράσινης αμμωνίας είναι ακόμη πολύ χαμηλή και το κόστος που θα διαμορφωθεί είναι αβέβαιο. Η αγορά πιέζει για διαθεσιμότητα και βιώσιμο κόστος στη μπλε και την πράσινη αμμωνία καθώς νέοι τομείς στρέφονται προς αυτήν την επιλογή ως μέσο παροχής ενέργειας, όπως αυτός της ναυτιλίας. Παράλληλα οι τομείς που κάνουν χρήση γκρι, μαύρης και καφέ αμμωνίας θέλουν να στραφούν σε φιλικότερες προς το περιβάλλον επιλογές όπως η μπλε και η πράσινη. Αυτό όμως δε θα μπορέσει να επιτευχθεί αν δεν ολοκληρωθούν περισσότερες μονάδες παραγωγής πράσινης και μπλε αμμωνίας και να ξεκινήσουν να αποδίδουν σημαντικές ποσότητες παραγωγής. [45]

Στον πίνακα 2-11 μπορούμε να δούμε συγκριτικές τιμές του κόστους λειτουργίας ενός πλοίου μεταξύ του HFO και της πράσινης αμμωνίας όπως μετρήθηκε το 2021 σε μια μηχανή 6 MW. Παρατηρούμε ότι το κόστος του καυσίμου είναι πενταπλάσιο και ανάλογο της μεθανόλης με τις τιμές του 2021. [44]

Πίνακας 2-11: Συγκριτικό κόστος λειτουργίας μηχανής σε HFO και πράσινη αμμωνία σε εκατομμύρια αμερικανικά δολάρια. [44]

Fuel type	Pilot fuel (%)	Average load (%)	Specific Fuel Oil Consumption (tn/year)	Specific Pilot Oil Consumption (tn/year)	Annual total fuel cost (2021) (x 1000 USD)
Heavy Fuel Oil	0	75	3.052	0	1.361
Green Ammonia	5	75	6203	195	6067

Αυτά, δυστυχώς, καθιστούν την επιλογή της πράσινης αμμωνίας προς το παρόν μη ανταγωνιστική. Αναμένεται, βέβαια, στο μέλλον με την ανάπτυξη της παραγωγής, οι τιμές να διαμορφωθούν σε επίπεδα που θα μπορούν να ανταγωνιστούν αυτές του πετρελαίου.

Τέλος όσον αφορά το κόστος πρέπει να συνυπολογίσουμε και τον φόρο για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Στον πίνακα 2-7 μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα μίας μηχανής ισχύος 6 MW με 4000 ώρες λειτουργίας σε μέση φόρτιση 75% σε HFO και πράσινη αμμωνία με ποσόστωση καυσίμου οδηγού 5%. Βλέπουμε τις εκπομπές της σε διοξείδιο του άνθρακα και τον φόρο που αναλογεί με το σενάριο για χαμηλότερο όριο στα 27 USD/tn και το σενάριο για το υψηλότερο όριο στα 322 USD/tn. [44]

Πίνακας 2-12: Συγκριτικές τιμές φόρου διοξειδίου του άνθρακα για λειτουργία σε HFO και πράσινη αμμωνία. [44]

Fuel type	Operating hours for main fuel	Operating hours for pilot fuel	CO ₂ (g/kWh)	CO ₂ from main fuel (tn)	CO ₂ from pilot fuel (tn)	Total CO ₂ (tn)	Low Tax scenario (x 1000 USD)	High Tax scenario (x 1000 USD)
Heavy Fuel Oil	4.000	0	570	13.680	0	13.680	369,36	4.405
Green Ammonia	3.733	160	35	783,93	33,6	817,53	22,07	263,25

Κλείνοντας αυτήν την ενότητα είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η πρόβλεψη είναι η πράσινη αμμωνία να μπορεί να ανταγωνιστεί τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα από το 2035 και μετά. [44]

2.4 Υδρογόνο

2.4.1 Γενική περιγραφή για το υδρογόνο

Το υδρογόνο είναι ένα άχρωμο, άοσμο και εξαιρετικά εύφλεκτο αέριο. Είναι ένα χημικό στοιχείο που βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στη φύση. Ο βασικότερος λόγος που έχει επιλεγεί ως πιθανό εναλλακτικό καύσιμο για τη ναυτιλία είναι ότι κατά την καύση του παράγει μόνο υδρατμούς. [55]

Η καύση του σε μηχανές εσωτερικής καύσης είναι πολύ καθαρή. Η περιεκτικότητα σε θείο ενός καυσίμου υδρογόνου είναι μηδενική αποφεύγοντας τις εκπομπές οξειδίων του θείου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το καράβι που τη χρησιμοποιεί καθίσταται, αυτομάτως να εμπίπτει εντός του κανονισμού για τις εκπομπές οξειδίων του θείου εντός κι εκτός ζωνών ελεγχόμενων εκπομπών. Η ειδική του ενέργεια ως καύσιμο είναι αξιοσημείωτα υψηλή και υπολογίζεται στα 120 MJ/kg, σχεδόν 30 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του HFO. Ενώ η ενεργειακή του πυκνότητα υπολογίζεται στα 8,5 MJ/L, περίπου 4 φορές μικρότερη από εκείνη του HFO. Βέβαια, παρουσιάζει μια δυσκολία όσον αφορά την αποθήκευσή του στο πλοίο, διότι απαιτεί κρυογενικό θάλαμο για να διατηρείται σε θερμοκρασία -253°C και

πίεση 1 bar. Ανάλογη απαίτηση έχει γενικά για την αποθήκευση και τη μεταφορά του. [42,55]

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υδρογόνου, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής του. Συνήθως αναφερόμαστε στον κάθε τύπο χρησιμοποιώντας έναν χρωματικό κώδικα, όπως φαίνεται στον πίνακα 2-13. [56]

Πίνακας 2-13: Βασική κατηγοριοποίηση του υδρογόνου ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του [56]

Χρωματικός κώδικας	Άλλη ονομασία	Τρόπος παραγωγής	Εκπομπές
Μαύρο/Καφέ	-	Με χρήση λιγνίτη ως πρώτη ύλη, παράγεται υδρογόνο με την αντίδραση ατμο-αναμόρφωσης.	Θεωρείται ο τρόπος παραγωγής με τις υψηλότερες εκπομπές.
Γκρι	-	Με χρήση φυσικού αερίου ως πρώτη ύλη, παράγεται υδρογόνο με την αντίδραση ατμο-αναμόρφωσης.	Οι εκπομπές χαρακτηρίζονται ανεξέλεγκτες.
Μπλε	-	Ίδιος τρόπος παραγωγής με τη γκρι αλλά με παράλληλη χρήση συστήματος δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.	Σημαντικά μειωμένες από τη μαύρη/γκρι/καφέ.
Πράσινο	e-hydrogen	Παράγεται από την ηλεκτρόλυση του νερού με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.	Χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές έχει τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές

Η International Energy Agency (IEA) χρησιμοποιεί το χρωματικό κώδικα του πίνακα 2-13 και σημειώνει ότι δεν υπάρχουν καθιερωμένα χρώματα για την κωδικοποίηση της παραγωγής υδρογόνου με πρώτη ύλη τη βιομάζα και της παραγωγής υδρογόνου με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και από πυρηνικά εργοστάσια. Δεν υπάρχει ενιαία προσέγγιση σε αυτό το θέμα, όμως. Η κατηγοριοποίηση διαφέρει από έρευνα σε έρευνα ανάλογα την προσέγγιση που χρησιμοποιεί ο κάθε συγγραφέας. Στον πίνακα 2-14 μπορούμε να δούμε κάποιους ακόμα κοινά χρησιμοποιούμενους χρωματικούς κώδικες για το υδρογόνο. [57,58]

Πίνακας 2-14: Πρόσθετη κατηγοριοποίηση του υδρογόνου ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του [57,58]

Χρωματικός κώδικας	Άλλη ονομασία	Τρόπος παραγωγής	Εκπομπές
Ροζ	-	Ίδιος τρόπος παραγωγής με την πράσινη με τη διαφορά ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται προέρχεται από πυρηνική ενέργεια.	Χαμηλές
Κίτρινο	Πορτοκαλί	Ίδιος τρόπος παραγωγής με την πράσινη με τη διαφορά ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται προέρχεται από το εθνικό δίκτυο.	Πλήρως εξαρτώμενες από τις εκπομπές του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.
Τιρκουάζ	-	Παράγεται με πυρόλυση ορυκτών καυσίμων.	Χαμηλές
Χρυσό	-	Παράγεται με μικροβιακή ζύμωση.	Χαμηλές
Λευκό	-	Το υδρογόνο που βρίσκεται ελεύθερο στη φύση.	-

Το υδρογόνο ανεξάρτητα με ποιον τρόπο παράγεται, έχει ακριβώς τις ίδιες ιδιότητες. Κατ' επέκτασιν, προκύπτουν ακριβώς οι ίδιες προοπτικές και δυσκολίες από το εγχείρημα της χρήσης του ως καύσιμο σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. [55]

Πλεονεκτήματα και προοπτικές από τη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο στη ναυτιλία: [55]

- Μηδενικές εκπομπές από όλον τον κύκλο ζωής του αν πρόκειται για e-υδρογόνο.
- Λόγω της πολύ υψηλής ειδικής του ενέργειας χρειάζεται να αποθηκευτεί πολύ μικρότερη ποσότητα για χρήση του σε σύγκριση με άλλα καύσιμα για την παραγωγή του ίδιου ποσού ενέργειας.

Προκλήσεις και προβληματισμοί από τη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο στη ναυτιλία: [55]

- Χρειάζεται κρυογενικό θάλαμο για την αποθήκευσή του.
- Είναι εξαιρετικά εύφλεκτο. Οπότε απαιτεί αυξημένα μέτρα για την ασφάλεια της εγκατάστασης.
- Έμμεσες εκπομπές. Παρόλο που το υδρογόνο δεν αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου, σε περίπτωση διαφυγής του μπορεί να αντιδράσει με άλλα στοιχεία και ενώσεις του ατμοσφαιρικού αέρα και να σχηματίσει αέρια του θερμοκηπίου.

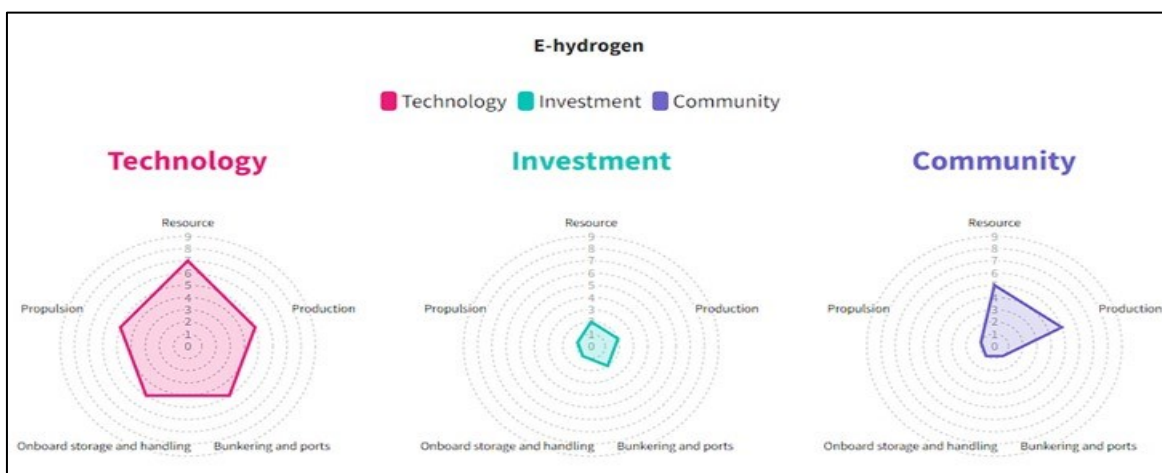
Όπως είδαμε και στις προηγούμενες ενότητες, η ετοιμότητα εφαρμογής του καυσίμου μετριέται από τρεις δείκτες. Τον TRL, τον IRL, και τον CRL. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ανάλυση του πράσινου υδρογόνου και την αναγκαιότητα ανάπτυξης της παραγωγής του. Διότι, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η επιτυχής ανάπτυξη ενός εναλλακτικού καυσίμου για τη ναυτιλία βασίζεται στην προϋπόθεση μεταστροφής σε ένα καύσιμο με μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Για να είναι αυτό αληθές, θα πρέπει να μετριέται ολόκληρος ο κύκλος ζωής του και όχι μόνο οι εκπομπές που προκύπτουν κατά την καύση του σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Και εφ' όσον οι εκπομπές κατά την καύση είναι ίδιες για κάθε έναν από τους δύο τύπους υδρογόνου, πρέπει να εστιάσουμε στους χαμηλότερους αέριους ρύπους κατά την παραγωγή του. Όπως είδαμε παραπάνω, στον πίνακα 2-13, τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές αέριων ρύπων κατά την παραγωγή του, τις δίνει το πράσινο υδρογόνο. Κατ' επέκτασιν και καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Το μπλε υδρογόνο αποτελεί καλή επιλογή για τη μεταβατική περίοδο μέχρι την αύξηση της παραγωγής του πράσινου υδρογόνου. Στη συνέχεια θα πρέπει να εγκαταλειφθεί για να πραγματοποιηθεί πλήρης απανθρακοποίηση του τομέα. Σε κάθε περίπτωση, αν δεν καλύπτεται η ζήτηση σε υδρογόνο από την παραγωγή πράσινου, το μπλε υδρογόνο αποτελεί μια καλή εναλλακτική υπό το πρίσμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [55]

Στον πίνακα 2-15 και στο σχήμα 2-23 φαίνεται η ετοιμότητα εφαρμογής του πράσινου υδρογόνου με αξιολόγηση των τριών δεικτών ετοιμότητας TRL, IRL και CRL. [34]

Πίνακας 2-15: Αξιολόγηση ετοιμότητας για την πράσινη αμμωνία. [34]

	TRL					IRL				CRL			
	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship Onboard storage and handling	Ship Propulsion	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship
E-hydrogen	7	5▲	5▲	5	6	2▲	2	2▲	1	4	5▲	1	1

Το σύμβολο ▲ υποδηλώνει τάση αύξησης.



Σχήμα 2-23: Αξιολόγηση ετοιμότητας για το e-υδρογόνο. [55]

Παρατηρούμε ένα σχετικά καλό επίπεδο ετοιμότητας στο δείκτη TRL, ενώ είναι εμφανής η ανάγκη ανάπτυξης των υπόλοιπων δεικτών και ειδικά του IRL.

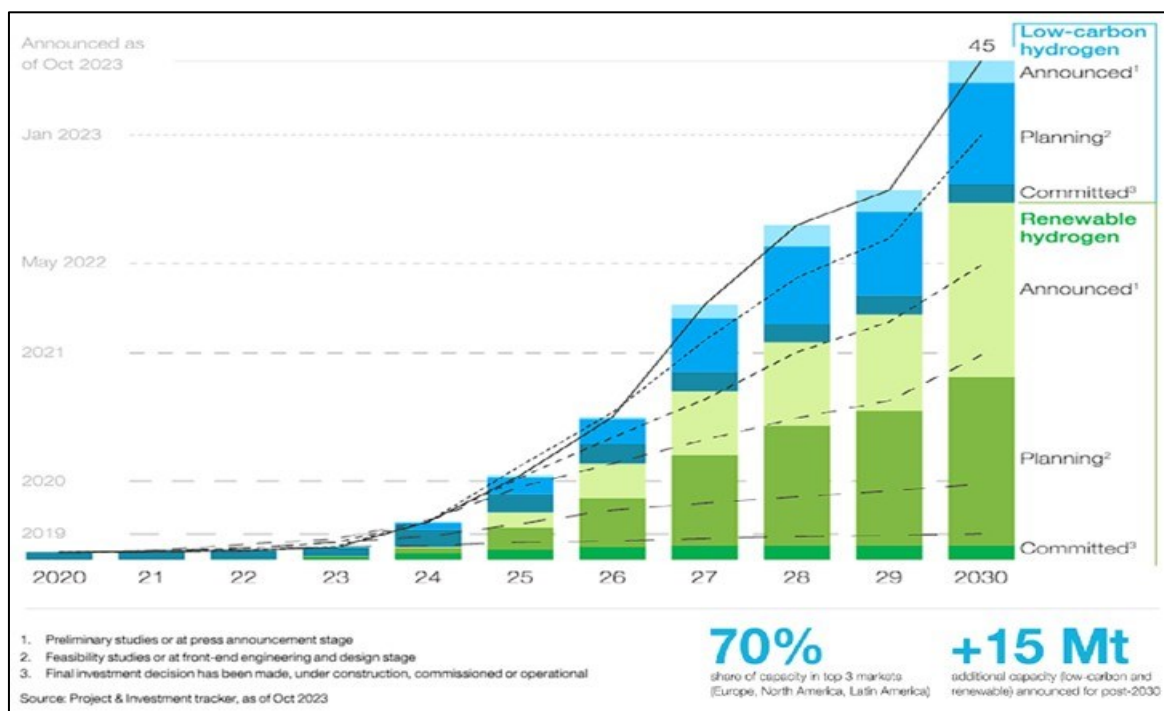
Με την προβλεπόμενη αύξηση στη ζήτηση του υδρογόνου, έχουν αναπτυχθεί σχέδια για εγκαταστάσεις εφοδιασμού και αποθήκευσης υδρογόνου σε μεγάλα λιμάνια για εμπορικούς λόγους. Ένα παράδειγμα είναι το σχέδιο που ανέπτυξαν οι P. S.-L. Chen et al. Στο άρθρο τους με τίτλο «A review on ports' readiness to facilitate international hydrogen trade» όπως φαίνεται στην εικόνα 2-5. Αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τον τομέα της ναυτιλίας για τον ανεφοδιασμό καυσίμου των πλοίων. [59]



Εικόνα 2-5: Προτεινόμενα σημεία εφοδιασμού και αποθήκευσης πράσινου υδρογόνου σε μεγάλα λιμάνια. [59]

2.4.2 Παραγωγή πράσινου υδρογόνου

Αυτή τη στιγμή το υδρογόνο παράγεται κυρίως με πρώτη ύλη ορυκτά καύσιμα. Το 2021 η παγκόσμια παραγωγή όλων των τύπων υδρογόνου άγγιξε τους 94 εκατομμύρια τόνους και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που αντιστοιχούσαν στην παραγωγή του ανερχόταν στους 900 εκατομμύρια τόνους. Η παραγωγή υδρογόνου αποτελείται κατά 19% από μαύρο/καφέ υδρογόνο, κατά 62% από γκρι υδρογόνο, κατά 0,68% από μπλε υδρογόνο, κατά 0,02% από πράσινο υδρογόνο και κατά 0,3% από έλαια (βιομάζα). Το υπόλοιπο 18% αποτελεί παραπροϊόν της αναμόρφωσης της νάφθας στα διυλιστήρια όπου καταναλώνεται εξ' ολοκλήρου στα διυλιστήρια αυτά, για άλλες διεργασίες όπως για παράδειγμα η αποθείωση καυσίμων. Η παραγωγή μπλε και πράσινου υδρογόνου είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα κι αναμένεται να αυξηθεί πολύ η ζήτησή τους, διότι όλοι οι τομείς χρήσης του υδρογόνου θα αποζητούν τρόπους να κάνουν το αποτύπωμά τους πιο ουδέτερο καθώς και νέοι τομείς θα στραφούν προς το υδρογόνο για τον ίδιο λόγο. Επομένως η παραγωγή του θα πρέπει να αυξηθεί αντίστοιχα για να καλύψει τη διευρυνόμενη αυτή ανάγκη. Στο σχήμα 2-24 βλέπουμε την αναμενόμενη αύξηση της παραγωγής για το μπλε και το πράσινο υδρογόνο μέχρι το 2030 με την αναμενόμενη έμφαση στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου. [60,61]



Σχήμα 2-24: Αναμενόμενη αύξηση παραγωγής πράσινου και μπλε υδρογόνου ως το 2030. [61]

Όπως αναφέραμε, θα επικεντρωθούμε στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Αυτή τη στιγμή αν και η παραγωγή του είναι πολύ χαμηλή, ήδη παρουσιάζει αύξηση. Ενδεικτικά η παραγωγή του πράσινου υδρογόνου για το 2021 αυξήθηκε κατά 20% από το 2020. Ενώ εκτιμάται πως από την παραγωγή των 35.000 τόνων που σημείωσε το 2021, μέχρι το 2030 θα φτάσει τους 32 εκατομμύρια τόνους με δεδομένο ότι μέχρι τον Οκτώβρη του 2023 έχουν ανακοινωθεί 166 νέα προγράμματα παραγωγής υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα. [61]

Οι βασικές τεχνολογίες για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου είναι τρεις. Η ηλεκτρόλυση αλκαλικού νερού, η ηλεκτρόλυση με χρήση μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων και η κυψέλη ηλεκτρόλυσης στερεού οξειδίου. Η δεύτερη, ακόμα, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας και η τελευταία βρίσκεται ακόμη σε προ-εμπορικό στάδιο. Θα επικεντρωθούμε, λοιπόν, στην ηλεκτρόλυση αλκαλικού νερού που είναι σε εφαρμογή σε εμπορικό στάδιο ευρείας κλίμακας. Η ηλεκτρόλυση είναι μια ηλεκτροχημική διεργασία που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό του νερού σε αέρια υδρογόνου και οξυγόνου και η γενική αντίδραση που τη διέπει είναι η εξίσωση (9): [35,62,63]



Μέθοδος παραγωγής e-υδρογόνου από ηλεκτρόλυση νερού παρουσία βάσης

Σε αυτήν την τεχνολογία, τα ηλεκτρόδια βρίσκονται βυθισμένα σε έναν υγρό ηλεκτρολύτη που διαχωρίζονται από ένα διάφραγμα. Συνήθως ο ηλεκτρολύτης είναι 25% – 30% κατά βάρος υδατικό διάλυμα καυστικού καλίου. Η ποιότητα του παραγόμενου αερίου υδρογόνου, μετά την ξήρανση, κυμαίνεται συνήθως από 99,5% έως 99,9% και η ποιότητα του παραγόμενου οξυγόνου από 99% έως 99,8%. Η διάταξη αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια την άνοδο και την κάθοδο τα οποία βρίσκονται σε δύο διαφορετικούς χώρους και τα χωρίζει μια μεμβράνη αγωγής ιόντων. Τα ηλεκτρόδια αυτά τα τροφοδοτεί μια εξωτερική πηγή τάσης συνεχούς ρεύματος που δίνει στη διάταξη την απαραίτητη ενέργεια για να ξεκινήσει η ηλεκτρολυτική διαδικασία. Κατά την παραγωγή πράσινου υδρογόνου είναι σημαντικό αυτή η ενέργεια να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Η άνοδος συνδέεται με το θετικό πόλο της πηγής ελκύοντας ανιόντα. Στο χώρο της ανόδου τα μόρια του νερού οξειδώνονται απελευθερώνοντας αέριο οξυγόνο και σχηματίζουν κατιόντα υδρογόνου. Ταυτόχρονα στο χώρο της καθόδου, που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της πηγής έλκοντας κατιόντα, τα μόρια του νερού ανάγονται απελευθερώνοντας αέριο

υδρογόνο και σχηματίζουν ανιόντα υδροξυλίου. Η μεμβράνη αγωγής ιόντων αποτελεί εκλεκτική δίοδο των ιόντων ενώ παράλληλα εμποδίζει την ανάμιξη των δύο αερίων που απελευθερώνονται. Καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της διεργασίας δεν παρατηρείται κατανάλωση του αλκαλικού μέσου, το οποίο σημαίνει ότι συμβάλλει μόνο στην αύξηση της αγωγιμότητας του διαλύματος. Η διάταξη καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της τροφοδοτείται συνεχώς με νερό που διαχωρίζεται σε αέρια υδρογόνου και οξυγόνου που συλλέγονται κατά την έξοδο. [35,62]

Στα ηλεκτρόδια πραγματοποιούνται οι εξής ημι-αντιδράσεις: [62]

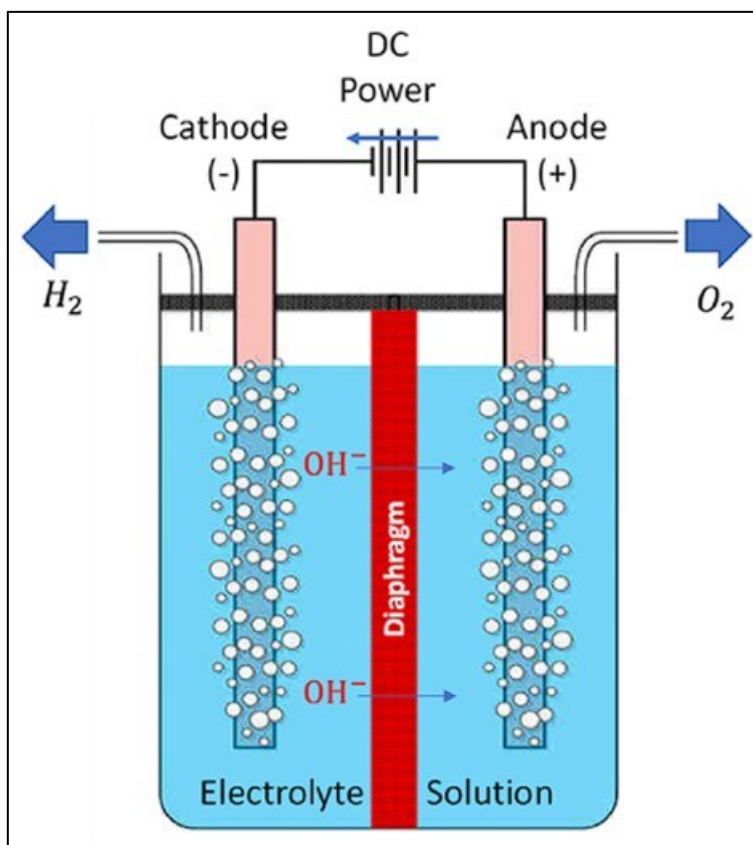
Κάθοδος (αναγωγή):



Άνοδος (οξείδωση):



Στο σχήμα 2-25 μπορούμε να δούμε μια σχηματική απεικόνιση της διεργασίας που περιγράψαμε.



Σχήμα 2-25: Σχηματική απεικόνιση διάταξης ηλεκτρόλυσης νερού σε βασικό pH. [62]

Στη διεργασία αυτή παίζει σημαντικό ρόλο η επιλογή των υλικών για τα ηλεκτρόδια όπως και για τον καταλύτη, ούτως ώστε να διασφαλίζεται ο αποτελεσματικός διαχωρισμός του νερού. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να κατέχουν ως ιδιότητες την εξαιρετικά καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αντίσταση στη διάβρωση σε αλκαλικό περιβάλλον. Για την άνοδο συνήθως χρησιμοποιείται νικέλιο και τα κράματά του ενώ για την κάθοδο συνήθως χρησιμοποιείται νικέλιο και ανοξείδωτο ατσάλι. Οι καταλύτες είναι σημαντικοί σε αυτή τη διεργασία διότι ενισχύουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα της ηλεκτρόλυσης και ιδιαίτερα στην αναγωγή του νερού στο χώρο της καθόδου. Ως καταλύτες σε αυτή τη διεργασία συνήθως χρησιμοποιείται λευκόχρυσος και κράματά του όπως λευκόχρυσος-ιρίδιο και λευκόχρυσος-νικέλιο. Πιο οικονομικές επιλογές αποτελούν τα οξειδία των μετάλλων μετάπτωσης όπως το οξείδιο του κοβαλτίου, το οξείδιο του σιδήρου και το οξείδιο του μαγγανίου. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κράματα των μετάλλων μετάπτωσης όπως νικελίου-σιδήρου, νικελίου-μολυβδαινίου και νικελίου-κοβαλτίου λόγω των διλειτουργικών ικανοτήτων τους ως καταλύτες. Ανάλογες ιδιότητες παρουσιάζουν και μη μεταλλικά υλικά όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα, το γραφένιο και το ανθρακικό νιτρίδιο. [62]

2.4.3 Τρόπος εφαρμογής υδρογόνου στο πλοίο

Το υδρογόνο έχει ήδη αρχίσει να εφαρμόζεται στη ναυτιλία σε μικρά πλοία όπως αλιευτικά, και μικρά φέρι-μποτ σε εγκαταστάσεις κυψελών καυσίμου. Η τεχνολογία αυτή είναι ώριμη και μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, όμως είναι απαγορευτική σε μεγάλα πλοία. Αυτό συμβαίνει διότι απαιτεί εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών, που σε μικρές απαιτήσεις ενέργειας όπως ενός μικρού πλοίου, μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία και χωρίς ιδιαίτερο αντίκτυπο για το πλοίο. Σε μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας, όμως, το μέγεθος της εγκατάστασης αποθήκευσης ενέργειας που χρειάζεται επιβαρύνει σημαντικά το πλοίο και λόγω βάρους αλλά και λόγω έκτασης. Το βάρος της εγκατάστασης των μπαταριών μπορεί να επιβαρύνει σημαντικά τη δομή του πλοίου και ο χώρος που απαιτείται σημαίνει μείωση άλλων χώρων όπως φόρτωσης εμπορευμάτων. Τόσο, που θεωρείται ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία. Η λύση σε αυτό το εμπόδιο για τη χρήση του υδρογόνου στον τομέα της ναυτιλίας είναι η καύση του σε μηχανή εσωτερικής καύσης. Και σε αυτήν την τεχνολογία θα επικεντρωθούμε στην παρούσα εργασία. [64]

Όπως αναφέραμε, το υδρογόνο είναι ένα εύφλεκτο υλικό. Αυτό σημαίνει ότι οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμου στο πλοίο αλλά και τα δίκτυα των σωληνώσεων μεταφοράς του θα πρέπει να πληρούν κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές για προστασία από διαφυγή που μπορεί να οδηγήσει σε έκρηξη και πυρκαγιά. Αντίστοιχα, συγκεκριμένες προδιαγραφές θα πρέπει να πληρούν και οι σωληνώσεις και τα εξαρτήματα της μηχανής που θα κυκλοφορούν το καύσιμο ως το θάλαμο καύσης, καθώς και κάθε μέρος του κινητήρα που θα έρχεται σε επαφή μαζί του.

