

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εναλλακτικά καύσιμα ναυτιλίας για προσαρμογή στις νέες προδιαγραφές



Σπουδαστής:: Αλεξανδρόπουλος Χρήστος-Δημοσθένης

Επιβλέπων καθηγητής:: Φάνης Ζαννίκος

## Κεφάλαια

Περίληψη.....	σελ4
Abstract.....	σελ4
Εισαγωγή.....	σελ.5
1.Οι νέες διατάξεις του IMO.....	σελ.7
1.1 Ρυθμίσεις για οξείδια SO <sub>x</sub> .....	σελ.9
1.2 Αναθεώρηση του παραρτήματος VI της MARPOL .....	σελ.12
2. Συμβατικά καύσιμα.....	σελ.14
2.1 Αργό πετρέλαιο.....	σελ.15
2.2 Σύγκριση εκπομπών HFO, MDO,MGO.....	σελ.16
3.Συστήματα καθαρισμού.....	σελ.23
3.1 Τύποι Scrubbers.....	σελ.23
3.2 Μείωση των ρύπων από τα καυσαέρια.....	σελ30
4.Εναλλακτικά καύσιμα.....	σελ.32
4.1 LNG.....	σελ.32
4.2 Μεθανόλη.....	σελ.48
5. Οι επιδράσεις στην ναυτιλία.....	σελ.57
5.1 Scrubbers.....	σελ.58
5.2 LNG-Μεθανόλη.....	σελ.59
5.3 Οικονομική ανάλυση δύο περιπτώσεων.....	σελ60
5.4 Σύγκριση κόστους επένδυσης LNG με διαφορετικές επιλογές συμμόρφωσης.....	σελ74
5.5 Ο αντίκτυπος στην πετρελαική-πετροχημική βιομηχανία.....	σελ82
Βιβλιογραφία.....	σελ85

## Επεξηγήσεις

IMO-International Maritime organization- Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας  
ECA- Emission Control Area- Περιοχή ελέγχου εκπομπών  
HFO-Heavy Fuel Oil- Μαζούτ Πλοίων  
HSFO- High sulphur fuel oil- Καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο  
LSFO-Low sulphur fuel oil- Καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο  
VSFO-Very low Sulphur Fuel oil- Καύσιμο με  
ULSFO (VLSFO) -Ultra Low Sulphur Fuel oil- Very low sulphur fuel oil – καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο  
MGO-Marine gas oil  
MDO- Marine Diesel oil  
LNG- Liquefied Natural Gas- Υγροποιημένο Φυσικό αέριο  
GHG- GreenHouse Gases – Αέρια θερμοκηπίου  
TEU-Twenty foot equivalent unit- Μονάδα μέτρησης χωρητικότητας φορτίου  
DWT – Dead weight tonnage- Συνολικό βάρος που δύναται αν μεταφέρει ένα πλοίο  
NPC- Net Present Cost- Καθαρό κόστος  
NPV- Net Present Value- Καθαρή παρούσα αξία  
ROI- Return of Investment- Επιστροφή επί της επένδυσης  
CAPEX- Κεφαλαικές δαπάνες  
OPEX- Λειτουργικές δαπάνες  
O&M Expenditures- Κόστη λειτουργίας και συντήρησης  
FWS- Fresh water system- Σύστημα ανοχτού βρόγχου  
SWS- Sea water sytem- Σύστημα κλειστού βρόγχου  
HS- Hybrid sytem- Υβριδικό σύστημα  
DS - Dry System- Ξηρό σύστημα  
CMCR- Contracted maximum continuous rating  
WHR- Waste heat recovery  
SCR- Selective Catalytic reduction  
M/E- Main Engine  
A/E- Auxiliary Engine  
SFOC- Specific fuel oil consumption  
EGR- Exahust gas recirculation  
HP- High pressure  
LP- Low pressure

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο IMO (International Maritime Organization- Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας), εργάζεται από την δεκαετία του 1960 για την θέσπιση κανονισμών στην ναυτιλία, οι οποίοι, εκτός των άλλων, έχουν και ως στοχο την προστασία του περιβάλλοντος.

Οι κανονισμοί για την πρόληψη της αέριας ρύπανσης από τα εμπορικά πλοία, έχουν ως στόχο τον έλεγχο των αερίων εκπομπών των οξειδίων του θείου (SOx), οξειδίων του αζώτου (NOx), ουσιών που μειώνουν την συγκέντρωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα (ozone depleting substances), των πτητικών οργανικών ενώσεων (volatile organic compounds), αλλά και τον έλεγχο της αποτέφρωσης των απορριμμάτων στο πλοίο (shipboard incineration). Πέραν της αέριας ρύπανσης, επιδιώκεται και η μείωση των αρνητικών επιδράσεων σε άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Για τον περιορισμό των επιδράσεων από την αέρια ρύπανση, ο IMO έχει θεσπίσει συγκεκριμένες προδιαγραφές για τα καύσιμα, οσον αφορά το περιεχόμενο ρυπογόνων ουσιών. Η εργασία μελετάει τις νέες προδιαγραφές για τα ναυτιλιακά καύσιμα ( όρια συγκεντρώσεων θείου), οι οποίες θα τεθούν σε ισχύ από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020 και το πώς αυτές θα εηρεάσουν την ναυτιλία αλλά καθώς και ποιες λύσεις μπορούν να εφαρμοστούν.

## ABSTRACT

The International Maritime Organization (IMO) has been working since the 1960s to introduce regulations in shipping, which, among other things, have as their objective the protection of the environment. The regulations on the prevention of air pollution by merchant ships aim at controlling the emissions of SOx, NOx, ozone depleting substances, , volatile organic compounds, as well as the control of shipboard incineration. In addition to air pollution, it is also intended to reduce the negative effects on other environmental factors as well as on human health. To limit the effects of air pollution, IMO has set specific fuel standards regarding pollutant content. This paper studies the new standards for marine fuels (sulfur limits), which will enter into force on 1 January 2020 and how they will affect the shipping industry, but also what solutions can be applied.

## Εισαγωγή

### 1.Δραστηριότητες και λειτουργίες του IMO

Οι γενικές λειτουργίες του IMO, όπως ορίζονται στη σύμβασή του, είναι "συμβουλευτικές". Ως εκ τούτου, χρησιμεύει ως κοινότητα όπου τα μέλη μπορούν να συμβουλευτούν και να ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τα ναυτικά θέματα. Συζητά και διατυπώνει συστάσεις για κάθε θαλάσσιο ζήτημα που υποβάλλεται από τα κράτη μέλη ή άλλα όργανα των Ηνωμένων Εθνών και συμβουλεύει διεθνείς φορείς συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του ΟΗΕ σε θέματα ναυτιλίας. Διάφοροι άλλοι διακυβερνητικοί οργανισμοί ασχολούνται με εξειδικευμένα θέματα ναυτιλίας, όπως η ατομική πρόωση πλοίων (IAEA), η υγεία στη θάλασσα (WHO), τα πρότυπα θαλάσσιας εργασίας (ILO), η μετεωρολογία (WMO), η ωκεανογραφία (UNESCO), η επικοινωνία από πλοίο σε πλοίο αλλά και οι επικοινωνίες από πλοίο σε ακτή (ITU).

Μία από τις λειτουργίες του IMO είναι να συμβάλει στον συντονισμό των εργασιών σε αυτούς τους διάφορους τομείς.

Ο IMO εξουσιοδοτείται επίσης να συγκαλεί διεθνείς διασκέψεις όταν είναι απαραίτητο και να καταρτίζει διεθνείς ναυτικές συμβάσεις ή συμφωνίες προς έγκριση από τις κυβερνήσεις. Αυτές οι διασκέψεις και οι συναφείς συμβάσεις αφορούν κυρίως δύο θέματα πρωταρχικής σημασίας για τον IMO, την ασφάλεια στη θάλασσα και την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης. [1]

### 2.Ασφάλεια στη θάλασσα

Μια διάσκεψη που συγκάλεσε ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) το 1960 ενέκρινε τη διεθνή σύμβαση για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα SOLAS(Safety Of Life At Sea), η οποία αντικαθιστά ένα προηγούμενο σύνολο μέτρων (1948). Η σύμβαση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα μέτρων που αποσκοπούν στη βελτίωση της ασφάλειας στην ναυτιλία. Αποφασιστήκαν κανονισμοί για τα μηχανήματα και τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, την πυροπροστασία, την ραδιοτηλεγραφία και την ραδιοτηλεφωνία, την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας την μεταφορά σιτηρών, την μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων καθώς και τα πυρηνοκίνητα πλοία. Μια νέα σύμβαση, η οποία ενσωματώνει τροποποιήσεις στη συμφωνία του 1960, εγκρίθηκε το 1974 και τέθηκε σε ισχύ το 1980. Η σύμβαση SOLAS επικαιροποιήθηκε με το πρωτόκολλο SOLAS του 1978, το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 1981, και με το πρωτόκολλο SOLAS του 1988, τέθηκε σε ισχύ τον Φεβρουάριο του 2000. Τον Δεκέμβριο του 2002 εγκρίθηκαν τροπολογίες σχετικά με την ασφάλεια στη θάλασσα, οι οποίες είχαν προγραμματιστεί να τεθούν σε ισχύ τον Ιούλιο του 2004. Το 1996, το συνέδριο του IMO υιοθέτησε την Διεθνή σύμβαση για της γραμμές φόρτωσης (Load Lines) η οποία οριοθετεί το βύθισμα στο οποίο μπορεί ένα πλοίο να φορτωθεί., μια αρκετά σημαντική παράμετρος για την ασφάλεια του. Η σύμβαση ανανεώθηκε από το πρώτο-

κολλο για τις γραμμές φόρτωσης του 1998 , το οποίο τέθηκε σε ισχύ τον Φεβρουάριο του 2000. Επίσης, το πρωτόκολλο του 1969 για την μέτρηση της χωρητικότητας των πλοίων, τέθηκε για την για την θέσπιση ενός ομοιόμορφου συστήματος μέτρησης της χωρητικότητας των πλοίων. [1]

### 3. Προστασία θαλασσίου περιβάλλοντος

Η σύμβαση για τη ρύπανση πετρελαίου του 1954, για την οποία ο ΙΜΟ έγινε θεματοφύλακας το 1959, ήταν η πρώτη μεγάλη προσπάθεια των κρατών με ναυτιλιακή δραστηριότητα, να περιορίσουν τις επιπτώσεις της ρύπανσης από πετρέλαιο. Μετά από μια διάσκεψη που συγκάλεσε ο ΙΜΟ, η σύμβαση του 1954 τροποποιήθηκε το 1962, αλλά το ναυάγιο του πετρελαιοφόρου Torrey Canyon τον Μάρτιο του 1967 προειδοποίησε πλήρως τον κόσμο για τους μεγάλους κινδύνους που συνεπάγεται η μεταφορά πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το 1969 εγκρίθηκαν δύο νέες συμβάσεις: η σύμβαση για την παρέμβαση στην ανοικτή θάλασσα σε περιπτώσεις πετρελαϊκής ρύπανσης (Convention on Intervention on the High Seas in Cases of Oil Pollution Casualties), η οποία δίνει στα κράτη το δικαίωμα να παρεμβαίνουν σε ατυχήματα στην ανοικτή θάλασσα που ενδέχεται να οδηγήσουν σε πετρελαϊκή ρύπανση , και η σύμβαση για την αστική ευθύνη για ζημιές που οφείλονται στη ρύπανση από πετρέλαιο (Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage), η οποία αποσκοπεί να εξασφαλίσει την ύπαρξη επαρκούς αποζημίωσης για τα θύματα και η οποία φέρνει την ευθύνη για τη ζημία στον πλοιοκτήτη. Δύο χρόνια αργότερα, μια διάσκεψη που συγκλήθηκε από τον ΙΜΟ οδήγησε στην έγκριση της Σύμβασης για τη σύσταση Διεθνούς Ταμείου Αποζημίωσης για Ζημιές από Ρύπανση από Πετρέλαιο. Το ταμείο, με έδρα το Λονδίνο, αποτελείται από συνεισφορές των εισαγωγέων πετρελαίου. Εάν ένα ατύχημα στη θάλασσα προκαλέσει ζημία ρύπανσης που υπερβαίνει την αποζημίωση που προβλέπεται από τη Σύμβαση για την αστική ευθύνη, το ταμείο είναι διαθέσιμο για να καταβάλει ένα επιπλέον ποσό.

Αυτές οι τρεις συμβάσεις αφορούν όλες τις νομικές πτυχές της θαλάσσιας ρύπανσης, αλλά τα συνεχιζόμενα ατυχήματα στη μεταφορά πετρελαίου έδειξε ότι πρέπει να καταβληθούν περισσότερες προσπάθειες και από την τεχνική πλευρά. Το πρόβλημα της ρύπανσης από πετρέλαιο - όχι μόνο ως αποτέλεσμα των ατυχημάτων, αλλά και μέσω των συνήθων επιχειρήσεων δεξαμενόπλοιων, ιδίως του καθαρισμού των δεξαμενών φορτίου - ήταν τόσο μεγάλο σε ορισμένους τομείς, που υπήρχαν σοβαρές ανησυχίες για το θαλάσσιο περιβάλλον. [3]

## Κεφάλαιο 1

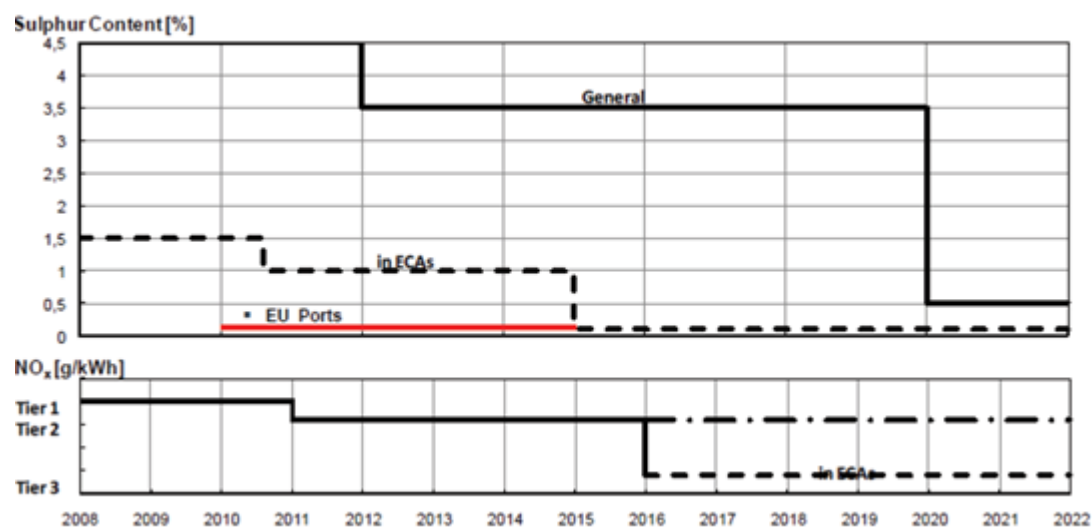
### Οι νέες διατάξεις του IMO

Αν και η ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία δεν έχει τις άμεσες περιβαλλοντικές συνέπειες, που συνδέονται με ένα περιστατικό πετρελαιοκηλίδας για παράδειγμα, έχει όμως συσσωρευτικό αποτέλεσμα το οποίο συμβάλλει στα συνολικά προβλήματα ρύπανσης του αέρα που αντιμετωπίζουν οι πληθυσμοί σε πολλές περιοχές και επηρεάζει επίσης το φυσικό περιβάλλον, καθώς είναι η αιτία για φαινόμενα όπως η σκληρή όξινη βροχή. Ο IMO εργάζεται για τη μείωση των επιβλαβών επιπτώσεων της ναυτιλίας στο περιβάλλον από τη δεκαετία του 1960. Το παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (σύμβαση MARPOL) αναφέρεται ακριβώς στα παραπάνω και εγκρίθηκε το 1997 για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία. Οι κανονισμοί για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία (Παράρτημα VI) επιδιώκουν τον έλεγχο των ατμοσφαιρικών εκπομπών από πλοία (οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>), οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος (ODS), πτητικές οργανικές ενώσεις και αποτέφρωση). Επίσης, έχουν ως στόχο την μείωση της συμβολής των ναυτλιακών ρύπων στην τοπική και παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση, στα θέματα ανθρώπινης υγείας και στα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Το παράρτημα VI τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005 και ένα αναθεωρημένο παράρτημα VI με σημαντικά ενισχυμένες απαιτήσεις εγκρίθηκε τον Οκτώβριο του 2008 και τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2010. Οι κανονισμοί για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου εισήγαγαν ένα συνολικό όριο περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων των πλοίων, με αυστηρότερους περιορισμούς στις καθορισμένες περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών (Emission Control Areas – ECAs). Το σημερινό παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας σε θείο για τα ναυτλιακά καύσιμα είναι 3,50% m / m. Το νέο παγκόσμιο όριο θα είναι 0,50% m / m θα τεθεί σε ισχύ από και μετά την 1η Ιανουαρίου 2020.