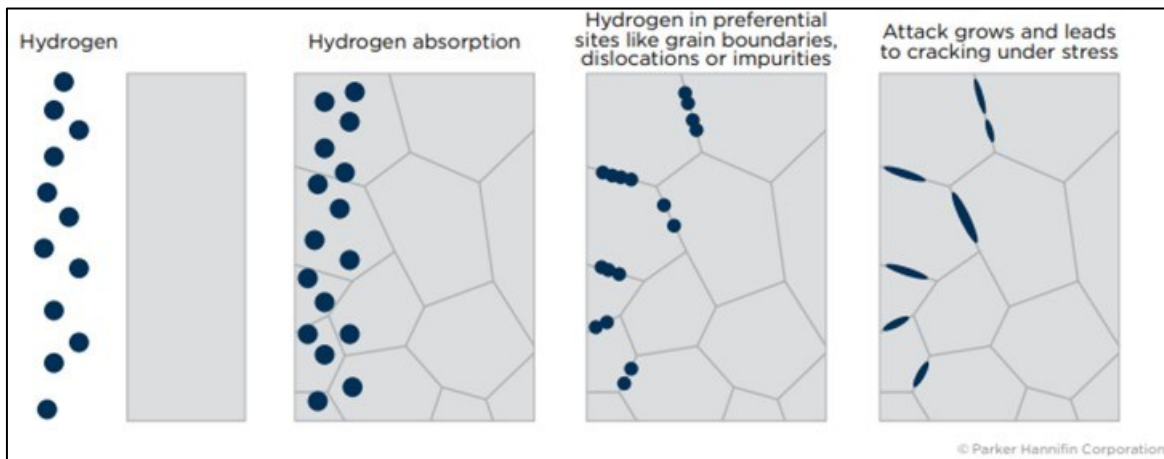
Εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα μεταφοράς για το υδρογόνο

Κατ' αρχάς το υδρογόνο σε αέρια κατάσταση έχει πολύ μικρή πυκνότητα, καταλαμβάνοντας μεγάλο όγκο. Αυτή του η ιδιότητα αποτελεί πρόκληση όσον αφορά τον τρόπο αποθήκευσής του. Ένας τρόπος είναι η αποθήκευσή του κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης. Σε πίεση ίση με 700 bar και κανονική θερμοκρασία, η πυκνότητά του μπορεί να φτάσει τα 50 kg/m³. Η συμπίεσή του, όμως, σε τόσο υψηλές τιμές πίεσης, δεδομένου ότι είναι εξαιρετικά εύφλεκτο, αυξάνει δραστικά την επικινδυνότητα για έκρηξη σε περίπτωση διαφυγής. Η καλύτερη λύση για την αποθήκευσή του στο πλοίο φαίνεται να είναι σε κρυογενικό θάλαμο, σε κανονική πίεση και σε θερμοκρασία κάτω από το σημείο βρασμού του, δηλαδή στην υγρή φάση. Η πυκνότητά του σε πίεση 1 bar και θερμοκρασία -253 °C φτάνει περίπου τα 71 kg/m³. [65]

Οι δεξαμενές καυσίμου θα πρέπει να είναι καλά μονωμένες για να μην επιτρέπουν ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Επίσης πρέπει να είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες εκτόνωσης για να μην επιτρέπουν την αύξηση της πίεσης σε περίπτωση εξάτμισης. Το βέλτιστο σχήμα για τις δεξαμενές υγρού υδρογόνου είναι το σφαιρικό διότι επιδεικνύουν την καλύτερη αναλογία επιφάνειας-όγκου και μειώνεται η απαιτούμενη ενέργεια επανυδροποίησης του υδρογόνου που εξατμίζεται στην επιφάνεια των τοιχωμάτων. [65]

Το υδρογόνο μπορεί να μην είναι διαβρωτικό υλικό, αλλά μπορεί να απορροφηθεί στην επιφάνεια των μετάλλων, αυξάνοντας την ψαθυρότητά τους και να δημιουργήσει αστοχία υλικού, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-6. Αυτό μπορεί να επηρεάσει δεξαμενές, δίκτυα σωληνώσεων, βαλβίδες και εξαρτήματα του κινητήρα που έρχονται σε επαφή με το υδρογόνο. Για την προστασία της ολκιμότητας των μετάλλων απαιτείται η χρήση κατάλληλων μετάλλων με το κατάλληλο πάχος και με ειδική επίστρωση που θα

προστατεύει την επιφάνειά τους. Επίσης αν τα μέταλλα που θα χρησιμοποιηθούν προεργαστούν με κάποια θερμική κατεργασία ή συγκολληθούν θα πρέπει να ελεγχθεί ότι δεν έχει καταστραφεί η προστασία της ολκιμότητάς τους και δεν έχουν δημιουργηθεί ασυνέχειες σε αυτήν. [65]



Εικόνα 2-6: Απορρόφηση υδρογόνου στην επιφάνεια των μετάλλων. [65]

Διάφορα υλικά τα οποία συνήθως βρίσκονται στις εγκαταστάσεις καυσίμων και στις μηχανές των πλοίων έχουν ελεγχθεί για την καταλληλότητα χρήσης τους σε εγκαταστάσεις υδρογόνου. Στον πίνακα 2-16 βλέπουμε τα υλικά που είναι κατάλληλα για χρήση σε εγκαταστάσεις υδρογόνου. Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται ως σφραγιστικά μέσα είναι ακατάλληλα για χρήση στο υγρό υδρογόνο. Όπως και τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα μέταλλα ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος. [65]

Πίνακας 2-16: Υλικά συμβατά με το υδρογόνο [65]

Υλικό (Μεταλλικό)	Για χρήση ανάλογα την κατάσταση του υδρογόνου		Παρατηρήσεις
	Αέρια φάση	Υγρή φάση	
Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου	Αποδεκτό	Αποδεκτό	-
Ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας περιεκτικότητας > 7% σε νικέλιο	Αποδεκτό	Αποδεκτό	Κίνδυνος μαρτενσιτικής μετατροπής σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση υψηλότερη του σημείου διαρροής
Ανθρακούχος χάλυβας	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Χαλκός και κράματα χαλκού	Αποδεκτό	Αποδεκτό	-
Φαίος, όλκιμος σίδηρος και χυτοσίδηρος	Μη αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πλήρως ακατάλληλο στο υδρογόνο
Κράματα χάλυβα	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Νικέλιο και κράματα νικελίου	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Ευαίσθητο σε ψαθυροποίηση από το υδρογόνο
Χάλυβας νικελίου	Μη αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ευαίσθητο σε απώλεια ολκιμότητας
Τιτάνιο και κράματα τιτανίου	Μη αποδεκτό	Αποδεκτό	Ευαίσθητο σε ψαθυροποίηση από το υδρογόνο
Χλωροπρένιο	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση

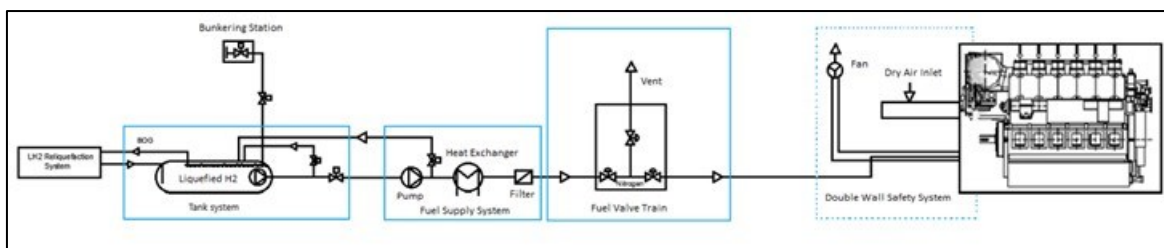
Υλικό (Πολυμερές)	Για χρήση ανάλογα την κατάσταση του υδρογόνου		Παρατηρήσεις
	Αέρια φάση	Υγρή φάση	
Πολύ-τερεφθαλικός εστέρας αιθυλενογλυκόλης (Dacron)	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Συμπολυμερές εξαφθοροπροπυλενίου και βινυλιδενο(δι)φθοριδίου (Viton)	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Νιτρίλιο (Buna-n)	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Πολυαμίδιο (Nylon)	Αποδεκτό	Μη αποδεκτό	Πολύ ψαθυρό για κρυογενική χρήση
Πολυχλωροτριφθοροαιθυλένιο (PCTFE)	Αποδεκτό	Αποδεκτό	-
Πολυχλωροτετραφθοροαιθυλένιο (Teflon)	Αποδεκτό	Αποδεκτό	-

Σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι η ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου σε MJ/L είναι σχεδόν 4 φορές μικρότερη σε σύγκριση με το HFO, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη δεξαμενή καυσίμου και συγκεκριμένα αυξημένη κατά 312% σε σύγκριση με το HFO. Στο πλοίο επίσης κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος κάποιου αδρανούς αερίου. Το άζωτο που είδαμε για τις εγκαταστάσεις μεθανόλης και αμμωνίας, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -193 °C, οπότε προτείνεται η χρήση ηλίου για την εγκατάσταση υδρογόνου. Η χρήση υδρογόνου ως καύσιμο στο πλοίο απαιτεί ως επιπλέον εγκατάσταση τα εξής: [37,65]

- Fuel Valve Train: Η διάταξη αυτή βρίσκεται πριν την αντλία καυσίμου στην είσοδο της μηχανής κι ελέγχει την παροχή του υδρογόνου. Χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση του υδρογόνου από τα δίκτυα με κάποιο αδρανές αέριο.
- Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου: Η διάταξη αυτή θα διασφαλίζει την παροχή του υδρογόνου στη μηχανή στην επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση. Μια τυπική, τέτοια, διάταξη περιλαμβάνει αντλία υψηλής πίεσης, εναλλάκτη θερμότητας, φίλτρα και σύστημα ελέγχου για να διατηρεί την παροχή υδρογόνου σταθερή στις διάφορες καταναλώσεις της μηχανής
- Συμπιεστής: Η διάταξη αυτή απαιτείται για την επανυδροποίηση του εξατμιζόμενου υδρογόνου
- Σύστημα εκτόνωσης πίεσης: Αυτή η διάταξη προστατεύει τα συστήματα από το σχηματισμό νερού και από τη συσσώρευση πάγου
- Γεννήτρια αδρανούς αερίου: Η διάταξη αυτή θα παρέχει στο πλοίο ήλιο για την απομάκρυνση του υδρογόνου από τα δίκτυα και τις σωληνώσεις για προστασία από διαρροές.

- Σωληνώσεις με διπλό τοίχωμα: Η ύπαρξη διπλού τοιχώματος στις σωληνώσεις που μεταφέρουν το υδρογόνο και ιδιαίτερα όπου βρίσκεται σε υψηλή πίεση μέσα στο μηχανοστάσιο κρίνεται απαραίτητη για λόγους ασφάλειας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια δικλείδα ασφάλειας στην περίπτωση διαφυγής του. Σε περίπτωση διαφυγής δε θα απελευθερωθεί στον περιβάλλοντα χώρο αλλά θα παραμείνει στο κενό μεταξύ των δύο τοιχωμάτων των σωληνώσεων προς προστασία από έκρηξη και εκδήλωση πυρκαγιάς.
- Μηχανικός αερισμός των σωληνώσεων: Με αυτόν τον τρόπο εάν υπάρξει κάποια διαφυγή στο κενό μεταξύ των τοιχωμάτων θα κατευθυνθεί προς κάποιον αισθητήρα ανίχνευσης για εντοπισμό και επιπλέον θα είναι δυνατή η απομάκρυνσή του.
- Σύστημα παρακολούθησης, αισθητήρων ανίχνευσης και προειδοποιητικών σημάτων για την κυκλοφορία του υδρογόνου.
- Αντλία υψηλής πίεσης λαδιού για την ασφαλή σφράγιση βαλβίδων κι ενώσεων από όπου περνάει υδρογόνο υπό πίεση.

Στο σχήμα 2-26 μπορούμε να δούμε το ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα της εγκατάστασης του υδρογόνου για χρήση ως καύσιμο στο πλοίο. Παρατηρούμε τη διαδρομή που ακολουθεί το καύσιμο από τη δεξαμενή ως τη μηχανή. Παρατηρούμε τους σωλήνες με τα διπλά τοιχώματα και είναι ευδιάκριτο ότι δεξαμενές και αντλιοστάσιο είναι σε διαφορετικό χώρο από αυτόν του μηχανοστασίου και ότι κάθε ξεχωριστή διάταξη είναι περικλειστή. Φαίνεται η διάταξη αποθήκευσης και το σύστημα επανυγροποίησης. Επιπλέον φαίνεται το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου και το σύστημα μηχανικού αερισμού. Επίσης φαίνεται η συνδεσμολογία για την πλήρωση της δεξαμενής καυσίμου. Σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο του IMO για το υδρογόνο, το σημείο πλήρωσης πρέπει να γίνεται σε ανοιχτό κατάστρωμα όπου θα είναι εφικτός ο φυσικός αερισμός. [65,66]



Σχήμα 2-26: Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα εγκατάστασης υδρογόνου στο πλοίο. [65]

Καθ' όλη την πορεία μεταφοράς του υδρογόνου μέσα στο πλοίο και ανάμεσα από τις διατάξεις από τις οποίες περνά κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος

ανίχνευσης για ενδεχόμενη διαφυγή. Ανάλογοι αισθητήρες ανίχνευσης θα χρειάζεται να εγκατασταθούν κι επί της μηχανής, ενδεχομένως και σε κάθε έναν κύλινδρο ή μεταξύ αυτών. Επίσης αισθητήρες ανίχνευσης χρειάζονται και στην έξοδο του συστήματος μηχανικού αερισμού. [65]

Ο IMO έχει ενσωματώσει κανονιστικό πλαίσιο για τα πλοία που λειτουργούν με υδρογόνο, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια του πλοίου (MSC.1/Circ.1315). Κατά συνέπεια αυτού, οι νηογνώμονες ακολουθούν συγκεκριμένες διατάξεις προκειμένου να πιστοποιηθεί η καταλληλότητα του πλοίου για χρήση σε υδρογόνο. Όπως για παράδειγμα το πλαίσιο που έχει δημοσιοποιήσει ο νηογνώμονας Bureau Veritas (BV) (https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/678-NR_2023-11.pdf). Οι διατάξεις αυτές αφορούν το σχεδιασμό του πλοίου, τις εγκαταστάσεις καυσίμου και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις αυτών, τα δίκτυα μεταφοράς του και τις μηχανές με τις βοηθητικές εγκαταστάσεις αυτών. Επίσης καλύπτουν τον έλεγχο και την εποπτεία λειτουργίας του εξοπλισμού αυτού και των απαραίτητων συστημάτων, ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον. Τέλος να πούμε ότι χρειάζεται ακόμα έρευνα για να μπορέσουμε να πούμε ότι έχει δημιουργηθεί κάθε πρόβλεψη απαραίτητης εγκατάστασης για την πλήρη και ομαλή λειτουργία ενός συστήματος υδρογόνου.[66]

Καύση υδρογόνου στον κινητήρα

Η καύση του υδρογόνου σε έναν κινητήρα στηρίζεται στην τεχνολογία μηχανών διπλού καυσίμου. Οι πρώτες δοκιμές που στέφθηκαν με επιτυχία έγιναν σε τετράχρονες μηχανές διπλού καυσίμου που λειτουργούν με LNG. Σε αυτήν την περίπτωση το υδρογόνο αναμιγνύεται με το LNG πριν την είσοδό του στη μηχανή. Η λειτουργία σε υδρογόνο δεν επιδεικνύει μεγάλη σταθερότητα και η επιτυχής σταθερή λειτουργία του κινητήρα έχει επιτευχθεί με ποσόστωση υδρογόνου έως 25% σε LNG. Σημειώνεται δε, ότι σε ποσοστώσεις μέχρι 30%-35% δεν υπάρχουν δραματικές επιπτώσεις στη λειτουργία του κινητήρα. Ο λόγος που οι δοκιμές ξεκίνησαν πάνω στις μηχανές LNG είναι ότι είναι εγκεκριμένη η ανάμιξή του με το υδρογόνο. Μάλιστα εξετάζεται η εισαγωγή υδρογόνου στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του LNG για να μετριαστεί το αποτύπωμα από τη χρήση του στην ενέργεια, στις μεταφορές και τις κτιριακές εγκαταστάσεις. [60,67]

Παράλληλα βρίσκεται σε στάδιο δοκιμών λειτουργίας και έρευνας για τη βελτιστοποίηση του κινητήρα η λειτουργία του σε ποσοστό έως και 100% σε υδρογόνο με απευθείας ψεκασμό του στο θάλαμο καύσης και χρήση καυσίμου οδηγού, σύμφωνα με τις δοκιμές της MAN ES στις εγκαταστάσεις της στο Augsburg. [68]

Στη συνέχεια οι δοκιμές επεκτάθηκαν σε δίχρονο κινητήρα με καύσιμο οδηγό και απευθείας ψεκασμό του υδρογόνου στο θάλαμο καύσης. Τις δοκιμές διεξάγουν η MAN ES σε συνεργασία με τη MITSUI στις εγκαταστάσεις της δεύτερης στο Tamaro. Η MITSUI αναφέρει ότι έχει επιτευχθεί η σταθερή λειτουργία του κινητήρα σε διάφορες φορτίσεις μέχρι και στο 100% του ονομαστικού του φορτίου επιτυγχάνοντας πλήρη καύση του υδρογόνου χωρίς προβλήματα με αξιοσημείωτα αποτελέσματα στην απόδοση και την ισχύ του κινητήρα αλλά και στις μετρήσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [69]

Τέλος βρίσκεται υπό έρευνα η λειτουργία κινητήρα στον κύκλο otto με σπινθηριστή για να αποφευχθεί η λειτουργία καυσίμου οδηγού. Το βασικό πρόβλημα είναι το κτύπημα που προκαλεί η πρόωρη ανάφλεξη του υδρογόνου. [70]

Η βασική πρόκληση για το εγχείρημα αυτό, είναι το πολύ χαμηλό σημείο ανάφλεξης του υδρογόνου και η υψηλή ταχύτητα της ανάφλεξής του. Αυτές οι δύο ιδιότητες είναι που δημιουργούν πρόβλημα στη σταθερότητα της καύσης στον κινητήρα. [68]

Μία ακόμη πρόκληση που αφορά κυρίως το θάλαμο καύσης όλων των μηχανών, είναι η αντίδραση του υδρογόνου με τον άνθρακα που περιέχεται στο ατσάλι προς σχηματισμό μεθανίου σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες. Αυτή η αντίδραση καταστρέφει το υλικό οδηγώντας το σε αστοχία. Οπότε πρέπει να επιλεγθούν τα κατάλληλα υλικά στις κυλινδροκεφαλές των μηχανών συμπεριλαμβάνοντας τις βαλβίδες/θυρίδες/έδρες εισαγωγής-εξαγωγής και τα ακροφύσια των ψεκαστήρων καυσίμου, στα έμβολα, τα χιτώνια των εμβόλων και τα ελατήρια των εμβόλων. [65]

Σύμφωνα με τα παραπάνω η χρήση των μηχανών LNG με ανάμιξη υδρογόνου φαίνεται να είναι η καλύτερη επιλογή για τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς LNG αλλά και για χρήση στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν ήδη LNG. Ενώ για τις υπόλοιπες εφαρμογές καλύτερη επιλογή θα αποτελέσει η επιτυχής ανάπτυξη κινητήρα διπλού καυσίμου με υδρογόνο και κάποιο καύσιμο οδηγό.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι μηχανές διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν μια πολύ μικρή ποσότητα καυσίμου οδηγού η οποία ανέρχεται στο 5% του συνολικού καυσίμου που

καταναλώνεται όταν η μηχανή λειτουργεί σε φορτίο άνω του 10% του ονομαστικού. Δυστυχώς σε φόρτιση της μηχανής χαμηλότερη του 10% του ονομαστικού φορτίου η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει με το εναλλακτικό καύσιμο και πρέπει να γίνει η εναλλαγή στον οδηγό ως κύριο για όσο διατηρείται σε τόσο χαμηλή φόρτιση. Επίσης μπορούν να λειτουργήσουν κανονικά σε φορτίο με το καύσιμο οδηγό ως κύριο καύσιμο. Αυτό τους δίνει το πλεονέκτημα ότι αν συμβεί οποιαδήποτε βλάβη ή αστοχία στο σύστημα του υδρογόνου, μπορεί να γίνει εναλλαγή καυσίμου και να μην υποστεί το πλοίο ολική απώλεια ισχύος. Επιπλέον μπορεί να λειτουργήσει με το καύσιμο οδηγό για κύριο καύσιμο μέχρι να μπορέσει να αποκατασταθεί η βλάβη. Τέλος να επισημάνουμε ότι αυτή η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε δοκιμαστικό στάδιο και χρειάζεται ακόμα έρευνα για τα εμπόδια που μπορεί να προκύψουν από τη λειτουργία της μηχανής σε πραγματικές συνθήκες επί του πλοίου.

2.4.4 Εκπομπές ρύπων από τη χρήση υδρογόνου

Τις και με την αμμωνία, η καύση του υδρογόνου δε θα απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με την αντίδραση της καύσης του το προϊόν είναι νερό:



Στα καυσαέρια θα περιέχεται μια μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, η οποία θα οφείλεται στο καύσιμο οδηγό. Οι δοκιμές έχουν δείξει πως αυτή η ποσότητα είναι πάρα πολύ μικρή και συγκεκριμένα μειωμένη συγκριτικά με το HFO περισσότερο από 95%. [69]

Επειδή τις αναφέραμε παραπάνω η περιεκτικότητα του υδρογόνου σε θείο είναι μηδενική, μιλάμε για μείωση κατά 100% σε Sox συγκριτικά με το HFO. Όσον αφορά την απελευθέρωση σωματιδίων, που τις έχουμε δει συνδέονται με την απελευθέρωση Sox., έχουμε μια μείωση συγκριτικά με το HFO μεγαλύτερη του 95%. Βλέπουμε, λοιπόν ότι, πλέον δε χρειάζεται σύστημα έκπλυσης των καυσαερίων (scrubber) για τα πλοία που κάνουν χρήση υδρογόνου. [69]

Όσον αφορά τα οξείδια του αζώτου τα οποία προέρχονται από την οξείδωση του αζώτου που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά την καύση, οι δοκιμές έχουν δείξει ότι η μηχανή εμπίπτει εντός τις κατηγορίας Tier III. Αυτό σημαίνει πως μπορεί το πλοίο να εισέλθει τις ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του αζώτου χωρίς τη χρήση

καταλυτικού συστήματος SCR. Οι εκπομπές είναι μειωμένες συγκριτικά με το HFO κατά περισσότερο από 95%. [69]

Τέλος, ό,τι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου υπάρχουν οφείλονται στο καύσιμο οδηγό και είναι πάρα πολύ μικρές. Για να είναι πλήρως ουδέτερο το αποτύπωμά των πλοίων που κινούνται με υδρογόνο ίσως να χρειάζεται και η χρήση συστήματος δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα CCS και σύστημα κατάλυσης καυσαερίων SCR για να δεσμεύει τις μικρές ποσότητες που απελευθερώνονται από το καύσιμο οδηγό ή σε περίπτωση ανάγκης που το σύστημα του υδρογόνου μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας.

2.4.5 Ασφάλεια εγκατάστασης και εργαζομένων σε πλοίο με υδρογόνο

Στην περίπτωση χρήσης υδρογόνου, δεν υπάρχει κίνδυνος δηλητηρίασης του πληρώματος σε περίπτωση διαφυγής, διότι το υδρογόνο δεν είναι τοξικό. Σύμφωνα με τα στοιχεία που ανακτήσαμε για το υδρογόνο από τη National Medicine Library των ΗΠΑ (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/5026#section=Chemical-Safety-%26-Handling>), μπορεί να προκαλέσει ασφυξία σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις όπου πλέον θα απουσιάζει το οξυγόνο. Το πλήρωμα θα πρέπει να χρησιμοποιεί μέσα ατομικής προστασίας λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας χειρισμού του, σε επαφή με το δέρμα μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα. Το υδρογόνο, κυρίως, ενέχει αυξημένο κίνδυνο πρόκλησης έκρηξης και πυρκαγιάς και η διαφυγή του είναι ακόμη πιο επικίνδυνη από την περίπτωση της μεθανόλης. Οπότε, η ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματός του, όταν γίνεται χρήση υδρογόνου είναι ένας πολύ βασικός παράγοντας για το εγχείρημα μεταστροφής του τομέα της ναυτιλίας στο υδρογόνο ως εναλλακτικό καύσιμο. Δεδομένης της φύσης και των ιδιοτήτων του υδρογόνου, ο IMO και οι σχεδιαστές/κατασκευαστές των εγκαταστάσεων και των μηχανών έχουν κάνει κάποιες συγκεκριμένες προβλέψεις ασφάλειας, που αναμένεται να εμπλουτίζονται καθώς αυτή η τεχνολογία θα ετοιμάζεται προς εγκατάσταση. Αυτές συμπεριλαμβάνονται και στο κανονιστικό πλαίσιο MSC.1/Circ.1315 που έχει εκδώσει ο IMO και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη και να ακολουθούνται κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες.

Κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς σε εγκατάσταση υδρογόνου

Σύμφωνα με τα στοιχεία που ανακτήσαμε για το υδρογόνο από τη National Medicine Library των ΗΠΑ, το υδρογόνο είναι ένα υλικό εύφλεκτο που μπορεί εύκολα να αναφλεγεί παρουσία θερμών σημείων, σπινθήρα ή φλόγας. Επιπλέον, σε ανάμιξή του με τον αέρα μπορεί να δημιουργήσει ένα εκρηκτικό μίγμα. Καίγεται αναπτύσσοντας διαυγή φλόγα υψηλής θερμοκρασίας. Το χρώμα της φλόγας κάνει την ενδεχόμενη παρουσία πυρκαγιάς ιδιαίτερα δυσδιάκριτη. Γι' αυτόν το λόγο είναι ενδεχομένως απαραίτητη εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης θερμικής απεικόνισης, ή κάποιου άλλου συστήματος ανίχνευσης φλόγας στους χώρους όπου γίνεται χειρισμός του καυσίμου. Σε εγκαταστάσεις καύσης του υδρογόνου, οι ατμοί εξατμισμένου υδρογόνου μπορούν να ταξιδέψουν προς το σημείο καύσης και να προκαλέσουν εκδήλωση και εκρηκτική εξάπλωση πυρκαγιάς. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να εκραγούν αν θερμανθούν ή αν τα τοιχώματα αστοχήσουν. Γι' αυτό το λόγο, ενδεχομένως, να χρειάζεται διαφορετικό κανονιστικό πλαίσιο για τον έλεγχο και την πιστοποίηση καλής λειτουργίας της εγκατάστασης.

Χρειάζεται έρευνα ακόμα, για να μπορέσει να απεικονιστεί καθαρά και πλήρως το πώς θα λειτουργεί ομαλά και με πλήρη ασφάλεια ένα τέτοιο σύστημα. Όλη η φιλοσοφία βασίζεται στην ανεπτυγμένη και δοκιμασμένη τεχνολογία από τα LNG, LPG, τη μεθανόλη και την αμμωνία έχοντας ενσωματώσει τις μέχρι τώρα γνωστές προβλέψεις για την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Το υδρογόνο τώρα αρχίζει να εφαρμόζεται ως καύσιμο στη ναυτιλία και δεν υπάρχει μεγάλη εμπειρία από τη μεταφορά του ως εμπόρευμα εφ' όσον αυτή η ανάγκη έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια. Παρ' όλ' αυτά, υπάρχει η εμπειρία, δυστυχώς, από το πρώτο δεξαμενόπλοιο μεταφοράς υγρού υδρογόνου στο οποίο ξέσπασε πυρκαγιά τον Ιανουάριο του 2022. Ευτυχώς αυτό το ατύχημα δεν οδήγησε σε τραυματισμούς και μόλυνση του περιβάλλοντος. Η έκθεση, όμως, από τη διερεύνηση του ατυχήματος αυτού, θα βοηθήσει στον εμπλουτισμό του κανονιστικού πλαισίου για την ασφάλεια των εγκαταστάσεων υδρογόνου στη ναυτιλία, ούτως ώστε να διασφαλιστεί στο μέλλον η ασφάλεια των πλοίων που κινούνται ή μεταφέρουν υδρογόνο. [71]

Ο κίνδυνος της έκρηξης είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την ασφάλεια που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στο σχεδιασμό της εγκατάστασης των δεξαμενών και των δικτύων. Τα διπλά τοιχώματα και ο μηχανικός αερισμός μπορούν να προλάβουν επικίνδυνες

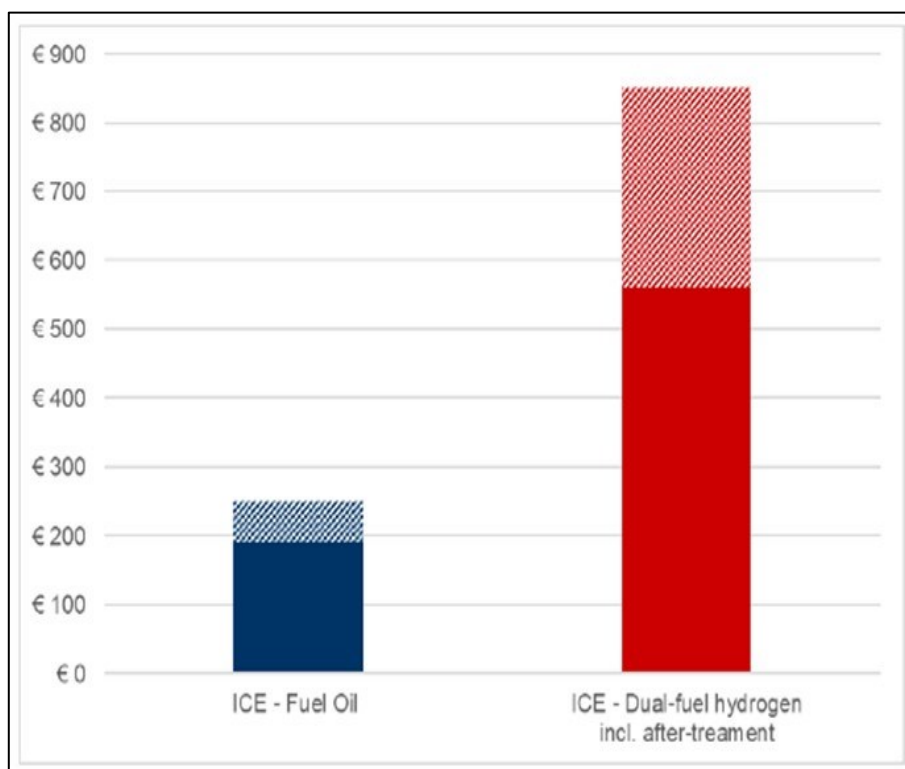
καταστάσεις σε περίπτωση διαρροής. Αν υπάρξει κάποια διαρροή αυτή θα διαφύγει προς το κενό μεταξύ των δύο τοιχωμάτων και δε θα έρθει σε επαφή με υλικά που μπορούν να αντιδράσουν και να προξενήσουν ανάφλεξη ή κι έκρηξη. Οι αισθητήρες ανίχνευσης θα προειδοποιήσουν το πλήρωμα για να τερματίσει τη λειτουργία του συστήματος υδρογόνου, να καθαρίσει τα δίκτυα με τον μηχανικό αερισμό και με τη βοήθεια κάποιου συστήματος αδρανούς αερίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις το σύστημα υδρογόνου δεν θα πρέπει να εκκινείται εκ νέου έως ότου αποκατασταθεί η βλάβη.