Η ημερομηνία της 1ης Ιανουαρίου 2020 καθορίστηκε στους κανονισμούς που εγκρίθηκαν το 2008.

Πηγή :: Sulphur emissions –IMO



Διάγραμμα 1. Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής του αναθεωρημένου παραρτήματος VI της MARPOL

Ωστόσο, μια διάταξη εγκρίθηκε, απαιτώντας από τον IMO να επανεξετάσει τη διαθεσιμότητα ναυτιλιακού καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, για να βοηθήσουν τα κράτη μέλη να καθορίσουν εάν το νέο χαμηλότερο παγκόσμιο όριο για τις εκπομπές θείου από τη διεθνή ναυτιλία, θα αρχίσει να ισχύει από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2020 ή θα αναβληθεί μέχρι την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2025.

Τελικά, η επιτροπή προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του IMO (MEPC 70), τον Οκτώβριο του 2016, αποφάσισε ότι το όριο του 0,50% θα εφαρμοστεί από την 1η Ιανουαρίου 2020.

Σύμφωνα με το νέο όριο για το θείο, τα πλοία θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο ίση με 0,50% m/ m, έναντι του σημερινού ορίου του 3,50%, το οποίο ισχύει από την 1η Ιανουαρίου 2012. Η ερμηνεία του "ναυτιλιακού καυσίμου" περιλαμβάνει τη χρήση σε κύριους και βοηθητικούς κινητήρες και λέβητες. Εξαιρέσεις προβλέπονται για περιπτώσεις που αφορούν την ασφάλεια του πλοίου ή τη διάσωση ζωής στη θάλασσα, ή εάν ένα πλοίο ή ο εξοπλισμός του έχουν υποστεί βλάβη. Μια άλλη εξαίρεση, θα επιτρέπεται σε περίπτωση διεξαγωγής δοκιμών για την ανάπτυξη τεχνολογιών για την μείωση και τον έλεγχο εκπομπών των πλοίων ή και αντίστοιχες δοκιμές για προγράμματα σχεδιασμού κινητήρων. Τέτοιες δοκιμές, βέβαια, θα πραγματοποιούνται έπειτα από ειδική άδεια από τις εκάστοτε αρμόδιες αρχές, οι οποίες λειτουργούν υπο το νομικό πλαίσιο της εθνικότητας του πλοίου.

Για την εφαρμογή των παραπάνω ρυθμίσεων έχουν ληφθεί τα εξής μέτρα:

Τα πλοία που χρησιμοποιούν πετρέλαιο εσωτερικής καύσης για χρήση επί του σκάφους πρέπει να έχουν ένα δελτίο παράδοσης καυσίμων, στο οποίο θα αναγράφεται την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου που παραδόθηκε. Παράλληλα, θα υπάρχει και η δυνατότητα να ληφθούν δείγματα για επαλήθευση του ορίου περιεκτικότητας σε θείο.



Τα πλοία πρέπει να διαθέτουν διεθνές πιστοποιητικό πρόληψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (International Air Pollution Prevention-IAPP) από τις αρμόδιες αρχές της σημαίας τους. Σε αυτό το πιστοποιητικό θα δηλώνεται ότι το πλοίο χρησιμοποιεί πετρέλαιο με θείο σε περιεκτικότητα που δεν υπερβαίνει την ισχύουσα οριακή τιμή όπως τεκμηριώνεται από το δελτίο παράδοσης του καυσίμου ή ότι χρησιμοποιεί κάποια εγκεκριμένη ισοδύναμη ρύθμιση.

Τέλος, οι αρμόδιες αρχές θα μπορούν με επιθεωρήσεις (Port State Control) να επιβεβαιώσουν ότι το πλοίο συμμορφώνεται με τους κανονισμούς.

### 1.1 Ρυθμίσεις για οξειδία θείου (SOx) και οξειδία αζώτου (NOx)

Ο περιορισμός των εκπομπών των οξειδίων του θείου είναι απαραίτητος. Τα οξειδία του θείου (SOx) είναι γνωστό ότι είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία, προκαλώντας αναπνευστικά συμπτώματα και ασθένειες των πνευμόνων. Στην ατμόσφαιρα, τα SOx μπορούν να προκαλέσουν όξινη βρογχίτιδα, η οποία μπορεί να βλάψει τις καλλιέργειες, τα δάση και τα υδρόβια είδη και συμβάλλει στην οξίνιση των ωκεανών.

Με απλά λόγια, ο περιορισμός των εκπομπών οξειδίων του θείου από τα πλοία μειώνει την ατμοσφαιρική ρύπανση και οδηγεί σε καθαρότερο περιβάλλον. Η μείωση του SOx μειώνει επίσης τα μικροσκοπικά επιβλαβή σωματίδια που σχηματίζονται όταν καίγεται το καύσιμο.

Μια μελέτη σχετικά με τις επιπτώσεις των εκπομπών SOx από την ανθρώπινη υγεία που υπέβαλε η Φινλανδία στην επιτροπή προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του IMO (MEPC) το 2016 εκτιμά ότι αν δεν περιοριστούν οι εκπομπές SOx από τα πλοία από το 2020, οι επιπτώσεις από την ναυτιλιακή ρύπανση θα οδηγούσαν σε 570.000 πρόσθετους πρόωρους θανάτους παγκοσμίως μεταξύ 2020-2025.

Οι περιορισμοί στις εκπομπές SOx και σωματιδίων (Particulate matter-PM) ισχύουν για όλα τα πετρέλαια καύσης, για τον εξοπλισμό καύσης και τις συσκευές επί του σκάφους και ως εκ τούτου περιλαμβάνουν τόσο τους κύριους όσο και όλους τους βοηθητικούς κινητήρες μαζί με αντικείμενα όπως λέβητες και γεννήτριες αδρανούς αερίου. Αυτές οι προδιαγραφές χωρίζονται μεταξύ εκείνων που ισχύουν εντός των ECAs (Emission Control Areas) που έχουν τεθεί για τον περιορισμό των εκπομπών SOx και σωματιδίων και εκείνων που ισχύουν εκτός αυτών των περιοχών και επιτυγχάνονται κατά κύριο λόγο με τον περιορισμό της μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο. Αυτά τα όρια περιεκτικότητας σε θείο των ναυτιλιακών πετρελαιοειδών καυσίμων έχουν υποστεί σειρά κλιμακωτών αλλαγών κατά τη διάρκεια των ετών. [4]

Πηγή :: IMO ,The 2020 global sulphur limit

Outside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015

Ορια περιεκτικότητας θείου εντός και εκτός των περιοχών ελεγχόμενων εκπομπών (ECA)

Οι καθιερωμένες ECA είναι:

- Περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας - όπως ορίζεται στο παράρτημα I της σύμβασης MARPOL (μόνο SO<sub>x</sub>) ·
- Περιοχή της Βόρειας Θάλασσας - όπως ορίζεται στο παράρτημα V της MARPOL (μόνο SO<sub>x</sub>) ·
- Περιοχή της Βόρειας Αμερικής (τέθηκε σε ισχύ την 1η Αυγούστου 2012) - όπως ορίζεται στο προσάρτημα VII του παραρτήματος VI της MARPOL (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM) ·
- Περιοχή Ηνωμένων Πολιτειών της Καραϊβικής (τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2014) - όπως ορίζεται στο προσάρτημα VII του παραρτήματος VI της MARPOL (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM).

Τα περισσότερα πλοία που επιχειρούν τόσο εκτός όσο και εντός αυτών των ECA θα λειτουργούν ως εκ τούτου με διαφορετικά καύσιμα για να συμμορφωθούν με τα αντίστοιχα όρια. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πριν από την είσοδο στην ECA, απαιτείται να έχει πραγματοποιηθεί η αλλαγή στη χρήση του καυσίμου που συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις για την ECA, και να υπάρχουν στο πλοίο διαθέσιμες οδηγίες για την αποπεράτωση αυτής της διαδικασίας. Ομοίως, η μετάβαση στη χρήση καυσίμου, το οποίο δεν πληροί τις απαιτήσεις της εκάστοτε ECA δεν πρέπει να γίνει πριν από την έξοδο του σκάφους από αυτή. Σε κάθε αλλαγή απαιτείται η καταγραφή των ποσοτήτων των καυσίμων που συμμορφώνονται με τους κανονισμούς για την ECA, μαζί με την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, είτε όταν το πλοίο εισέρχεται σε ECA είτε όταν αρχίζει η αλλαγή του καυσίμου μετά την έξοδο του πλοίου από αυτές τις περιοχές. Τα αρχεία αυτά πρέπει να καταγράφονται σε ημερολόγιο πλοίου, όπως προβλέπεται από την νομοθεσία της εθνικότητας του πλοίου. Ελλείψει συγκεκριμένης απαίτησης από την άποψη αυτή, η καταγραφή δύναται να γίνει στα βιβλία καταγραφής πετρελαίου, όπως αυτά ορίζονται από το παράρτημα I της MARPOL .[1]

Το πρώτο επίπεδο ελέγχου αφορά την πραγματική περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται . Η τιμή αυτή πρέπει να αναφέρεται από τον προμηθευτή πετρελαίου καυσίμου στο δελτίο παράδοσης καυσίμων και μαζί με άλλους παράγοντες, συνδέεται άμεσα με τις απαιτήσεις ποιότητας του καυσίμου. Ακολούθως, εναπόκειται στο πλήρωμα του πλοίου , όσον αφορά τα καύσιμα που συμμορφώνονται με τις ρυθμίσεις για τις ECA, να εξασφαλίσει ότι τα εν λόγω καύσιμα δεν θα αναμειγνούνται με άλλα καύσιμα υψηλότερης περιεκτικότητας σε θείο κατά τη διάρκεια των διαδικασιών της φόρτωσης σε δεξαμενές αποθήκευσης, καθίζησης ή υπηρεσίας ή κατά τη διάρκεια εργασιών μετάβασης από την χρήση ενός καυσίμου σε άλλο , έτσι ώστε το καύσιμο που χρησιμοποιείται εντός μιας ECA να μην υπερβαίνει το ισχύον όριο. [2]

Οι απαιτήσεις ελέγχου του NOx του παραρτήματος VI ισχύουν για εγκατεστημένο πετρελαιοκινητήρα θαλάσσης με ισχύ εξόδου άνω των 130 kW, εκτός από εκείνους που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για σκοπούς έκτακτης ανάγκης, ανεξαρτήτως της χωρητικότητας του πλοίου στο οποίο είναι εγκατεστημένοι αυτοί οι κινητήρες. Διαφορετικές βαθμίδες (Tiers) ελέγχου ισχύουν με βάση την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου και σε κάθε συγκεκριμένη βαθμίδα προσδιορίζεται η πραγματική οριακή τιμή από την ονομαστική ταχύτητα στροφών του κινητήρα:

Πηγή:: Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

Πίνακας 2. Όρια κύκλου εκπομπών για οξείδια αζώτου σε κάθε βαθμίδα.

Οι έλεγχοι βαθμίδας III ισχύουν μόνο για τα πλοία, τα οποία λειτουργούν σε περιοχές ECA και έχουν τεθεί σε ισχύ για να περιορίσουν τις εκπομπές NOx, εκτός αυτών των περιοχών ισχύουν οι έλεγχοι της κατηγορίας II. Ένας θαλάσσιος πετρελαιοκινητήρας εγκατεστημένος σε πλοίο που κατασκευάστηκε στις ακόλουθες ημερομηνίες (και μετά από αυτές) και το οποίο επιχειρεί στις ακόλουθες ECA, πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο Tier III NOx:

1. Την 1η Ιανουαρίου 2016 για πλοία που επιχειρούν στην ECA της Βόρειας Αμερικής και στην ECA της θάλασσας της Καραϊβικής των ΗΠΑ

.2 1 Ιανουαρίου 2021 και λειτουργούν στην ECA της Βαλτικής Θάλασσας ή στην ECA της Βόρειας Θάλασσας.

## 1.2 Αναθεώρηση παραρτήματος VI της MARPOL

Το παράρτημα VI της MARPOL, το οποίο εγκρίθηκε για πρώτη φορά το 1997, περι-ορίζει τους κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους που περιέχονται στα καυσαέρια πλοίων, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του θείου (SOx) και των οξειδίων του αζώτου (NOx) και απαγορεύει σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Το παράρτημα VI της MARPOL ρυθμίζει επίσης την αποτέφρωση επί των πλοίων και τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) από δεξαμενόπλοια.

Μετά την έναρξη ισχύος του Παραρτήματος VI της MARPOL στις 19 Μαΐου 2005, η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee -MEPC), κατά την 53η σύνοδό της (Ιούλιος 2005), συμφώνησε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI της MARPOL με στόχο την σημαντική ενίσχυση των ορίων εκπομπών, βελτιώσεις και εμπειρία εφαρμογής. Μετά από τριετή εξέταση, το MEPC 58 (Οκτώβριος 2008) ενέκρινε το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL και τον σχετικό τεχνικό κώδικα για τα οξείδια αζώτου (NOx Technical Code) 2008, ο οποίος τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2010.

Οι κύριες αλλαγές στο παράρτημα VI της MARPOL είναι η σταδιακή μείωση σε παγκόσμιο επίπεδο των εκπομπών SOx, NOx και σωματιδίων και η καθιέρωση περιοχών ελεγχόμενων εκπομπών (ECA) για τη μείωση των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων περαιτέρω σε καθορισμένες θαλάσσιες περιοχές.

Βάσει του αναθεωρημένου παραρτήματος VI της MARPOL, το παγκόσμιο όριο θείου θα μειωθεί από το σημερινό 3,50% σε 0,50%, με ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2020.

Το MEPC 70 (Οκτώβριος 2016) εξέτασε τη διαθεσιμότητα του πετρελαίου εσωτερικής καύσης για να ενημερώσει την απόφαση που πρέπει να λάβει τα συμβαλλόμενα μέρη στο παράρτημα VI της MARPOL και αποφάσισε ότι το πρότυπο πετρελαίου μαζούτ (όριο θείου 0,50%) θα αρχίσει να ισχύει την 1η Ιανουαρίου 2020.

Τα όρια που εφαρμόζονται για περιοχές ECA για τα SOx και τα σωματίδια μειώθηκαν στο 0,10% w/w από την 1η Ιανουαρίου 2015.

Οι προοδευτικές μειώσεις των εκπομπών NOx από τους θαλάσσιους πετρελαιοκινητήρες που τοποθετούνται σε πλοία περιλαμβάνονται επίσης στο παράρτημα VI. Τα όρια στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίζονται βάσει βαθμίδων (Tier). Το όριο εκπομπών "Tier II" αντιστοιχεί σε κινητήρες εγκατεστημένους σε πλοίο που κατασκευάστηκε την 1η Ιανουαρίου 2011 ή αργότερα. και το αυστηρότερο όριο εκπομπών "Tier III" για κινητήρες εγκατεστημένους σε πλοίο που κατασκευάστηκε την 1η Ιανουαρίου 2016 ή μεταγενέστερα και λειτουργεί σε ECA (Βορειοαμερικανική Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών και Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών Θάλασσας της Καραϊβικής). Οι πετρελαιοκινητήρες θαλάσσης που είναι εγκατεστημένοι σε πλοίο που κατασκευάστηκε την 1η Ιανουαρίου 1990 ή μεταγενέστερα, αλλά πριν από την 1η Ιανουαρίου 2000,

πρέπει να συμμορφώνονται με τα όρια εκπομπών "Tier I", εάν έχουν εγκριθεί οι συγκεκριμένοι κινητήρες από κάποια αρμόδια αρχή.

Ο αναθεωρημένος τεχνικός κώδικας NOx 2008 περιλαμβάνει ένα νέο κεφάλαιο που βασίζεται στη συμφωνηθείσα προσέγγιση για τη ρύθμιση των εγκατεστημένων (πριν από το 2000) κινητήρων που θεσπίστηκαν στο παράρτημα VI της MARPOL, διατάξεις για μέθοδο άμεσης μέτρησης και παρακολούθησης, διαδικασία πιστοποίησης για τους υπάρχοντες κινητήρες και κύκλους δοκιμών να εφαρμοστούν στους κινητήρες της κατηγορίας Tier II και Tier III.

Το MEPC 66 (Απρίλιος 2014) ενέκρινε τροποποιήσεις του κανονισμού 13 του παραρτήματος VI της MARPOL σχετικά με την ημερομηνία έναρξης ισχύος των προτύπων NOx Tier III. Οι τροποποιήσεις προβλέπουν την εφαρμογή των προτύπων Tier III NOx σε θαλάσσιο ντίζελ που τοποθετείται σε πλοίο που κατασκευάστηκε την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2016 και η οποία λειτουργεί στη ζώνη ελέγχου των εκπομπών της Βόρειας Αμερικής ή στην περιοχή ελέγχου των εκπομπών στην Καραϊβική, για τον έλεγχο των εκπομπών NOx.

Τα αναθεωρημένα μέτρα αναμένεται να έχουν σημαντικό ευεργετικό αντίκτυπο στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία, ιδίως για εκείνους που ζουν σε λιμενικές πόλεις και παράκτιες κοινότητες.[1]

## Κεφάλαιο 2

### Τα δεδομένα για τα συμβατικά καύσιμα

Ο γενικός όρος Heavy Fuel Oil (HFO) περιγράφει τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κίνησης και / ή καυσίμων για τη δημιουργία θερμότητας, τα οποία έχουν ιδιαίτερα υψηλό ιξώδες και πυκνότητα. Τα καύσιμα που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία Στη σύμβαση της MARPOL του 1973, το βαρύ μαζούτ ορίζεται από πυκνότητα μεγαλύτερη από  $900 \text{ kg} / \text{m}^3$  στους  $15^\circ \text{C}$  ή από κινηματικό ιξώδες άνω των  $180 \text{ mm}^2 / \text{s}$  στους  $50^\circ \text{C}$ . Τα βαρέα πετρέλαια έχουν μεγάλα ποσοστά βαρύτητας μόρια όπως υδρογονάνθρακες μακράς αλυσίδας και αρωματικά με μακροδιακλαδισμένες πλευρικές αλυσίδες.

Το HFO προκύπτει κατά την ατμοσφαιρική απόσταξη του αργού πετρελαίου ως υπόλειμμα (για αυτό αναφέρεται και ως RO-Residual Oil). Η ποιότητα των υπολειπόμενων καυσίμων εξαρτάται από την ποιότητα του αργού πετρελαίου που χρησιμοποιείται στο διωλιστήριο. Το HFO είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο καύσιμο πλοίων αυτή την περίοδο. Σχεδόν όλες οι θαλάσσιες μηχανές ντίζελ με μεσαία και χαμηλή ταχύτητα είναι σχεδιασμένες για HFO.

Το διεθνές πρότυπο ISO 8217 διαχωρίζει τα καύσιμα πλοίων σε καύσιμα διύλησης και οσα παραλαμβάνονται ως υπολειμματικά. Το ISO 8217 ορίζει ότι τα καύσιμα της δεύτερης κατηγορίας, και επομένως όλα όσα υπάγονται στην κατηγορία του HFO, δεν επιτρέπεται να περιέχουν παλαιά έλαια ή λιπαντικά. Ένας βασικός παράγοντας διαφοροποίησης των καυσίμων HFO είναι η περιεκτικότητα τους σε θείο. Οι κύριες κλάσεις, όσον αφορά την περιεκτικότητα σε θείο είναι οι ακόλουθες.

Πηγή :: .Marquard-Bahls, HFO

Marine fuel	Max. sulfur content
High sulfur fuel oil (HSFO)	3.5%
Low sulfur fuel oil (LSFO)	1.0%
Ultra low sulfur fuel oil (ULSFO)	0.1%

Πίνακας 3 . Μέγιστες τιμές περιεκτικότητας σε θείο για συγκεκριμένους τύπους καυσίμων.

### 2.1 Αργό πετρέλαιο

Το αργό πετρέλαιο, από την επεξεργασία του οποίου προκύπτει το HFO, είναι ένα μείγμα πολλών διαφορετικών υδρογονανθράκων και μικρών ποσοτήτων ακαθαρσιών. Η σύνθεση του αργού πετρελαίου μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την πηγή του. Τα ακατέργαστα έλαια από την ίδια γεωγραφική περιοχή μπορεί να είναι πολύ διαφορετικά λόγω της προέλευσης από διαφορετικά στρώματα κατά την στρωματοποίηση (στάδιο σχηματισμού) του πετρελαίου. Οι διαφορετικές ταξινομήσεις του αργού πετρελαίου γίνονται ως προς τους τρεις παρακάτω παράγοντες :

1. Υδρογονάνθρακες:
  - Παραφινικοί υδρογονάνθρακες
  - Ναφθενικοί υδρογονάνθρακες
  - Αρωματικοί υδρογονάνθρακες

Κάθε κοίτασμα αργού πετρέλαιο περιέχει τους τρεις διαφορετικούς τύπους υδρογονανθράκων, αλλά το σχετικό ποσοστό μπορεί να ποικίλει ευρέως.

Παραδείγματος χάριν, υπάρχει παραφινικό ακατέργαστο προϊόν στη Σαουδική Αραβία, το ναφθενικό αργό σε ορισμένους σχηματισμούς της Νιγηρίας και το αρωματικό ακατέργαστο στη Βενεζουέλα.

2. Βαρύτητα Αμερικανικού Ινστιτούτου Πετρελαίου (API): Όσο χαμηλότερη είναι η πυκνότητα του αργού πετρελαίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η βαρύτητα του API. Μια υψηλότερη βαρύτητα API σημαίνει ότι το αργό περιέχει πιο πολύτιμα κλάσματα χαμηλότερης τιμής βρασμού.

### 3. Περιεκτικότητα σε θείο:

Η συνεχώς αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον και ο αντίκτυπος στον υπολογισμό του κόστους διύλισης αποτελούν τη βάση αυτής της ταξινόμησης.

- Γλυκό αργό (χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο)
- Ξηρό ακατέργαστο (υψηλής περιεκτικότητας σε θείο)

## 2.2 Σύγκριση εκπομπών μεταξύ HFO, MDO και MGO

Τα σημερινά δεδομένα για το HFO το οποίο χρησιμοποιείται στην ναυτιλία κατά κύριο λόγο σήμερα, με μέγιστο όριο στην περιεκτικότητα του θείου 3,3% m/m, δεν είναι ευνοϊκά καθώς το καύσιμο δεν θα ανταποκρίνεται στα νέα όρια για το θείο (0,5 m/m), τα οποία θα τεθούν σε ισχύ το 2020.

Είναι απαραίτητος ο περαιτέρω καθαρισμός του HFO και η ανάμειξη του με Gasoil, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος για την περιεκτικότητα σε θείο. Όμως αυτή η διαδικασία, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του καυσίμου.

Το HFO με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο δεν είναι ακόμα ευρέως διαθέσιμο. Υπάρχουν όμως και άλλες εναλλακτικές λύσεις για καύσιμα χαμηλά σε θείο όπως το MDO ( ντίζελ θαλάσσης -Marine Diesel Oil) και το MGO( Marine Gas Oil), των οποίων οι μέγιστες περιεκτικότητες σε θείο είναι 1 %m/m και 0,1% m/m αντιστοίχως. Η τιμή για τα καύσιμα, τα οποία θα πληρούν τις νέες προδιαγραφές για το θείο, εξακολουθεί να είναι ανοιχτή. Το MDO που χρησιμοποιείται σήμερα, δύναται να εξευγενιστεί περισσότερο, και σε συνδυασμό με την αυξημένη χρήση Gasoil, να φτάσει σε να πληροί τα όρια του 0,5%. Ως εκ τούτου, η τιμή του MDO σήμερα, ίσως είναι ο καλύτερος δείκτης για την πρόβλεψη των τιμών των καυσίμων το 2020. [6]



Η κατανόηση των εκπομπών από τη μεταφορά απαιτεί μια συνολική ανάλυση κύκλου καυσίμων (TFCA-Total Fuel Cycle Analysis). Η TFCA περιλαμβάνει την εξέταση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών από την εξόρυξη του καυσίμου (π.χ. πετρέλαιο από το έδαφος), στην επεξεργασία του καυσίμου (π.χ. εξευγενισμός) μέχρι και την χρήση αυτού του καυσίμου στο ίδιο το πλοίο. Κάθε φάση του κύκλου του καυσίμου περιλαμβάνει δραστηριότητες, οι οποίες παράγουν αέρια του θερμοκηπίου καθώς και άλλους ρύπους. Τα στάδια ταξινομούνται με τον εξής τρόπο: Ως «πρώτες ύλες» (από την εξόρυξη πρώτων υλών έως την παράδοση στο εργοστάσιο), την «επεξεργασία καυσίμων» (από την παράδοση μέχρι την παραλαβή στο πλοίο) και τη «λειτουργία» (χρήση στο ίδιο το σκάφος). Οι εκπομπές κατά τα στάδια αυτά συνήθως οφείλονται σε καύση κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου σταδίου, αν και παρατηρούνται και ορισμένες εκπομπές που δεν προέρχονται από καύση (π.χ., εκπομπές φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα από διαρροή σε σωλήνα ή εξατμίσεις καυσίμων κατά την διάρκεια του ανεφοδιασμού). Ο στόχος μιας ανάλυσης TFCA είναι η καταγραφή κάθε εκπομπής σε ολόκληρο τον κύκλο του καυσίμου.

Στην μελέτη σύγκρισης «Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake» για τις εκπομπές των κύκλων HFO (ή RO-Residue Oil) και MGO-MDO, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

Η διαδρομή ενός μεταφορικού πλοίου χωρητικότητας 6000 TEU (twenty-foot equivalent unit) είναι από το Los Angeles έως το Hong Kong, Το πλοίο έχει μια κύρια μηχανή, η οποία λειτουργεί με ισχύ 75000 hp. Το σκάφος λοιπόν λειτουργεί σε μια διαδρομή περίπου 10.600 μιλίων (9234-ναυτικά μίλια), με διάρκεια 480 ώρες (17 ημέρες στη θάλασσα και 3 ημέρες σε λιμάνι).

Για την πρώτη κατηγορία καυσίμων, πάρθηκαν δεδομένα για δύο τύπους πετρελαϊκού ντίζελ (RO).

Πρόκειται για δύο είδη συμβατικού θαλασσιού καυσίμου, το οποίο ονομάζεται IFO (Intermediate Fuel Oil):: Το IFO 380 και IFO 180. Το IFO 380 είναι αντιπροσωπευτικό ενός <<βαρύ>> RO, ενώ το IFO 180 αντιπροσωπεύει ένα <<ελαφρύτερο>> RO. Περίπου το 75% όλων των θαλάσσιων RO που πωλούνται παγκοσμίως είναι "βαριά". Πρέπει να αναφερθεί όμως ότι ορισμένα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιούν στην πραγματικότητα ένα βαρύτερο καύσιμο από το IFO 380 με ακόμη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο. [6]

Για την κατηγορία καυσίμων MGO, η έρευνα βασίστηκε στις μετρήσεις του (DMA), το οποίο αντιπροσωπεύει έναν τύπο MGO. Αυτό το καύσιμο αντιπροσωπεύει περίπου το 63% των πωλήσεων των θαλασσιών καυσίμων απόσταξης παγκοσμίως. Τα δύο τελευταία καύσιμα, είναι τα θαλάσσια καύσιμα απόσταξης DMB και DMC αντιπροσωπεύουν τύπους MDO. Τα DMB και DMC αντιπροσωπεύουν περίπου το 25% και το 12% των πωλήσεων των θαλάσσιων αποσταγμάτων παγκοσμίως, αντίστοιχα.