Διεξάγονται διάφορες έρευνες για να μπορέσει να χαρτογραφηθεί κάθε πιθανός κίνδυνος που μπορεί να προκύψει από αυτό το εγχείρημα. Για παράδειγμα, στην έρευνα της European Marine Safety Agency με τίτλο «Potential of Hydrogen as Fuel for Shipping», εξετάζονται διάφορα σενάρια εγκατάστασης με βάση τον τύπο του πλοίου κι εξάγονται διάφορα πολύτιμα συμπεράσματα για το σχεδιασμό των χώρων, την κατηγοριοποίηση των χώρων βάσει επικινδυνότητας, το σύστημα εντοπισμού πυρκαγιάς κλπ. Το κανονιστικό πλαίσιο του IMO παρέχει γενικές οδηγίες και σχεδιάζεται το Σεπτέμβριο του 2024, στη συνεδρίαση της υπο-επιτροπής για τη μεταφορά εμπορευμάτων κι εμπορευματοκιβωτίων, να συζητηθούν τα αποτελέσματα ερευνών για να μπορέσει να κατατεθεί και να επικυρωθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο κανόνων για την πρόβλεψη των κινδύνων που ενέχει η εγκατάσταση υδρογόνου σε ένα πλοίο. [65,72]

2.4.6 Οικονομοτεχνική ανάλυση για το υδρογόνο

Αναμένουμε αυξημένο κόστος ναυπήγησης για ένα πλοίο σε χρήση υδρογόνου. Συγκεκριμένα το κόστος για την εγκατάσταση του υδρογόνου φαίνεται να είναι πενήνταπλάσιο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος συμβατικής εγκατάστασης πετρελαϊκών καυσίμων κατά μέσο όρο για όλους τους τύπους πλοίων. Συγκεκριμένα για το HFO το κόστος είναι περίπου 1.087 USD ενώ για το υδρογόνο ανέρχεται περίπου στα 54.670 USD. [72]

Όσον αφορά τις μηχανές εσωτερικής καύσης κι εκεί υπάρχει μια μεγάλη διαφορά στο κόστος μεταξύ ενός συμβατικού πετρελαιοκινητήρα και μιας μηχανής διπλού καυσίμου ικανής να λειτουργεί με υδρογόνο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-27.



Σχήμα 2-27: Συγκριτικό κόστος συμβατικού πετρελαιοκινητήρα και μηχανής διπλού καυσίμου για υδρογόνο σε eur/kW. [72]

Η διαφορά αυτή αναμένεται να μετριαστεί αν αρχίσει η παραγωγή μηχανών διπλού καυσίμου υδρογόνου σε ευρεία κλίμακα. Παρ' όλ' αυτά αναμένεται να υπάρχει σημαντική διαφορά κόστους λόγω των υλικών που απαιτούνται και ειδικά στα μέρη του κινητήρα που έρχονται σε επαφή με το υδρογόνο. [72]

Η παραγωγή του πράσινου υδρογόνου είναι ακόμη πολύ χαμηλή και το κόστος που θα διαμορφωθεί είναι αβέβαιο. Ενώ οι υπό κατασκευή μονάδες παραγωγής πράσινου υδρογόνου αυξάνονται, πολύ λίγες είναι σε λειτουργία και παράγουν αξιοσημείωτη ποσότητα. Η αγορά πιέζει για διαθεσιμότητα και βιώσιμο κόστος πράσινου υδρογόνου, καθώς νέοι τομείς στρέφονται προς αυτήν την επιλογή ως μέσο παροχής ενέργειας, όπως αυτός της ναυτιλίας. Οι τιμές για το πράσινο υδρογόνο διαφέρουν πολύ ανά περιοχή παραγωγής αυτή τη στιγμή. Η τιμή του εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της παραγωγικής μονάδας, το κόστος των ηλεκτρολυτών και από το μέσο που χρησιμοποιήθηκε ως πηγή ενέργειας για την ηλεκτρόλυση. Παράλληλα δεν υπάρχει ολοκληρωμένο σχέδιο μεταφοράς του σε ευρεία κλίμακα. Για το 2024 η τιμή του κυμαίνεται από 2.630 – 7.615 USD/tn. Ένας μέσος όρος της τιμής για το πράσινο υδρογόνο είναι περίπου στα 5.123 USD/tn. Η τιμή του σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η ενεργειακή πυκνότητά του είναι πολύ χαμηλότερη από

αυτή των πετρελαϊκών καυσίμων διαμορφώνουν ένα κόστος που είναι αδύνατο να ανταγωνιστεί τα υπόλοιπα καύσιμα συμβατά και εναλλακτικά. Αυτά, καθιστούν την επιλογή του πράσινου υδρογόνου προς το παρόν μη ανταγωνιστική. Αναμένεται, βέβαια, στο μέλλον με την ανάπτυξη της παραγωγής και του δικτύου μεταφοράς του, οι τιμές να διαμορφωθούν σε επίπεδα που θα μπορούν να ανταγωνιστούν αυτές του πετρελαίου. [61,73]

Τέλος όσον αφορά το κόστος πρέπει να συνυπολογίσουμε και το φόρο για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όπου αναμένεται η κλιμακωτή αύξησή του μέχρι το 2030 και 2050. Η αύξηση του φόρου, αυτού, θα δώσει κίνητρο στις ναυτιλιακές εταιρείες να στραφούν σε καύσιμα με ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα. Εφ' όσον η καύση του υδρογόνου είναι εντελώς απαλλαγμένη από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι εκπομπές θα οφείλονται στην καύση του καυσίμου οδηγού. Αναμένουμε, λοιπόν, έναν φόρο ανάλογο με αυτόν που αποδίδεται στη μεθανόλη και την αμμωνία. Ο φόρος που αναλογεί θα είναι με το σενάριο για χαμηλότερο όριο στα 27 USD/tn και με το σενάριο για το υψηλότερο όριο στα 322 USD/tn.

Κλείνοντας αυτήν την ενότητα είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η πρόβλεψη είναι το πράσινο υδρογόνο να μπορεί να ανταγωνιστεί τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα από το 2050 και μετά. [61]

2.5 Diesel από βιομάζα

Σύμφωνα και με τα όσα είδαμε στις προηγούμενες ενότητες, συμπεραίνουμε ότι μελλοντικά, ακόμα θα χρειάζεται κάποιο καύσιμο σαν το diesel για καύσιμο οδηγός στις μηχανές διπλού καυσίμου που θα κάνουν χρήση κάποιου άλλου εναλλακτικού καυσίμου. Για να μπορέσει ο τομέας της ναυτιλίας να απεξαρτηθεί πλήρως από τα ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα πρέπει να στραφεί προς κάποιο υποκατάστατο του diesel. Παράλληλα η εισαγωγή κάποιου υποκατάστατου, θα βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών GHG του τομέα της ναυτιλίας κατά τη μεταβατική περίοδο που πολλά πλοία ακόμη θα χρησιμοποιούν MDO, MGO, HFO και LSFO/ULSFO. Αντιλαμβανόμαστε ότι η πλήρης μεταστροφή του τομέα σε καύσιμα τα οποία θα έχουν μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα θα χρειαστεί αρκετά

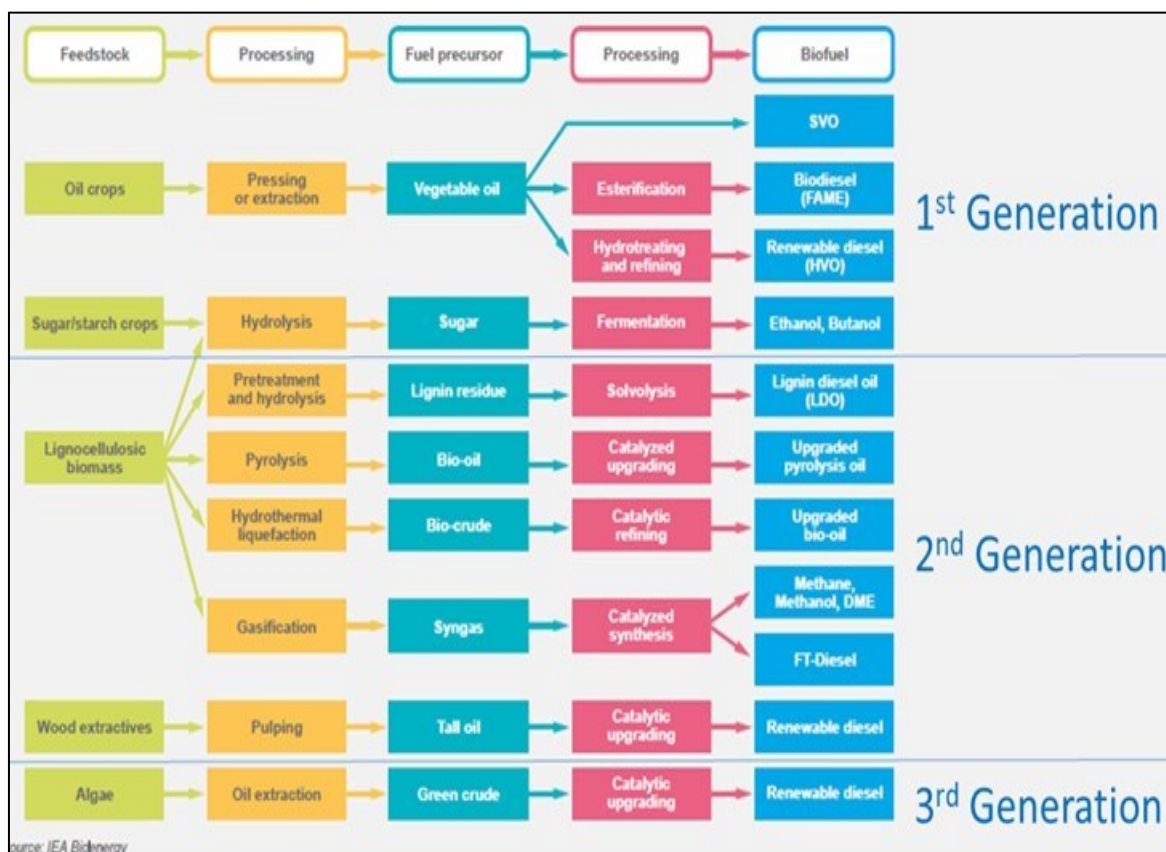
χρόνια. Ακόμη και με δεδομένο πως από κάποιο σημείο και μετά όλες οι νέες ναυπηγήσεις θα είναι για χρήση κάποιου εναλλακτικού καυσίμου, παραμένει το πρόβλημα των ήδη ναυπηγημένων πλοίων. Πρέπει να πάρουμε επίσης ως δεδομένο ότι δε θα γίνει μετατροπή προς νέα καύσιμα σε όλα τα πλοία, ειδικά σε πολύ παλαιότερα που δε θα γίνει η απόσβεση του κόστους της μετατροπής, από τη λειτουργία τους στα χρόνια που απομένουν μέχρι να αποσυρθούν.

Τα βιοκαύσιμα αποδίδουν ένα πολύ καθαρότερο αποτύπωμα στο περιβάλλον σε σύγκριση με τα ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα. Μπορούν να παραχθούν από διάφορα είδη βιομάζας με πολλούς τρόπους και τεχνικές. Παράλληλα η παραγωγή τους δε χαρακτηρίζεται κοστοβόρα διαδικασία, οπότε θα μπορούν να ανταγωνιστούν και την τιμή των ορυκτών πετρελαϊκών καυσίμων. [33]

Ο τομέας των μεταφορών έχει προσπαθήσει εδώ και χρόνια να μετριάσει τη χρήση των ορυκτών καυσίμων με την ανάμιξή τους με βιοκαύσιμα. Ο τομέας της ναυτιλίας έχει επίσης αρχίσει τα τελευταία χρόνια να υιοθετεί την πρόσμιξη βιοκαυσίμων στα ορυκτά καύσιμα σε μια περιεκτικότητα 5-7%. Η ανάμιξη αυτή κυρίως αφορά βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς. Με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών παραγωγής ανανεώσιμων καυσίμων από βιομάζα, όμως, έχει αρχίσει να εξετάζεται η ενδεχόμενη χρήση τους ως υποκατάστατα. [33]

Οι τρεις γενιές των βιοκαυσίμων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-28, αποτυπώνουν την κατηγοριοποίησή τους βάσει του τρόπου παραγωγής τους: [14]

- Πρώτης γενιάς: Είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα βιοκαύσιμα. Η πρώτη ύλη ως τροφοδοσία για τη διαδικασία παραγωγής τους είναι προϊόντα αγροτικής σοδειάς, φυτικά έλαια και διατροφικά απόβλητα.
- Δεύτερης γενιάς: Αποτελούν βελτιωμένα προϊόντα καυσίμων, πολύ πιο σταθερά από τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς. Η πρώτη ύλη ως τροφοδοσία για τη διαδικασία παραγωγής τους είναι προϊόντα δασικής προέλευσης ή αγροτικής σοδειάς.
- Τρίτης γενιάς: Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται υπό ανάπτυξη και τα προϊόντα της δε θεωρούνται εμπορικά ώριμα. Η πρώτη ύλη ως τροφοδοσία για τη διαδικασία παραγωγής τους είναι η άλγη.



Σχήμα 2-28: Απεικόνιση των εναλλακτικών βιοκαυσίμων βάσει του τρόπου παραγωγής τους [14]

Στον πίνακα 2-17 βλέπουμε τα πιθανά βιοκαύσιμα που μπορούν να υποκαταστήσουν το diesel. Συγκρίνοντας τα εξής κριτήρια επιλογής: [33]

- Τη συμβατότητά τους με τις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις στα πλοία
- Τη διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης που χρειάζεται για την παραγωγή τους
- Την τιμή κόστους του βιοκαυσίμου
- Την τεχνολογική ετοιμότητα για την παραγωγή τους
- Το βιομηχανικό ενδιαφέρον που υπάρχει για την παραγωγή τους
- Τη διαθεσιμότητα δεδομένων και ερευνών προς ανάλυση

Βλέπουμε ότι οι καλύτερες πιθανές επιλογές είναι το βιο-diesel πρώτης γενιάς, το ανανεώσιμο diesel πρώτης γενιάς, που προέρχεται από απόβλητα λιπαρών ελαίων (προϊόν καταλυτικής υδρογονοεπεξεργασίας) και το ανανεώσιμο diesel δεύτερης γενιάς, που προέρχεται από λιγνοκυτταρική βιομάζα (προϊόν της διεργασίας Fischer-Tropsch).

Πίνακας 2-17: Πιθανά υποκατάστατα diesel με τα ανάλογα κριτήρια επιλογής [33]

Fuel	Pathway	Feedstock	Selection criteria					
			Compatibility	Feedstock availability	Cost	Tech readiness	Industry interest	Evidence base
FAME biodiesel	Transesterification	FOGs	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
		Vegetable oils (e.g., palm, soy)		✓✓	✓✓		–	
Hydrotreated renewable diesel	Hydrotreating	Waste FOGs	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓
		Vegetable oils (e.g., palm, soy)		✓✓			–	
FT diesel	Gasification then Fischer-Tropsch synthesis	Lignocellulosic biomass	✓✓	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓
		Natural gas			✓✓	✓✓	–	

Το βιο-diesel πρώτης γενιάς, γνωστό και ως FAME βιο-diesel (επειδή περιέχει μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων), σε πολλές περιπτώσεις βρίσκεται ήδη ως πρόσμιξη στα πετρελαϊκά καύσιμα σε μια ποσόστωση 5-7%. Μέχρι στιγμής, στη ναυτιλία, έχει δοκιμαστεί σε προσμίξεις με ποσόστωση έως 30%. Μάλιστα, το βιο-diesel αποτελεί και ένα εξαιρετικό βελτιωτικό στο καύσιμο, διότι ενισχύει τις λιπαντικές του ιδιότητες. Θεωρητικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και καθαρό βιο-diesel στον κινητήρα, αλλά στην πραγματικότητα η χρήση του βιο-diesel δεν είναι πολύ ικανοποιητική. Βασικό του μειονέκτημα είναι ότι έχει ημερομηνία λήξης, που οδηγεί σε αδυναμία αποθήκευσης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αλλοιώνεται πολύ εύκολα, διότι αναπτύσσει αποικίες μικροοργανισμών και δε συνιστάται η αποθήκευσή του για περισσότερο από 6 μήνες. Αυτό είναι ένα βασικό μειονέκτημα για την ευρεία παραγωγή, αποθήκευση, διακίνηση και χρήση του. Επιπλέον τα λιπαρά οξέα μεθυλ-εστέρων, από τα οποία προέρχεται, είναι ισχυροί διαλύτες και τείνουν να παρασέρνουν ό,τι εναπόθεση υλικού υπάρχει στις δεξαμενές και τα δίκτυα με αποτέλεσμα την έμφραξη φίλτρων καυσίμου, αντλιών, καυστήρων κλπ. Επίσης προκαλούν φθορά σε μέρη του κινητήρα που είναι από ελαστικά κι ελαστομερή, όπως για παράδειγμα κάθε μέσο στεγανοποίησης. [33]

Το ανανεώσιμο diesel αποτελεί ένα βελτιστοποιημένο βιοκαύσιμο. Κατ' αρχάς, επιδεικνύει υψηλή σταθερότητα και δεν αλλοιώνεται. Επίσης δεν παρουσιάζει κανένα άλλο από τα μειονεκτήματα του βιο-diesel, δεν προκαλεί φθορές στα ελαστικά κι ελαστομερή και δεν προκαλεί έμφραξη μερών του κινητήρα. Ανανεώσιμο diesel ως προϊόν καταλυτικής

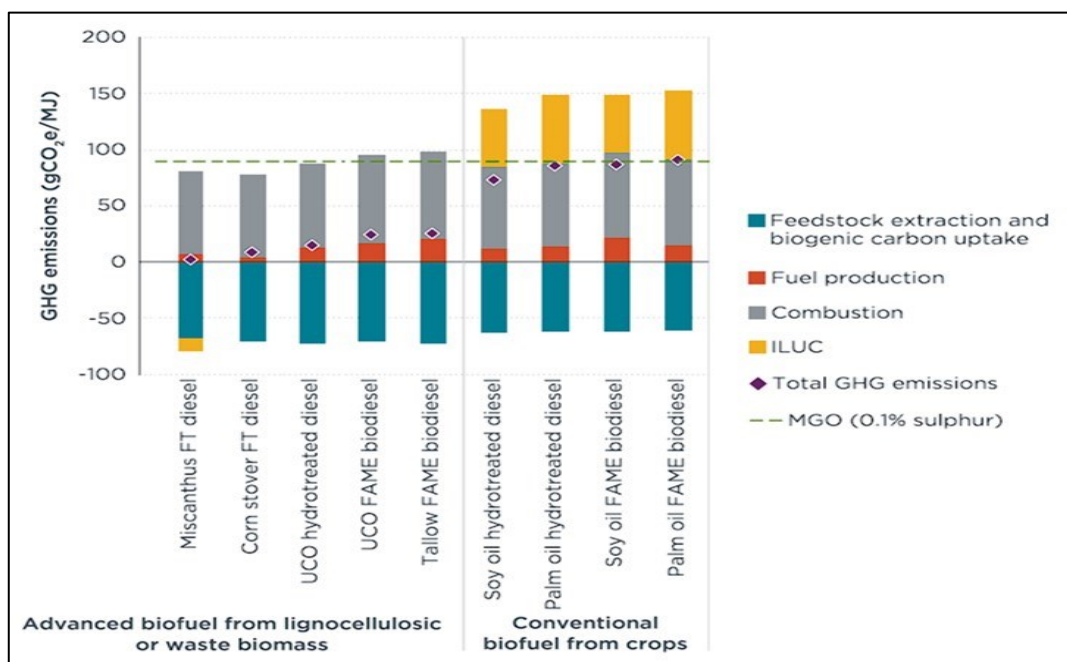
υδρογονοεπεξεργασίας είναι ήδη σε χρήση σε μερικά πλοία, ενώ ανανεώσιμο diesel ως προϊόν της διεργασίας Fischer-Tropsch είναι σε δοκιμαστική λειτουργία σε πλοίο. [33]

Στον πίνακα 2-18 βλέπουμε μια σύγκριση δεδομένων της παραγωγής των τριών τύπων βιοκαυσίμου που αναφέραμε ως υποκατάστατο στο diesel. Παρατηρούμε πως το ανανεώσιμο diesel παρουσιάζει καλύτερα δεδομένα από το βιο-diesel. Επίσης το ανανεώσιμο diesel δεύτερης γενιάς, παρ' ότι κατά την παραγωγή του έχει υψηλότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου και του θείου και απαιτεί υψηλότερα ποσά ενέργειας, έχει πολύ χαμηλότερες εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα και απαιτεί πολύ μικρά ποσά μη-ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπλέον έχει χαμηλότερο κόστος τροφοδοσίας, ελαφρώς χαμηλότερο κόστος παραγωγής και σχεδόν διπλάσια απόδοση παραγόμενου καυσίμου, ενώ έχει χαμηλότερο αριθμό κετανίων. [74]

Πίνακας 2-18: Σύγκριση δεδομένων παραγωγής 1 MJ βιο-diesel και ανανεώσιμου diesel. [74]

	Bio-diesel	Ανανεώσιμο diesel, ως προϊόν υδρογονο- επεξεργασίας	Ανανεώσιμο diesel, ως προϊόν της διεργασίας Fischer-Tropsch
Εκπομπή NO _x (mg)	33,9	31,95	83,5
Εκπομπή CO ₂ (mg)	0,024	0,015	0,0054
Εκπομπή CO (mg)	21	19,05	8,9
Εκπομπή Sox (mg)	25,9	24,4	40,8
Κόστος τροφοδοσίας (USD/L)	0,67	0,78	0,2
Κόστος παραγωγής (USD/L)	1,27	1,32	1,28
Απαιτούμενη ενέργεια (MJ/MJ)	0,713	0,697	2,051
Χρήση μη-ανανεώσιμης ενέργειας (MJ/MJ)	0,231	0,224	0,0771
Απόδοση διεργασίας σε καύσιμο (wt/wt)	0,171	0,151	0,332
Ιξώδες παραγόμενου καυσίμου στους 40°C (cSt)	3,88	2,5	2,11
Αριθμός κετανίων	51	76	56
Θερμική αξία (MJ/kg)	39	44	45

Στο σχήμα 2-29 βλέπουμε μια σύγκριση μεταξύ διάφορων συνθετικών diesel καυσίμων από βιομάζα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους. Παρατηρούμε πως το ισοζύγιο εκπομπών για τα βιοκαύσιμα που παράγονται μέσω της διεργασίας Fischer-Tropsch είναι σχεδόν μηδενικό. [33]



Σχήμα 2-29: Εκπομπές GHG από συνθετικά diesel καύσιμα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους. [33]

Με βάση όσα προαναφέραμε, προκύπτει πως η καλύτερη επιλογή για τον τομέα της ναυτιλίας είναι το ανανεώσιμο diesel, βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς, που αποτελεί προϊόν της διεργασίας Fischer-Tropsch.

Η διεργασία Fischer-Tropsch αποτελεί ένα σύνολο αντιδράσεων που οδηγούν τη βιομάζα της τροφοδοσίας σε παραγωγή ανανεώσιμου diesel. Η πρώτη αντίδραση είναι η αεριοποίηση της βιομάζας. Η βιομάζα που χρησιμοποιείται στη διεργασία Fischer-Tropsch ως πρώτη ύλη, μετά το στάδιο της επεξεργασίας, περνάει από στάδιο αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου. Στη συνέχεια το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση της βιομάζας, αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο. Ακολούθως σε αυτό το στάδιο παράγεται αέριο σύνθεσης μέσω της ατμοαναμόρφωσης του βιομεθανίου. Η διαδικασία αυτή, συνήθως, πραγματοποιείται σε έναν αντιδραστήρα ροής σε θερμοκρασία ίση με 850°C και πίεση 15 bar, παρουσία καταλύτη αλουμινίου-νικελίου. Ακολούθως το παραγόμενο αέριο σύνθεσης καθαρίζεται από τις ανεπιθύμητες προσμίξεις άλλων στοιχείων και ενώσεων όπως το H₂S και το CO₂. Στη συνέχεια ρυθμίζεται η επιθυμητή αναλογία μονοξειδίου του άνθρακα-υδρογόνου για να ξεκινήσει η αντίδραση πολυμερισμού. Τα προϊόντα που προκύπτουν είναι τα ελαφρά κλάσματα που συλλέγονται ως υγραέριο (C3) ενώ οι βαριοί υδρογονάνθρακες μέσω υδρογονοπυρόλυσης και υδρογονοεπεξεργασίας με χρήση καταλυτών λευκόχρυσου και κοβαλτίου οδηγούν σε παραγωγή βενζίνης (C4-C12),

diesel (C13-C24) και προϊόντα κεριού (>C25). Το προϊόν, αυτό, στο τέλος διωλίζεται για να εξαχθεί το diesel. [74,75]

Τέλος, να αναφέρουμε ότι δεν προτείνεται το ανανεώσιμο diesel για κύριο καύσιμο στη ναυτιλία, παρά μόνο ως καύσιμο οδηγός ή κύριο μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης που το σύστημα του εναλλακτικού καυσίμου έχει τεθεί εκτός λειτουργίας. Αυτό διότι μπορεί το ισοζύγιο των εκπομπών του να είναι σχεδόν μηδενικό, αποτελεί όμως υδρογονάνθρακα που η καύση του παράγει αέρια του θερμοκηπίου.

3 Μετατροπή κινητήρων κι εγκατάστασης σε παλαιότερα πλοία (Retrofit)

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, για να είναι εφικτή η κλιμάκωση του στόχου που έχει θέσει ο IMO και ειδικά για το 2030, που πλησιάζει, πέρα από τις νέες ναυπηγήσεις σε εναλλακτικά καύσιμα πρέπει να γίνουν και μετατροπές στα ήδη υπάρχοντα πλοία για να είναι ικανά να χρησιμοποιήσουν κάποιο εναλλακτικό καύσιμο. Η μετατροπή των παλαιότερων πλοίων για να κάνουν χρήση μεθανόλης είναι εφικτή όπως αποδεικνύουν τα επιτυχημένα projects της MAN ES, της Wärtsilä και της WinGD, ενώ παράλληλα είναι σε στάδιο ανάπτυξης η μετατροπή των παλαιότερων πλοίων για να κάνουν χρήση αμμωνίας. Για τη μετατροπή σε χρήση υδρογόνου δεν υπάρχει ακόμα κάποιο δεδομένο. Αν προχωρήσει η ανάπτυξη κινητήρα σε χρήση υδρογόνου, τότε σίγουρα θα προχωρήσει και η ανάπτυξη λύσεων μετατροπής παλαιότερων πλοίων για χρήση σε υδρογόνο. [25]

Η βασική πρόκληση του εγχειρήματος αυτού είναι ότι τα εναλλακτικά καύσιμα, απαιτούν χρήση περισσότερου χώρου του πλοίου για τις δεξαμενές, που είναι μεγαλύτερες από των πετρελαϊκών καυσίμων και για τα δίκτυα που είναι διπλά ενώ πρέπει να υπολογιστεί και επιπλέον χώρος για τα βοηθητικά συστήματα fuel valve train, αντλίες, κλπ. Καθώς και επιπλέον χώρος για όλα τα συστήματα παρακολούθησης, ανίχνευσης διαρροών, μηχανικού αερισμού κλπ. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι η μετατροπή ενός πλοίου το οποίο ήδη έχει μηχανές διπλού καυσίμου σε χρήση LNG ή LPG είναι πιο απλή, πιο γρήγορη και λιγότερο κοστοβόρα από τη μετατροπή ενός πλοίου με συμβατικούς πετρελαιοκινητήρες. Αυτό συμβαίνει διότι με τη διαχείριση αέριων καυσίμων υπάρχουν ήδη κάποιες από τις πρόσθετες διατάξεις και άρα ο απαραίτητος σχεδιασμός χώρου. Επίσης πιο εύκολη είναι η μετατροπή πλοίων που διαθέτουν μηχανές με ηλεκτρονικό χειρισμό και άρα ήδη εγκατεστημένα συστήματα αυτοματισμών. [22,25]

Οι προκλήσεις, αυτές, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: [25]

- Δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου: Τα νέα εναλλακτικά καύσιμα έχουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα από τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται μεγαλύτερες δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου στο πλοίο. Συγκεκριμένα, όπως είδαμε σε προηγούμενες ενότητες, συγκριτικά με τα συμβατικά πετρελαϊκά καύσιμα για τη μεθανόλη αυξημένη κατά 133%, για την αμμωνία κατά

- 176% και για το υδρογόνο κατά 312%. Αυτό αποτελεί πρόκληση για την εύρεση του κατάλληλου χώρου επί του πλοίου, όπου θα πληρούνται οι απαιτήσεις ασφάλειας και παράλληλα θα έχει το μικρότερο αντίκτυπο στη δομή του πλοίου και τη μικρότερη δυνατή μείωση χώρου αποθήκευσης εμπορευμάτων.
- Χώρος διαχείρισης καυσίμου: Σε πλοία τα οποία σχεδιάστηκαν να λειτουργούν με συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα μπορεί να είναι πρόκληση να βρεθεί περικλειστος χώρος για την εγκατάσταση των αντλιών καυσίμου, της fuel valve train κλπ.
 - Δίκτυα σωληνώσεων: Οι σωλήνες διπλών τοιχωμάτων έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις από εκείνες με τα μονά τοιχώματα που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά πετρελαϊκά καύσιμα. Αυτό αποτελεί πρόκληση στη σχεδίαση των δικτύων ούτως ώστε να μην επηρεάσουν τη δομή και τη στατικότητα του πλοίου.
 - Διατάξεις ασφάλειας: Τα συστήματα δέσμευσης αμμωνίας, μηχανικού αερισμού, αδρανούς αερίου, ανίχνευσης διαρροών και ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι επιπλέον συστήματα τα οποία μπορεί να είναι δύσκολο να προστεθούν στην υπάρχουσα εγκατάσταση.