Στην ανάλυση, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Total Energy and Analysis for Marine Systems (TEAMS). Με το μοντέλο TEAMS υπολογίζονται οι εκπομπές κύκλου καυσίμου για τα πλοία, λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική χρήση ενέργειας, την ενέργεια προερχόμενη από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), την χρήση πετρελαίου, τις εκπομπές ρυπογόνων ουσιών καθώς και των διαφόρων αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Πηγή :: Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake

Fuel Specification	IFO 380	IFO 180	DMA	DMB	DMC
Sulfur (%)	2.6 (0.5-4)	2.4 (0.5-4)	0.35 (0.1-1)	0.55 (0.2-1.5)	0.75 (0.2-1.5)
Energy content (Btu/gal)	145,689 (145,273-146,306)	144,668 (144,021-145,028)	131,649 (131,203-132,090)	132,925 (132,311-133,781)	133,401 (132,162-134,413)
Fuel density (g/gal)	3,805 (3,759-3,836)	3,767 (3,739-3,817)	3,305 (3,236-3,352)	3,348 (3,236-3,410)	3,364 (3,236-3,488)
Refining efficiency (%)	94.2 (81.2-99.8)	94.2 (81.2-99.8)	91.0 (77.1-99.8)	91.0 (77.1-99.8)	91.0 (77.1-99.8)

Πίνακας 4. Ιδιότητες των καυσίμων. Αναγράφονται οι μέσοι όροι και το εύρος στις παρενθέσεις

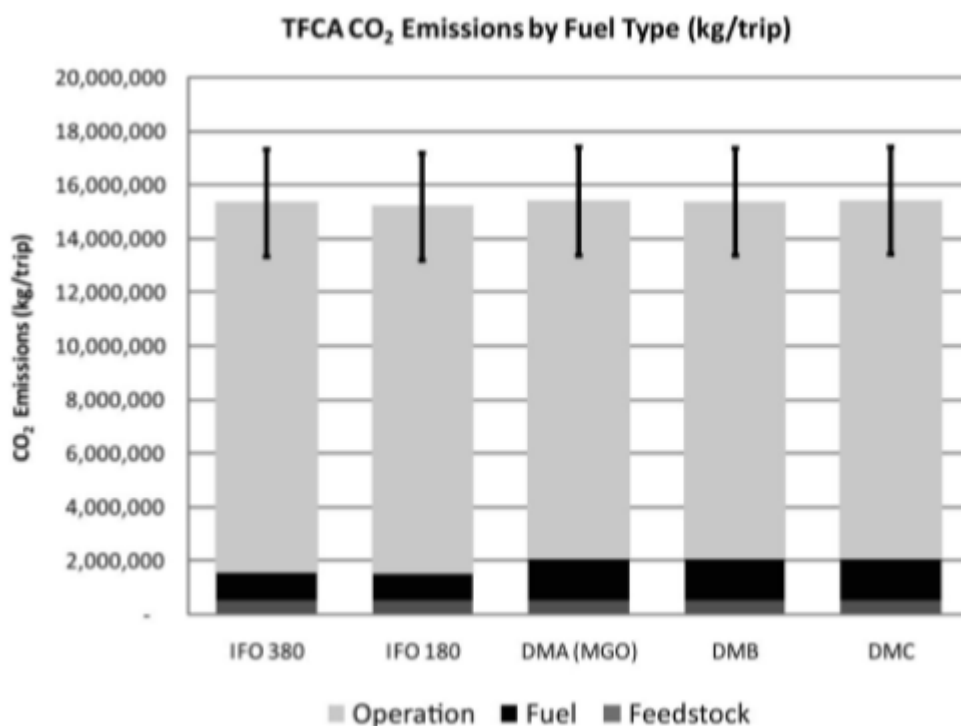
Οι εκπομπές κατανέμονται σε κάθε φάση του κύκλου του καυσίμου. Στο πρώτο στάδιο, το στάδιο τροφοδοσίας ανήκουν οι εκπομπές εξόρυξης, οι οποίες αποτελούν τους αέριους ρύπους από τις διαδικασίες εξόρυξης και παράδοσης για την επεξεργασία του. Στο δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας, μετρούνται οι εκπομπές από τις διεργασίες επεξεργασίας του καυσίμου (π.χ. εξευγενισμός) μέχρι και την παράδοση στο σκάφος. Στο τρίτο στάδιο, το στάδιο της λειτουργίας, λαμβάνεται υπ' όψιν το σύνολο των εκπομπών από την καύση του καυσίμου κατά τη λειτουργία του σκάφους. Χρησιμοποιώντας τις καλύτερες εκτιμήσεις για τις τιμές, τα DMA, DMB και DMC δείχνουν αύξηση του CO<sub>2</sub> μικρότερη από 0,5% σε σύγκριση με το IFO 380, που κυμαίνεται από 0,16 έως 0,47%. Οι αυξήσεις του διοξειδίου του άνθρακα για τα καύσιμα απόσταξης οφείλονται κατά κύριο λόγο στις αυξήσεις που συμβαίνουν στα αρχικά στάδια ή στάδιο ανόδου (τροφοδοσία και επεξεργασία καυσίμου) του κύκλου καυσίμου. Αυτές οι αυξήσεις αντισταθμίζονται εν μέρει από τις μειώσεις των εκπομπών CO<sub>2</sub> και αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του σκάφους. Για τις εκπομπές SO<sub>x</sub>, παρατηρείται σημαντική μείωση, από 75 έως 80% με τη χρήση των καυσίμων απόσταξης MDO, MGO.[6]

Πηγή:: Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake

	Feedstock	Fuel	Operation	Total (best estimate)	Total (minimum)	Total (maximum)	Percent Change from IFO 380
RO (IFO 380)	542	1,018	13,771	15,330	12,369	19,082	-
RO (IFO 180)	542	1,016	13,633	15,191	12,369	19,082	-0.91
MGO (DMA)	542	1,563	13,283	15,387	13,860	18,239	0.37
MDO (DMB)	542	1,563	13,250	15,355	13,660	18,028	0.16
MDO (DMC)	542	1,564	13,296	15,402	13,643	18,010	0.47
RO (weight average)	542	1,017	13,736	15,296	12,369	19,082	-0.22
MGO/MDO (weight average)	542	1,563	13,276	15,381	13,784	18,159	0.33

Πίνακας 5. Συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> ανα κύκλο καυσίμου για κάθε καύσιμο (tn/ταξίδι)

Πηγή :: Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake



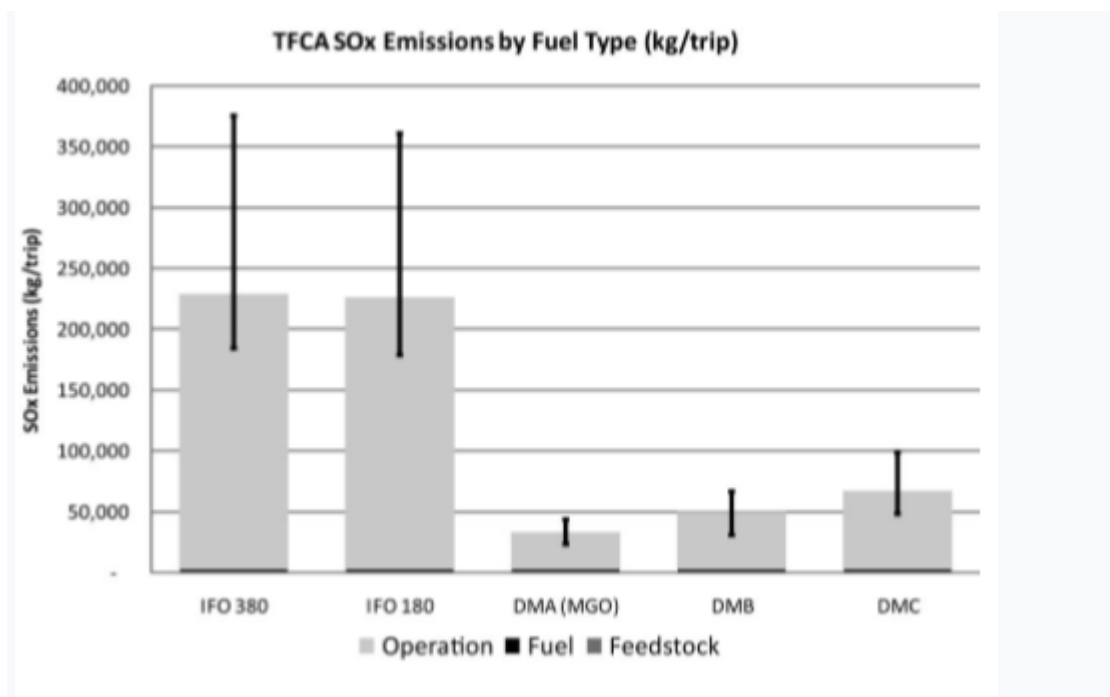
Διάγραμμα 2 . Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά τύπο καυσίμου(kg /ταξίδι)

Πηγή :: Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake

	Feedstock	Fuel	Operation	Total (Best Estimate)	Total (Minimum)	Total (Maximum)	Percent Change from IFO 380
RO (IFO 380)	670	2,020	225,030	227,720	183,930	375,740	-
RO (IFO 180)	670	2,020	222,780	225,470	178,500	360,750	-0.99
MGO (DMA)	670	2,440	29,120	32,230	23,020	43,520	-85.85
MDO (DMB)	670	2,440	45,910	49,020	31,200	67,000	-78.47
MDO (DMC)	670	2,440	62,680	65,790	48,250	98,690	-71.11
RO (weight average)	670	2,020	224,470	227,160	178,500	375,740	-0.25
MGO/MDO (weight average)	670	2,440	37,340	40,460	23,020	98,690	-82.23

Πίνακας 6. Συνολικές εκπομπές SO<sub>x</sub> ανά κύκλο καυσίμου για κάθε καύσιμο (tn/ταξίδι)

Πηγή:: Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake



Διάγραμμα 3. Εκπομπές SO<sub>x</sub> ανά τύπο καυσίμου(kg /ταξίδι)

Τα νέα πρότυπα του ΙΜΟ για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καυσίμων έχουν επαναφέρει στο προσκήνιο την συζήτηση για την μείωση των εκπομπών, όπως ήταν αναμενόμενο. Έχουν υπάρξει ανησυχίες λόγω της πιθανής αύξησης των εκπομπών CO<sub>2</sub> από την παραγωγή και τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, που οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο ναυτιλιακός τομέας θα πρέπει να είναι προσεκτικός όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών θειικών οξέων και των εκπομπών σωματιδίων μέσω της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτές οι ανησυχίες δεν ευσταθούν. Η αυξημένη ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή καθαρών καυσίμων (όπως MGO και MDO) ενδέχεται να αποτελέσει λιγότερο πρόβλημα για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε βάση συνολικού κύκλου καυσίμων σε σχέση με ότι εκτιμάται. Η έρευνα έδειξε ότι οι αυξήσεις των εκπομπών

CO<sub>2</sub> είναι πιθανόν να είναι ελάχιστες (κάτω του 1%) και σε ορισμένες περιπτώσεις τα καύσιμα με χαμηλότερο θείο αντισταθμίζουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα λόγω της αύξησης της αποτελεσματικότητας στα στάδια λειτουργίας του συνολικού κύκλου καυσίμου.

Παράλληλα, τα MGO και MDO καύσιμα αποδίδουν μικρότερες εκπομπές SO<sub>x</sub> κατά 75-85% σε σύγκριση με το RO. Αυτά τα αποτελέσματα σε βάση διαδρομών (per trip basis) παρέχουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εναλλαγή καυσίμων για εμπορικές επιχειρήσεις θαλάσσιων σκαφών, ειδικά για μεγάλους, δίχρονους θαλάσσιους κινητήρες ντίζελ. Η δυναμική αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τον εξευγενισμό των MGO και MDO μπορεί να εξηγηθεί σε συνάρτηση με τις παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα και θείου. Εκτιμάται ότι η μετάβαση όλων των καυσίμων τύπου RO σε καύσιμα που είναι προϊόντα απόσταξης (200-250 εκατομμύρια τόνοι / έτος παγκοσμίως) ,θα μειώσει τις παγκόσμιες εκπομπές θείου από όλες τις ανθρωπογενείς πηγές κατά περίπου 6% και θα αυξήσει το συνολικό ανθρωπογενές CO<sub>2</sub> κατά περίπου 0,01% .

Κατά τη διάρκεια του εξευγενισμού, οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> , από μια πιθανή μετάβαση σε καύσιμα χαμηλού θείου, θα αποτελούσαν το 0,2-0,6% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Όμως, σε βάση συνολικού κύκλου καυσίμου, οι πολύ χαμηλές εκπομπές από τα στάδια λειτουργίας αντισταθμίζουν την υψηλότερη ποσότητα ρύπων από τα αρχικά στάδια.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο για την ενέργεια του τομέα της μεταφοράς , η αλλαγή των καυσίμων, θα οδηγούσε σε αύξηση κατά 0,3-0,5% των εκπομπών θείου του μεταφορικού τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο. Όμως, αν συγκεκριμένες περιοχές ( π.χ. κατοικημένες παραθαλάσσιες περιοχές), πραγματοποιούσαν την μετάβαση σε καύσιμα χαμηλού θείου, οι θετικές επιδράσεις των <<καθαρότερων>> καυσίμων θα μεγιστοποιούνταν.[6]

Οι συνέπειες των εκπομπών του άνθρακα, περιορίζουν τις θετικές επιδράσεις που συνδέονται με τα καύσιμα χαμηλού θείου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αποδοτικότητα του εξευγενισμού καθορίζει το μέγεθος της αλλαγής στο CO<sub>2</sub> , και αν τελικά είναι η συμφέρουσα η αλλαγή καυσίμων (σε συσχετισμό με την πιθανή αύξηση του CO<sub>2</sub> και την μείωση των άλλων ρύπων).

Συνεπώς, η αποδοτικότητα του εξευγενισμού έχει καθοριστικό ρόλο στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Από όλες τις διαδικασίες που μελετήθηκαν, ο εξευγενισμός είναι η πιο σημαντική όσον αφορά την επίδραση της, στις εκπομπές άνθρακα στα αρχικά στάδια του κύκλου καυσίμου των MGO, MDO.

### Κεφάλαιο 3

#### Συστήματα καθαρισμού (Scrubbers)

Ο καθαριστής-(Scrubber), είναι ένα σύστημα ελέγχου και αποτροπής της μόλυνσης του αέρα το οποίο χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει μεγάλο μέρος των σωματιδίων ή και των αερίων που προκαλούν μόλυνση του περιβάλλοντος ή ανθρώπινες ασθένειες, από τα καυσαέρια των εργοστασίων και όχι μόνο. Η απομάκρυνση αυτή γίνεται είτε με φυσικό, είτε με χημικό τρόπο. Παραδοσιακά, ο όρος scrubber αναφέρεται στις συσκευές που χρησιμοποιούν υγρό για να καθαρίσουν ανεπιθύμητα αέρια από τα καυσαέρια των μηχανών. Τα τελευταία χρόνια ο όρος χρησιμοποιείται επίσης και για την περιγραφή συστημάτων που εμβάλλουν στερεό ή μεγάλης πυκνότητας υγρό υλικό το οποίο αντιδρά με τα αέρια αυτά και δεν τους επιτρέπει να διοχετευτούν στην ατμόσφαιρα. Τα scrubbers είναι από τα κυρίαρχα συστήματα αποτροπής της απελευθέρωσης μολυσματικών αερίων, ειδικά όξινων, στο περιβάλλον. Ο κυριότερος λόγος είναι για την απομάκρυνση του διοξειδίου του θείου από τα καυσαέρια. Σε αυτήν την περίπτωση τα scrubbers συχνά καλούνται και συσκευές αποθείωσης καυσαερίων ( Flue Gas Desulfurization- FGD).[1]

#### 3.1 Τύποι Scrubbers

##### Υγρός καθαριστής-(Wet scrubber)

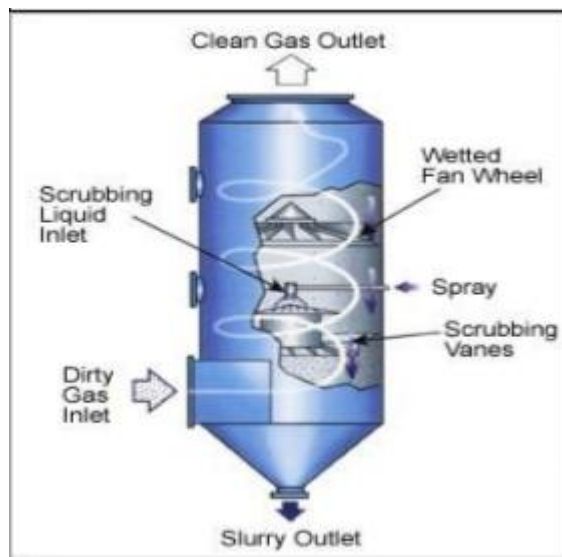
Σε αυτόν τον τύπο scrubber χρησιμοποιείται υγρό το οποίο ψεκάζεται στα καυσαέρια. Το υγρό αυτό έρχεται σε άμεση επαφή με τα καυσαέρια με αποτέλεσμα τα μολυσματικά αέρια και σωματίδια να διαλυθούν ή να διοχετευτούν μέσα σε αυτό. Η διαδικασία υγρής απορρόφησης περιλαμβάνει διοχέτευση φύλλων υγρού, φουσκαλών και σταγόνων. Με αυτό τον τρόπο παράγεται ένα λασποειδές απόβλητο. Τα περισσότερα συστήματα υγρής αποθείωσης χρησιμοποιούν σβησμένη άσβεστο (υδροξείδιο του ασβεστίου) ή αλκαλικά παχύρευστα υγρά που περιέχουν ασβεστόλιθο.

Η αντίδραση των παραπάνω με τα οξείδια του θείου επιφέρει θειικό ασβέστιο και θειώδες ασβέστιο. Το υλικό που εισάγεται είτε χρειάζεται περισσότερη διεργασία, είτε όταν οξειδωθεί, παράγει υποπροϊόν γύψου το οποίο μπορεί να πωληθεί. Τα υγρά scrubbers μπορούν να συμβάλουν σε πολύ ικανοποιητική απομάκρυνση των όξινων αερίων, και διοξειδίου του θείου, καθώς και των λεπτών σωματιδίων και των βαρέων μετάλλων. Ορισμένα πλεονεκτήματα των υγρών scrubbers είναι ότι έχουν μικρές απαιτήσεις χώρου, χαμηλό αρχικό κόστος και μπορούν να επεξεργαστούν καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας, οξύτητας και πυκνότητας.

Το κόστος τους, μειώνεται καθώς αναπτύσσονται συνεχώς, καινοτόμες ιδέες επάνω στο σύστημα των υγρών καθαριστών. Τέλος έχει παρατηρηθεί, πως από τον πιο παλιό μέχρι τον πιο καινούργιο υγρό καθαριστή ότι επιτυγχάνουν 95% μείωση της περιεκτικότητας σε θείο των καυσαερίων, με μερικούς καθαριστές να φτάνουν το 99%. Επίσης έχει διαπιστωθεί πως και για τους υγρούς και για τους ξηρούς ότι έχουν

τη δυνατότητα μείωσης της εκπομπής υδροχλωρικού οξέος κατά 95%, χλωρίου κατά 87-94% και φθορίου κατά 43-97%, καθώς και οι υγροί πετυχαίνουν υψηλή μείωση του αρσενικού, βηρυλλίου, καδμίου, χρωμίου, μολύβδου, μαγνησίου και υδραργύρου.

Πηγή: UStudy.in, 2014



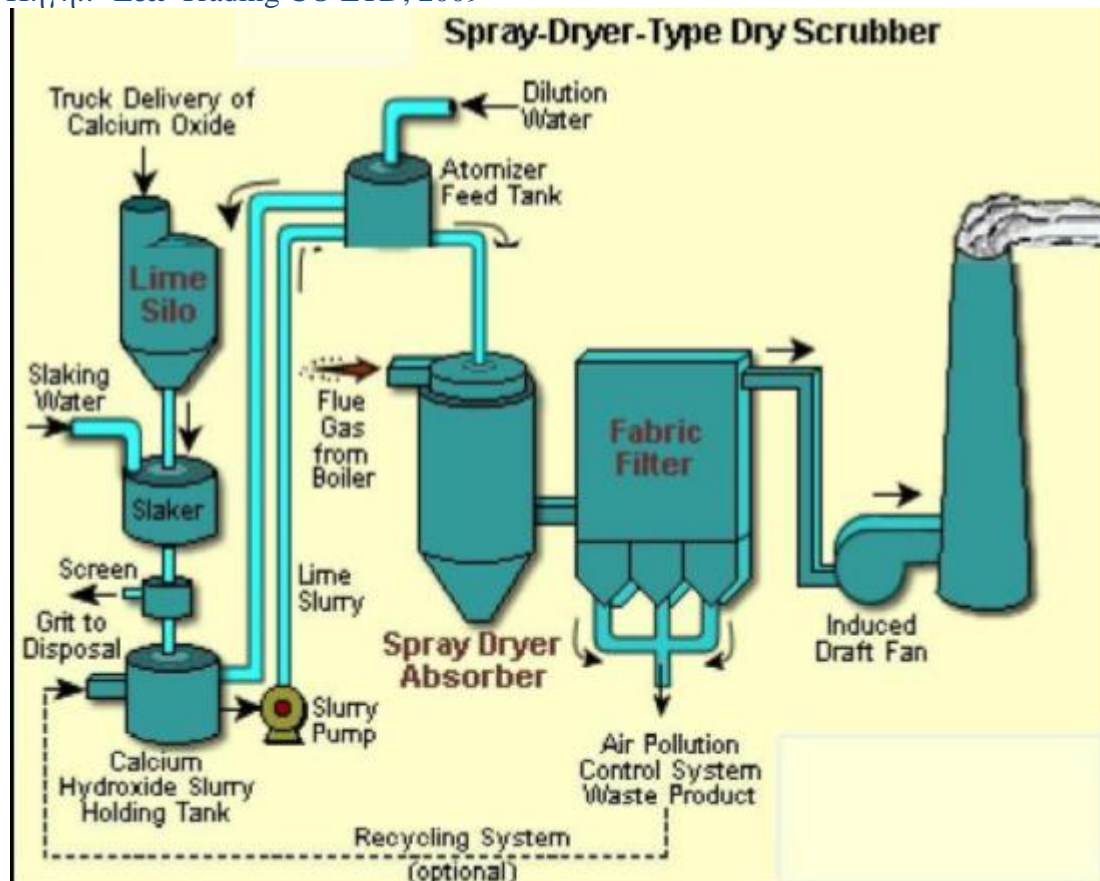
Εικόνα 1. Υγρός καθαριστής

#### Άνυδρος- Ξηρός Καθαριστής (Dry scrubber)

Τα ξηρά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων στηρίζονται στη χρήση ξηρών αντιδρώντων. Η διαδικασία χρησιμοποιεί υδροξείδιο του Ασβεστίου στη μορφή σφαιριδίων. Τα σφαιρίδια φορτώνονται στο πλοίο και αποθηκεύονται σαν φορτίο χύδην. Όταν το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία, τα σφαιρίδια τροφοδοτούνται μέσω μεταφορικού ιμάντα σε ένα ξηρό αντιδραστήρα ή απορροφητή από όπου περνούν τα καυσαέρια. Τα οξείδια του θείου αντιδρούν χημικά με τα σφαιρίδια και παράγουν γύψο ( $\text{CaSO}_4$ ) και νερό. Ο γύψος αφαιρείται από τον πάτο του απορροφητή από ένα μεταφορέα εκκενώσεως και αποθηκεύεται για μεταγενέστερη εκφόρτωση. Το καυσαέριο οδηγείται από τον απορροφητή σε έναν αντιδραστήρα SCR όπου τα οξείδια του Αζώτου απομακρύνονται χημικά με την έγχυση αμμωνίας ή ουρίας. Ένας φουσητήρας μεγάλου όγκου στην έξοδο του αντιδραστήρα SCR διοχετεύει το καυσαέριο στο σύστημα, μειώνοντας την αντίθλιψη στην έξοδο καυσαερίου της μηχανής.



Πηγή: E&J Trading CO LTD, 2009



Εικόνα 2 Σύστημα Ξηρού καθαριστή

### Σύστημα Ανοικτού Κύκλου (Open Loop System)

Ένα σύστημα ανοικτού κύκλου ή ανοικτού βρόγχου, στηρίζεται εξ' ολοκλήρου στη χρήση του θαλασσινού νερού για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Ο όρος «ανοικτός κύκλος» χρησιμοποιείται καθώς το νερό που απορροφάται από τη θάλασσα, εκκενώνεται στο σύνολό του, μετά το πέρασμά του από το σύστημα. Η διαδικασία στηρίζεται στη φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, η οποία διευκολύνει τον καθαρισμό των διοξειδίων του θείου.

Σε αυτή τη διαδικασία, απορροφάται νερό κάτω από την ίσαλο πλεύσης και αντλείται σε ένα scrubber τοποθετημένο στην εισαγωγή της καπνοδόχου του πλοίου. Το scrubber είναι μια παθητική μηχανή η οποία φέρνει το νερό σε άμεση επαφή με το καυσαέριο. Εσωτερικά διαφράγματα διαχωρίζουν το scrubber σε διάφορα στάδια, κάθε ένα από αυτά, προκαλεί διαφορετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του νερού και του καυσαερίου. Θαλασσινό νερό εισάγεται κοντά στην κορυφή μέσω ειδικών ακροφυσίων και ρέει προς τον πυθμένα περνώντας από διάφορα στάδια.

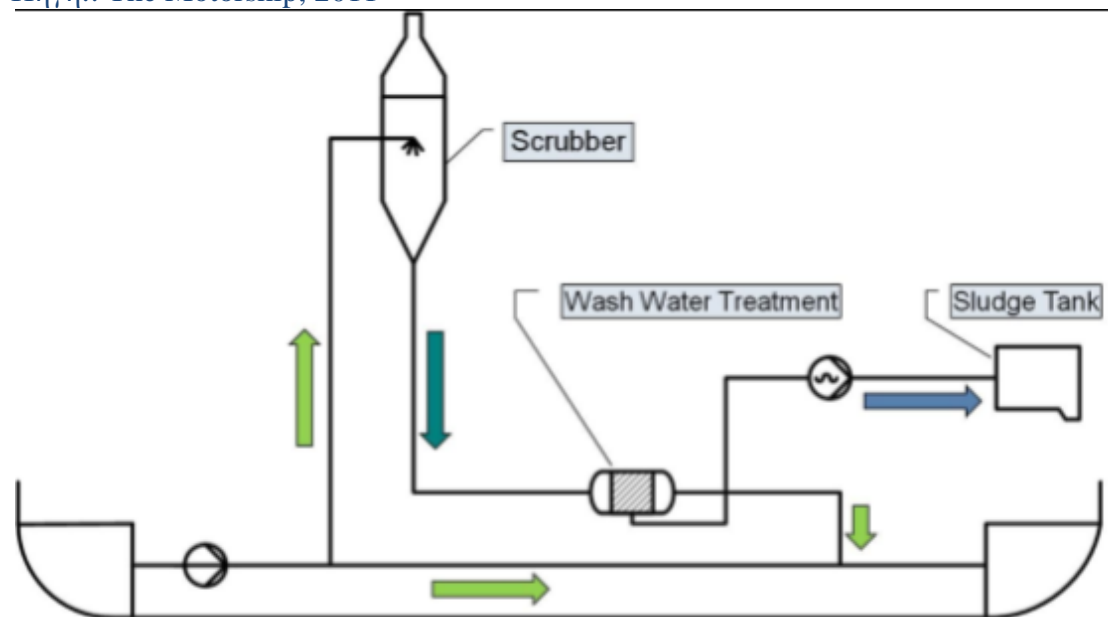
Κατά την έξοδό του από το scrubber, το νερό πρέπει να επεξεργαστεί πριν εκκενωθεί στη θάλασσα. Το νερό είτε αντλείται, είτε στραγγίζεται μέσω βαρύτητας σε ένα κυκλωνικό διαχωριστή, ακόμα μια παθητική συσκευή η οποία στηρίζεται σε

διαφράγματα που επιφέρουν την περιστροφή του νερού. Η περιστροφή αυτή, έχει ως αποτέλεσμα, τον κυκλωνικό διαχωρισμό του νερού από βαριά σωματίδια σε αυτό. Τα σωματίδια αυτά, κυρίως σε μορφή λάσπης από το περιβάλλον νερό, στραγγίζονται και το νερό είναι σε κατάλληλη κατάσταση να συνεχίσει την πορεία του.

Ένα δευτερεύον ρεύμα θαλασσινού νερού, το οποίο έχει παρακάμψει ολόκληρη τη διαδικασία καθαρισμού, αναμιγνύεται σε ίση ποσότητα με το νερό που εξέρχεται του κυκλωνικού διαχωριστή. Η ανάμιξη αραιώνει αποτελεσματικά το νερό, επαναφέροντας το pH σε αποδεκτά επίπεδα ώστε να μπορεί να επιστρέψει στη θάλασσα στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. [7]

Τα συστήματα καθαρισμού του ανοικτού βρόχου χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια από τους παράκτιους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και από τα συστήματα αδρανών αερίων των δεξαμενόπλοιων όταν βρίσκονται σε λιμάνια χωρίς περιβαλλοντικά ζητήματα. Για τα νερά χαμηλής αλκαλικότητας ή όπου υπάρχει μικρή ανταλλαγή νερού, διατίθενται καθαριστές κλειστού βρόχου και υβριδικά συστήματα που μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σε ανοιχτό όσο και σε κλειστό κύκλωμα. Οι συσκευές πλύσης επιτρέπουν τη χρήση καταλοίπων καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, πράγμα που σημαίνει σημαντική μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή καυσίμου απόσταξης με επακόλουθο το αποτέλεσμα της μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Πηγή:: The Motorship, 2011



Εικόνα 3. Σύστημα ανοικτού κύκλου

### Σύστημα Κλειστού Κύκλου (Closed Loop System)

Το σύστημα κλειστού κύκλου χρησιμοποιεί γλυκό νερό το οποίο επεξεργάζεται χημικά ώστε να είναι κατάλληλο για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Ο όρος «κλειστός κύκλος» χρησιμοποιείται καθώς το μεγαλύτερο μέρος του παράγοντα καθαρισμού επανακυκλοφορεί στο σύστημα με μηδαμινή πρόσληψη νερού και αποθήκευση των λυμάτων. Η χημική δοσολογία προστίθεται σε κατάλληλη ποσότητα ώστε να εξουδετερώνονται τα οξείδια του θείου των καυσαερίων.