Οι μετατροπές που θα γίνουν στο πλοίο θα πρέπει να είναι στοχευμένες στη διατήρηση ενός επιπέδου ασφάλειας για την έκθεση του πληρώματος σε τοξικά κι εύφλεκτα υλικά. Αντίστοιχα και σε εναρμόνιση με τα ανάλογα κανονιστικά πλαίσια του IMO, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια του πλοίου. [25]

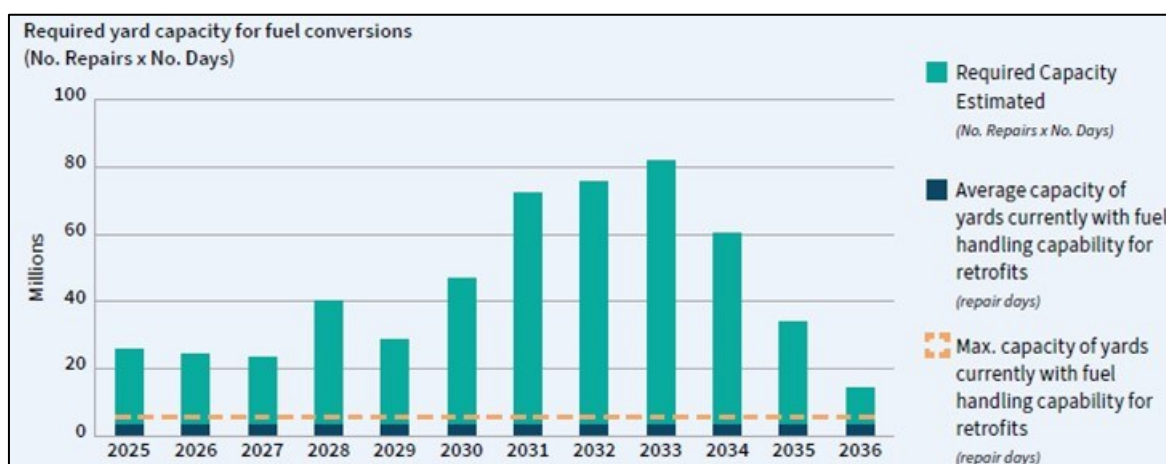
Η διαδικασία του retrofit αποτελεί πρόκληση, όχι μόνο για το ίδιο το πλοίο, αλλά και για το ναυπηγείο που θα αναλάβει να την πραγματοποιήσει. Αυτές οι προκλήσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: [25]

- Προσωπικό ειδικότητας ναυπηγικής: Το προσωπικό του ναυπηγείου θα πρέπει να είναι καταρτισμένο κατάλληλα για να σχεδιάσει την εγκατάσταση του εναλλακτικού καυσίμου σύμφωνα με τις διατάξεις ασφαλείας. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στη δομή και τη στατικότητα του πλοίου, στην ανάγκη αερισμού και στις ζώνες επικινδυνότητας.
- Προσωπικό ειδικότητας ηλεκτρολογίας: Τα συστήματα παρακολούθησης και ανίχνευσης που απαιτείται να υπάρχουν στη νέα εγκατάσταση σε συνδυασμό με όλα τα ήδη υπάρχοντα συστήματα αυτοματισμών δημιουργούν ένα περίπλοκο δίκτυο

που χρειάζεται το προσωπικό να έχει υψηλή γνώση και κατάρτιση για να το μετατρέψει. Αν αυτό δεν είναι δυνατό θα πρέπει να αντικατασταθεί όλο το σύστημα των αυτοματισμών του πλοίου.

- Χειρισμός καυσίμων: Το ναυπηγείο θα πρέπει να διαθέτει τον απαραίτητο χώρο διαχείρισης εναλλακτικών καυσίμων. Κατά συνέπεια και την απαραίτητη συνολική χωρητικότητα για να μπορεί να αναλάβει ικανό αριθμό πλοίων. Με δεδομένο ότι αυτή είναι μια νέα τεχνολογία που τώρα αρχίζει να εφαρμόζεται, με λίγα πλοία να έχουν ήδη ναυπηγηθεί, λίγα ναυπηγεία έχουν αντιμετωπίσει και αυτές τις νέες συνθήκες.

Σε μια έρευνα του νηογνώμονα Lloyd's Register βρέθηκαν μόλις 16 ναυπηγεία, παγκοσμίως, που να μπορούν αυτή τη στιγμή να διεκπεραιώσουν 300 μετατροπές πλοίων ανά έτος, με την απαραίτητη χωρητικότητα ναυπηγείων για retrofit, σύμφωνα με την αναμενόμενη ζήτηση να φαίνεται στο σχήμα 3-1. [25]



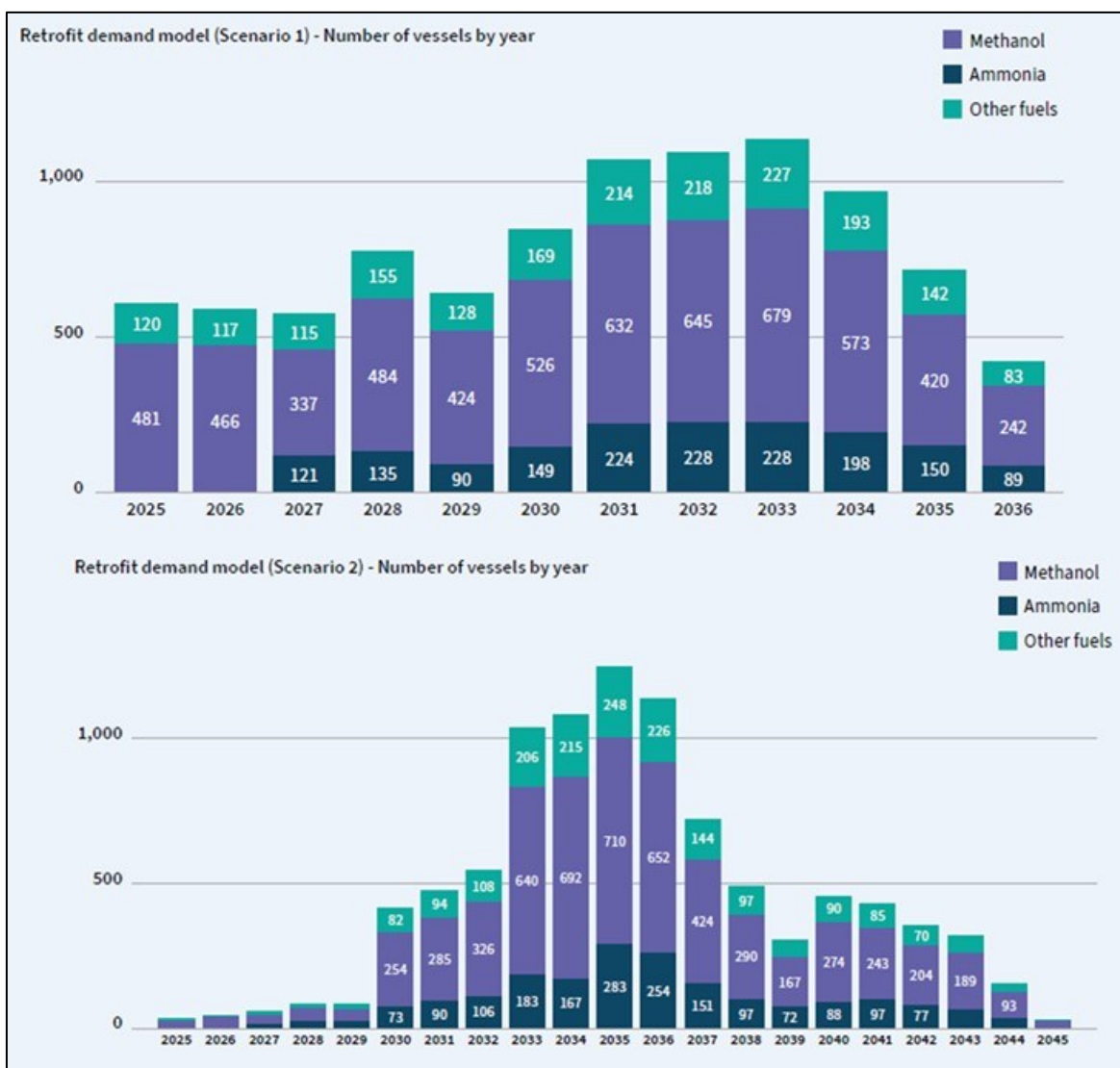
Σχήμα 3-1: Απαραίτητη χωρητικότητα ναυπηγείων για retrofit, σύμφωνα με την αναμενόμενη ζήτηση. [25]

Καθώς πλησιάζουμε προς την πρώτη χρονολογία ορόσημο, το 2030, αναμένεται μια αύξηση της ζήτησης για μετατροπή πλοίων σε εναλλακτικά καύσιμα. Με δεδομένο ότι οι νέες ναυπηγήσεις από το 2030 και μετά αναμένεται να είναι αποκλειστικά σε κάποιο εναλλακτικό καύσιμο, αναμένεται και η ζήτηση των μετατροπών να σημειώσουν peak περίπου στο πρώτο μισό της δεκαετίας του 2030, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-2, για τα δύο επικρατέστερα σενάρια. [25]

- Σενάριο πρώτο: Μέγιστη ηλικία πλοίου για μετατροπή τα 10 έτη για όλες τις κατηγορίες μεγεθών πλοίου. Αυτό το σενάριο συμπίπτει τη μετατροπή των

υπαρχόντων πλοίων σε ένα διάστημα από το 2025 έως το 2036. Αυτό οδηγεί τη μετατροπή μικρότερων πλοίων να γίνει βιαστικά και άμεσα ενώ ακόμη δεν είναι βιώσιμη επιλογή για εκείνα.

- Σενάριο δεύτερο: Μέγιστη ηλικία πλοίου για μετατροπή τα 15 έτη. Το διάστημα καθυστέρησης 5 ετών δίνεται για τη βιωσιμότητα των μικρότερων πλοίων. Αυτό το σενάριο παρουσιάζει μια πιο ομαλή αύξηση στη ζήτηση των retrofit και παρουσιάζει μεγάλη αύξηση μετά το 2030 που θα είναι πιο βιώσιμο και για τα μικρότερα πλοία. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο η μετατροπή των υπαρχόντων πλοίων πραγματοποιείται σε ένα διάστημα από το 2025 έως το 2045.



Σχήμα 3-2: Ζήτηση για retrofit σύμφωνα με τα δύο επικρατέστερα σενάρια. [25]

Η διάρκεια των εργασιών για τη μετατροπή ενός πλοίου υπολογίζεται κατά μέσο όρο στους 2 μήνες. Οι εργασίες περιλαμβάνουν τα εξής στάδια: [25]

- Απεγκατάσταση του υπάρχοντος συστήματος καυσίμου και αντικατάστασή του συμπεριλαμβάνοντας την αντικατάσταση ή τροποποίηση των δεξαμενών.
- Τροποποίηση των στοιχείων συγκράτησης και στερέωσης των δικτύων συμπεριλαμβάνοντας την διάνοιξη οπών για τα νέα δίκτυα σωληνώσεων και την εγκατάσταση πρόσθετων στηριγμάτων.
- Συναρμολόγηση και εγκατάσταση των νέων συστημάτων συμπεριλαμβάνοντας και το retrofit των κινητήρων.
- Εγκατάσταση ηλεκτρικών δικτύων
- Δοκιμαστική λειτουργία στο ναυπηγείο χωρίς φορτίο
- Δοκιμαστική λειτουργία στο φορτίο, εν πλω.

Η συνολική διάρκεια για το εγχείρημα είναι στην πραγματικότητα πολύ μεγαλύτερη, περνώντας τα εξής στάδια: [25]

- Δυνατότητα υλοποίησης: Σε αυτό το στάδιο το πλοίο είναι σε λειτουργία και η πλοιοκτήτρια εταιρεία αποφασίζει ποιο πλοίο δύναται να μετατραπεί και λαμβάνει την απαραίτητη έγκριση για μετατροπές από το νηογνώμονα. Εκτιμώμενη διάρκεια από 6 έως 12 μήνες.
- Σχεδιασμός μετατροπής: Σε αυτό το στάδιο το πλοίο είναι σε λειτουργία και γίνεται ο απαραίτητος σχεδιασμός της νέας εγκατάστασης για το πλοίο. Εκτιμώμενη διάρκεια 5 μήνες
- Εργασίες μετατροπών: Σε αυτό το στάδιο το πλοίο τίθεται εκτός λειτουργίας και μπαίνει στο ναυπηγείο για την πραγματοποίηση των μετατροπών. Εκτιμώμενη διάρκεια 2 μήνες.
- Υιοθέτηση: Σε αυτό το στάδιο το πλοίο ολοκληρώνει τη δοκιμαστική λειτουργία, εκδίδονται τα απαραίτητα πιστοποιητικά από τους νηογνώμονες και είναι έτοιμο να τεθεί ξανά σε λειτουργία. Εκτιμώμενη διάρκεια 1 βδομάδα.

Μόλις πραγματοποιηθεί μια εργασία μετατροπής των κινητήρων, τότε πρέπει να εκδοθεί και το αντίστοιχο πιστοποιητικό για τη μεταβολή των εκπομπών των κινητήρων. Θα χρειαστεί, λοιπόν, να εκδοθεί νέο Technical File ως αναθεώρηση στο προηγούμενο. Πρόκληση αποτελεί στα πρώτα retrofits η μη ύπαρξη αντίστοιχου πιστοποιημένου κινητήρα

για σύγκριση. Σε αυτήν την περίπτωση κατά τη δοκιμαστική λειτουργία των μηχανών στη θάλασσα πρέπει να γίνουν όλες οι απαραίτητες μετρήσεις για την έκδοση του πιστοποιητικού. [25]

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπ' όψη και η κατάλληλη εκπαίδευση του πληρώματος του πλοίου για να χειρίζεται τη νέα εγκατάσταση. Είναι σημαντικό το πλήρωμα να κατέχει άρτια γνώση επί της εγκατάστασης του πλοίου και των νέων διαδικασιών λειτουργίας του για να μπορεί να ανταπεξέλθει σε όποιο ζήτημα προκύψει και να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος του ανθρώπινου παράγοντα. Σημαντική, επίσης, κρίνεται η εκπαίδευση του πληρώματος στους κινδύνους για την υγεία του από τα νέα υλικά που θα χρησιμοποιούνται ως καύσιμο και τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία του. Τέλος είναι κρίσιμο να εκπαιδευτεί το πλήρωμα κατάλληλα ούτως ώστε να μπορεί να αναγνωρίσει έγκαιρα επικίνδυνες καταστάσεις και να γνωρίζει τον τρόπο να τις διαχειριστεί. [25]

Τέλος, όσον αφορά το οικονομικό ζήτημα και τη βιωσιμότητα της επιλογής για μετατροπή υπαρχόντων πλοίων η MAN ES επισημαίνει ότι αποτελεί βιώσιμη επιλογή όταν το κόστος μετατροπής δεν ξεπερνά το 25% του κόστους ναυπήγησης. Το πλήρες κόστος της μετατροπής ενός πλοίου εξαρτάται, βέβαια και από το μέγεθος του πλοίου και είναι ακόμη ρευστό. Ο δείκτης IRL για τα retrofits μεθανόλης και αμμωνίας ανάλογα και την κατηγορία του πλοίου βρίσκεται ακόμη σε στάδιο υποθετικής εμπορικής χρήσης ή σε στάδιο εμπορικής δοκιμής σε μικρή κλίμακα. Αυτό μας δείχνει σε πόσο αρχικό στάδιο βρισκόμαστε ακόμη, το οποίο αντανάκλαται και στο κόστος. Καθώς θα αρχίσουν να εφαρμόζονται οι μετατροπές στα υπάρχοντα πλοία θα ανέβουν οι δείκτες IRL και CRL επιφέροντας και μια σταθερή και συγκεκριμένη τιμή κόστους. Αυτή τη στιγμή υπάρχει μια πρώτη εκτίμηση για τα retrofit μεθανόλης όπου το κόστος μετατροπής των δεξαμενών ανέρχεται περίπου στα 55 USD/kW, το κόστος του δικτύου σωληνώσεων και του συστήματος διαχείρισης καυσίμου ανέρχεται περίπου στα 62-110 USD/kW και το κόστος της μετατροπής του κινητήρα ανέρχεται περίπου στα 272-600 USD/kW. Παρόμοιες τιμές χωρίς μεγάλες αποκλίσεις αναμένονται και για τα retrofit αμμωνίας. [25,40]

4 Σύγκριση των εναλλακτικών καυσίμων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ της μεθανόλης, της αμμωνίας και του υδρογόνου, σύμφωνα και με τα όσα αναφέραμε γι' αυτά στις ενότητες του κεφαλαίου 2. Σκοπός της σύγκρισής μας είναι να συμπεράνουμε αν κάποιο από αυτά και ποιο μπορεί να κυριαρχήσει μελλοντικά ως καύσιμο στον τομέα της ναυτιλίας.

4.1 Ιδιότητες καυσίμου

Ως πρώτο μέτρο σύγκρισης θα δούμε τις ιδιότητες των υλικών που αποτελούν δείκτες για την ικανότητα ενός υλικού να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

Στον πίνακα 4-1 βλέπουμε την ειδική ενέργεια και την ενεργειακή πυκνότητα της πράσινης μεθανόλης, της πράσινης αμμωνίας και του πράσινου υδρογόνου. Στον πίνακα παρατίθενται και οι αντίστοιχες τιμές για το HFO ως μέτρο σύγκρισης.

Πίνακας 4-1: Σύγκριση των τριών εναλλακτικών καυσίμων ως προς τις ενεργειακές τους ιδιότητες

	HFO	Πράσινη Μεθανόλη (l)	Πράσινη Αμμωνία (l)	Πράσινο Υδρογόνο (l)
Ειδική ενέργεια (MJ/kg)	40,5	19,9	18,6	120
Ενεργειακή πυκνότητα (MJ/L)	35	15	12,7	8,5

Βλέπουμε ότι κανένα δε μοιάζει πραγματικά με το HFO και κατά συνέπεια με τα συμβατικά πετρελαϊκά καύσιμα που χρησιμοποιούνται ως σήμερα στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Η πράσινη μεθανόλη και η αμμωνία συγκλίνουν αρκετά, ενώ το υδρογόνο που αποκλίνει κατά πολύ, επιδεικνύει εξαιρετικά υψηλή ειδική ενέργεια αλλά πάρα πολύ μικρή ενεργειακή πυκνότητα.

4.2 Ετοιμότητα εφαρμογής καυσίμου

Ως δεύτερο μέτρο σύγκρισης θα δούμε τους δείκτες TRL, IRL και CRL για να συγκρίνουμε την ετοιμότητα εφαρμογής της πράσινης μεθανόλης, της πράσινης αμμωνίας και του υδρογόνου.

Στον πίνακα 4-2 βλέπουμε την ετοιμότητα εφαρμογής της πράσινης μεθανόλης, της πράσινης αμμωνίας και του υδρογόνου με αξιολόγηση των τριών δεικτών ετοιμότητας TRL, IRL και CRL.

Πίνακας 4-2: Αξιολόγηση ετοιμότητας για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα.

	TRL					IRL				CRL			
	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship Onboard storage and handling	Ship Propulsion	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship	Resource	Production	Bunkering and ports	Ship
Bio-methanol	7	3	6	8	8	2	3 ▲	2 ▲	3 ▲	2	2	2	3
E-methanol	7	4 ▲	6	8	8	3	3	2 ▲	3 ▲	4	2 ▼	2	3
E-ammonia	7	5	3 ▲	4 ▲	4 ▲	2 ▲	2	1	1	4	5 ▲	1	1
E-hydrogen	7	5 ▲	5 ▲	5	6	2 ▲	2	2 ▲	1	4	5 ▲	1	1

Τα σύμβολα ▲ και ▼ υποδηλώνουν τάση αύξησης και μείωσης αντίστοιχα.

Βλέπουμε πως η πράσινη μεθανόλη είναι πιο έτοιμη για εφαρμογή από την πράσινη αμμωνία και το πράσινο υδρογόνο. Παράλληλα η πράσινη αμμωνία με το πράσινο υδρογόνο συγκλίνουν στις τιμές δεικτών ετοιμότητας με το πράσινο υδρογόνο να βρίσκεται ελαφρώς στο προβάδισμα.

4.3 Εφαρμογή στο πλοίο

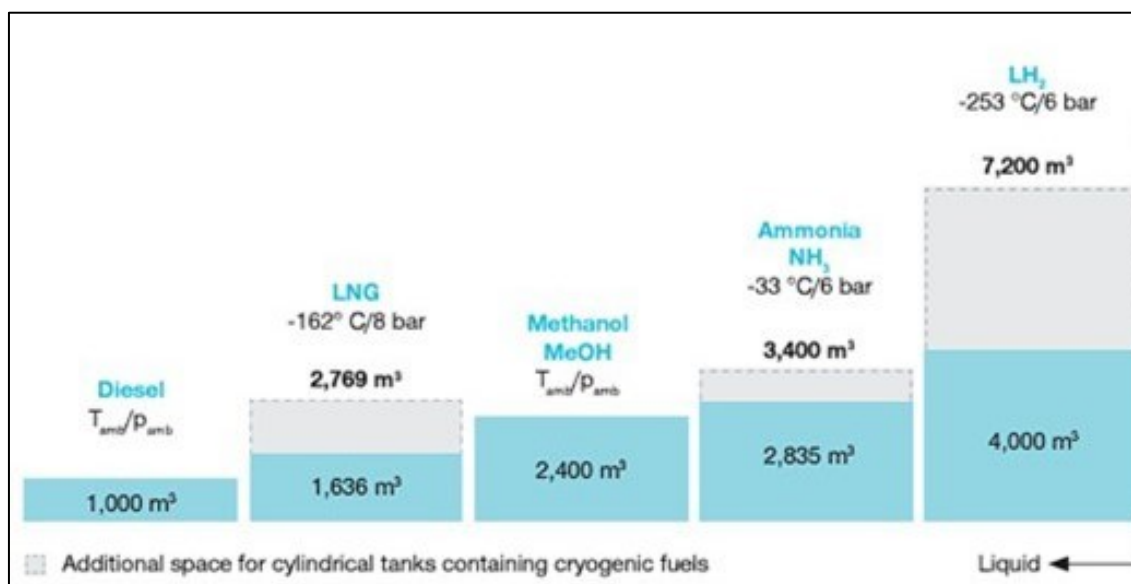
Ως τρίτο μέτρο σύγκρισης θα δούμε τα βασικά συγκριτικά σημεία όσον αφορά την εγκατάσταση του συστήματος καυσίμου, πέραν των βοηθητικών επιπλέον συστημάτων που χρειάζονται σε όλα.

Στον πίνακα 4-3 βλέπουμε τις βασικές συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και τις απαιτήσεις όγκου για την πράσινη μεθανόλη, την πράσινη αμμωνία και το πράσινο υδρογόνο. Στον πίνακα παρατίθενται και οι αντίστοιχες τιμές για το HFO ως μέτρο σύγκρισης.

**Πίνακας 4-3: Βασικά σημεία σύγκρισης της εγκατάστασης καυσίμου για τα τρία εναλλακτικά
καύσιμα σε σύγκριση με το HFO.**

	HFO	Πράσινη Μεθανόλη (l)	Πράσινη Αμμωνία (l)	Πράσινο Υδρογόνο (l)
Θερμοκρασία αποθήκευσης (°C)	Κανονική	Κανονική	-33	-253
Απαιτούμενος όγκος δεξαμενής (m ³)	1000	2333	2755	4117
Αύξηση όγκου δεξαμενής σε σύγκριση με το HFO (%)	-	133	176	312
Πίεση παροχής καυσίμου (bar)	7-8	10	70	-
Πίεση καύσης καυσίμου (bar)	950	500	600-700	-

Βλέπουμε ότι τα χαρακτηριστικά της μεθανόλης είναι πιο κοντά στα συμβατικά πετρελαϊκά καύσιμα. Η αμμωνία ακολουθεί αποκλίνοντας κάπως απαιτώντας σχεδόν διπλάσιο όγκο δεξαμενής και δεκαπλάσια πίεση παροχής καυσίμου, καθώς και ψύξη στους -33 °C. Οι απαιτήσεις για την πίεση του υδρογόνου είναι ακόμα υπό διερεύνηση, αλλά μπορούμε να δούμε μια μεγάλη απόκλιση απαιτώντας θερμοκρασία καυσίμου στη δεξαμενή τους -253 °C και περισσότερο από τον τριπλάσιο όγκο δεξαμενής, όπως βλέπουμε και στο σχήμα 4-1. Στο σχήμα 4-1 παρατίθεται και ο όγκος δεξαμενής για τα HFO και LNG ως μέτρο σύγκρισης.



Σχήμα 4-1: Σύγκριση απαιτούμενου όγκου δεξαμενής για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα. [38]

Βλέπουμε ότι για το υδρογόνο μπορεί να χρειαστεί και ο επταπλάσιος όγκος συγκριτικά με το HFO. Αυτά τα στοιχεία κάνουν την επιλογή του υδρογόνου να μην είναι πολύ ελκυστική.

4.4 Εκπομπές ρύπων

Ως τέταρτο μέτρο σύγκρισης θα δούμε τα βασικά συγκριτικά σημεία όσον αφορά τις εκπομπές GHG.

Στον πίνακα 4-4 βλέπουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την καύση της πράσινης μεθανόλης, της πράσινης αμμωνίας και του πράσινου υδρογόνου. Καθώς επίσης και το αν χρειάζεται η εγκατάσταση κάποιας πρόσθετης διάταξης για τη μείωση των εκπομπών GHG. Στον πίνακα παρατίθενται και οι αντίστοιχες τιμές για το HFO ως μέτρο σύγκρισης

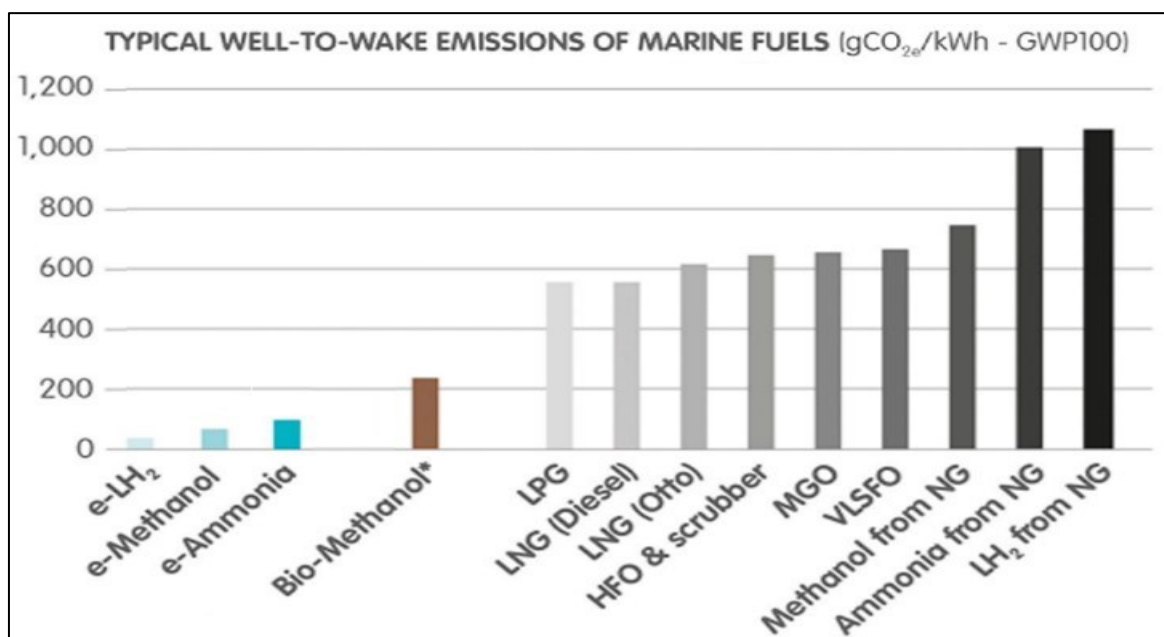
Πίνακας 4-4: Εκπομπές GHG και απαιτούμενες διατάξεις μείωσης εκπομπών για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα.

		HFO	Πράσινη Μεθανόλη (I)	Πράσινη Αμμωνία (I)	Πράσινο Υδρογόνο (I)
Μείωση εκπομπών GHG προσμετρώντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής του καυσίμου σε σύγκριση με τις εκπομπές του HFO σε μηχανή Tier II (%)	SO _x	0	90-97	100	100
	PM	0	90	>90	>95
	No _x	0	30-50	Εντός ορίων Tier III	>95
	CO ₂	0	15-80	>95	>95
Αναγκαιότητα χρήσης Scrubber (Sox)		Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Αναγκαιότητα χρήσης SCR (Nox)		Ναι	Ναι	Ναι	Ναι*
Αναγκαιότητα χρήσης CCS (CO₂)		Ναι	Ναι	Ναι*	Ναι*

* Η χρήση δεν είναι απαραίτητη για να εμπίπτει η μηχανή εντός των ορίων της κατηγορίας Tier III, είναι όμως προαιρετική για το μηδενισμό του αποτυπώματος του τομέα της ναυτιλίας.

Βλέπουμε ότι και τα τρία εναλλακτικά καύσιμα έχουν μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές όσον αφορά τα οξείδια του θείου και τα σωματίδια, επομένως δεν υπάρχει και η ανάγκη εγκατάστασης Scrubber. Επιπλέον η χρήση πράσινης αμμωνίας και πράσινου υδρογόνου κάνουν τον κινητήρα που τα χρησιμοποιεί να εμπίπτει εντός της κατηγορίας Tier III για τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Το υδρογόνο μάλιστα επιδεικνύει σχεδόν μηδενικές εκπομπές, οπότε δεν είναι πλέον απαραίτητη η εγκατάσταση SCR. Η εγκατάστασή του, βέβαια, συνεχίζει να προτείνεται για να είναι πλήρως ουδέτερο το αποτύπωμα της καύσης από τις εκπομπές του καυσίμου οδηγού. Τέλος παρατηρούμε σχεδόν μηδενικές εκπομπές και στο διοξείδιο του άνθρακα για τη χρήση πράσινης αμμωνίας και πράσινου υδρογόνου, επομένως δεν υπάρχει η ανάγκη εγκατάστασης CCS. Η εγκατάστασή του, βέβαια, συνεχίζει να προτείνεται για να είναι πλήρως ουδέτερο το αποτύπωμα της καύσης από τις εκπομπές του καυσίμου οδηγού.

Στο σχήμα 4-1 βλέπουμε τις τυπικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που αποδίδουν στο περιβάλλον τα δύο είδη πράσινης μεθανόλης, η πράσινη αμμωνία και το πράσινο υδρογόνο σε όλον τον κύκλο ζωής τους. Στο σχήμα παρατίθενται και τα ορυκτά καύσιμα ως μέτρο σύγκρισης. Βλέπουμε πως τις χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αποδίδει το πράσινο υδρογόνο, ακολουθούμενο από την e-μεθανόλη και την πράσινη αμμωνία. Ενώ η βιο-μεθανόλη αποδίδει τις περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε όλον τον κύκλο της ζωής της.



Σχήμα 4-2: Τυπικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα, προσμετρώντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.

4.5 Ασφάλεια πλοίου και πληρώματος

Ως πέμπτο μέτρο σύγκρισης θα δούμε τα βασικά συγκριτικά σημεία όσον αφορά την ασφάλεια και υγιεινή του πληρώματος και την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Στον πίνακα 4-4 βλέπουμε τους τρεις παράγοντες επικινδυνότητας που επιδεικνύουν η πράσινη μεθανόλη, η πράσινη αμμωνία και το πράσινο υδρογόνο. Αυτοί οι παράγοντες είναι η τοξικότητα του υλικού, η ευφλεκτότητα και η εκρηκτικότητά τους. Στον πίνακα παρατίθενται και οι αντίστοιχες τιμές για το HFO ως μέτρο σύγκρισης

Πίνακας 4-5: Παράγοντες επικινδυνότητας για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα.