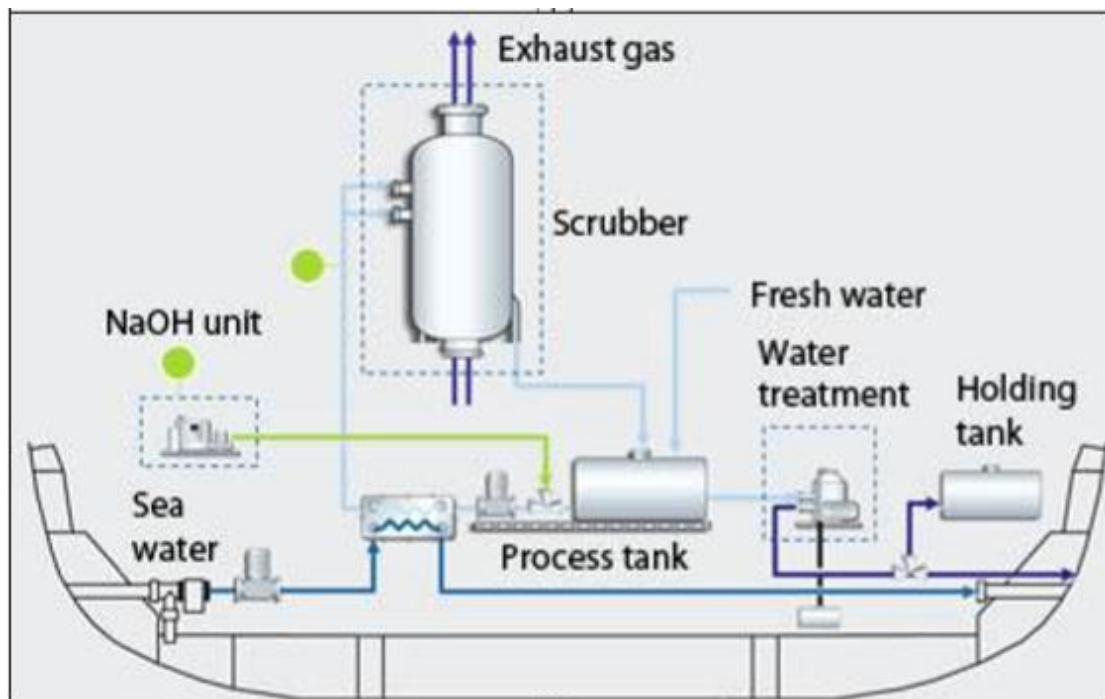
Γλυκό νερό με την προσθήκη διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου, αντλείται από μια δεξαμενή αποθήκευσης στο scrubber. Το σύστημα λειτουργεί με την ίδια τεχνολογία

με το σύστημα ανοικτού κύκλου, θέτοντας το καυσαέριο σε άμεση επαφή με το υγρό. Μετά τον καθαρισμό, το νερό επιστρέφει στη δεξαμενή. Ένας εναλλάκτης θερμότητας είτε θαλασσινού είτε γλυκού νερού, αντλεί θερμότητα από τον κλειστό κύκλο γλυκού νερού, με το θαλασσινό νερό να προμηθεύεται από μία ανεξάρτητη αντλία.

Καθώς η διαδικασία επαναλαμβάνεται, η χημική αντίδραση μεταξύ του υδροξειδίου του Νατρίου και των διοξειδίων του θείου, εξαντλεί τα αποθέματα του NaOH στο διάλυμα. Μια ειδική μονάδα εισάγει το NaOH στο ρυθμό που απαιτείται ώστε να διατηρείται το pH συνεχώς στα κατάλληλα επίπεδα στη μονάδα του scrubber. Για να καθαριστούν τα επιθυμητά προϊόντα της αντίδρασης, μια μικρή ροή νερού στραγγίζεται συνεχώς από τη δεξαμενή επεξεργασίας. Παράλληλα, νερό από τις δεξαμενές γλυκού ή πόσιμου νερού του πλοίου, προστίθεται στη δεξαμενή επεξεργασίας ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να παραμένει σταθερή. Το νερό που στραγγίζεται, οδηγείται σε κατάλληλη μονάδα επεξεργασίας.

Η μονάδα αυτή, είναι ένας μηχανοποιημένος φυγοκεντρικός διαχωριστής, παρόμοιος για τα συστήματα καυσίμων και λιπαντικών. Ο διαχωριστής εξάγει τα βαριά σωματίδια και διαχωρίζει το νερό το οποίο οδηγείται στη θάλασσα σε πολύ μικρές ποσότητες (σε σχέση με τα συστήματα ανοικτού κύκλου) καθώς επίσης μπορεί να οδηγηθεί σε δεξαμενή αποθήκευσης ώστε να αποφευχθεί η αποβολή του σε λιμάνια. [7]

Πηγή:: Maritime Propulsion, 2012



Εικόνα 4. Σύστημα κλειστού κύκλου.

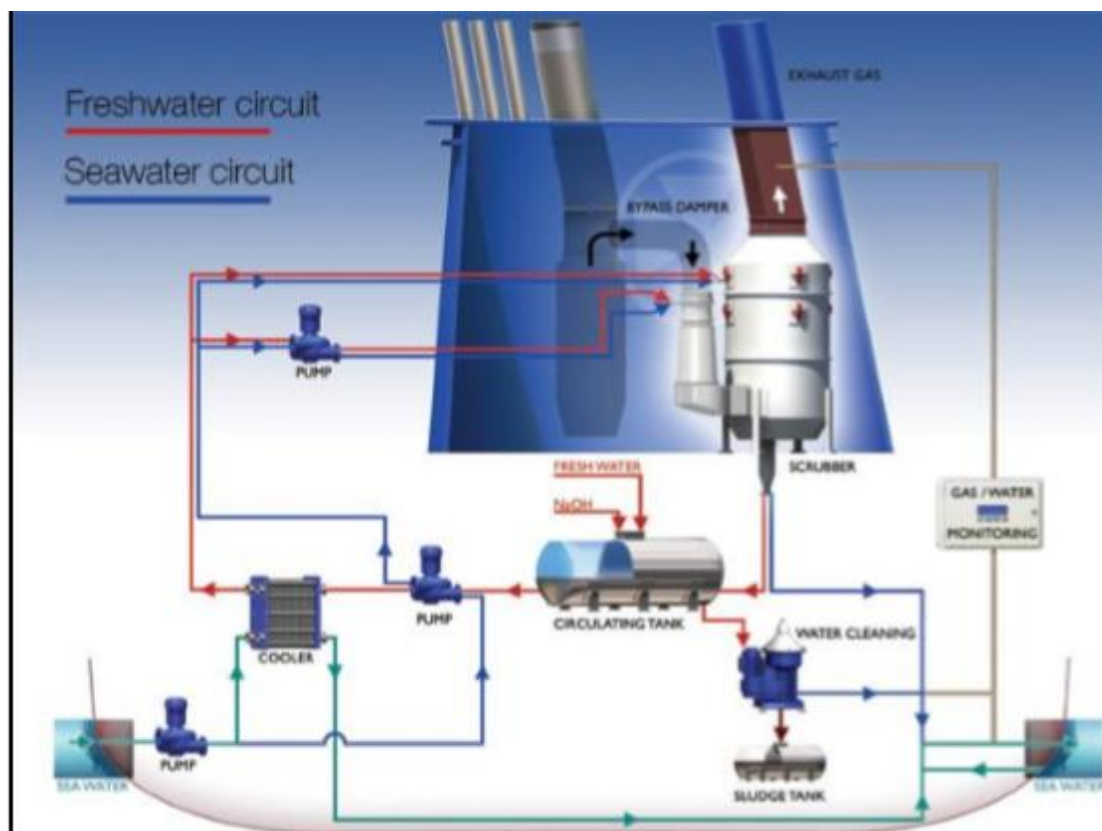
### Υβριδικό Σύστημα-(Hybrid System)

Το υβριδικό σύστημα αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ανοικτού και κλειστού κύκλου. Το σύστημα αυτό μοιάζει με τον κλειστό κύκλο αλλά έχει επιπρόσθετα μέρη που μπορούν να προσαρμόσουν την λειτουργία του και σαν του ανοικτού κύκλου. Το σχέδιο είναι να λειτουργεί σαν ανοικτού κύκλου εν πλω, χωρίς την χρήση απαραίτητων χημικών και σαν κλειστού κύκλου στο λιμάνι, εξ' αιτίας της αποβολής λυμάτων για να τηρείται η συμφωνία με τους διεθνείς κανονισμούς. Τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν όλα τα μέρη των συστημάτων κλειστού κύκλου με βασική διαφορά την ύπαρξη δύο συσκευών επεξεργασίας του νερού. Καθώς τα συστήματα ανοικτού κύκλου απαιτούν 100% του νερού να υπόκειται σε φυγόκεντρο διαχωρισμό, είναι αναγκαία η ύπαρξη δεύτερης τέτοιας εγκατάστασης, η οποία θα είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί η μεγαλύτερη ροή νερού. Για να γίνει η αλλαγή από τη λειτουργία ως κλειστού κύκλου σε ανοικτού, απαιτείται η αλλαγή στη λειτουργία ορισμένων μερών:

Η αντλία που χρησιμοποιείται στο σύστημα κλειστού κύκλου ώστε να προμηθεύεται το νερό που χρησιμοποιεί ο εναλλάκτης θερμότητας για την ψύξη, μετατρέπεται στον προμηθευτή του νερού διάλυσης στο σύστημα ανοικτού κύκλου καθώς σε αυτό το σύστημα ο εναλλάκτης προσπερνάται. Η αντλία που χρησιμοποιείται για να κυκλοφορεί το γλυκό νερό στα συστήματα κλειστού κύκλου, μετατρέπεται στην πηγή θαλασσινού νερού σε αυτό του ανοικτού κύκλου.

Η δυνατότητα εναλλαγής από σύστημα σε σύστημα, απαιτεί την αλλαγή από τον φυγόκεντρικό διαχωριστή μικρού όγκου, σε κυκλωνικό διαχωριστή μεγάλου όγκου. Κατά τα άλλα, η λειτουργία του συστήματος είναι ίδια με αυτή που περιγράφεται στα παραπάνω συστήματα. [7]

Πηγή: Alfa Laval Alborg, 2012



Εικόνα 5. Υβριδικό σύστημα

Οι καθαριστές μειώνουν τις εκπομπές θείου στην ατμόσφαιρα κατά περισσότερο από 90%. Επίσης, οι εκπομπές σωματιδίων (οσον αφορά την μάζα τους όχι τον αριθμό) μειώνονται σημαντικά, κατά 60-90%. Η εκπομπή NOx μειώνεται κατά 10% ή λιγότερο. Λόγω της πρόσθετης ισχύος που απαιτείται για την χρήση των αντλιών και της κατανάλωσης NaOH, οι εκτιμώμενες πρόσθετες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κυμαίνονται μεταξύ 1,5 και 3,5%, (συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης καυστικής σόδας για την δεύτερη τιμή).

Οι συγκεντρώσεις επικίνδυνων ουσιών στην εκκένωση των συστημάτων κλειστού βρόχου είναι υψηλότερες από ό, τι στα συστήματα ανοιχτού βρόχου, αλλά ο ρυθμός ροής μάζας αυτών των ουσιών είναι που καθορίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό παρατηρείται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις καθαριστών θαλάσσιου νερού, οι οποίοι δεν είναι πάντοτε εξοπλισμένοι με συστήματα καθαρισμού νερού εκκένωσης.

Η σημερινή <<κυριαρχία>> των θαλασσινών και υβριδικών πλυντηρίων ρούχων συνεπάγεται ότι ένα μεγάλο μέρος των ρυπογόνων ουσιών που συλλέγονται στο νερό πλύσης μπορεί να απελευθερωθεί στο θαλασσινό νερό.

Παρόλο που πληρούνται γενικά τα κριτήρια του IMO για το νερό πλύσης, οι καθαριστές ενδέχεται να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο θαλάσσιο περιβάλλον λόγω της όξυνσης, του ευτροφισμού και της συσσώρευσης επικίνδυνων υδρογονανθράκων και βαρέων μετάλλων σε περίπτωση περιορισμένης αραίωσης. Αυτό μπορεί να

οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Συνεπώς πρέπει να διερευνηθούν συστηματικά οι επιπτώσεις τους με τη μέτρηση και τη μοντελοποίηση της ποιότητας των υδάτων. Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων, θα πρέπει να αξιολογηθεί εάν μπορούν να χρησιμοποιηθούν scrubbers σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Ύδατα (European Water Framework Directive) και την Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική (Marine Strategy Framework Directive) που ορίζουν μέγιστες συγκεντρώσεις για ορισμένους επικίνδυνους ρύπους, απαγορεύουν την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων και αποβλέπουν στην επίτευξη " καλής περιβαλλοντικής κατάστασης ". Μερικές χώρες της Ε.Ε. έχουν αποφασίσει να απαγορεύσουν τη χρήση συστημάτων ανοικτού βρόγχου στα ύδατά τους για να προστατευθούν από πιθανή μόλυνση.

Η χρήση του MGO ή του LNG είναι εγγενώς καθαρότερη από τη χρήση των συστημάτων πλύσης , καθώς δεν απορρίπτεται κανένα μολυσμένο νερό πλύσης. Οι επιπρόσθετες επιπτώσεις της αυξημένης παραγωγής MGO στην ξηρά, εκτός από την αυξημένη χρήση ενέργειας, αναμένεται να είναι περιορισμένες, λόγω της αυστηρής περιβαλλοντικής νομοθεσίας. [7]

### 3.2 Μείωση των ρύπων από τα καυσαέρια

Ο κύριος στόχος της λειτουργίας των φίλτρων καθαρισμού είναι η απομάκρυνση του θείου. Παράλληλα όμως, παγιδεύονται σημαντικές ποσότητες σωματιδίων. Οι συσκευές καθαρισμού αφαιρούν κυρίως τις εκπομπές SO<sub>x</sub> και PM από τα καυσαέρια. Η σχετική επίπτωση στον αριθμό σωματιδίων είναι μικρότερη από αυτή στη μάζα των σωματιδίων. Ένας καθαριστής συλλαμβάνει σωματίδια σχετικά μεγάλου μεγέθους ((Køcks, et al., 2012) .Η τεχνολογία καθαρισμού δεν αφαιρεί τα οξείδια του αζώτου (ή μόνο σε πολύ μικρό βαθμό) και δεν επηρεάζει το CO<sub>2</sub>. [8]

Πηγή:: Scrubbers – An economic and ecological assessment, Eelco den Boer, Maarten 't Hoen

Pollutant	Reduction
SO <sub>x</sub>	>90%
PM	60-90%
NO <sub>x</sub>	<10%

Πίνακας 7. Επιδόσεις των Scrubbers.

#### 3.2.1 Βαρέα μέταλλα

Επικίνδυνες ουσίες, όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και τα βαρέα μέταλλα ,απελευθερώνονται μαζί με το νερό εκπλύσης των καθαριστών. Όλες οι διαθέσιμες εκθέσεις παρακολούθησης δείχνουν ότι οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO μπορούν γενικά να ικανοποιηθούν, με εξαίρεση μερικές μεμονωμένες μετρήσεις. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι η εκκένωση του νερού έκλυσης δεν θα έχει αντίκτυπο στα τοπικά οικοσυστήματα, εάν τα φίλτρα καθαρισμού χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα. Οι οδηγίες του IMO δεν περιέχουν όρια συγκέντρωσης μετάλλων στο νερό πλύσης, αλλά η θολερότητα παρακολουθείται ως υποκατάστατο για τα αιωρούμενα στερεά.

Τα βαρέα μέταλλα δεν αποικοδομούνται. Αρκετά μέταλλα (Hg, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) που συναντώνται στο νερό έκπλυσης είναι τοξικά για τα φυτά και την ανθρώπινη ζωή. Ο καρκίνος και νευρολογικές ασθένειες συνδέονται με την έκθεση σε βαρέα μέταλλα. Τα μέταλλα που απαντώνται στο νερό πλύσης έχουν διαφορετική προέλευση:

- Τα υλικά του συστήματος, συνήθως σίδηρος, χαλκός και ψευδάργυρος μπορεί να είναι πηγή μετάλλων. Το μειωμένο pH του νερού πλυσίματος θα αυξήσει τη διαλυτότητα των μεταλλικών ιόντων. Ως εκ τούτου, η επιλογή των υλικών είναι πολύ σημαντική.
- Το νερό εισόδου στο σύστημα μπορεί να περιέχει μέταλλα που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό ή είτε από διαδικασίες ηλεκτροχημικής προστασίας για την αποφυγή ρύπανσης των αγωγών θαλάσσιου νερού.
- Η καύση καυσίμων και λιπαντικών, συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή βαναδίου, νικελίου, ασβεστίου και ψευδαργύρου. Η πλειοψηφία του HFO αποτελείται από μέταλλα που απαντώνται φυσιολογικά στο πετρέλαιο, κυρίως βανάδιο και νικέλιο, τα οποία είναι διαλυτά σε έλαιο. [8]

## Κεφάλαιο 4

### Εναλλακτικά καύσιμα

Εξαιτίας της αναμενόμενης αύξησης του κόστους της χρήσης των πετρελαιοκόν κασίων, αναπτύσσεται ολοένα και πιο έντονο ενδιαφέρον για εναλλακτικά καύσιμα (LNG, μεθανολή).