	HFO	Πράσινη Μεθανόλη (I)	Πράσινη Αμμωνία (I)	Πράσινο Υδρογόνο (I)
Τοξικότητα	-	Υψηλή	Υψηλή	-
Ευφλεκτότητα	Κανονική	Υψηλή	-	Πολύ υψηλή
Εκρηκτικότητα	Κανονική	Υψηλή	-	Πολύ υψηλή

Βλέπουμε ότι η χρήση πράσινης μεθανόλης ενέχει κίνδυνο για την υγιεινή και την ασφάλεια του πληρώματος λόγω της υψηλής τοξικότητας που έχει ως υλικό. Επιπλέον ενέχει κίνδυνο για την ασφάλεια του πλοίου λόγω της υψηλής ευφλεκτότητας κι εκρηκτικότητας που μπορεί να οδηγήσει σε έκρηξη και εκδήλωση πυρκαγιάς στο πλοίο. Η χρήση πράσινου υδρογόνου δεν ενέχει κίνδυνο για την υγιεινή και ασφάλεια του πληρώματος μιας και δεν είναι τοξικό υλικό. Όμως έχει πολύ υψηλή ευφλεκτότητα κι εκρηκτικότητα. Η χρήση του ενέχει μεγαλύτερο κίνδυνο έκρηξης κι εκδήλωση πυρκαγιάς από τη μεθανόλη. Βλέπουμε επίσης ότι η χρήση πράσινης αμμωνίας ενέχει κίνδυνο για την υγιεινή και την ασφάλεια του πληρώματος λόγω της υψηλής τοξικότητάς της ως υλικό. Στα πλεονεκτήματα της αμμωνίας, είναι ότι δεν ενέχει κίνδυνο για το πλοίο διότι δεν παρουσιάζει ευφλεκτότητα κι εκρηκτικότητα.

Στον πίνακα 4-7 μπορούμε να δούμε σύγκριση μεταξύ των τριών εναλλακτικών καυσίμων πάνω σε κινδύνους που μπορούν να προκύψουν από διάφορες καταστάσεις κατά τη λειτουργία του πλοίου. Αξιολογούνται με το πόσο συχνά μπορεί να εμφανιστούν και πόσο επικίνδυνα είναι για την ανθρώπινη ζωή, όπως φαίνεται στον πίνακα 4-6 ως υπόμνημα.

Πίνακας 4-6: Υπόμνημα στον πίνακα 4-7. [76]

			Consequence				
			C1 Minor Injury	C2 Minor Injury	C3 One Fatality or multiple major injuries	C4 2-10 Fatalities	C4 11+ Fatalities
Likelihood	L7	Extremely Likely	≤100 to 10 ⁻¹				
	L6	Very Likely	≤10 ⁻¹ to 10 ⁻²				
	L5	Likely	≤10 ⁻² to 10 ⁻³				
	L4	Unlikely	≤10 ⁻³ to 10 ⁻⁴				
	L3	Very Unlikely	≤10 ⁻⁴ to 10 ⁻⁵				
	L2	Extremely Unlikely	≤10 ⁻⁵ to 10 ⁻⁶				
	L1	Remote	≤10 ⁻⁶				

Πίνακας 4-7: Συγκριτικός πίνακας κινδύνων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα. [76]

<div> <div>Intolerable risk</div> <div>Tolerable risk - ALARP</div> <div>Broadly acceptable</div> </div>						
Node	What if Questions	Causes	Consequences	H2	Ammonia	Methanol
1. Navigation	What if there is loss of manoeuvrability at sea?	1. Propulsion failure	1. Grounding	C1-L4	C1-L4	C1-L4
			2. Collision	C1-L4	C1-L4	C1-L4
			3. Build-up of tank pressure	C1-L5	C3-L3	C1-L1
			4. Excess motions	C1-L5	C1-L5	C1-L1
	What if there are excessive motions at sea?	1. Loss of fin stabilisers	1. Excess motions	C1-L5	C1-L5	C1-L1
	What if there is a black-out at sea?	1. Engine / generator failures	1. Boil-off management affected that could lead to build-up in tank pressure	C1-L2	C3-L2	C1-L1
	What if an excessive trim / list develops at sea or in port?	1. Loading / Ballasting error	1. Potential for gas pocket formation	C1-L2	C3-L2	C1-L1
			1. Large heel / trim angles that could lead to liquid fuel coming from vent mast	C1-L3	C5-L3	C1-L1
		2. Grounding	1. Large heel / trim angles that could lead to liquid fuel coming from vent mast	C1-L3	C5-L3	C1-L1
	What if there is a requirement for tug support / 3rd party vessel attendance at sea or in port?	1. Fuel / Bunker / Supply up lift	1. Potential source of ignition	C3-L3	C1-L1	C3-L2
			2. Damage to pipe work (hard landing / hard contact by tug)	C1-L2	C1-L2	C1-L2
			3. Potential of exposure to toxic fumes	-	C3-L2	-
2. External events	What if there is a ship collision in way of the fuel tanks?	1. Hull breach	1. Tank breach	C5-L1	C5-L1	C2-L3
			1. Loss of containment	C5-L1	C5-L1	C2-L3
			2. Build-up of tank pressure	C1-L2	C1-L2	
	Potential of ignition	1. Oil spill / pipe breach / vehicle fire / lightning strike / etc.	3. Potential ignition sources in hazardous areas (from colliding vessel)	C3-L2	C3-L2	C3-L2
3. Ship operations other than bunkering	What if cargo operations are required in way of the future fuel tanks and system components?	1. Operational requirements	1. Build-up of tank pressure	C2-L3	C3-L2	C1-L1
		2. Crane reach	1. Damage to equipment / Vent mast	C1-L5	C3-L5	C1-L4
	What if there is a crew change?	1. Operational requirements	1. Inadvertent ignition source in hazardous area	C2-L4		
	What if there is a completely new crew after vessel handover?	1. Crew unfamiliar with the vessel	1. Potential for un/under-informed personnel taking over control	C1-L1	C1-L1	C1-L1
	What if onboard access is required by personnel not managed by the ship's operator?	1. Electronic equipment carried inadvertently in hazardous areas	1. Potential for un/under-informed personnel taking over control	C2-L5	C2-L5	C1-L2
		2. Persons inadvertently being exposed to toxic atmosphere	1. Potential source of ignition	C2-L4	C2-L4	C2-L4
4. Bunkering	What if there is a misalignment of the bunkering stations?	1. Mooring Control	1. Toxic exposure		C3-L4	C2-L4
		2. Mooring line tension	1. Tension on hoses and couplings, manifolds	C1-L4	C2-L4	C1-L3
	What if there are excessive motions?	1. Passing ships / weather	1. Tension on hoses and couplings	C1-L4	C2-L4	C1-L3
		2. Asymmetric filling of tanks	1. Tension on hoses and couplings	C1-L4	C2-L4	C1-L3
	What if there is a loss of control?	1. Filling rate	1. Heel angles exceeding limits for bunkering	C1-L4	C2-L4	C1-L3
		2. Incorrect level readings	1. Leakage / Overfilling	C2-L3	C5-L3	C2-L2
		3. BOG management	1. Leakage / Overfilling	C2-L3	C5-L3	C2-L2
		4. Roll over	1. Venting	C1-L3	C3-L2	
	What if there is a leak / loss of containment?	1. Overfilling	1. Venting	C1-L3		
		2. Joints leakages	1. Loss of containment	C2-L3	C5-L3	C2-L2
		3. Incompatible flange types	1. Loss of containment	C2-L3	C3-L3	C2-L2
		4. Insufficient pre-cooling of bunkering lines	1. Damage to equipment / Vent mast	C2-L2	C2-L2	
5. Fuel preparation, use and monitoring	What if there is a loss of control?	1. Power outages	1. Automated shut-down	C1-L4	C1-L4	C1-L1
		2. Sensor and system failures	1. Automated shut-down	C1-L4	C1-L4	C1-L1
6. End of life	What if the vessel is scrapped?	1. Vessel age	1. Potential for residual gas in tank	C4-L1	C3-L2	C3-L2

Βλέπουμε ότι συνολικά η χρήση αμμωνίας μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμούς ή θανάτους πιο εύκολα από τα άλλα δύο καύσιμα σε περίπτωση που διαφύγει. Οι πιθανότητες για τα περισσότερα να συμβούν χαρακτηρίζονται μικρές. Τέλος βλέπουμε ότι πιο δύσκολα αναπτύσσονται επικίνδυνες καταστάσεις σε πλοίο που κάνει χρήση μεθανόλης.

4.6 Κόστος χρήσης καυσίμου

Ως τελευταίο μέτρο σύγκρισης θα δούμε το κόστος των τριών καυσίμων και το πότε προβλέπεται η τιμή τους να είναι ανταγωνιστική στα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα όπως φαίνεται και στον πίνακα 4-8.

Πίνακας 4-8: Τιμή αγοράς για τα τρία εναλλακτικά καύσιμα και πρόβλεψη για το πότε θα είναι ανταγωνιστική στα πετρελαϊκά καύσιμα.

	Κόστος καυσίμου (USD/tn)	Ανταγωνιστικό προς το πετρέλαιο
Πράσινη Μεθανόλη	~1.000	Μετά το 2030
Πράσινη Αμμωνία	~1.000	Μετά το 2035
Πράσινο Υδρογόνο	~5.123	Μετά το 2050

Βλέπουμε ότι η πράσινη μεθανόλη και η πράσινη αμμωνία συγκλίνουν πολύ με παρόμοιες τιμές διακίνησης αυτή τη στιγμή ενώ αναμένεται σε κοντινές χρονικές στιγμές να έχουν καταστεί ανταγωνιστικές προς τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα. Δεν ισχύει το ίδιο και για το υδρογόνο που η τιμή του και η χρονική στιγμή που αναμένεται να καταστεί ανταγωνιστικό προς τα συμβατικά ορυκτά πετρελαϊκά καύσιμα δεν το κάνουν ελκυστική επιλογή για τον τομέα της ναυτιλίας ακόμα.

5 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω ενέργειες

Μετά από όσα αναλύσαμε σε όλα τα προηγούμενα κεφάλαια συμπεραίνουμε ότι υπάρχει η ανάγκη μεταστροφής του τομέα της ναυτιλίας προς καύσιμα με μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα ούτως ώστε να μετριαστούν ή ακόμα και να μηδενιστούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από αυτόν τον τομέα. Το πρώτο βήμα έχει γίνει ήδη με τους κανονισμούς και τους στόχους που έχει θέσει ο IMO. Έχουν βρεθεί οι πιθανοί αντικαταστάτες των συμβατικών ορυκτών πετρελαϊκών καυσίμων αλλά η μεταστροφή είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Στη μεταστροφή αυτή, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να συνυπολογιστούν όπως αυτός του μεγέθους και της χρήσης του πλοίου.

Από όσα αναλύσαμε φαίνεται ότι τα δεξαμενόπλοια που θα μεταφέρουν LNG θα μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν υδρογόνο σε ανάμιξη με LNG μετά το 2050 εάν τελικά η εγκατάσταση μπορεί να γίνει με ασφάλεια κι αν γίνεται να εγκατασταθεί στο πλοίο ο όγκος της δεξαμενής που απαιτείται. Αλλιώς θα παραμείνουν να χρησιμοποιούν LNG με απαραίτητη εγκατάσταση SCR, Scrubber και CCS για να κάνουν όσο πιο μηδενικό γίνεται το αποτύπωμά τους. Αυτό θα συμβεί διότι τα δεξαμενόπλοια αυτά επωφελούνται του φορτίου τους.

Το υδρογόνο γενικά φαίνεται να μην είναι μια επιλέξιμη εναλλακτική λόγω της επικινδυνότητάς του, της μεγάλης απαίτησης χώρου για τις δεξαμενές και του υψηλού του κόστους μέχρι το 2050. Ενδέχεται μετά το 2050 να είναι κατάλληλη η εγκατάστασή του σε μικρά πλοία όπως αλιευτικά, ferry-boat πορθμών κλπ. σε κυψέλες καυσίμου.

Τα δεξαμενόπλοια που θα μεταφέρουν μεθανόλη φαίνεται ότι είναι η καλύτερη επιλογή να κάνουν χρήση μεθανόλης λόγω του ότι μπορούν να επωφεληθούν από το φορτίο. Για επέκταση χρήσης της μεθανόλης σε άλλες κατηγορίες πλοίων φαίνεται πως θα είναι η τάση ναυπήγησης τα επόμενα χρόνια μέχρι να έρθει και η αμμωνία σε ετοιμότητα. Η απουσία κινδύνου πυρκαγιάς και έκρηξης που παρουσιάζει η αμμωνία ως υλικό, αποτελεί μεγάλο προσόν που ενδεχομένως να δώσει προβάδισμα κυριαρχίας στη χρήση της.

Η εγκατάσταση Scrubber πλέον δε θα χρειάζεται στα πλοία, ενώ η εγκατάσταση CCS θα είναι απαραίτητη για τα πλοία που θα κινούνται με μεθανόλη. Ενώ για τα πλοία που θα κινούνται με αμμωνία θα είναι προαιρετική για πλήρη μηδενισμό των εκπομπών ή για την περίπτωση έκτακτης ανάγκης που το σύστημα της αμμωνίας θα τεθεί εκτός λειτουργίας και

το καύσιμο οδηγός θα γίνει κύριο καύσιμο. Η εγκατάσταση SCR παραμένει απαραίτητη και για τα πλοία που θα κινούνται με μεθανόλη και για εκείνα που θα κινούνται με αμμωνία.

Επίσης ένα ακόμα συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί με ευκολία είναι ότι η μεταστροφή αυτή που θα ακολουθήσει ο τομέας της ναυτιλίας μπορεί να υιοθετηθεί και από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Κατά αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουν να μηδενιστούν και οι εκπομπές αυτού του τομέα για όσες εγκαταστάσεις θα χρειαστεί να παραμείνουν σε μηχανές εσωτερικής καύσης, όπως περιοχές που δεν είναι δυνατή ή είναι εξαιρετικά κοστοβόρα η διασύνδεσή τους. Κατ' αρχάς όπου ήδη χρησιμοποιούνται μηχανές εσωτερικής καύσης με χρήση φυσικού αερίου, μπορεί να ξεκινήσει η ανάμιξή του με το υδρογόνο. Και αν μπορέσουν να υπάρχουν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την ασφάλεια της εγκατάστασης και του προσωπικού, να φτάσουν κάποια στιγμή αυτές οι μονάδες παραγωγής να χρησιμοποιούν καθαρό υδρογόνο στις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις τους. Όσον αφορά και τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα, η εγκατάσταση θα είναι ίδια με αυτήν που περιγράψαμε στα προηγούμενα κεφάλαια με το μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχει ο περιορισμός του χώρου που υπάρχει πάνω στο πλοίο. Επίσης είναι ένα πολύ πιο εύκολο εγχείρημα όταν δεν υπάρχει περιορισμός χώρου και βάρους της εγκατάστασης να εξεταστούν και οι περιπτώσεις παραγωγής αμμωνίας και καύσης της στις ίδιες εγκαταστάσεις. Επιπλέον η χρήση μεθανόλης και αμμωνίας θα μπορεί να γίνει και σε μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται σε μη ηλεκτροδοτημένες περιοχές όπως εργοτάξια και στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

Ένας προβληματισμός που προκύπτει είναι ότι η μεταστροφή του τομέα της ναυτιλίας έχει ήδη αρχίσει να συμβαίνει χωρίς τα εναλλακτικά καύσιμα να βρίσκονται ακόμη σε ετοιμότητα. Δεν υπάρχει, δηλαδή, ακόμα διαθεσιμότητα στα νέα εναλλακτικά καύσιμα και η τιμή τους είναι αρκετά υψηλότερη από των συμβατικών πετρελαϊκών καυσίμων. Οπότε προς το παρόν, ενδεχομένως, η καλύτερη λύση να είναι οι εγκαταστάσεις μεθανόλης και αμμωνίας να λειτουργήσουν με το καύσιμο οδηγό ως κύριο, μέχρι το 2030 τουλάχιστον για τη μεθανόλη και το 2035 για την αμμωνία. Σε άλλη περίπτωση το αυξημένο κόστος λειτουργίας του πλοίου θα επιβαρύνει την αξία των εμπορευμάτων που μεταφέρουν τα πλοία έχοντας αντίκτυπο στην οικονομία όλων των χωρών. Αυτό αποτελεί τομέα για περαιτέρω έρευνα για το τι μέτρα μπορούν να πάρουν τα κράτη ούτως ώστε η μεταστροφή του τομέα της ναυτιλίας να μην έχει επιβαρυντικές επιπτώσεις σε άλλους τομείς της οικονομίας.

Επίσης περαιτέρω έρευνα χρειάζεται για την όσο γίνεται εξάλειψη των κινδύνων διαφυγής της αμμωνίας τόσο για τον κίνδυνο της υγείας του πληρώματος και των επιβατών, αν πρόκειται για επιβατικό πλοίο, όσο για τις περιβαλλοντικές συνέπειες.

Για την περίπτωση των επιβατικών πλοίων, ειδικά, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για το ποιο καύσιμο θα ήταν ασφαλέστερο, με τα ως στιγμής δεδομένα να δείχνουν πως ίσως πρέπει να εξεταστεί η επιλογή του ανανεώσιμου diesel γι' αυτές τις κατηγορίες πλοίων, με χρήση SCR και CCS.

Περαιτέρω, φαίνεται ότι, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα και για άλλους τρόπους παραγωγής ανανεώσιμου diesel όπως αυτός της πυρόλυσης και της υδροθερμικής υγροποίησης για να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητά του.

Τέλος, μετά την εξαγωγή των συμπερασμάτων μας, προκύπτει ο προβληματισμός για το ποιο είναι το κριτήριο για την επιλογή του τρόπου μεταστροφής που έχει ήδη αρχίσει να συμβαίνει. Διότι οι έρευνες δείχνουν πως υπάρχει μια σύγκρουση μεταξύ των οικονομικών συμφερόντων των εμπλεκομένων και της πραγματικής μετάβασης σε μια καθαρότερη πρακτική με γνώμονα το περιβάλλον.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- 1 Merchant fleet by flag of registration and by type of ship, annual, (2023). Accessed on 4 November 2023 at: <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.MerchantFleet>
- 2 Marine Environment Protection Committee (2022). Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS (Reporting year: 2021), London: International Maritime Organization (IMO). Accessed on 4 November 2023 at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC%2079-6-1%20-%20Report%20of%20fuel%20oil%20consumption%20data%20submitted%20to%20the%20IMO%20Ship%20Fuel%20Oil%20ConsumptionDatabase...%20\(Secretariat\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC%2079-6-1%20-%20Report%20of%20fuel%20oil%20consumption%20data%20submitted%20to%20the%20IMO%20Ship%20Fuel%20Oil%20ConsumptionDatabase...%20(Secretariat).pdf)
- 3 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), (2022). London: International Maritime Organization (IMO). Accessed on 8 November 2023 at: [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- 4 National Workshop (virtual) on Ratification and Effective Implementation of MARPOL Annex VI for Algeria, (2020). Accessed on 8 November 2023 at: <https://www.rempec.org/en/knowledge-centre/online-catalogue/3-zb-l01-marpol-annex-vi-regulations-final.pdf>
- 5 Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13, (2021). Accessed on 10 November 2023 at: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)
- 6 L. Bilgili (2021). Life cycle comparison of marine fuels for IMO 2020 Sulphur Cap, Science of The Total Environment, 774, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145719>
- 7 List of special areas, emission control areas and particularly sensitive sea areas, (2023). Accessed on 18 November 2023 at: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Circulars/Documents/MEPC.1-Circ.778-Rev.4%20->

- [%20Special%20Areas%20and%20Emission%20Control%20Areas%20\(ECAs\)%20under%20MARPOL%20\(Secretariat\).pdf](#)
- 8 MARPOL, Annex VI, Regulation 18, (2023). Accessed on 29 November 2023 at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fuel-oil-quality-%E2%80%93-Regulation-18.aspx>
 - 9 Marine Environment Protection Committee 81st session (MEPC 81), 18-22 March 2024, (2024). Accessed on 14 April 2024 at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-81.aspx>
 - 10 Annex VI- Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships, (2023). Accessed on 12 December 2023 at: http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex_VI/r18.htm
 - 11 Marine Environment - Historic Background, (2020). London: International Maritime Organization (IMO). Accessed on 15 December 2023 at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Historic%20Background%20HG.aspx>
 - 12 The Paris Agreement, (2023). United Nations Climate Change. Accessed on 20 December 2023 at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
 - 13 J. Faber et al. (2021). Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report, London: International Maritime Organization (IMO). Accessed on 15 January 2024 at: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>
 - 14 Alternative fuels outlook for shipping: An overview of alternative fuels from a well-to-wake perspective, (2022). Bureau Veritas (BV). Accessed on 12 May 2024 at: https://marine-offshore.bureauveritas.com/bv_webform_download_file/rSTP_G48qOk-N9PRl0EIpfZOTMvGeWN2ailv19KCjjs/download
 - 15 2023 IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships, MEPC 80/17/Add.1, Annex 15, (2022). Accessed on 20 January 2024 at: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/MEPC%2080/Annex%2015.pdf>
 - 16 Maritime Intelligence Risk Suite, S&P Global, Συλλογή δεδομένων, (2023). Accessed on 11 February 2024 at: <https://mirs.maritime.ihs.com>

- 17 Marine Fuel Oil Advisory, (2024). American Bureau of Shipping (ABS). Accessed on 25 January 2024 at: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/marine-fuel-oil-advisory.pdf>
- 18 Sustainability whitepaper LNG as Marine Fuel, (2022). American Bureau of Shipping (ABS). Accessed on 25 January 2024 at: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/sustainability-whitepaper-lng-as-marine-fuel.pdf>
- 19 LNG as Marine Fuel, (2023). Høvik Norway: Det Norske Veritas (DNV). Accessed on 30 January 2024 at: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/index.html>
- 20 LPG as Marine Fuel, (2023). Høvik Norway: Det Norske Veritas (DNV). Accessed on 30 January 2024 at: <https://www.dnv.com/Publications/lpg-as-marine-fuel-95190>
- 21 C. J. Yang, L. Leveen, K. King (2015). Ethane as a Cleaner Transportation Fuel, Environmental Science and Technology, 49, pp. 3263-3264. doi: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b00575>
- 22 Alternative fuel report series: Fuel for thought – Methanol, (2023). Lloyd's Register (LR). Accessed on 2 February 2024 at: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/fuel-for-thought-methanol-report>
- 23 Explore zero carbon fuels: Ammonia, (2023). Lloyd's Register (LR). Accessed on 2 February 2024 at: <https://www.lr.org/en/expertise/maritime-energy-transition/maritime-decarbonisation-hub/zcfm/ammonia>
- 24 Handbook for Hydrogen-fuelled Vessels, (2023). Høvik Norway: Det Norske Veritas (DNV). Accessed on 5 February 2024 at: <https://www.dnv.com/maritime/publications/handbook-for-hydrogen-fuelled-vessels-download.html>
- 25 Engine Retrofit Report 2023: Applying alternative fuels to existing ships, (2023). Lloyd's Register (LR). Accessed on 8 April 2024 at: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/applying-alternative-fuels-to-existing-ships>
- 26 Future Fuels and Technology Project to inform GHG Strategy update, (2023). London: International Maritime Organization (IMO). Accessed on 8 February 2024 at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Future-Fuels-and-Technology.aspx>

- 27 E. Morante (2022). Roadmap to decarbonize the shipping sector: Technology development, consistent policies and investment in research, development and innovation, Article No. 99, Transport and Trade Facilitation Newsletter N°96, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Accessed on 10 February 2024 at: <https://unctad.org/news/transport-newsletter-article-no-99-fourth-quarter-2022>
- 28 H. Ritchie and P. Rosado (2020). Electricity Mix, OurWorldInData.org, Accessed on 13 February 2024 at: <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
- 29 Power Plants and Neighboring Communities, (2023). United States Environmental Protection Agency. Accessed on 14 February 2024 at: <https://www.epa.gov/power-sector/power-plants-and-neighboring-communities>
- 30 Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, 2023 Update, (2023). International Energy Agency (IEA). Accessed on 16 February 2024 at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf
- 31 The future of maritime fuels, what you need to know, (2023). Lloyd's Register (LR). Accessed on 2 March 2024 at: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/the-future-of-maritime-fuels>
- 32 D. Sopta, T. Bukša, J. Bukša, I. Peronja (2020). Alternative Fuels and Technologies for Short Sea Shipping, Journal of Maritime & Transportation Science, 59, pp. 61-84. Accessed on 5 April 2024 at: <https://hrcak.srce.hr/249263>
- 33 Y. Zhou, N. Pavlenko, D. Rutherford Ph.D., L. Osipova Ph.D., B. Comer Ph.D (2020). The potential of liquid biofuels in reducing ship emissions, International council on clean transportation. Accessed on 12 May 2024 at: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Marine-biofuels-sept2020.pdf>
- 34 Zero Carbon Fuel Monitor: October 2023 update, (2023). Lloyd's Register (LR). Accessed on 4 March 2024 at: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/zero-carbon-fuel-monitor-oct-2023>
- 35 M. Scmazzon, E. Barbera, F. Bezzo (2024). Alternative sustainable routes to methanol production: Techno-economic and environmental assessment, Journal of Environmental Chemical Engineering, 12, Issue 3, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112674>
- 36 M. Farsi (2021). Biomass conversion to biomethanol, In M. R. Rahimpour, R. Kamali, M. A. Makarem & M. K. D. Manshadi (Eds.), Advances in Bioenergy and Microfluidic

- Applications, Chapter 9, pp. 231-252. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821601-9.00009-1>
- 37 M. Jeppesen (2020). Prospects for energy and maritime transport in the Nordic Region, MAN ES Decarbonization options towards 2050, Augsburg: MAN Energy Solutions. Accessed on 5 May 2024 at: <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2020/03/Malmø-MAN-ES-decarbonization-options-towards-2050.pdf>
- 38 Methanol and Ethanol fueled ships, NR670, (2022). Bureau Veritas (BV). Accessed on 15 March 2024 at: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/670-NR_2022-08.pdf
- 39 Methanol in shipping, (2023). Augsburg: MAN Energy Solutions. Accessed on 22 March 2024 at: <https://www.man-es.com/campaigns/download-Q2-2024/Download/methanol-in-shipping/d8358bd6-c66e-4dce-8656-4237259c5338/Methanol-Paper-SF/C6B32DB375DF6519D5A8835665097843D956FF69>
- 40 The State of Methanol as Marine Fuel: A techno-economic assessment for the use of methanol as marine fuel, (2023). Sustainable Ships. Accessed on 4 May 2024 at: <https://www.sustainable-ships.org/stories/2023/methanol-marine-fuel>
- 41 K. D. Cung, J. Wallace, V. Kalaskar, E. M. Smith III, T. Briggs, D. C. Bitsis Jr. (2024). Experimental study on engine and emissions performance of renewable diesel methanol dual fuel (RMDF) combustion, Fuel, 357, Part B, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129664>
- 42 R. S. Laursen (2017). The 2-stroke ME-LGIM, the dual fuel engine designed for operation on Methanol, MAN Energy Solutions. Accessed on 6 May 2024 at: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2017/06/Rene-Laursen-Methanol-Vessel-Fuel-Blending-.pdf>
- 43 New study reveals fire safety challenges with methanol-fueled ships, (2024). Safety4Sea. Accessed on 9 May 2024 at: <https://safety4sea.com/new-study-reveals-fire-safety-challenges-with-methanol-fueled-ships/>
- 44 T. A. Sørensen, R. Laursen (2021). Mar-e-fuel project: Total cost of ownership (TCO), Sustainable Maritime Fuels, Charlottenlund: Technical University of Denmark. Accessed on 8 May 2024 at: https://orbit.dtu.dk/files/264043721/TCO_model_description_results_21.10.2021_clean.pdf

- 45 Alternative fuel report series: Fuel for thought – Ammonia, (2024). Lloyd’s Register (LR). Accessed on 6 May 2024 at: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/fuel-for-thought-ammonia-report>
- 46 Two-stroke engine operating in ammonia, (2020). Augsburg: MAN Energy Solutions. Accessed on 29 April 2024 at: www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia.pdf
- 47 H. Wang, P. Daoutidis, Q. Zhang (2023). Ammonia-based green corridors for sustainable maritime transportation, Digital Chemical Engineering, 6, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100082>
- 48 C. Kurien, M. Mittal (2022). Review on the production and utilization of green ammonia as an alternate fuel in dual-fuel compression ignition engines, Energy Conversion and Management, 251, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114990>
- 49 S. Vinardell, P. Nicolas, A. M. Sastre, J. L. Cortina, C. Valderrama (2023). Sustainability Assessment of Green Ammonia Production To Promote Industrial Decarbonization in Spain, ACS Sustainable Chem. Eng., 11, pp. 15975–15983. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c04694>
- 50 Ammonia-fuelled ships, tentative rules, (2022). Bureau Veritas (BV). Accessed on 15 April 2024 at: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/671-NR_2022-07.pdf
- 51 L. Xu, S. Xu, X. S. Bai, J. A. Repo, S. Hautala, J. Hyvönen (2023). Performance and emission characteristics of an ammonia/diesel dual-fuel marine engine, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 185, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113631>
- 52 Recommendations for Design and Operation of Ammonia-Fueled Vessels Based on Multi-disciplinary Risk Analysis, (2023). Lloyd’s Register (LR). Accessed on 7 May 2024 at: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/06/LR-Recommendations-for-design-and-operation-of-ammoniafueled-vessels-2023_06.pdf
- 53 Fire and Blast Information Group Webinar: Toxic risk for ammonia-fuelled ships, (2022). Samsung Heavy Industries (SHI). Accessed on 9 May 2024 at: <https://www.fabig.com/publications-and-videos/online-lectures-webinars/webinar-035>
- 54 T. Brown (2020). Industry report sees multi-billion ton market for green ammonia, Ammonia Energy Association. Accessed on 7 May 2024 at: <https://ammoniaenergy.org/articles/industry-report-sees-multi-billion-ton-market-for-green-ammonia>

- 55 Explore zero carbon fuels: Hydrogen, (2023). Lloyd’s Register (LR). Accessed on 8 May 2024 at: <https://www.lr.org/en/expertise/maritime-energy-transition/maritime-decarbonisation-hub/zcfm/hydrogen>
- 56 The Future of Hydrogen: Seizing today’s opportunities, (2019). International Energy Agency (IEA). Accessed on 8 May 2024 at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf
- 57 A. Ajanovic, M. Sayer, R. Haas (2022). The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen, International Journal of Hydrogen Energy, 47, Issue 57, pp. 24136-24154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>
- 58 J. Incer-Valverde, A. Korayem, G. Tsatsaronis, T. Morosuk (2023). “Colors” of hydrogen: Definitions and carbon intensity, Energy Conversion and Management, 291, pp. 117294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117294>
- 59 P. S.-L. Chen et al. (2023). A review on ports’ readiness to facilitate international hydrogen trade, International Journal of Hydrogen Energy, 48, Issue 46, pp. 17351-17369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.220>
- 60 Global Hydrogen Review, (2022). International Energy Agency (IEA). Accessed on 20 April 2024 at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- 61 Hydrogen Council, McKinsey & Company (2023). Hydrogen Insights 2023: The state of the global hydrogen economy, with a deep dive into renewable hydrogen cost evolution, Hydrogen Council. Accessed on 8 May 2024 at: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/12/Hydrogen-Insights-Dec-2023-Update.pdf>
- 62 A. S. Emam, M. O. Hamdan, B. A. Abu-Nabah, E. Elnajjar (2024). A review on recent trends, challenges, and innovations in alkaline water electrolysis, International Journal of Hydrogen Energy, 64, pp. 599-625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.238>
- 63 Q. Feng et al. (2017). A review of proton exchange membrane water electrolysis on degradation mechanisms and mitigation strategies, Journal of Power Sources, pp. 33-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.09.006>
- 64 M. Ganjian, H. B. Farahabadi, M. A. Alirezapouri, M. R. Firuzjaei (2023). Optimal design strategy for fuel cell-based hybrid power system of all-electric ships,

- International Journal of Hydrogen Energy, doi:
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.258>
- 65 Potential of Hydrogen as Fuel for Shipping, (2023). Lisbon: European Marine Safety Agency (EMSA). Accessed on 9 May 2024 at: <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/5062-potential-of-hydrogen-as-fuel-for-shipping.html>
- 66 Hydrogen-fuelled ships, tentative rules, (2023). Bureau Veritas (BV). Accessed on 17 April 2024 at: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/678-NR_2023-11.pdf
- 67 M. Gathmann (2024). How H2-ready engines reduce emissions and prepare power plant operators for the future, Augsburg: MAN Energy Solutions. Accessed on 6 May 2024 at: <https://www.man-es.com/discover/buildung-a-hydrogen-engine>
- 68 Hydrogen in shipping, (2023). Augsburg: MAN Energy Solutions. Accessed on 10 April 2024 at: <https://www.man-es.com/campaigns/download-Q2-2024/Download/hydrogen-in-shipping/faffa612-4edc-4a2a-a5f9-df89c632a431/Future-Fuels-Hydrogen/C6B32DB375DF6519D5A8835665097843D956FF69>
- 69 MITSUI Performs World-First Hydrogen Test, Adapted ME-GI gas engine runs on hydrogen up to 100% load, (2024). MAN Energy Solutions. Accessed on 6 May 2024 at: <https://www.man-es.com/company/press-releases/press-details/2024/03/07/mitsui-performs-world-first-hydrogen-test>
- 70 Y. H. Teoh, H. G. How, T. D. Le, H. T. Nguyen, D. L. Loo, T. Rashid, F. Sher (2023). A review on production and implementation of hydrogen as a green fuel in internal combustion engines, Fuel, 333, Issue 2, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126525>
- 71 Fire Breaks out on World's First Cargo of Liquefied Hydrogen Ship, Australia, (2022). Hydrogen Central. Accessed on 10 May 2024 at: <https://hydrogen-central.com/fire-breaks-first-cargo-liquefied-hydrogen-ship-australia>
- 72 Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers (CCC 9), 9th session, 20-29 September 2023, (2023). International Maritime Organization (IMO). Accessed on 10 May 2024 at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/CCC-9th-session.aspx>
- 73 M. Mojarrad, M. Zadeh, K. L. Rødseth (2023). Techno-economic modeling of zero-emission marine transport with hydrogen fuel and superconducting propulsion system:

- Case study of a passenger ferry, International Journal of Hydrogen Energy, 48, Issue 71, pp. 27427-27440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.438>
- 74 K. S. Mehra, V. Goel, R. Kumar (2024). An integrated multi-attribute decision framework for sustainability assessment of renewable diesel fuel production pathways, Energy Conversion and Management, 309, pp. 118461. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118461>
- 75 I. J. Okeke, K. Sahoo, N. Kaliyan, S. Mani (2020). Life cycle assessment of renewable diesel production via anaerobic digestion and Fischer-Tropsch synthesis from miscanthus grown in strip-mined soils, Journal of Cleaner Production, 249, pp. 119358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119358>
- 76 Future Fuels Risk Assessment, (2022). Together in Safety. Accessed on 10 May 2024 at: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2022/06/Together-in-Safety-Future-Fuels-Report-2022_06.pdf

Παράρτημα Α

Στο παράρτημα αυτό, παρατίθενται οι συντεταγμένες που οριοθετούν τις ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών οξειδίων του θείου και του αζώτου από τα πλοία.