#### 4.1 LNG

Το LNG είναι φυσικό αέριο (κυρίως μεθάνιο,  $\text{CH}_4$ , σε μίγμα με αιθάνιο  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) το οποίο έχει ψυχθεί σε υγρή μορφή για την ευκολία και την ασφάλεια της αποθήκευσης ή της μεταφοράς χωρίς πίεση. Καταλαμβάνει περίπου το 1 / 600 του όγκου του φυσικού αερίου σε αέρια κατάσταση (σε κανονικές συνθήκες για τη θερμοκρασία και την πίεση). Είναι άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό και μη διαβρωτικό. Σημαντικοί κίνδυνοι που παρουσιάζονται είναι η αναφλεξιμότητα (μετά από εξάτμιση σε αέρια κατάσταση) και η ασφυξία.

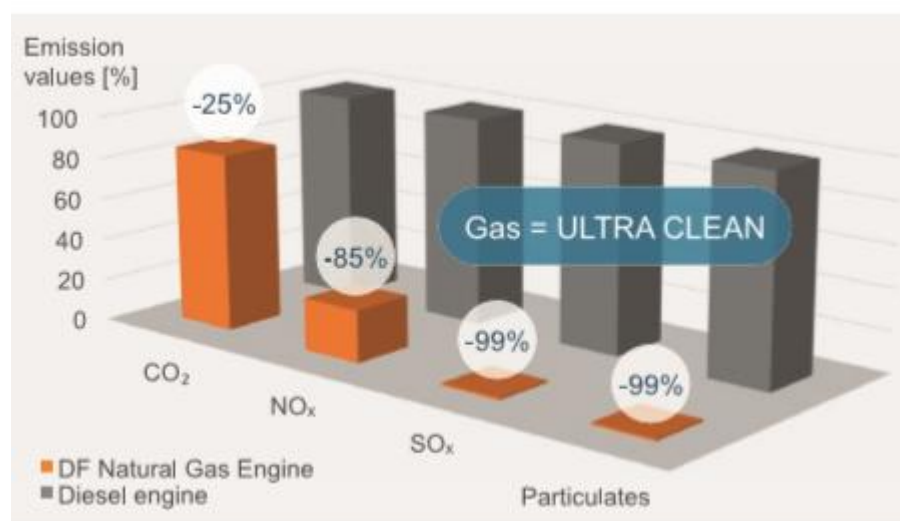
Η διαδικασία υγροποίησης περιλαμβάνει την αφαίρεση ορισμένων συστατικών, όπως σκόνης, όξινων αερίων, ηλίου, νερού και βαρέων υδρογονανθράκων. Το φυσικό αέριο στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε υγρό κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση, με ψύξη περίπου στους  $162^\circ\text{C}$  ( $-260^\circ\text{F}$ ). Η μέγιστη πίεση μεταφοράς ορίζεται περίπου στα 25 kPa (4 psi). Το φυσικό αέριο μετατρέπεται κυρίως σε LNG για μεταφορές στις θάλασσες όπου η τοποθέτηση αγωγών δεν είναι τεχνικά εφικτή ή οικονομικά συμφέρουσα. Το LNG επιτυγχάνει μεγαλύτερη μείωση του όγκου από το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), έτσι ώστε η (ογκομετρική) ενεργειακή πυκνότητα του LNG να είναι 2,4 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του CNG (στα 250 bar) ή 60% από αυτή του Diesel. Αυτό καθιστά το LNG αποδοτικό στις θαλάσσιες μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, τα πλοία με καύσιμο CNG μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικονομικά μέχρι μέσες αποστάσεις στις θαλάσσιες μεταφορές. Για τη μεταφορά LNG χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα κρυογενικά θαλάσσια σκάφη (μεταφορείς LNG) ή κρυογενικά οδικά δεξαμενόπλοια. [9]

Το LNG χρησιμοποιείται κυρίως για τη μεταφορά φυσικού αερίου στις αγορές, όπου εξαερώνεται εκ νέου και διανέμεται στους αγωγούς φυσικού αερίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οχήματα με κινητήρα φυσικού αερίου, αν και είναι πιο συνηθισμένο να σχεδιάζονται οχήματα για να χρησιμοποιούν CNG. Το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής του LNG και η ανάγκη αποθήκευσης του σε ακριβές κρυογενικές δεξαμενές εμπόδισαν την ευρεία εμπορική χρήση. Παρά τα μειονεκτήματα αυτά σε ενεργειακή βάση, η παραγωγή LNG αναμένεται να φτάσει το 10% της συνολικής παραγωγής αργού μέχρι το 2020.



Το LNG είναι καύσιμο, το οποίο φαίνεται ότι θα αποτελέσει μια ικανοποιητική λύση, με τα σημερινά δεδομένα..Η παραγωγή φυσικού αερίου αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο, και μαζί με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το φυσικό αέριο καταλαμβάνει μια μεγάλη μερίδα της παγκόσμιας αγοράς ενέργειας. Το ποσοστό του φυσικού αερίου, που πωλείται ως LNG αυξάνεται από 6% έως 8% κάθε έτος. Από όλα τα ορυκτά καύσιμα, το φυσικό αέριο είναι το πιο καθαρό, και λόγω της νομοθεσίας περί των εκπομπών ρύπων χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο από τα πλοία. Η καύση LNG έχει ως αποτέλεσμα μικρότερα επίπεδα εκπομπών από ότι η καύση του HFO. Οι κινητήρες αερίου διπλού καυσίμου έχουν 25% μικρότερα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub>, ενώ οι εκπομπές NO<sub>x</sub> είναι 89% μικρότερες από τις αντίστοιχες μιας μηχανής ντίζελ. Επίσης, καθώς το LNG δεν περιέχει καθόλου θείο, η χρήση του δεν παραβιάζει κανέναν από τους κανονισμούς που σχετίζονται με τις εκπομπές οξειδίων του θείου. [10]

Πηγή:: Shipping in the 2020 era



Διάγραμμα 4. Σύγκριση εκπομπών ρύπων ανάμεσα σε κινητήρα ντίζελ και κινητήρα φυσικού αερίου

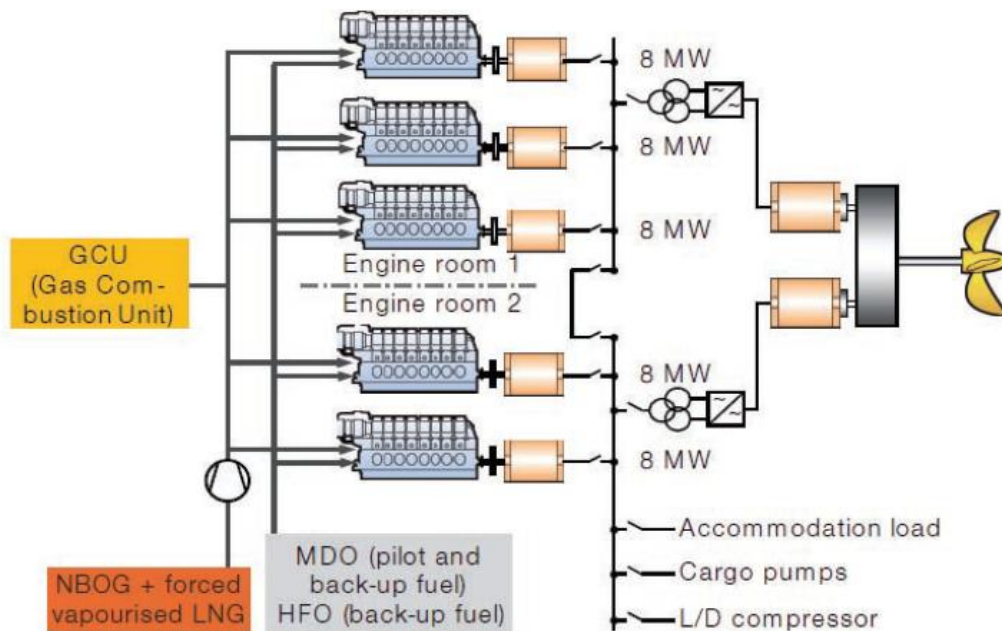
Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) έχει χρησιμεύσει ως καύσιμο πλοίων εδώ και πολλά χρόνια, αλλά κυρίως στους μεταφορείς ως LNG-εξατμίσεις (Boil-off Gas)

Χρησιμοποιήθηκε σε θαλάσσιους λέβητες ή κινητήρες διπλού καυσίμου. Την τελευταία δεκαετία όμως, η ανάπτυξη της αγοράς σκαφών με LNG έχει πάρει ταχείς ρυθμούς, ειδικά στην Ευρώπη. Η ανάπτυξη της εν λόγω αγοράς οφείλεται κυρίως στις αυστηρές περιβαλλοντικές ρυθμίσεις για τις παράκτιες περιοχές. Δεδομένου ότι οι χερσαίες βιομηχανίες μειώνουν τις εκπομπές ρύπων, οι εκπομπές των πλοίων καθίστανται αναλογικά σημαντικότερο μέρος των συνολικών αέριων ρύπων.

Υπολογίζεται ότι οι εκπομπές της ναυτιλίας αντιστοιχούν σε ποσοστό 2-4% των εκπομπών CO<sub>2</sub> παγκοσμίως, 10-20% των συνολικών εκπομπών NO<sub>x</sub> και 4-8% των εκπομπών SO<sub>x</sub>.

Όπως προαναφέρθηκε, το LNG είναι καύσιμο πλοίων για περίπου πενήντα χρόνια. Μέχρι το 2000 η χρήση του περιοριζόταν στην εκμετάλλευση των εξάτμισέων του (Boil Off Gas) από τις δεξαμενές φορτίου. Πλέον, δύναται να λειτουργήσει ως ναυτιλιακό καύσιμο και να αντικαταστήσει το HFO. Επίσης, δεν παρατηρείται πρόβλημα στην προετοιμασία των αεροστροβίλων και των λεβήτων (για ατμοστρόβιλους) για την καύση φυσικού αερίου. Για βέλτιστη αποδοτικότητα, το LNG δύναται να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο πλοίων σε κινητήρες ντίζελ - δύο και τεσσάρων χρόνων. Οι προτάσεις είναι για κινητήρες διπλού καυσίμου (DF) ή τριπλού καυσίμων (TF). Οι κινητήρες μπορούν να λειτουργούν με HFO, εάν είναι απαραίτητο, με MDO (κατά τη διάρκεια ελιγμών ή σε χαμηλά φορτία) και φυσικά φυσικού αερίου. Στην περίπτωση του κινητήρα ντίζελ διπλού χρόνου, ο οποίος λειτουργεί με φυσικό αέριο, χρειάζεται να εγχυθεί πιλοτική δόση υγρού καυσίμου (συνήθως 1% MDO για τη διευκόλυνση της αυταναφλέξεως του μείγματος καυσίμου-αέρα. Το φυσικό αέριο εγχέεται στον κύλινδρο υπό πίεση περίπου 25-35 MPa (είναι προβληματική η χρήση συμπιεστών υψηλής πίεσης). Στην περίπτωση των κινητήρων ντίζελ τεσσάρων χρόνων, το φυσικό αέριο εισέρχεται στο κανάλι εισόδου αέρα υπό πίεση περίπου 0,5-0,6 MPa ( βέλτιστη πίεση). Η πιλοτική δόση MDO ή HFO είναι επίσης απαραίτητη. Οι κινητήρες διπλού καυσίμου δεν είναι ευαίσθητοι στην ποιότητα του αερίου και το φορτίο. [11]

Πηγή:: Shipping in the 2020 era



Εικόνα 5. Σχηματικό κινητήρα που λειτουργεί με διπλό καύσιμο.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος της εργασίας του κινητήρα είναι ο κύκλος Sabathe-Seiliger . Ακόμη και στην περίπτωση καθυστερημένης έγχυσης (για τον περιορισμό των εκπομπών NOx) οι κινητήρες μπορούν να παράξουν τις εκπομπές NOx κάτω από το επίπεδο της βαθμίδας 2, αλλά είναι αδύνατο να εκπληρωθεί το επίπεδο της βαθμίδας 3 ,χωρίς τη διαδικασία καθαρισμού NOx των καυσαερίων. Απαιτείται SCR ( αντιδραστήρας επιλεκτικής κατάλυσης) για τη μείωση των για την κάλυψη της βαθμίδας 3 του IMO .Θα είναι όμως δυνατή με την λειτουργία των κινητήρων στον θερμοδυναμικό κύκλο του Otto. Αυτό σημαίνει ότι οι κινητήρες πρέπει να είναι οι κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα, που δεν χρησιμοποιούνταν στη ναυτιλιακή βιομηχανία πριν από το 2000. Είναι υποχρεωτική δηλαδή η μετάβαση σε άλλο τύπο κινητήρα. [11]

Ο κινητήρας διπλού καυσίμου που λειτουργεί με φυσικό αέριο σύμφωνα με τον κύκλο Otto μπορεί να εκπέμπει μικρές ποσότητες άκαυστων υδρογονανθράκων, που συχνά ονομάζονται ολίσθηση μεθανίου. Οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες θεωρούνται επίσης αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου. Για να συγκριθεί η επίδραση διαφορετικών αερίων του θερμοκηπίου, έχει καθοριστεί ο παράγων δυναμικών εκπομπών GWP-(Global Warming Potential emission factors) για τη σύγκριση της επίδρασης ενός συγκεκριμένου αερίου σε σύγκριση με το CO<sub>2</sub>. Η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος και το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθέτησαν το 100ετές GWP (GWP100), το οποίο χρησιμοποιείται ως το σύστημα μέτρησης. Το GWP100 δίνει συντελεστή 28 για το μεθάνιο, δηλαδή 1 κιλό μεθανίου αντιστοιχεί σε 28 κιλά CO<sub>2</sub>. Ακόμη και όταν ληφθεί υπόψη η ολίσθηση του μεθανίου, οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από έναν κινητήρα διπλού καυσίμου που λειτουργεί με φυσικό αέριο είναι πολύ χαμηλότερες από τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από έναν κινητήρα ντίζελ. Το φυσικό αέριο είναι ο καθαρότερος υδρογονάνθρακας, επίσης όσον αφορά τις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. [12].