- 1 Η Βορειοαμερικανική ζώνη που περιλαμβάνει τη θαλάσσια περιοχή που βρίσκεται στα ανοιχτά των ακτών του Ειρηνικού των ΗΠΑ και του Καναδά, και περικλείεται από τις γεωδαισιακές γραμμές που συνδέουν τις ακόλουθες συντεταγμένες:

Σημείο	Πλάτος	Μήκος	Σημείο	Πλάτος	Μήκος
1	32° 32' 10" N.	117° 06' 11" W.	34	49° 22' 39" N.	134° 15' 51" W.
2	32° 32' 04" N.	117° 07' 29" W.	35	50° 01' 52" N.	135° 19' 01" W.
3	32° 31' 39" N.	117° 14' 20" W.	36	51° 03' 18" N.	136° 45' 45" W.
4	32° 33' 13" N.	117° 15' 50" W.	37	51° 54' 04" N.	137° 41' 54" W.
5	32° 34' 21" N.	117° 22' 01" W.	38	52° 45' 12" N.	138° 20' 14" W.
6	32° 35' 23" N.	117° 27' 53" W.	39	53° 29' 20" N.	138° 40' 36" W.
7	32° 37' 38" N.	117° 49' 34" W.	40	53° 40' 39" N.	138° 48' 53" W.
8	31° 07' 59" N.	118° 36' 21" W.	41	54° 13' 45" N.	139° 32' 38" W.
9	30° 33' 25" N.	121° 47' 29" W.	42	54° 39' 25" N.	139° 56' 19" W.
10	31° 46' 11" N.	123° 17' 22" W.	43	55° 20' 18" N.	140° 55' 45" W.
11	32° 21' 58" N.	123° 50' 44" W.	44	56° 07' 12" N.	141° 36' 18" W.
12	32° 56' 39" N.	124° 11' 47" W.	45	56° 28' 32" N.	142° 17' 19" W.
13	33° 40' 12" N.	124° 27' 15" W.	46	56° 37' 19" N.	142° 48' 57" W.
14	34° 31' 28" N.	125° 16' 52" W.	47	58° 51' 04" N.	153° 15' 03" W.
15	35° 14' 38" N.	125° 43' 23" W.			
16	35° 43' 60" N.	126° 18' 53" W.			
17	36° 16' 25" N.	126° 45' 30" W.			
18	37° 01' 35" N.	127° 07' 18" W.			
19	37° 45' 39" N.	127° 38' 02" W.			
20	38° 25' 08" N.	127° 52' 60" W.			
21	39° 25' 05" N.	128° 31' 23" W.			
22	40° 18' 47" N.	128° 45' 46" W.			
23	41° 13' 39" N.	128° 40' 22" W.			
24	42° 12' 49" N.	129° 00' 38" W.			
25	42° 47' 34" N.	129° 05' 42" W.			
26	43° 26' 22" N.	129° 01' 26" W.			
27	44° 24' 43" N.	128° 41' 23" W.			
28	45° 30' 43" N.	128° 40' 02" W.			
29	46° 11' 01" N.	128° 49' 01" W.			
30	46° 33' 55" N.	129° 04' 29" W.			
31	47° 39' 55" N.	131° 15' 41" W.			
32	48° 32' 32" N.	132° 41' 00" W.			
33	48° 57' 47" N.	133° 14' 47" W.			

- 2 Η θαλάσσια ζώνη που βρίσκεται ανοιχτά των ακτών των ΗΠΑ, του Καναδά και της Γαλλίας (Saint-Pierre-et-Miquelon) στον Ατλαντικό Ωκεανό καθώς και των ακτών των ΗΠΑ στον κόλπο του Μεξικού και περικλείεται από τις γεωδαισιακές γραμμές που συνδέουν τις ακόλουθες συντεταγμένες:

Σημείο	Πλάτος	Μήκος	Σημείο	Πλάτος	Μήκος
1	60° 00' 00" N.	64° 09' 36" W.	39	40° 07' 46" N.	64° 59' 31" W.
2	60° 00' 00" N.	56° 43' 00" W.	40	40° 05' 44" N.	65° 53' 07" W.
3	58° 54' 01" N.	55° 38' 05" W.	41	39° 58' 05" N.	65° 59' 51" W.
4	57° 50' 52" N.	55° 03' 47" W.	42	39° 28' 24" N.	66° 21' 14" W.
5	57° 35' 13" N.	54° 00' 59" W.	43	39° 01' 54" N.	66° 48' 33" W.
6	57° 14' 20" N.	53° 07' 58" W.	44	38° 39' 16" N.	67° 20' 59" W.
7	56° 48' 09" N.	52° 23' 29" W.	45	38° 19' 20" N.	68° 02' 01" W.
8	56° 18' 13" N.	51° 49' 42" W.	46	38° 05' 29" N.	68° 46' 55" W.
9	54° 23' 21" N.	50° 17' 44" W.	47	37° 58' 14" N.	69° 34' 07" W.
10	53° 44' 54" N.	50° 07' 17" W.	48	37° 57' 47" N.	70° 24' 09" W.
11	53° 04' 59" N.	50° 10' 05" W.	49	37° 52' 46" N.	70° 37' 50" W.
12	52° 20' 06" N.	49° 57' 09" W.	50	37° 18' 37" N.	71° 08' 33" W.
13	51° 34' 20" N.	48° 52' 45" W.	51	36° 32' 25" N.	71° 33' 59" W.
14	50° 40' 15" N.	48° 16' 04" W.	52	35° 34' 58" N.	71° 26' 02" W.
15	50° 02' 28" N.	48° 07' 03" W.	53	34° 33' 10" N.	71° 37' 04" W.
16	49° 24' 03" N.	48° 09' 35" W.	54	33° 54' 49" N.	71° 52' 35" W.
17	48° 39' 22" N.	47° 55' 17" W.	55	33° 19' 23" N.	72° 17' 12" W.
18	47° 24' 25" N.	47° 46' 56" W.	56	32° 45' 31" N.	72° 54' 05" W.
19	46° 35' 12" N.	48° 00' 54" W.	57	31° 55' 13" N.	74° 12' 02" W.
20	45° 19' 45" N.	48° 43' 28" W.	58	31° 27' 14" N.	75° 15' 20" W.
21	44° 43' 38" N.	49° 16' 50" W.	59	31° 03' 16" N.	75° 51' 18" W.
22	44° 16' 38" N.	49° 51' 23" W.	60	30° 45' 42" N.	76° 31' 38" W.
23	43° 53' 15" N.	50° 34' 01" W.	61	30° 12' 48" N.	77° 18' 29" W.
24	43° 36' 06" N.	51° 20' 41" W.	62	29° 25' 17" N.	76° 56' 42" W.
25	43° 23' 59" N.	52° 17' 22" W.	63	28° 36' 59" N.	76° 47' 60" W.
26	43° 19' 50" N.	53° 20' 13" W.	64	28° 17' 13" N.	76° 40' 10" W.
27	43° 21' 14" N.	54° 09' 20" W.	65	28° 17' 12" N.	79° 11' 23" W.
28	43° 29' 41" N.	55° 07' 41" W.	66	27° 52' 56" N.	79° 28' 35" W.
29	42° 40' 12" N.	55° 31' 44" W.	67	27° 26' 01" N.	79° 31' 38" W.
30	41° 58' 19" N.	56° 09' 34" W.	68	27° 16' 13" N.	79° 34' 18" W.
31	41° 20' 21" N.	57° 05' 13" W.	69	27° 11' 54" N.	79° 34' 56" W.
32	40° 55' 34" N.	58° 02' 55" W.	70	27° 05' 59" N.	79° 35' 19" W.
33	40° 41' 38" N.	59° 05' 18" W.	71	27° 00' 28" N.	79° 35' 17" W.
34	40° 38' 33" N.	60° 12' 20" W.	72	26° 55' 16" N.	79° 34' 39" W.
35	40° 45' 46" N.	61° 14' 03" W.	73	26° 53' 58" N.	79° 34' 27" W.
36	41° 04' 52" N.	62° 17' 49" W.	74	26° 45' 46" N.	79° 32' 41" W.
37	40° 36' 55" N.	63° 10' 49" W.	75	26° 44' 30" N.	79° 32' 23" W.
38	40° 17' 32" N.	64° 08' 37" W.	76	26° 43' 40" N.	79° 32' 20" W.

77	26° 41' 12" N.	79° 32' 01" W.	122	25° 03' 55" N.	79° 42' 29" W.
78	26° 38' 13" N.	79° 31' 32" W.	123	25° 02' 60" N.	79° 42' 56" W.
79	26° 36' 30" N.	79° 31' 06" W.	124	25° 00' 30" N.	79° 44' 05" W.
80	26° 35' 21" N.	79° 30' 50" W.	125	24° 59' 03" N.	79° 44' 48" W.
81	26° 34' 51" N.	79° 30' 46" W.	126	24° 55' 28" N.	79° 45' 57" W.
82	26° 34' 11" N.	79° 30' 38" W.	127	24° 44' 18" N.	79° 49' 24" W.
83	26° 31' 12" N.	79° 30' 15" W.	128	24° 43' 04" N.	79° 49' 38" W.
84	26° 29' 05" N.	79° 29' 53" W.	129	24° 42' 36" N.	79° 50' 50" W.
85	26° 25' 31" N.	79° 29' 58" W.	130	24° 41' 47" N.	79° 52' 57" W.
86	26° 23' 29" N.	79° 29' 55" W.	131	24° 38' 32" N.	79° 59' 58" W.
87	26° 23' 21" N.	79° 29' 54" W.	132	24° 36' 27" N.	80° 03' 51" W.
88	26° 18' 57" N.	79° 31' 55" W.	133	24° 33' 18" N.	80° 12' 43" W.
89	26° 15' 26" N.	79° 33' 17" W.	134	24° 33' 05" N.	80° 13' 21" W.
90	26° 15' 13" N.	79° 33' 23" W.	135	24° 32' 13" N.	80° 15' 16" W.
91	26° 08' 09" N.	79° 35' 53" W.	136	24° 31' 27" N.	80° 16' 55" W.
92	26° 07' 47" N.	79° 36' 09" W.	137	24° 30' 57" N.	80° 17' 47" W.
93	26° 06' 59" N.	79° 36' 35" W.	138	24° 30' 14" N.	80° 19' 21" W.
94	26° 02' 52" N.	79° 38' 22" W.	139	24° 30' 06" N.	80° 19' 44" W.
95	25° 59' 30" N.	79° 40' 03" W.	140	24° 29' 38" N.	80° 21' 05" W.
96	25° 59' 16" N.	79° 40' 08" W.	141	24° 28' 18" N.	80° 24' 35" W.
97	25° 57' 48" N.	79° 40' 38" W.	142	24° 28' 06" N.	80° 25' 10" W.
98	25° 56' 18" N.	79° 41' 06" W.	143	24° 27' 23" N.	80° 27' 20" W.
99	25° 54' 04" N.	79° 41' 38" W.	144	24° 26' 30" N.	80° 29' 30" W.
100	25° 53' 24" N.	79° 41' 46" W.	145	24° 25' 07" N.	80° 32' 22" W.
101	25° 51' 54" N.	79° 41' 59" W.	146	24° 23' 30" N.	80° 36' 09" W.
102	25° 49' 33" N.	79° 42' 16" W.	147	24° 22' 33" N.	80° 38' 56" W.
103	25° 48' 24" N.	79° 42' 23" W.	148	24° 22' 07" N.	80° 39' 51" W.
104	25° 48' 20" N.	79° 42' 24" W.	149	24° 19' 31" N.	80° 45' 21" W.
105	25° 46' 26" N.	79° 42' 44" W.	150	24° 19' 16" N.	80° 45' 47" W.
106	25° 46' 16" N.	79° 42' 45" W.	151	24° 18' 38" N.	80° 46' 49" W.
107	25° 43' 40" N.	79° 42' 59" W.	152	24° 18' 35" N.	80° 46' 54" W.
108	25° 42' 31" N.	79° 42' 48" W.	153	24° 09' 51" N.	80° 59' 47" W.
109	25° 40' 37" N.	79° 42' 27" W.	154	24° 09' 48" N.	80° 59' 51" W.
110	25° 37' 24" N.	79° 42' 27" W.	155	24° 08' 58" N.	81° 01' 07" W.
111	25° 37' 08" N.	79° 42' 27" W.	156	24° 08' 30" N.	81° 01' 51" W.
112	25° 31' 03" N.	79° 42' 12" W.	157	24° 08' 26" N.	81° 01' 57" W.
113	25° 27' 59" N.	79° 42' 11" W.	158	24° 07' 28" N.	81° 03' 06" W.
114	25° 24' 04" N.	79° 42' 12" W.	159	24° 02' 20" N.	81° 09' 05" W.
115	25° 22' 21" N.	79° 42' 20" W.	160	23° 59' 60" N.	81° 11' 16" W.
116	25° 21' 29" N.	79° 42' 08" W.	161	23° 55' 32" N.	81° 12' 55" W.
117	25° 16' 52" N.	79° 41' 24" W.	162	23° 53' 52" N.	81° 19' 43" W.
118	25° 15' 57" N.	79° 41' 31" W.	163	23° 50' 52" N.	81° 29' 59" W.
119	25° 10' 39" N.	79° 41' 31" W.	164	23° 50' 02" N.	81° 39' 59" W.
120	25° 09' 51" N.	79° 41' 36" W.	165	23° 49' 05" N.	81° 49' 59" W.
121	25° 09' 03" N.	79° 41' 45" W.	166	23° 49' 05" N.	82° 00' 11" W.

167	23° 49' 42" N.	82° 09' 59" W.
168	23° 51' 14" N.	82° 24' 59" W.
169	23° 51' 14" N.	82° 39' 59" W.
170	23° 49' 42" N.	82° 48' 53" W.
171	23° 49' 32" N.	82° 51' 11" W.
172	23° 49' 24" N.	82° 59' 59" W.
173	23° 49' 52" N.	83° 14' 59" W.
174	23° 51' 22" N.	83° 25' 49" W.
175	23° 52' 27" N.	83° 33' 01" W.
176	23° 54' 04" N.	83° 41' 35" W.
177	23° 55' 47" N.	83° 48' 11" W.
178	23° 58' 38" N.	83° 59' 59" W.
179	24° 09' 37" N.	84° 29' 27" W.
180	24° 13' 20" N.	84° 38' 39" W.
181	24° 16' 41" N.	84° 46' 07" W.
182	24° 23' 30" N.	84° 59' 59" W.
183	24° 26' 37" N.	85° 06' 19" W.
184	24° 38' 57" N.	85° 31' 54" W.
185	24° 44' 17" N.	85° 43' 11" W.
186	24° 53' 57" N.	85° 59' 59" W.
187	25° 10' 44" N.	86° 30' 07" W.
188	25° 43' 15" N.	86° 21' 14" W.
189	26° 13' 13" N.	86° 06' 45" W.
190	26° 27' 22" N.	86° 13' 15" W.
191	26° 33' 46" N.	86° 37' 07" W.
192	26° 01' 24" N.	87° 29' 35" W.
193	25° 42' 25" N.	88° 33' 00" W.
194	25° 46' 54" N.	90° 29' 41" W.
195	25° 44' 39" N.	90° 47' 05" W.
196	25° 51' 43" N.	91° 52' 50" W.
197	26° 17' 44" N.	93° 03' 59" W.
198	25° 59' 55" N.	93° 33' 52" W.
199	26° 00' 32" N.	95° 39' 27" W.
200	26° 00' 33" N.	96° 48' 30" W.
201	25° 58' 32" N.	96° 55' 28" W.
202	25° 58' 15" N.	96° 58' 41" W.
203	25° 57' 58" N.	97° 01' 54" W.
204	25° 57' 41" N.	97° 05' 08" W.
205	25° 57' 24" N.	97° 08' 21" W.
206	25° 57' 24" N.	97° 08' 47" W.

- 3 Η θαλάσσια ζώνη που βρίσκεται ανοικτά των ακτών των νησιών της Χαβάης: Hawaii, Maui, Oahu, Molokai, Niihau, Kauai, Lānai και Kahoolawe και περικλείεται από τις γεωδαισιακές γραμμές που συνδέουν τις ακόλουθες συντεταγμένες:

Σημείο	Πλάτος	Μήκος	Σημείο	Πλάτος	Μήκος
1	22° 32' 54" N.	153° 00' 33" W.	40	19° 34' 46" N.	151° 19' 47" W.
2	23° 06' 05" N.	153° 28' 36" W.	41	20° 07' 42" N.	151° 22' 58" W.
3	23° 32' 11" N.	154° 02' 12" W.	42	20° 38' 43" N.	151° 31' 36" W.
4	23° 51' 47" N.	154° 36' 48" W.	43	21° 29' 09" N.	151° 59' 50" W.
5	24° 21' 49" N.	155° 51' 13" W.	44	22° 06' 58" N.	152° 31' 25" W.
6	24° 41' 47" N.	156° 27' 27" W.	45	22° 32' 54" N.	153° 00' 33" W.
7	24° 57' 33" N.	157° 22' 17" W.			
8	25° 13' 41" N.	157° 54' 13" W.			
9	25° 25' 31" N.	158° 30' 36" W.			
10	25° 31' 19" N.	159° 09' 47" W.			
11	25° 30' 31" N.	159° 54' 21" W.			
12	25° 21' 53" N.	160° 39' 53" W.			
13	25° 00' 06" N.	161° 38' 33" W.			
14	24° 40' 49" N.	162° 13' 13" W.			
15	24° 15' 53" N.	162° 43' 08" W.			
16	23° 40' 50" N.	163° 13' 00" W.			
17	23° 03' 20" N.	163° 32' 58" W.			
18	22° 20' 09" N.	163° 44' 41" W.			
19	21° 36' 45" N.	163° 46' 03" W.			
20	20° 55' 26" N.	163° 37' 44" W.			
21	20° 13' 34" N.	163° 19' 13" W.			
22	19° 39' 03" N.	162° 53' 48" W.			
23	19° 09' 43" N.	162° 20' 35" W.			
24	18° 39' 16" N.	161° 19' 14" W.			
25	18° 30' 31" N.	160° 38' 30" W.			
26	18° 29' 31" N.	159° 56' 17" W.			
27	18° 10' 41" N.	159° 14' 08" W.			
28	17° 31' 17" N.	158° 56' 55" W.			
29	16° 54' 06" N.	158° 30' 29" W.			
30	16° 25' 49" N.	157° 59' 25" W.			
31	15° 59' 57" N.	157° 17' 35" W.			
32	15° 40' 37" N.	156° 21' 06" W.			
33	15° 37' 36" N.	155° 22' 16" W.			
34	15° 43' 46" N.	154° 46' 37" W.			
35	15° 55' 32" N.	154° 13' 05" W.			
36	16° 46' 27" N.	152° 49' 11" W.			
37	17° 33' 42" N.	152° 00' 32" W.			
38	18° 30' 16" N.	151° 30' 24" W.			
39	19° 02' 47" N.	151° 22' 17" W.			


- 4 Η θαλάσσια ζώνη της Καραϊβικής θάλασσας που περικλείεται από τις γεωδαισιακές γραμμές που συνδέουν τις ακόλουθες συντεταγμένες:

Σημείο	Πλάτος	Μήκος	Σημείο	Πλάτος	Μήκος
1	17° 18' 37" N.	67° 32' 14" W.	41	18° 02' 30" N.	64° 21' 08" W.
2	19° 11' 14" N.	67° 26' 45" W.	42	18° 02' 31" N.	64° 20' 08" W.
3	19° 30' 28" N.	65° 16' 48" W.	43	18° 02' 03" N.	64° 15' 57" W.
4	19° 12' 25" N.	65° 06' 08" W.	44	18° 00' 12" N.	64° 02' 29" W.
5	18° 45' 13" N.	65° 00' 22" W.	45	17° 59' 58" N.	64° 01' 04" W.
6	18° 41' 14" N.	64° 59' 33" W.	46	17° 58' 47" N.	63° 57' 01" W.
7	18° 29' 22" N.	64° 53' 51" W.	47	17° 57' 51" N.	63° 53' 54" W.
8	18° 27' 35" N.	64° 53' 22" W.	44	17° 56' 38" N.	63° 53' 21" W.
9	18° 25' 21" N.	64° 52' 39" W.	48	17° 39' 40" N.	63° 54' 53" W.
10	18° 24' 30" N.	64° 52' 19" W.	50	17° 37' 08" N.	63° 55' 10" W.
11	18° 23' 51" N.	64° 51' 50" W.	51	17° 30' 21" N.	63° 55' 56" W.
12	18° 23' 42" N.	64° 51' 23" W.	52	17° 11' 36" N.	63° 57' 57" W.
13	18° 23' 36" N.	64° 50' 17" W.	53	17° 04' 60" N.	63° 58' 41" W.
14	18° 23' 48" N.	64° 49' 41" W.	54	16° 59' 49" N.	63° 59' 18" W.
15	18° 24' 11" N.	64° 49' 00" W.	55	17° 18' 37" N.	67° 32' 14" W.
16	18° 24' 28" N.	64° 47' 57" W.			
17	18° 24' 18" N.	64° 47' 01" W.			
18	18° 23' 13" N.	64° 46' 37" W.			
19	18° 22' 37" N.	64° 45' 20" W.			
20	18° 22' 39" N.	64° 44' 42" W.			
21	18° 22' 42" N.	64° 44' 36" W.			
22	18° 22' 37" N.	64° 44' 24" W.			
23	18° 22' 39" N.	64° 43' 42" W.			
24	18° 22' 30" N.	64° 43' 36" W.			
25	18° 22' 25" N.	64° 42' 58" W.			
26	18° 22' 26" N.	64° 42' 28" W.			
27	18° 22' 15" N.	64° 42' 03" W.			
28	18° 22' 22" N.	64° 40' 60" W.			
29	18° 21' 57" N.	64° 40' 15" W.			
30	18° 21' 51" N.	64° 38' 23" W.			
31	18° 21' 22" N.	64° 38' 16" W.			
32	18° 20' 39" N.	64° 38' 33" W.			
33	18° 19' 15" N.	64° 38' 14" W.			
34	18° 19' 07" N.	64° 38' 16" W.			
35	18° 17' 23" N.	64° 39' 38" W.			
36	18° 16' 43" N.	64° 39' 41" W.			
37	18° 11' 33" N.	64° 38' 58" W.			
38	18° 03' 02" N.	64° 38' 03" W.			
39	18° 02' 56" N.	64° 29' 35" W.			
40	18° 02' 51" N.	64° 27' 02" W.			

- 5 Η ζώνη της Βαλτικής θάλασσας που περιλαμβάνει τη Βαλτική, τον κόλπο της Bothnia, τον κόλπο της Φινλανδίας Finland και την είσοδο της Βαλτικής Θάλασσας που οριοθετείται από τον παράλληλο του Skaw στο Skagerrak με συντεταγμένες 57°44.8' N"
- 6 Η ζώνη της Βόρειας θάλασσας που περιλαμβάνει τη Βόρεια θάλασσα, συμπεριλαμβάνοντας τις θάλασσες που οριοθετούνται μεταξύ της Βόρειας θάλασσας προς νότο με γεωγραφικό πλάτος 62°N και ανατολικά με γεωγραφικό μήκος 4°W, το Skagerrak, το νότιο όριο του οποίου καθορίζεται ανατολικά του Skaw με γεωγραφικό πλάτος 57°44.8'N και το στενό της Μάγχης με όρια προς ανατολή με γεωγραφικό μήκος 5°W και προς βορρά με γεωγραφικό πλάτος 48°30'N

Παράρτημα Β

Στο παράρτημα αυτό, παρατίθενται παραδείγματα των απαραίτητων πιστοποιητικών που πρέπει να έχουν τα πλοία βάσει των κανονισμών του IMO³.



DET NORSKE VERITAS

Certificate No. []
Design Folder No. []

**CERTIFICATE FOR
DIESEL ENGINE**

Supplement [] Works order no. []
Type designation [] Serial No. []
Intended for (Yacht, Ship, Rig, Installation) [] Order No. []
Yard No. or Signal letters []

THIS IS TO CERTIFY that the Diesel Engine, described below, has been built and tested in accordance with the requirements of DNV Rules for Classification.

Application: MAIN ENGINE ☐ AUXILIARY ☒ EMERGENCY ☐

MAXIMUM CONTINUOUS OUTPUT	1040	KW	720	RPM
INTERMITTENT OUTPUT		KW		% OF TOTAL RUNNING HRS BETWEEN MAIN OVERHAUL
MAXIMUM ACCELERATION RATE		KW		IN SECONDS
MAXIMUM DECELERATION RATE		KW		IN SECONDS
MAX Firing Pressure	130	BAR		
MAX EXHAUST GAS TEMPERATURE AT TURBOCHARGER INLET	500	°C		
MAX OPERATING SPEED OF TURBOCHARGER	44000	RPM		
MIN LUBRICATION OIL PRESSURE, TURBOCHARGER INLET	1.1	BAR		

TORSIONAL VIBRATION DAMPER
Main [] Type []
Turbocharger
Main [] Type []

The Diesel Engine was marked []
On: CYLINDER FRAME

Remarks:
The following items, which are to be surveyed after the installation, are not included in the certificate:
AUTOMATION AND SAFETY SYSTEM

Certificates and drawings with dates of approval, see page 2.

When this certificate is issued on the basis of the manufacturer's Quality System, and a Manufacturing Survey Arrangement (MSA) which gives the manufacturer permission to complete this certificate form, mark x in the corner below.

DNV NORSE VERITAS, VERITASVEIEN 1, NO-1032 HØVIK, NORWAY. TEL INT: +47 87 07 89 00, TELEFAX: +47 87 07 89 11
Form No. [] Issue: June 2004

Page 1 of 2

Certificate No. []

Item	Type Approval Certificate / Approval letter (NA if not applicable)	Product Certificate (NA if not applicable)
Diesel engine		
Crankshaft	Same as for Diesel engine	
Bedplate	Same as for Diesel engine	
Framebox / Cylinders	Same as for Diesel engine	
Connecting rod, cast	Same as for Diesel engine	
Turbocharger		
Torsional vibration damper		
Elastic coupling		
Engine monitoring system, hardware / software		
Engine safety system, hardware / software		
Engine Control Unit, hardware / software		

Remarks []

Declaration by manufacturer when applicable according to the Manufacturing Survey Arrangement:
The undersigned manufacturer declares that the specified product has been built and tested in conformity with requirements stated above and the conditions referred to in Manufacturing Survey Arrangement No. []
This PRODUCT CERTIFICATE is valid only when endorsed by a DNV Surveyor. The endorsement is to confirm that the conditions stipulated in the Manufacturing Survey Arrangement for the product in question have been complied with.

Manufacturer:
Place [] Date [] Name []

DET NORSKE VERITAS, VERITASVEIEN 1, NO-1032 HØVIK, NORWAY. TEL INT: +47 87 07 89 00, TELEFAX: +47 87 07 89 11
Form No. [] Issue: June 2004

Page 2 of 2

A SAMPLE FORM OF A SHIP EFFICIENCY ENERGY MANAGEMENT PLAN

Name of Vessel:	GT
Vessel Type:	Capacity:

Date of Development:	Developed by:
Implementation Period:	From: Until:
Planned Date of Next Evaluation:	Implemented by:

1. Measures	Implementation (including the starting date)	Responsible Personnel
Weather Routing	<Example> Contracted with [Service providers] to use their weather routing system and start using on-trial basis as of 1 July 2012.	<Example> The master is responsible for selecting the optimum route based on the information provided by [Service providers].
Speed Optimization	While the design speed (85% MCR) is 19.0 kt, the maximum speed is set at 17.0 kt as of 1 July 2012.	The master is responsible for keeping the ship's speed. The log-book entry should be checked every day.

2. Monitoring	
Description of monitoring tools	
3. Goal	
Measurable goals	
4 EVALUATION	
Procedures of evaluation	

INTERNATIONAL ENERGY EFFICIENCY CERTIFICATE

Issued under the provisions of the Protocol of 1997, as amended by resolution MEPC 20/62, to amend the International Convention for the Prevention of Pollution by Ships, 1973, as amended by the Protocol of 1978 related thereto (as amended) referred to as "the Convention" under the authority of the Government of

REPUBLIC OF LIBERIA
By BUREAU VERITAS MARINE & OFFSHORE

Particulars of ship

Name of Ship BV No. []	Duties Number or Letters	Port of Registry	Gross Tonnage	IMO Number*
----------------------------	--------------------------	------------------	---------------	-------------

THIS IS TO CERTIFY:

- That the ship has been surveyed in accordance with regulation 5.4 of Annex VI of the Convention, and
- That the survey shows that the ship complies with the applicable requirements in regulation 20, regulation 21 and regulation 22.

Completion date of the survey on which this Certificate is based (dd/mm/yyyy): 07/03/2018
Issued at ISTANBUL, on 05 June 2020



**BUREAU VERITAS
MARINE & OFFSHORE**

This document is electronically signed and does not require a physical signature as defined in IMO guideline FAL-5-Code-39.
(Click here for the certificate validity website)

By Order of the Secretary

* In accordance with IMO ship identification number scheme, adopted by the Organization for resolution A.803(17).
This Certificate is complemented by Record No. []

³ Οι εικόνες αποτελούν πραγματικό παράδειγμα που ανακτήθηκε από το www.scribd.com κι έχουν υποστεί επεξεργασία απόκρυψης ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων προς συμμόρφωση με τον GDPR.

<p style="text-align: right;">DNV-GL</p> <p style="text-align: right;">Folder: Cert No: 26111 Date of issue: 2015-04-12</p> <p style="text-align: center;">TO WHOM IT MAY CONCERN</p> <p>Vessel Name : </p> <p>Imo Number : </p> <p>Signal letters: </p> <p>This is to confirm that the undersigned surveyor has witnessed the boiler and auxiliary engines running on low sulphur fuels oil without any apparent problems.</p> <p style="text-align: center;">Singapore </p> <p style="text-align: center;">Senior Surveyor</p> <p style="font-size: small;">Form code: 60.912 Revision: 2014-11 www.dnvgl.com Page 1 of 1 © DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.</p>	<p style="text-align: center;">Technical File</p> <p style="text-align: center;">August 2003</p> <p style="text-align: center;">According to IMO - MARPOL 73/78 Annex VI & NO_x Technical Code EIAPP Certificate</p> <p>Engine type </p> <p>Engine serial no. </p> <p>rpm </p> <div style="text-align: center;">  2008-06-06 DET NORSKE VERITAS AS EIAPP- </div> <p style="font-size: x-small;">(Date of issue) (signature of duty authorized official issuing the certificate)</p> <p>Member of engine group </p> <p>GL group approval no </p> <p>LR group approval no </p> <p>ABS group approval no </p> <p>DNV group approval no </p> <p>RINA group approval no </p> <p>BV group approval no </p> <p>NK group approval no </p>
<p>Brodosplit – Brodogradilište d.o.o.</p> <p style="text-align: center;">Contents – Technical File</p> <p style="text-align: center;">(According to the NO_x Technical Code)</p> <p style="text-align: center;">ENGINE INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE</p> <ul style="list-style-type: none"> Emission manual warning Engine specification On-board verification procedure Record book The following pages from the Acceptance Test Protocol: <ul style="list-style-type: none"> Engine – Acceptance Records Data Sheet for Diesel Electronic Set Data Sheets of Engine for Auxiliary Purposes Technical file for turbocharger <p style="font-size: x-small;">2000.09.12/contents23.doc</p>	<p style="text-align: center;">Emission Manual Warning</p> <p style="text-align: center;">EIAPP Certificate (Interim) (According to the NO_x Technical Code)</p> <p style="text-align: center;">ENGINE INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE</p> <p style="text-align: center;">California Proposition 65 Warning</p> <p>Diesel engine exhaust and some of its constituents are known to the State of California to cause cancer, birth defects and other reproductive harm.</p> <p>Oxides of nitrogen (NO_x)</p> <p>The term NO_x (nitrogen oxides) is a general term which covers both NO, N₂O and NO₂ in the context of exhaust emissions. NO_x has been identified as particularly harmful, as it causes "acid rain", is toxic, and can contribute to atmospheric smog under certain conditions. The oxides of nitrogen are believed to cause emphysema and contribute substantially to acid rain and smog formation.</p> <p>NO_x also increases the local ozone concentration, which has a detrimental effect on vegetation. Small quantities of laughing gas (N₂O) can also be present among other oxides of nitrogen. N₂O destroys ozone in the stratosphere where it is needed for UV light filtration.</p> <p>NO_x has an adverse effect on the environment causing acidification, formation of ozone, nutrient enrichment and contributes to adverse health effects globally.</p> <p style="text-align: center;">Note: To be printed on red paper</p> <p style="font-size: x-small;">Ed: 01/1999 04.25/warning.doc 1</p>

Emission Manual Warning

General background

As general background information, the precursors to the formation of nitrogen oxides during the combustion process are nitrogen and oxygen. Together these compounds comprise 99% of the engine intake air. Oxygen will be consumed during the combustion process, with the amount of excess oxygen available being a function of the air/fuel ratio which the engine is operating under.

The nitrogen remains largely unreacted in the combustion process, however a small percentage will be oxidized to form various oxides of nitrogen. The nitrogen oxides (NO_x) which can be formed include NO and NO₂, while the amounts are primarily a function of flame or combustion temperature and, if present, the amount of organic nitrogen available from the fuel. It is also a function of the time the nitrogen and excess oxygen are exposed to the high temperatures associated with the diesel engine's combustion process.

In other words, the higher the combustion temperature (e.g., high peak pressure, high compression ratio, high rate of fuel delivery, etc.) the greater the amount of NO_x formation.

Note: To be printed on red paper

Ed: 91/19/999 04.25/warning.doc

2

Engine specification

(According to the NO_x Technical Code)

1.0 Components, settings and operating values of the engines which influence its NO_x emissions:

- Cylinder liner
- Sealing ring (between cylinder liner/cylinder cover)
- Cylinder cover
- Connecting rod
- Piston
- Fuel nozzle
- Camshaft fore
- Camshaft intermediate
- Camshaft after
- Fuel pump
- Compressor wheel
- Compressor diffuser
- Turbine rotor
- Turbine nozzle ring
- Cooler insert

2.0 Range of allowable adjustment or alternatives for the components of the engine:

Max. combustion pressure (P_{max}) 720/750 rpm = 130 ± 3 bar

Max. combustion pressure (P_{max}) 900 rpm = 135 ± 3 bar

No external adjustment possible, only internal adjustment possible by turning the camshaft and an individual internal adjustment of "Nominal size" of each fuel injection pump, see "Adjustment after the trial" from the Acceptance Test Protocol.

Water temperature at inlet charge air cooler: under reference conditions up to 36° C.

3.0 Engine's performance:

Engine manufacturer	: GenSet
Application	: 720/750/900 rpm
Engine type	: up to 10% / down to 70%
Rated speed	: 130 kW/Cylinder
Uprating/derating	: from 91-143 kW/Cylinder
Rated power, 720 rpm	: 135 kW/Cylinder
Uprated/derated, 720 rpm	: from 95-148 kW/Cylinder
Rated power, 750 rpm	: 160 kW/Cylinder
Uprated/derated, 750 rpm	: from 112-160 kW/Cylinder
Rated power, 900 rpm	: 130 ± 3bar
Derated, 900 rpm	: 135 ± 3bar
Max. combustion pressure (720/750 rpm)	
Max. combustion pressure (900 rpm)	

1

Engine specification

Mean effective pressure, at rated power

720/750/900 rpm : 18.2/18.1/17.9 bar

Combustion cycle : 4 stroke cycle

Cooling medium : Water

Method of aspiration : Constant pressure

Cylinder configuration : In-line

Combustion chamber : Open chamber

Valve port configuration : Cylinder head

Cooling system : Charge air cooler (one-stage)

Characteristics of fuel nozzle : 8 x 0.32 x 145°

Valve timing:

Inlet valve closes after bottom dead center

Auxiliaries:

Electronic injection control : No

Variable injection timing : No

Exhaust gas re-circulation : No

Water injection/emulsion : No

Air injection : No

Exhaust after the treatment : No

Variable turbocharger geometry : No

Specified ambient conditions:

Max inlet water temperature charge air cooler : 36° C

Nominal charge air temperature : 36° C

High temperature cooling system set point : 77° C

Maximum inlet depression : 150 mmWc

Maximum exhaust back pressure : 250 mmWc

Fuel oil type to be used on-board : Distillate or HFO

Lubrication oil specification : SAE 30

Application/intended for:

Customer : None

Final application/installation, ship : None

Final application/installation, engine : Auxiliary engine

4.0 On-board NO_x verification procedure for the Engine Parameter Survey:

Parameter check method:

See "On-board verification procedure"

See "Technical File for Turbocharger"

Location of IMO-ID:

See on-board verification procedure.

2

Engine specification

5.0 Acceptance Test Protocol

See enclosed Acceptance Test Protocol or instruction book for engine, section 302/502

6.0 Engine info:

Emission calculation from parent engine:

Emission Test Report

Engine type	780
Rated Power kW	720
Rated Speed rpm	720
Turbocharger	
Generator	

Fuel Specification	42986				
Lower Heat Value kJ/kg	87.39	Hydrogen %	13.23	Sulphur %	0.05
Carbon %	87.39	Nitrogen %	< 0.15		
Load %	100	75	50	25	10
Engine Power kW	780	585	390	195	78
Engine speed rpm	720	720	720	720	720
Ambient air temperature °C	28.4	28.7	28.8	29.3	29.1
Ambient air pressure bar	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Ambient air relative humidity %	19.6	19.6	19.3	19.2	19.4
Compressor inlet temp °C	27.5	29	29	30	29
Receiver temp °C	48	46	44	42	42
Reference receiver temp T _{cover} °C	48	46	44	42	42
LT cooling water temp °C	36	36	36	36	36
Receiver pressure bar (rel)	2.26	1.64	0.95	0.34	0.14
Fuel consumption kg/h	155.2	116.6	81.58	47.58	26.41
Oxygen % (dry)	13.75	14.51	14.67	14.92	16.45
CO ₂ % (dry)	5.39	4.82	4.68	4.49	3.33
NO _x ppm (wet)	879	835	767	602	295
CO ppm (dry)	43.5	41.8	37.9	122.2	177.8
THC (wet, C ₃ eq) ppm	26.5	30.1	32.4	32.6	44.3
NO _x g/kWh	10.88	11.57	11.43	10.91	9.80

D2 mean value NO_x g/kWh 11.3

See enclosed pages from the "Acceptance Test protocol":

- Main data for GenSet

- Emission calculation

- Adjustment after the trial

7.0 Designation and restrictions for an engine which is member of an engine group:

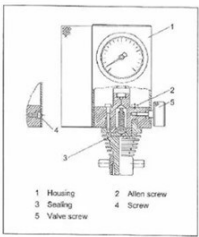
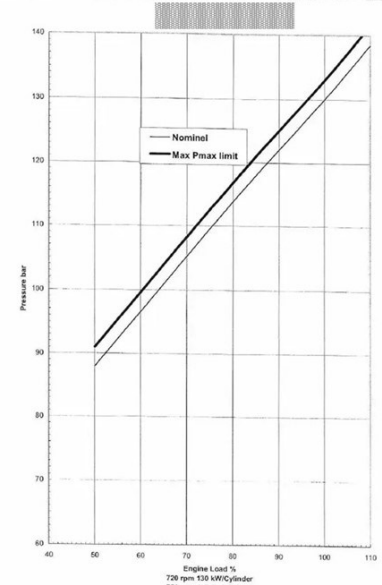
Based on IMO reference conditions:

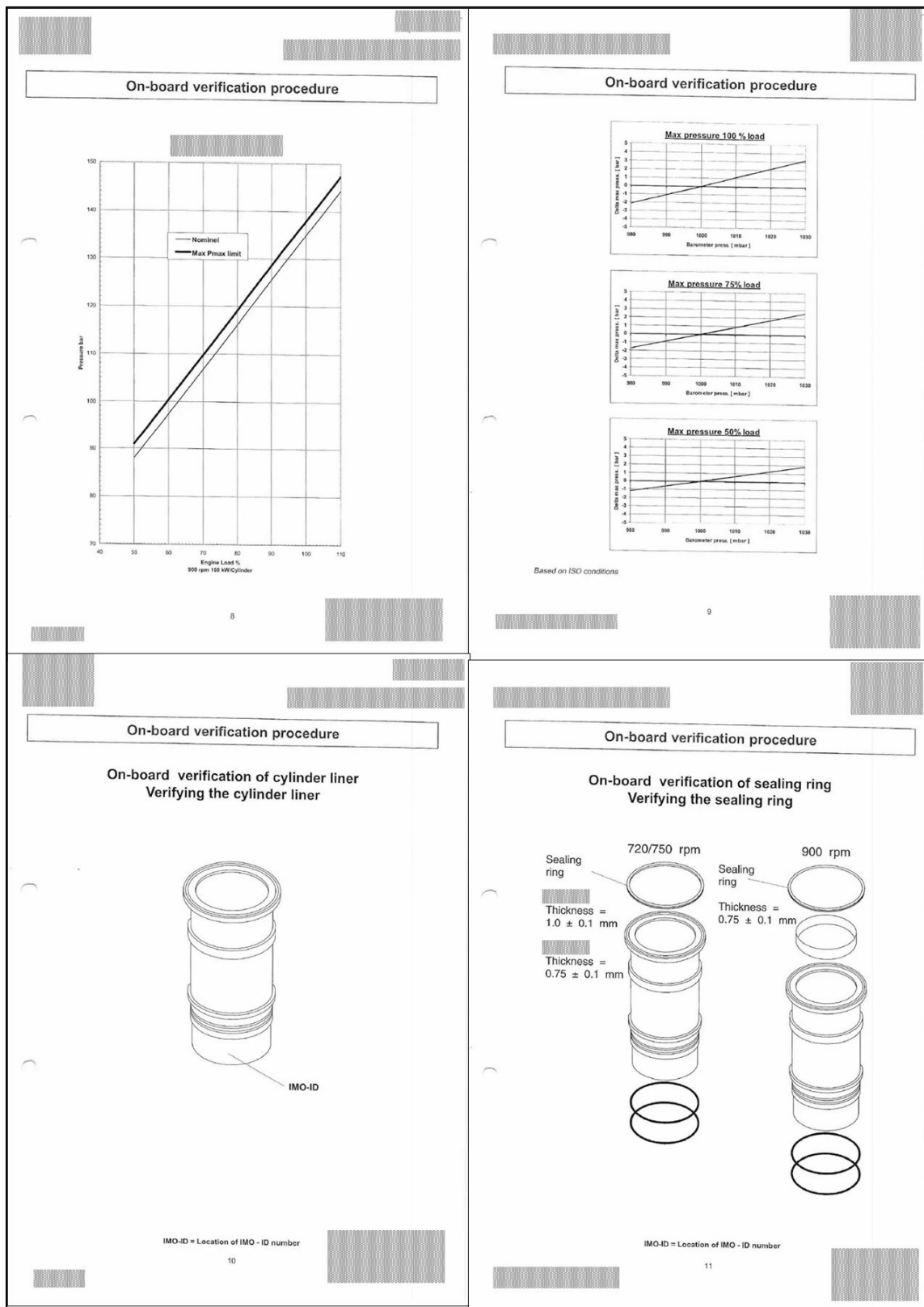
LT cooling water inlet cooler : max 36°

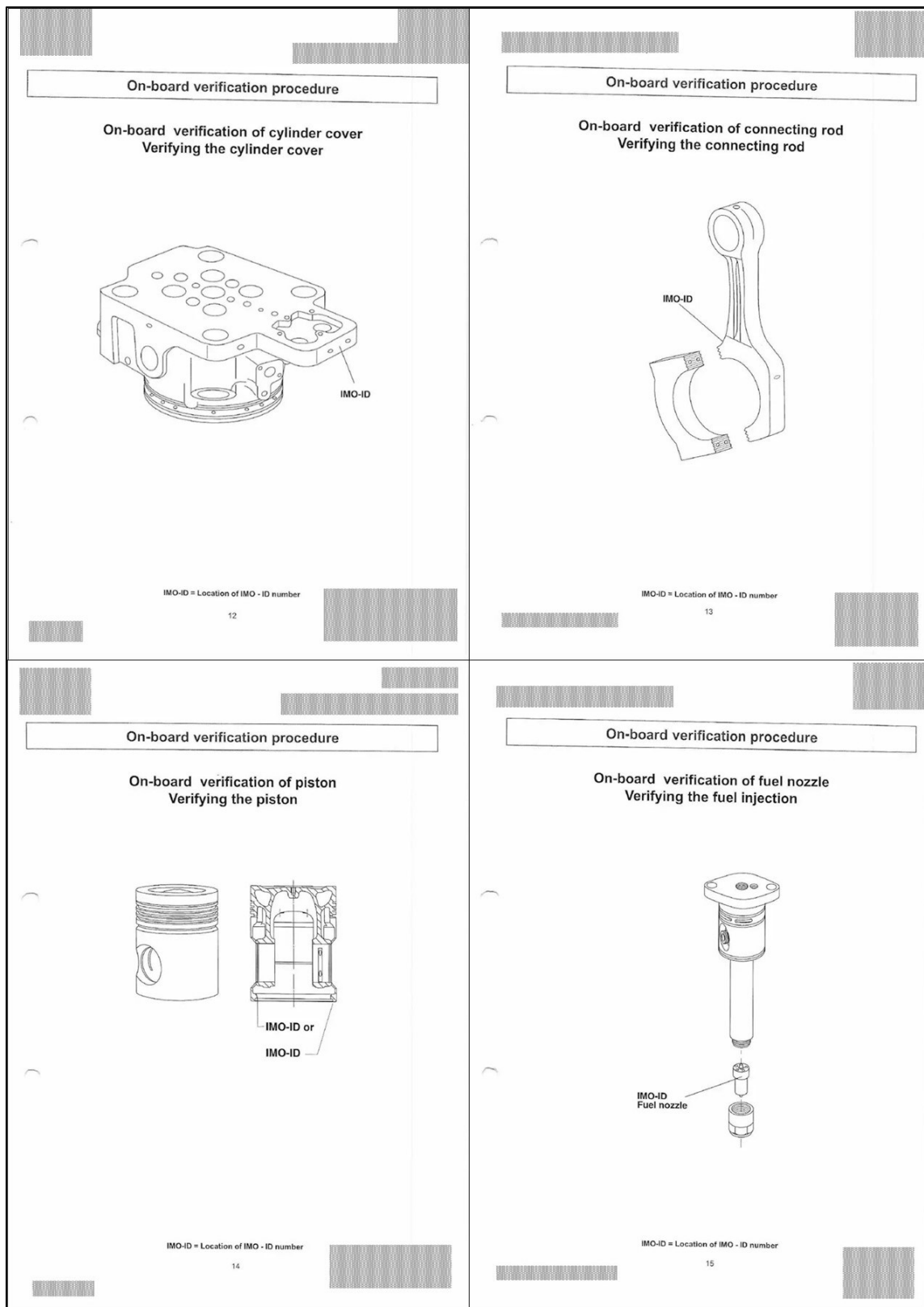
Air temperature before cylinder : max 48°

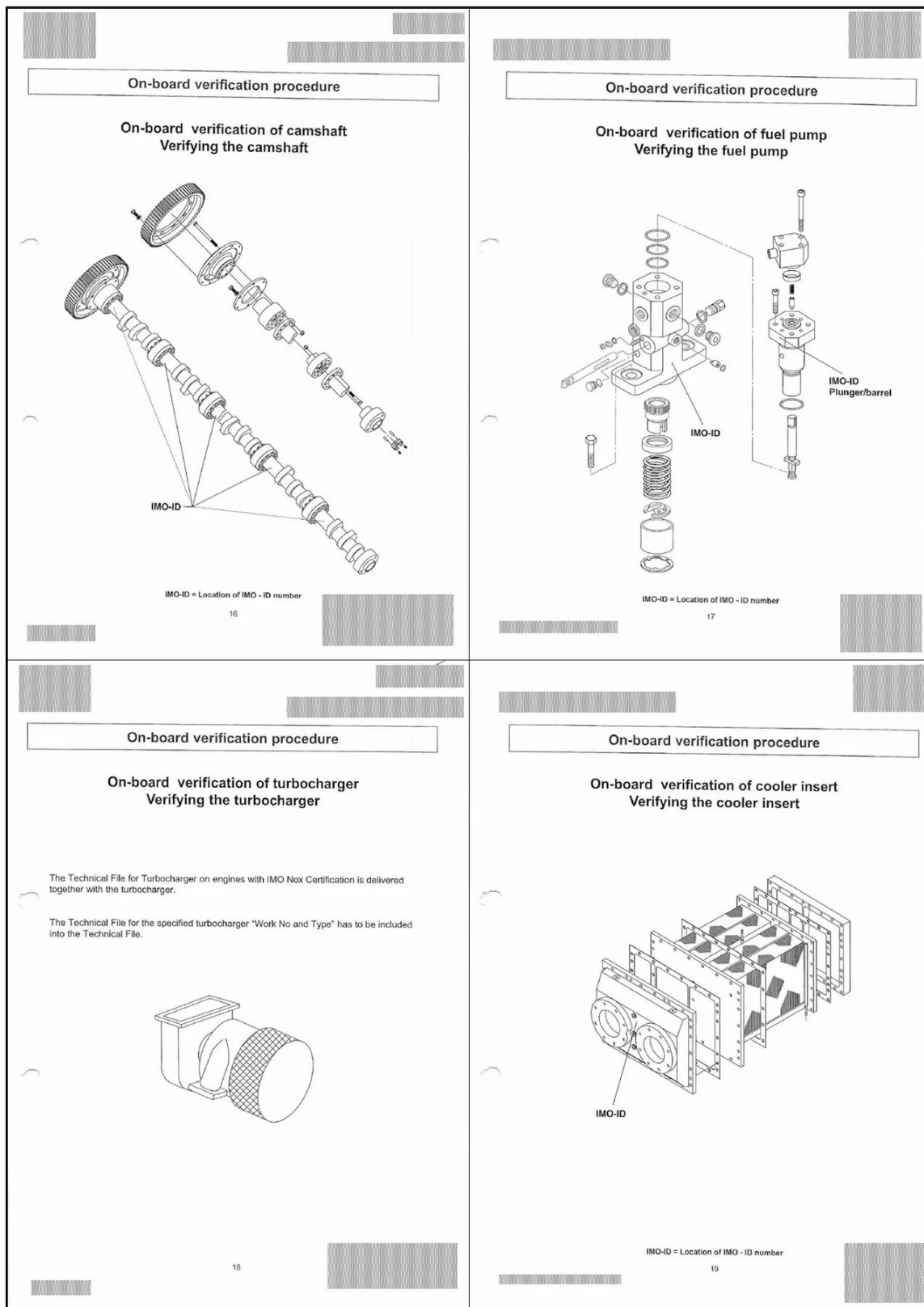
3

Engine specification										On-board verification procedure																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<p>8.0 Specification of spare parts/components:</p> <p>IMO Certified Components -</p> <p>MAN B&W Høiby Parts mentioned below fulfill IMO emission regulations of year 2000</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Part No.</th> <th>Part Name</th> <th>5 cyl.</th> <th>6 cyl.</th> <th>7 cyl.</th> <th>8 cyl.</th> <th>Remarks See "Notes"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CRANKSHAFT</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>27</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>31</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>36</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>37</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>41</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>42</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>43</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>44</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>46</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>47</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>49</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>51</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>52</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>53</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>54</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>55</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>57</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>58</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>59</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>61</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>62</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>63</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>64</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>65</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>67</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>68</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>69</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>71</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>72</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>73</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>74</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>75</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>76</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>77</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>78</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>79</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>81</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>82</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>83</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>84</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>85</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>86</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>87</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>88</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>89</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>91</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>92</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>93</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>94</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>95</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>96</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>97</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>98</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>99</td> <td>CRANKSHAFT BEFORE</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>CRANKSHAFT AFTER</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>MAN 20-01</td> <td>Narrow Casts CROWN</td> </tr> </tbody> </table>										Part No.	Part Name	5 cyl.	6 cyl.	7 cyl.	8 cyl.	Remarks See "Notes"	1	CRANKSHAFT	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	2	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	3	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	4	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	5	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	6	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	7	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	8	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	9	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	10	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	11	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	12	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	13	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	14	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	15	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	16	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	17	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	18	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	19	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	20	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	21	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	22	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	23	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	24	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	25	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	26	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	27	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	28	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	29	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	30	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	31	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	32	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	33	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	34	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	35	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	36	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	37	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	38	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	39	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	40	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	41	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	42	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	43	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	44	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	45	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	46	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	47	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	48	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	49	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	50	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	51	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	52	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	53	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	54	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	55	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	56	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	57	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	58	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	59	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	60	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	61	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	62	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	63	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	64	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	65	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	66	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	67	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	68	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	69	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	70	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	71	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	72	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	73	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	74	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	75	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	76	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	77	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	78	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	79	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	80	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	81	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	82	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	83	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	84	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	85	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	86	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	87	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	88	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	89	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	90	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	91	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	92	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	93	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	94	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	95	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	96	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	97	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	98	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	99	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	100	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN	<p>On-board verification procedure</p> <p>Engine Parameter check method</p> <p>Purpose of the jobs to be done</p> <p>Procedure for demonstrating compliance with NO_x emission limits on-board, engine parameter check method. Enable an on-board verification of the following components:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cylinder liner Sealing ring (between cylinder liner/cylinder cover) Cylinder cover Connecting rod Piston Fuel nozzle Camshaft fore Camshaft intermediate Camshaft after Fuel pump Compressor wheel Compressor diffuser Turbine rotor Turbine nozzle ring Cooler insert <p>Adjusting affecting NO_x emission</p> <p>Max. combustion pressure, 720/750 rpm (P_{max}): 130 ± 3 bar at nominal engine rating (kW/Cyl.) at 100% load. Max. combustion pressure, 900 rpm (P_{max}): 135 ± 3 bar at nominal engine rating (kW/Cyl.) at 100% load.</p> <p>Brief description</p> <p>After installation of a pre-certified engine on board a ship, every marine diesel engine shall have on-board verification surveys conducted as specified to verify that the engine continues to comply with the NO_x emission limits contained in regulation 13 Annex VI. Such verification of compliance shall be determined by use of the following method.</p> <p>Engine parameter check method in accordance with IMO verify that an engine's component settings and operating values have not deviated from the specification in the engine's Technical File. Injection timing to be verified by recorded combustion pressure data measured in accordance with this procedure.</p> <p>Safety requirements / precautions before any component verification can be carried out on the engine:</p> <p>Stopped engine Shut-off starting air</p> <p>And depending on the system to verify:</p> <p>Shut-off cooling water Shut-off fuel oil Shut-off cooling oil Stopped lubricating oil circulation</p>									
Part No.	Part Name	5 cyl.	6 cyl.	7 cyl.	8 cyl.	Remarks See "Notes"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	CRANKSHAFT	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
3	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
4	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
5	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
6	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
7	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
8	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
9	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
10	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
11	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
12	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
13	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
14	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
15	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
16	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
17	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
18	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
19	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
20	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
21	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
22	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
23	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
24	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
25	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
26	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
27	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
28	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
29	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
30	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
31	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
32	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
33	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
34	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
35	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
36	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
37	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
38	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
39	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
40	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
41	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
42	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
43	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
44	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
45	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
46	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
47	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
48	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
49	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
50	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
51	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
52	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
53	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
54	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
55	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
56	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
57	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
58	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
59	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
60	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
61	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
62	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
63	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
64	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
65	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
66	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
67	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
68	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
69	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
70	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
71	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
72	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
73	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
74	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
75	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
76	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
77	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
78	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
79	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
80	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
81	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
82	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
83	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
84	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
85	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
86	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
87	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
88	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
89	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
90	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
91	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
92	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
93	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
94	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
95	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
96	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
97	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
98	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
99	CRANKSHAFT BEFORE	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
100	CRANKSHAFT AFTER	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	MAN 20-01	Narrow Casts CROWN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<p>On-board verification procedure</p> <p>On-board verification of fuel cam</p> <p>Verification of fuel camshaft position</p> <p>The individual fuel pump cams or camshaft are not adjustable, but the position of the complete camshaft can be altered as the driving gearwheel fitted to the camshaft is provided with oblong screw holes, enabling it to be turned relative to the hub.</p> <p>After loosening the screws which secure the gear rim, the latter can be turned (by turning the engine) relative to the camshaft in order to obtain the specified maximum combustion pressure at 100% load.</p> <p>Additionally to the on-board verification of the fuel oil camshaft, the Acceptance Test Protocol specify the initial setting of the camshaft.</p> <p>By turning the camshaft gearwheel ±1 mark the maximum pressure is altered abt. ±3 bar.</p>										<p>On-board verification procedure</p> <p>On-board measuring of the max. combustion pressure</p> <p>Purpose of job to be done</p> <p>Enable an on-board verification of the max. combustion pressure at any load between 50 and 100% (the same as measured of the initial test - both measured as P_{max} at the indicator valve).</p> <p>Measuring frequency</p> <p>Monthly with the latest data within a 30 day period prior to any scheduled Annual or Periodic IAPP Surveys or following engine work which may have disturbed the timing settings. The cylinder (or cylinders) from which the pressure data is to be obtained for that engine is to be varied in sequence.</p> <p>Tools appliance required</p> <p>A max. pressure indicator, type LEMAG LS 180; delivered as standard tool together with the engine.</p> <p>Operating sequence –</p> <p>Measuring the maximum allowed combustion pressure, to be recorded in the engine logbook</p> <ol style="list-style-type: none"> The max. allowed combustion pressure at 100% nominal load is: 130 ± 3 bar, 720/750 rpm 135 ± 3 bar, 900 rpm Pmax 130 bar is with barometer pressure 1000 mbar, see also page 6 and 7. All engines are delivered with a combustion pressure adjusted according to the engine's nominal output, even in case of an uprated or a derated engine. The combustion pressure has to be measured according to the alternator output stated in the enclosures "Test Bed Record" and the corresponding max. pressure. <p>Nominal engine load at 100% for 720 rpm is 130 kW/cylinder Nominal engine load at 100% for 750 rpm is 135 kW/cylinder Nominal engine load at 100% for 900 rpm is 160 kW/cylinder</p> <p>Operation</p> <ol style="list-style-type: none"> Open the indicator valve and blow through shortly. Connect the max. pressure indicator to the indicator valve and open the valve fully. After 5 seconds read the max. pressure on the gauge. Attention: The indicator valve has to be open while reading the max. pressure on the gauge. The measuring period should not exceed 30 seconds. Close the indicator valve and open the valve screw. Disconnect the max. pressure indicator and close the valve screw. Measure the remaining cylinders by following step 1 to 5. <p>Overhaul intervals</p> <ol style="list-style-type: none"> Dismount and clean the non-return valve after 200 measuring periods. If the pressure drop is more than 5 bar within 60 seconds (test pressure 100 bar) it is recommended to relap the non-return valve. Check the pressure gauge after 1,000 measuring periods or after 12 months use. <p>Attention: Use only exhaust gas or nitrogen gas and never oil for testing the pressure drop and the pressure gauge. By using oil carbon will deposit inside the measuring instrument.</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

<p style="text-align: center;">On-board verification procedure</p> <p style="text-align: center;">On-board measuring of the max. combustion pressure</p> <p>Power Meter The power meter used to determine engine load is also to be calibrated and at a frequency, in accordance with the manufacturers instructions.</p> <p>Dismantling and Assembly, Fig 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Dismount the valve screw (5). 2) Turn the screw (4) into the instrument to enable dismantling of the housing (1). 3) Loosen the screws (2) (4 pieces) for separating upper and lower part. 4) After separation of the upper and lower part, take off the non-return valve assembly. 5) Lap the valve and the valve seat. 6) Renew the sealing ring (3) and screw (2), if necessary. 7) When mounting the upper and lower part, use only original screws. 8) Coat the screws (2) with copalisp or similar and tighten to 10 Nm. 9) After assembly the instrument can be used without any new calibration.  <p style="text-align: center;">Fig 1 Pressure Indicator.</p>	<p style="text-align: center;">On-board verification procedure</p> <p style="text-align: center;">On-board measuring of the max. combustion pressure</p> <p>Check of the Pressure Gauge</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Testing of the instrument should only be made by skilled specialists, and it is recommended to send the instrument to [redacted] for calibration. <p>Example 1) for a [redacted] 720 rpm engine delivered with nominal load of 130 kW/ cylinder</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In the enclosures "Test Bed Record" it is stated that the output from the alternator at 100 % load is 751 kW. 2. The load on the actual engine is read on the power measurement onboard the ship to be 638 kW. 3. The actual load is then calculated: $638 : 751 = 0.85$ equal to 85 % load. 4. The max. allowed combustion pressure at this load (please see graph) is 118 + 3 bar. 5. If the barometer pressure is read to be 1010 mbar, see page 6, then the combustion pressure will be 119 + 3 bar. <p>Example 2) for a [redacted] 720 rpm engine delivered with derated load of 120 kW/ cylinder</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In the enclosures "Test Bed Record" it is stated that the output from the engine at 100 % load is 720 kW. 2. In the enclosures "Test Bed Record" it is stated that the output from the alternator at 100 % load is 651 kW. 3. The nominal 100% engine load of a 6 cylinder engine is $6 \times 130 = 780$ kW. 4. The derating factor is calculated: $720 : 780 = 0.923$. 5. The load on the actual engine is read on the power measurement onboard the ship to be 638 kW. 6. The actual nominal load is then calculated: $0.923 \times 638 : 651 = 0.85$ equal to 85% nominal load. 7. The max. allowed combustion pressure at this load (please see graph) is 118 + 3 bar.
<p style="text-align: center;">On-board verification procedure</p> <p style="text-align: center;">On-board measuring of the max. combustion pressure</p> <p>Check of the Pressure Gauge</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Testing of the instrument should only be made by skilled specialists, and it is recommended to send the instrument to [redacted] for calibration. <p>Example 1) for a [redacted] 900 rpm engine delivered with nominal load of 160 kW/ cylinder</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In this example the output from the alternator at 100 % load is 960 kW. 2. The load on the actual engine is read on the power measurement onboard the ship to be 816 kW. 3. The actual load is then calculated: $816 : 960 = 0.85$ equal to 85 % load. 4. The max. allowed combustion pressure at this load (please see graph) is 121 + 3 bar. 5. If the barometer pressure is read to be 1010 mbar, see page 6, then the combustion pressure will be 122 + 3 bar. <p>Example 2) for a [redacted] 900 rpm engine delivered with derated load of 150 kW/ cylinder</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In this example the output from the engine at 100 % load is 900 kW. 2. In this example the output from the alternator at 100 % load is 864 kW. 3. The nominal 100% engine load of a 6 cylinder engine is $6 \times 160 = 960$ kW. 4. The derating factor is calculated: $900 : 960 = 0.938$. 5. The load on the actual engine is read on the power measurement onboard the ship to be 796 kW. 6. The actual nominal load is then calculated: $0.938 \times 796 : 864 = 0.85$ equal to 85% nominal load. 7. The max. allowed combustion pressure at this load (please see graph) is 121 + 3 bar. 	<p style="text-align: center;">On-board verification procedure</p>  <p style="text-align: center;">Engine Load % 720 rpm 130 kW/Cylinder 750 rpm 135 kW/Cylinder</p>







Record book of engine parameters

(According to the NOx Technical Code)
(EIAPP Certificate)

This Record book of engine parameters is the document for recording all parameter changes, including components and engine settings, which may influence Nox emission of the engine.

If any adjustments or modification are made to the engine after its pre-certification, a full record of such adjustments or modification shall be recorded in this engine's record book of engine parameters.

Adjustments carried out	Remarks	Date	Sign
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #2 AND #3 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #2 INJECTOR	ON #2 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #3 INJECTOR	ON #3 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #4 AND #5 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #4 INJECTOR	ON #4 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #5 INJECTOR	ON #5 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #6 AND #7 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #6 INJECTOR	ON #6 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #7 INJECTOR	ON #7 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #8 AND #9 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #8 INJECTOR	ON #8 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #9 INJECTOR	ON #9 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #10 AND #11 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #10 INJECTOR	ON #10 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #11 INJECTOR	ON #11 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #12 AND #13 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #12 INJECTOR	ON #12 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #13 INJECTOR	ON #13 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #14 AND #15 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #14 INJECTOR	ON #14 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #15 INJECTOR	ON #15 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #16 AND #17 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #16 INJECTOR	ON #16 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #17 INJECTOR	ON #17 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #18 AND #19 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #18 INJECTOR	ON #18 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #19 INJECTOR	ON #19 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #20 AND #21 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #20 INJECTOR	ON #20 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #21 INJECTOR	ON #21 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #22 AND #23 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #22 INJECTOR	ON #22 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #23 INJECTOR	ON #23 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #24 AND #25 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #24 INJECTOR	ON #24 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #25 INJECTOR	ON #25 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #26 AND #27 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #26 INJECTOR	ON #26 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #27 INJECTOR	ON #27 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #28 AND #29 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #28 INJECTOR	ON #28 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #29 INJECTOR	ON #29 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #30 AND #31 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #30 INJECTOR	ON #30 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #31 INJECTOR	ON #31 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #32 AND #33 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #32 INJECTOR	ON #32 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #33 INJECTOR	ON #33 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #34 AND #35 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #34 INJECTOR	ON #34 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #35 INJECTOR	ON #35 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #36 AND #37 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #36 INJECTOR	ON #36 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #37 INJECTOR	ON #37 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #38 AND #39 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #38 INJECTOR	ON #38 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #39 INJECTOR	ON #39 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #40 AND #41 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #40 INJECTOR	ON #40 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #41 INJECTOR	ON #41 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #42 AND #43 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #42 INJECTOR	ON #42 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #43 INJECTOR	ON #43 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #44 AND #45 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #44 INJECTOR	ON #44 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #45 INJECTOR	ON #45 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #46 AND #47 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #46 INJECTOR	ON #46 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #47 INJECTOR	ON #47 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #48 AND #49 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #48 INJECTOR	ON #48 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #49 INJECTOR	ON #49 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #50 AND #51 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #50 INJECTOR	ON #50 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #51 INJECTOR	ON #51 INJECTOR	20 May 2015	
FUEL INJECTION VALVE ADJUSTING	ON #52 AND #53 INJECTOR	20 May 2015	
Pressure adjustment of #52 INJECTOR	ON #52 INJECTOR</		

TEST No.: 2		OF GENSET No.	
LOAD: 50%		YARD:	
DATE: 10.12.2007		PARAMETERS	
HOUR: 10:20		MEASURED VALUES	
AMBIENT TEMPERATURE (°C): 18		CHARGE AIR	
BAROMETRIC PRESSURE (mmHg/mbars): 753 / 1004		TEMPERATURE INLET BLOWER (°C): 21	
RELATIVE AIR HUMIDITY (%): 57		TEMPERATURE AFTER BLOWER (°C): 85	
ENGINE TYPE: 11018		CHARGE AIR TEMPERATURE (°C): 34	
ENGINE EFFECTIVE POWER (kW): 519		PRESSURE BEFORE BLOWER (bars): 1004	
ENGINE SPEED (RPM): 720		CHARGE AIR PRESSURE (bars): 0.8	
GENERATOR POWER (kW): 494		EXHAUST GAS	
GOVERNOR INDEX: 5.2		TEMPERATURE BEFORE TC (°C): 360	
TURBOCHARGER SPEED (RPM): 14000		TEMPERATURE AFTER TC (°C): 320	
PRESSURE AFTER TC (mmHg): 275		LUBRICATING OIL SYSTEM	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 54		TEMPERATURE AFTER ENGINE (°C): 64	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 64		PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.50	
PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.50		PRESSURE AFTER FILTER (bars): 5.00	
PRESSURE BEFORE TC (bars): 1.7		COOLING WATER SYSTEM	
COOLING WATER SYSTEM		L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 30	
L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 31		L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 30	
L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 49		L.T. TEMP. INLET ENGINE (°C): 72	
L.T. F.W. TEMP. INLET ENGINE (°C): 3.30		L.T. F.W. PRESSURE INLET ENGINE (bars): 1.6	
FUEL OIL TEMP. INLET ENGINE (°C): 25		FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.5	
FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.5		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 208.25	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 208.25		TIME (sec): 333	
TIME (sec): 333		MASS (kg): 10	
MASS (kg): 10		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 491		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 634	
CURRENT (A): 634		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48		TIME (sec): 474	
TIME (sec): 474		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 744		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 905	
CURRENT (A): 905		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48		TIME (sec): 474	
TIME (sec): 474		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 995		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1278	
CURRENT (A): 1278		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 1094		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1400	
CURRENT (A): 1400		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 1142		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1400	
CURRENT (A): 1400		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	

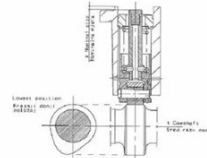
TEST No.: 3		OF GENSET No.	
LOAD: 75%		YARD:	
DATE: 10.12.2007		PARAMETERS	
HOUR: 10:50		MEASURED VALUES	
AMBIENT TEMPERATURE (°C): 18		CHARGE AIR	
BAROMETRIC PRESSURE (mmHg/mbars): 753 / 1004		TEMPERATURE INLET BLOWER (°C): 22	
RELATIVE AIR HUMIDITY (%): 56		TEMPERATURE AFTER BLOWER (°C): 100	
ENGINE TYPE: 11018		CHARGE AIR TEMPERATURE (°C): 34	
ENGINE EFFECTIVE POWER (kW): 777		PRESSURE BEFORE BLOWER (bars): 1004	
ENGINE SPEED (RPM): 720		CHARGE AIR PRESSURE (bars): 1.35	
GENERATOR POWER (kW): 744		EXHAUST GAS	
GOVERNOR INDEX: 6.2		TEMPERATURE BEFORE TC (°C): 460	
TURBOCHARGER SPEED (RPM): 14000		TEMPERATURE AFTER TC (°C): 310	
PRESSURE AFTER TC (mmHg): 140		LUBRICATING OIL SYSTEM	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 54		TEMPERATURE AFTER ENGINE (°C): 64	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 64		PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.50	
PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.50		PRESSURE AFTER FILTER (bars): 4.80	
PRESSURE BEFORE TC (bars): 1.40		COOLING WATER SYSTEM	
COOLING WATER SYSTEM		L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 30	
L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 31		L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 30	
L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 49		L.T. TEMP. INLET ENGINE (°C): 70	
L.T. F.W. TEMP. INLET ENGINE (°C): 3.4		L.T. F.W. PRESSURE INLET ENGINE (bars): 1.6	
FUEL OIL TEMP. INLET ENGINE (°C): 30		FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.5	
FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.5		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48		TIME (sec): 474	
TIME (sec): 474		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 744		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 905	
CURRENT (A): 905		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.48		TIME (sec): 474	
TIME (sec): 474		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 995		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1278	
CURRENT (A): 1278		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 1094		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1400	
CURRENT (A): 1400		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	

TEST No.: 4		OF GENSET No.	
LOAD: 100%		YARD:	
DATE: 10.12.2007		PARAMETERS	
HOUR: 11:15		MEASURED VALUES	
AMBIENT TEMPERATURE (°C): 18		CHARGE AIR	
BAROMETRIC PRESSURE (mmHg/mbars): 753 / 1004		TEMPERATURE INLET BLOWER (°C): 22	
RELATIVE AIR HUMIDITY (%): 55		TEMPERATURE AFTER BLOWER (°C): 155	
ENGINE TYPE: 11018		CHARGE AIR TEMPERATURE (°C): 41	
ENGINE EFFECTIVE POWER (kW): 1018		PRESSURE BEFORE BLOWER (bars): 1004	
ENGINE SPEED (RPM): 720		CHARGE AIR PRESSURE (bars): 1.98	
GENERATOR POWER (kW): 995		EXHAUST GAS	
GOVERNOR INDEX: 7.1		TEMPERATURE BEFORE TC (°C): 440	
TURBOCHARGER SPEED (RPM): 14000		TEMPERATURE AFTER TC (°C): 350	
PRESSURE AFTER TC (mmHg): 230		LUBRICATING OIL SYSTEM	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 56		TEMPERATURE AFTER ENGINE (°C): 64	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 64		PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.40	
PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.40		PRESSURE AFTER FILTER (bars): 4.80	
PRESSURE BEFORE TC (bars): 1.6		COOLING WATER SYSTEM	
COOLING WATER SYSTEM		L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 32	
L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 34		L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 32	
L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 49		L.T. TEMP. INLET ENGINE (°C): 69	
L.T. F.W. TEMP. INLET ENGINE (°C): 3.2		L.T. F.W. PRESSURE INLET ENGINE (bars): 1.6	
FUEL OIL TEMP. INLET ENGINE (°C): 30		FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.5	
FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.5		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 995		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1278	
CURRENT (A): 1278		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 1094		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1400	
CURRENT (A): 1400		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	

TEST No.: 5		OF GENSET No.	
LOAD: 110%		YARD:	
DATE: 10.12.2007		PARAMETERS	
HOUR: 11:40		MEASURED VALUES	
AMBIENT TEMPERATURE (°C): 18		CHARGE AIR	
BAROMETRIC PRESSURE (mmHg/mbars): 753 / 1004		TEMPERATURE INLET BLOWER (°C): 22	
RELATIVE AIR HUMIDITY (%): 55		TEMPERATURE AFTER BLOWER (°C): 175	
ENGINE TYPE: 11018		CHARGE AIR TEMPERATURE (°C): 46	
ENGINE EFFECTIVE POWER (kW): 1142		PRESSURE BEFORE BLOWER (bars): 1004	
ENGINE SPEED (RPM): 720		CHARGE AIR PRESSURE (bars): 2.2	
GENERATOR POWER (kW): 1094		EXHAUST GAS	
GOVERNOR INDEX: 7.7		TEMPERATURE BEFORE TC (°C): 450	
TURBOCHARGER SPEED (RPM): 14000		TEMPERATURE AFTER TC (°C): 360	
PRESSURE AFTER TC (mmHg): 300		LUBRICATING OIL SYSTEM	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 56		TEMPERATURE AFTER ENGINE (°C): 66	
TEMPERATURE INLET ENGINE (°C): 66		PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.3	
PRESSURE BEFORE FILTER (bars): 5.3		PRESSURE AFTER FILTER (bars): 4.50	
PRESSURE BEFORE TC (bars): 1.35		COOLING WATER SYSTEM	
COOLING WATER SYSTEM		L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 34	
L.T. TEMP. INLET AIR COOLER (°C): 36		L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 34	
L.T. TEMP. INLET LUB. OIL COOLER (°C): 50		L.T. TEMP. INLET ENGINE (°C): 68	
L.T. F.W. TEMP. INLET ENGINE (°C): 3.2		L.T. F.W. PRESSURE INLET ENGINE (bars): 1.6	
FUEL OIL TEMP. INLET ENGINE (°C): 30		FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.4	
FUEL OIL PRESS. BEFORE ENGINE (bars): 1.4		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	
GENERATOR EFFECTIVE POWER (kW): 1094		VOLTAGE (V): 430	
VOLTAGE (V): 430		CURRENT (A): 1400	
CURRENT (A): 1400		CO2 (%): 0.8	
CO2 (%): 0.8		EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41	
EFFECTIVE FUEL OIL CONSUMPTION (kg/kWh): 195.41		TIME (sec): 355	
TIME (sec): 355		MASS (kg): 20	
MASS (kg): 20		SWITCHBOARD	

Type / Proizvod: _____
Yard / Nov.: _____
Engine No. / Motor br.: _____

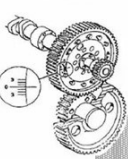
ADJUSTMENT AFTER THE TRIAL
Podešavanje nakon ispitivanja motora



Cylinder No. Broj cilindra	1	2	3	4	5	6	7	8
Lead of fuel pump* Hod vt.pumpe goriva*	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52
Nominal size Nominalna mjera	5,55	5,49	5,51	5,55	5,49	5,55	5,45	5,48
Fuel pump index with handle in stop Index vt.pumpe goriva pri položaju "stop"								
Fuel pump index by max supply of fuel oil Index vt.pum.gor.pri polož."max.dob.gor."								

* Lead of fuel pump measured as lift of fuel pump plunger from its lowest position to its position when engine piston is in ignition top dead centre.
* Hod vt.pumpe goriva - mjeri se kao podizaj klipa vt.pumpe goriva od njegovog krajnjeg donjeg položaja do onog njegovog položaja kada je klip motora u GMT spreman za "paljenje".

The "nominal size" is measured with a depth gauge i.e. the distance from the upper edge of the roller guide house to the thrust gauge pressed into the roller guide. (See fig.)
"Nominalna mjera" - mjeri se lisnatim mjerilom, a predstavlja udaljenost gornjeg ruba kućišta vodilica do vrha potisnog komada utisnutog u vodilicu (vidi sliku).



Scale No.
Broj podjela

Position of camshaft in relation to the gear wheel
Položaj razvodne osovine u odnosu na zupčanic

Technisches Datenblatt
für Turbolader an
Motoren mit IMO - NO_x - Zertifizierung

Technical File
for Turbochargers on
Engines with IMO - NO_x Certification

Turboladertyp: _____
Type of Turbocharger

Serial Nr: _____
Serial No:

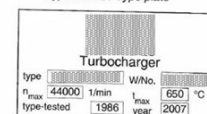
Diesel Engine _____
Serial No. _____

2

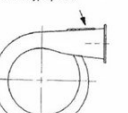
Allgemeine Information für die Identifizierung der strömungsführenden Teile.
General information about the identification of the flow parts.

Der Turboladertyp und die Werk-Nr. sind im Typenschild eingeschlagen.
The type of turbocharger and the work No. are punched in the type plate.

Typenschild / Type plate



Ort wo das Typenschild befestigt ist.
Position of the type plate.



Das Typenschild ist am Austritt des Verdichtergehäuses des Turboladers befestigt.
The type plate is located on the outlet of the turbocharger's compressor casing.

Die Typbezeichnung des Turboladers enthält nach dem Bindestrich bei
- Turboladem eine 3-stellige und bei
- Turboladem eine 4-stellige Zählnummer.
The designation of the turbocharger type consists of three digits for - turbochargers and of four digits for - turbochargers after the slash.

Diese Zählnummer steht für einen bestimmten Motoranwendungsfall und definiert die eingebauten strömungsführenden Bauteile.
This counting number stands for a special application case of the engine and defines the installed flow parts.

Die thermo-dynamischen Eigenschaften (wie z.B. Ladedruck und Luftdurchsatz) des Turboladers für diesen speziellen Motoranwendungsfall werden durch die nachfolgend aufgeführten strömungsführenden Bauteile spezifiziert.
The thermo-dynamical properties (such as charge air pressure and air mass flow) of the turbocharger for this special engine application will be specified by following flow parts.

3



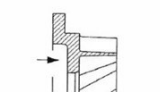

Jedes dieser Bauteile ist mit einer 4-stelligen IMO-Nr. gekennzeichnet, wobei zusätzlich in den Nachleitapparat und in den Turbinenleitapparat der Strömungsquerschnitt eingeschlagen ist.
Each of these components is marked with a four digit IMO No., with the flow area additionally being punched into the diffuser and nozzle ring.

Turboladertyp: _____
Type of Turbocharger

Serial Nr: _____
Serial No:

Ort, wo die IMO-Nr. zu finden ist
Position of the IMO No.

- Verdichterrad / Compressor wheel
IMO-Nr.: IMO - 0 9 1 2
IMO No.
- Nachleitapparat / Diffuser
IMO-Nr.: IMO - 0 6 9 6
IMO No.
- Turbinenleitapparat / Nozzle ring
IMO-Nr.: IMO - 1 2 0 1
IMO No.
- Turbinenläufer / Turbine rotor
IMO-Nr.: IMO - 0 9 7 9
IMO No.

Datum: 28.11.2007
Date

Dieses Zertifikat wurde maschinell erstellt und trägt keine Unterschrift.
This generated certificate has been automatically and bears no signature.

Παράρτημα Γ

Στο παράρτημα αυτό, παρατίθενται τα προγράμματα παραγωγής πράσινης μεθανόλης από τα οποία αναμένεται και η αύξηση της παραγωγής της.

a/a	Capacity (t/y)	Company	Country	Feedstock	Product	Start-up year
1	100000	Energy and Chemical Co., Sinocoal	China	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
2	40000	Shanxi Jia Xin	China	Forestry Waste	Biomethanol	2025
3	100000	CRI and Jiangsu Sailboat	China	By Product Hydrogen from PDH and Carbon Capture	E-methanol	2025
4	1000	Shenergy	China	Renewable Energy and Carbon Capture	E-methanol	2024
5	5000	Lu Xi Chemical	China	By Product hydrogen and Carbon Capture	E-methanol	2024
6	50000	Shanghai Green Technology	China	Biomass and MSW	Biomethanol	2024
7	50000	CIMC Enric, Maersk	China	Biomass	Biomethanol	2024
8	50000	Maersk, GTB	China	Green H ₂ and CO ₂	Biomethanol	2024
9	100000	Sinopoc	China	Renewable Energy and Carbon Capture	E-methanol	2024
10	100000	SPIC	China	Renewable Energy and Carbon Capture	E-methanol	2024
11	100000	Sinocoal	China	Renewable Energy and Carbon Capture	E-methanol	2024
12	100000	CHN Energy	China	Renewable Energy and Carbon Capture	E-methanol	2024
13	200000	Maersk, Debo	China	Agricultural Residues	Biomethanol	2024
14	100000	CRI and Jiangsu Sailboat Petrochemicals	China	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2023
15	1000	Dalian Institute of Chemical Physics	China	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis (PV)	E-methanol	2020
16	5000	China Blue Chemical of CNOOC	China	By Product Hydrogen and Carbon Capture	E-methanol	2020
17	150000	Ørsted, SAS, Copenhagen Airports, A.P. Moller – Maersk, DFDS and DSV, with Nel, Haldor Topsøe and Everfuel	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2035
18	200	CiP	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
19	32000	European Energy	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
20	32000	European Energy	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
21	75000	Ørsted, SAS, Copenhagen Airports, A.P. Moller – Maersk, DFDS and DSV, with Nel, Haldor Topsøe and Everfuel	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
22	75000	Ørsted, SAS, Copenhagen Airports, A.P. Moller – Maersk, DFDS and DSV, with Nel, Haldor Topsøe and Everfuel	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2026

a/a	Capacity (t/y)	Company	Country	Feedstock	Product	Start-up year
23	32000	European Energy	Denmark	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2025
24	75000	European Energy	Denmark	Electrolysis	E-methanol	2025
25	300000	Vordingborg Biofuel ApS	Denmark	Straw	Biomethanol	2024
26	10000	ReIntegrate	Denmark	CO ₂ from biogas plant and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2023
27	30000	European Energy	Denmark	Electrolysis and CO ₂ from Biogas Plants	E-methanol	2023
28	8000	Apex Energy Teterow GmbH and East Energy Verwaltungs GmbH	Germany		Biomethanol	2027
29	200000	Dow	Germany	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
30	61000	Hy2Gen	Germany	CO ₂ from biogas and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2025
31	15000	Wacker Chemie and Linde	Germany	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2024
32	6000	ZASt	Germany	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2023
33		BASF	Germany	Second Generation Raw Materials and Waste	Biomethanol	2020
34		EDF Germany, Holcim Germany, OGE, Ørsted, Raffinerie Heide, Stadtwerke Heide, Thyssenkrupp Industrial Solutions and Thüga	Germany	CO ₂ from cement plant and H ₂ from water electrolysis (wind)	E-methanol	
35		TotalEnergies, Sunfire, and Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP	Germany	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	
36	550000	New Hope Energy	USA	Pyrolyzed plastic	Biomethanol	2026
37	875000	Trans World Energy	USA	Biomass/MSW	Biomethanol	2026
38	300000	Orsted, Maersk	USA		E-methanol	2025
39	300000	European Energy, Maersk	USA		E-methanol	2025
40	80000	Celanese, Mitsui & Co	USA	Recycled CO ₂	E-methanol	2022
41	110000	Methanex	USA	Biogas – mass balance approach	Biomethanol	2021
42	400	Air Company	USA	Biogenic CO ₂ and H ₂ water electrolysis	E-methanol	2020
43	200000	OCI*	USA	Biogas injection	Biomethanol	2020
44	15000	Nouryon, Gasunie, BioMCN, Hincio, McPhy, DeNora	Netherlands	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2026
45	87500	Gidara Energy	Netherlands	Non-recyclable Waste	Biomethanol	2024
46	90000	Gidara Energy	Netherlands	MSW	Biomethanol	2024
47	120000	LowLands Methanol	Netherlands	MSW	Biomethanol	2023
48	60000	OCI/BioMCN	Netherlands	Biogas	Biomethanol	2020
49	500000	Renewable Hydrogen Canada (RH2C)	Canada	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis (hydropower)	E-methanol	2027

a/a	Capacity (t/y)	Company	Country	Feedstock	Product	Start-up year
50	100000	Proman, Shell, Suncor, Enkern, Hydro-Quebec	Canada	Non-recyclable municipal solid waste	E-methanol	2025
51	150000	Renewable Hydrogen Canada (RH2C)	Canada	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis (hydropower)	E-methanol	2025
52	2000	Alberta Pacific	Canada	Black liquor	Biomethanol	2020
53	30000	Enkern	Canada	MSW	Biomethanol	2014
54	100000	VärmlandsMetanol	Sweden	Biomass	Biomethanol	2027
55	200000	Perstorp	Sweden	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2025
56	50000	Liquid Wind	Sweden	Upcycled CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2024
57	5250	Södra	Sweden	Black liquor	Biomethanol	2021
58	80000	Swiss Liquid Future/Thyssenkrupp	Norway	CO ₂ from ferrosilicon plant and H ₂ from water electrolysis (hydropower)	E-methanol	2027
59	100000	CRI, Finnjord, and Statkraft	Norway	CO ₂ from ferrosilicon plant and H ₂ from water electrolysis (hydropower)	E-methanol	2025
60	100000	Glocal Green AS	Norway	Biowaste, bio CO ₂ and H ₂	Biomethanol	2025
61	50000	Glocal Green AS	Norway	Biowaste, bio CO ₂ and H ₂	Biomethanol	2024
62	100000	Iberdrola and Foresa	Spain	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
63	10000	Iberdrola and Foresa	Spain	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2026
64	220000	Enkern	Spain	MSW	Biomethanol	2026
65	40	Municipal Corporation of Gurugram (MCG)	India	Biomass/MSW	Biomethanol	2023
66	20	NTPC	India	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	
67	27000	NTPC Renewable Energy, GACL	India	Biogenic CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	
68	476000	Siemens, Porsche, HIF	Chile	H ₂ produced from water, wind energy and CO ₂ captured from the air	E-methanol	2026
69	150000	Andes Mining and Energy (Commercial)	Chile	DAC CO ₂ and H ₂ from water electrolysis (wind)	E-methanol	2024
70	650	Siemens, Porsche, HIF	Chile	H ₂ produced from water, wind energy and CO ₂ captured from the air	E-methanol	2022
71	125000	Alia Servizi Ambientali	Italy	CO ₂ and H ₂ from Waste	E-methanol	2027
72	115000	ENI	Italy	MSW	Biomethanol	2024
73	4000	CRI	Iceland	Geothermal CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2011
74		PCC, SE, Landsvirkjun	Iceland	CO ₂ from Silicon Plant	E-methanol	
75	12000	Veolia, Metsa	Finland	Refining and Purifying Crude Methanol obtained from Kraft Pulp Process	Biomethanol	2024

a/a	Capacity (t/y)	Company	Country	Feedstock	Product	Start-up year
76	12000	Veolia and Metsä Fibre	Finland	Black liquor	Biomethanol	2024
77	44000	Proman, North Sea Port, POM Oost-Vlaanderen, Oiltanking, Fluxys, Engie, ArcelorMittal, Alco Bio Fuel, PMV, Mitsubishi Power	Belgium	Industrial CO ₂ and H ₂ from water electrolysis (wind power)	E-methanol	2024
78	8000	ENGIE, Fluxys, Indaver, INOVYN, Oiltanking, Port of Antwerp, PMV	Belgium	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2023
79	120	Earth and Wire, Enertrag, 24 Solutions	South Africa	Biogenic CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2027
80	265000	VTT	Austria	Black liquor	Biomethanol	2027
81	20000	Proman and Global Energy Group	Scotland	CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2026
82	200000	ABEL and Thyssenkrupp	Australia	Biogenic CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2025
83	200000	Vycat and Hynamics	France	CO ₂ from cement plant and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2025
84	100	Osaka University, Air Water Hokkaido, and Iwata Chizaki	Japan	Cow manure	Biomethanol	2024
85	30000	WasteFuel, Maersk	Brazil		Biomethanol	2024
86	50000	Air Liquide, PTT Exploration & Production, YTL PowerSaya, Kenoil, Maersk, YTL PowerSaya	Singapore	Biogenic CO ₂ and H ₂ from water electrolysis	E-methanol	2024
87		Proman	Trinidad & Tobago	MSW	Biomethanol	

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.