Παρουσιάζεται όμως και ένα εμπόδιο που αποτρέπει την αύξηση της χρήσης LNG , ο μικρός αριθμός δεξαμενών εφοδιασμού κατάλληλων για την αποθήκευση LNG.Ούτε η τιμή του LNG ήταν πάντοτε ανταγωνιστική σε σύγκριση με τον συμβατικό HFO. Σήμερα υπάρχουν λίγα περισσότερα από 100 σκάφη που τροφοδοτούνται με LNG και μέχρι το τέλος του 2019 ο αριθμός αυτός θα έχει αυξηθεί σε πάνω από 200. Οι υποδομές για την προμήθεια του LNG βελτιώνονται σταδιακά,. Καθώς όλο και περισσότεροι πλοιοκτήτες επιλέγουν το LNG ως καύσιμο για τον στόλο τους, ο αριθμός των δεξαμενών εφοδιασμού μεταβάλλεται αναλόγως. Ωστόσο, τα περισσότερα από τα πλοία που τροφοδοτούνται με LNG λειτουργούν στη βόρεια Ευρώπη, αλλά όλο και περισσότεροι λιμένες παρουσιάζουν έντονο ενδιαφέρον για την προσφορά LNG. [12]

#### 4.1.1 Οι διαδρομές ανεφοδιασμού

Το φυσικό αέριο λαμβάνει μεγάλη προσοχή ως εναλλακτική λύση από τα συμβατικά καύσιμα μεταφορών. Το φυσικό αέριο προσφέρει το εγγενές πλεονέκτημα της απελευθέρωσης λιγότερου άνθρακα ανά μονάδα ενέργειας από ό, τι τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Η πρόσφατη άνοδος στην προσφορά του καυσίμου που προκύπτει από την ανάπτυξη νέων τεχνικών εξαγωγής στις Ηνωμένες Πολιτείες και αλλού, έχει προκαλέσει μεγάλες επενδύσεις στην υποδομή για την παραγωγή, αποθήκευση και διανομή του. Καθώς το φυσικό αέριο γίνεται περισσότερο επιθυμητό για τη μεταφορά,

οι εταιρίες τεχνολογίας έχουν διευκολύνει την υιοθέτησή του, επινοώντας νέους κινητήρες (είτε μεταποιώντας παλαιότερους) για αυτοκίνητα, φορτηγά και πλοία. Παρόλο που το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ευρύτερα για τις οδικές μεταφορές, φαίνεται πολλά υποσχόμενη λύση για τον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών. Από το 2015 και μετά, ο ναυτιλιακός τομέας αντιμετωπίζει πιέσεις από αυστηρότερα πρότυπα ποιότητας κινητήρων και καυσίμων που θα απαιτούν μεγάλες απαιτήσεις μειώσεις εκπομπών για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την άμβλυνση των επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος. Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) αντί των συμβατικών καυσίμων (που προκύπτουν από την απόσταξη του αργού πετρελαίου) μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Παράλληλα αποφεύγεται το κόστος για νέα, χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καύσιμα και της εγκατάστασης φίλτρων καθαρισμού.

Παρ' όλα αυτά, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σκαφών που χρησιμοποιούν LNG. Η ανησυχία υφίσταται κυρίως για τις επιπτώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) του LNG, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που απαιτείται για τη μεταφορά, τη διαχείριση και την επεξεργασία του καυσίμου καθώς και την διαρροή φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα

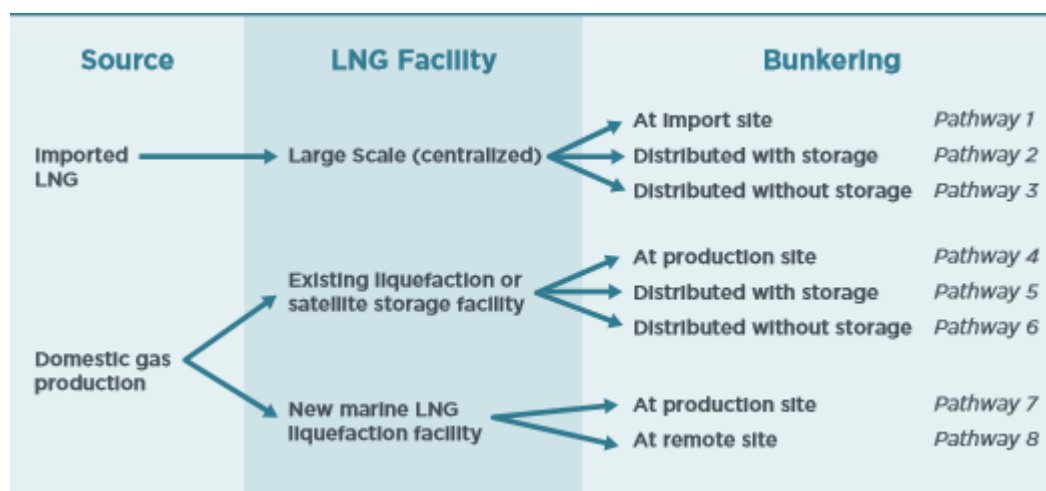
Σύμφωνα με την μελέτη << Assessment of the fuel cycle impact of Liquefied Natural Gas as used in international shipping >> των Dana Lowell (MJ Bradley and Associates) και Haifeng Wang (International Council on Clean Transportation) προσδιορίζονται οκτώ διακριτές οδοί (διαδρομές) ανεφοδιασμού για την παραγωγή LNG και την παράδοση του σε πλοία. Οι διαφορετικές διαδρομές διαφέρουν σε τρία βασικά χαρακτηριστικά: (1) την πηγή, είτε εισαγόμενη είτε τοπική, του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία LNG (2) Εάν το LNG υφίσταται επεξεργασία μέσω υφιστάμενης ή νέας μονάδας υγροποίησης (3) Η τοποθεσία και η μέθοδος ανεφοδιασμού των πλοίων.

Οι διαδρομές 1 έως 3 περιλαμβάνουν το εισαγόμενο LNG που έχει παραχθεί στο εξωτερικό, χρησιμοποιώντας εγκαταστάσεις υγροποίησης μεγάλης κλίμακας και μεταφέρονται μέσω φορέα σε LNG τερματικό εισαγωγής. Στην διαδρομή 1, ο τερματικός σταθμός εισαγωγής διαθέτει εγκαταστάσεις για άμεση τροφοδοσία των πλοίων από τον χώρο αποθήκευσης LNG μέσω ειδικού αγωγού.

Στις διαδρομές 2 και 3, το LNG φορτώνεται σε φορτηγό ή φορτηγίδα στο τερματικό εισαγωγής για παράδοση σε απομακρυσμένη θέση για την τροφοδοσία των σκαφών. Για την διαδρομή 2, ο χώρος ανεφοδιασμού παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης LNG, έτσι ώστε το LNG από το τερματικό εισαγωγής να εκφορτωθεί σε μια αποθηκευτική δεξαμενή, στην ξηρά, και κάποια στιγμή αργότερα τα σκάφη θα αντλήσουν από την δεξαμενή αποθήκευσης το LNG με την χρήση αγωγού. Το μονοπάτι 3 έχει μια απομακρυσμένη θέση τροφοδοσίας αλλά δεν διαθέτει την δυνατότητα επιτόπου αποθήκευσης LNG. Σε αυτό το σενάριο, φορτώνονται φορτηγά ή φορτηγίδες με LNG από τον τερματικό σταθμό και ταξιδεύουν στη απομακρυσμένη περιοχή για ραντεβού με το σκάφος και το καύσιμο εκφορτώνεται κατευθείαν στο σκάφος.

Οι διαδρομές 4 έως 8 χρησιμοποιούν εγχώριο φυσικό αέριο και υγροποιημένο φυσικό αέριο. Οι διαδρομές 4 μέσω 6 είναι αντίστοιχες με τις διαδρομές 1 έως 3, αλλά με το LNG να προμηθεύεται από μια υφιστάμενη μεγάλη εγχώρια μονάδα υγροποίησης και όχι από τερματικό εισαγωγής ΥΦΑ. Για τις διαδρομές 7 και 8 υπάρχει μια μονάδα υγροποίησης μικρότερης κλίμακας που δημιουργήθηκε ειδικά για την παραγωγή καυσίμου LNG για ένα ή περισσότερα σκάφη. Για το μονοπάτι 7, η τροφοδοσία πραγματοποιείται στις δεξαμενές αποθήκευσης μέσω ενός ειδικού αγωγού, ενώ το μονοπάτι 8 έχει σχεδιαστεί για καύσιμα που φορτώνονται στα φορτηγά στη μονάδα μεταφοράς σε σχετικά κοντινά σκάφη.

Πηγή: Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping



Εικόνα 6. <<Διαδρομές>> ανεφοδιασμού LNG.

Εντούτοις, ορισμένες από τις διαδρομές θα ήταν πιθανώς ανέφικτες ή απαγορευτικών δαπανών για διάφορους λόγους. Για κάθε σκάφος, στόλο ή λιμάνι, η πραγματική επιλογή της διαδρομής ανεφοδιασμού θα εξαρτιόταν από ένα πλήθος παραγόντων, όπως το μέγεθος του σκάφους, η προτιμώμενη συχνότητα τροφοδοσίας, ο συνολικός αριθμός των πλοίων LNG, τα οποία τροφοδοτούνται στον τοπικό λιμένα, η εγγύτητα με τις υπάρχουσες τοποθεσίες αποθήκευσης LNG και τα προϋπάρχοντα δίκτυα διανομής LNG.

Για τα περισσότερα μικρότερα σκάφη τα πιο εύκολα μονοπάτια, βραχυπρόθεσμα, θα είναι οι διαδρομές 3 και 6: άμεση τροφοδοσία από φορτηγό σε πλοίο σε απομακρυσμένες τοποθεσίες (π.χ. λιμάνι προέλευσης του πλοίου), με το LNG να φορτώνεται από το πλησιέστερο τερματικό εισαγωγής ή από μονάδα υγροποίησης, στην οποία υφίσταται η δυνατότητα φόρτωσης φορτηγών. Είναι πιθανό όμως, ότι η πιο εύκολη εφαρμογή, μπορεί να μην είναι η πιο αποδοτική από πλευράς κόστους. Μακροπρόθεσμα, οι πάροχοι LNG ή οι πλοιοκτήτες θα μπορούσαν να στηρίξουν επενδύσεις υποδομής για την δημιουργία ενός ή περισσότερων από τα άλλα μονοπάτια, συμπεριλαμβανομένων των απευθείας μεταφορών από πλοίο σε πλοίο

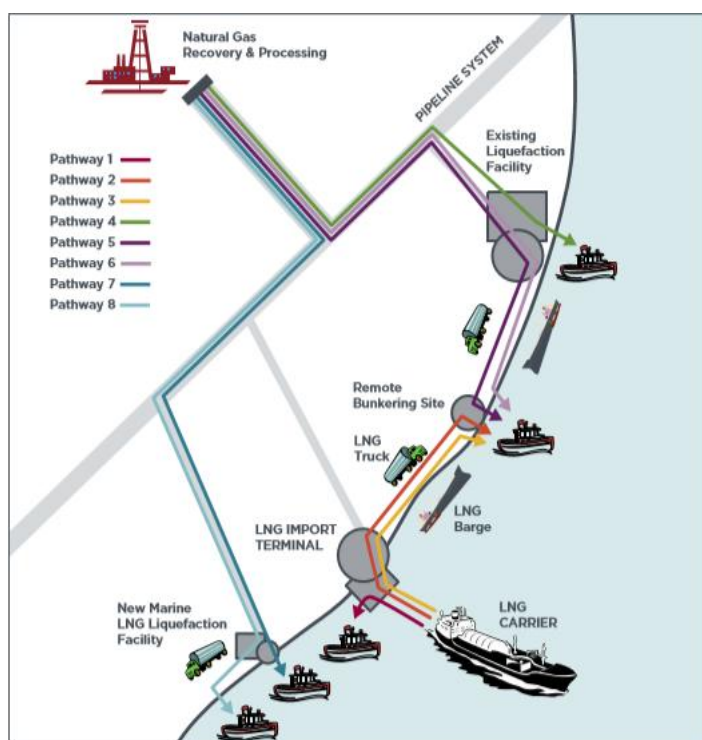
Για μεγαλύτερα σκάφη, η άμεση τροφοδοσία από φορηγό σε πλοίο μπορεί να μην είναι πρακτική λόγω της ποσότητας καυσίμου που πρέπει να μεταφερθεί και του εγγενή χρονικού περιορισμού στην ταχύτητα μεταφοράς καυσίμου. Για τα εν λόγω σκάφη, το έξοδα για την αποθήκευση LNG σε δεξαμενή στο λιμάνι προέλευσης του σκάφους (π.χ. στις διαδρομές 2 και 5) δεν γίνεται να αποφευχθούν βραχυπρόθεσμα. Μακροπρόθεσμα, η ανάπτυξη υποδομής για την άμεση τροφοδοσία από πλοίο σε πλοίο ή από φορηγίδα σε πλοίο μπορεί να επιτρέψει την παράδοση μεγαλύτερων πλοίων χωρίς την ανάγκη προσωρινής αποθήκευσης.

Αρκετά άλλα πιθανά μονοπάτια για την προμήθεια υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν αναλύονται, καθώς έχουν κριθεί μη πρακτικά ή μη οικονομικά συμφέροντα. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κανείς να εισάγει LNG, να το εξατμίζει στο δίκτυο διανομής του φυσικού αερίου και, στη συνέχεια, να το ξαναυγροποιήσει σε εγκατάσταση επεξεργασίας LNG για την παράδοση σε σκάφη. Ωστόσο, λόγω της ενεργειακής επιβάρυνσης (10%-20%) που προκύπτει από την υγροποίηση, ένα μονοπάτι διπλής υγροποίησης θα προκαλούσε σημαντικό άλμα στις εκπομπές GHG και θα υστερούσε σε σχέση με τις άλλες οδούς, που αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά ή περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα.

Επιπλέον, όταν δεν είναι δυνατή η μεταφορά LNG με φορηγά και όπου δεν είναι εφικτή η άμεση τροφοδοσία από πλοίο σε πλοίο, θα μπορούσαν ενδεχομένως να αναπτυχθούν οι σιδηροδρομικές μεταφορές LNG. Τα μικρότερα μικρότερα πλοία

LNG στους ευρωπαϊκούς στόλους τροφοδοτούνται επί του παρόντος μέσω του ισοδύναμου των διαδρομών 5 ή 6 – όπου το LNG παράγεται εντός της χώρας, μεταφέρεται στο λιμάνι προέλευσης των σκαφών, και είτε φορτώνεται απευθείας στο σκάφος (διαδρομή 6, φορηγό-πλοίο) ή εκφορτώνεται σε παραπλήσιο χώρο αποθήκευσης (LNG δεξαμενή) για μεταγενέστερη χρήση (διαδρομή 6).

Πηγή:: Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping



Εικόνα 7 Γραφική αναπαράσταση των διαδρομών ανεφοδιασμού.

#### 4.1.2 Οι εκπομπές στην αλυσίδα ανεφοδιασμού

Η αλυσίδα εφοδιασμού έχει πολυάριθμα βήματα και διαδικασίες που καταναλώνουν ενέργεια και συνεπώς παράγουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων. Πολλές από αυτές τις διεργασίες περιλαμβάνουν επίσης τη διαρροή μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Ανά μονάδα παραγόμενου LNG, η πιο σημαντική πηγή GHG από τη χρήση φυσικού αερίου (από θαλάσσια σκάφη) είναι η καύση στους κινητήρες, η

οποία παράγει διοξείδιο του άνθρακα.

Εκτός από τη λειτουργία του ίδιου του πλοίου, οι διαδικασίες στην αλυσίδα εφοδιασμού που χρησιμοποιούν την περισσότερη ενέργεια, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ποσότητα σχετικού διοξειδίου του άνθρακα, είναι η αρχική ανάκτηση και επεξεργασία φυσικού αερίου καθώς και η υγροποίηση.

Λιγότερες ποσότητες ενέργειας χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του καυσίμου (στους αγωγούς) προς τη μονάδα υγροποίησης και για τη μεταφορά του LNG( μέσω φορτηγών και φορτηγίδων) από την μονάδα υγροποίησης προς τον τελικό χρήστη.

Με βάση την ανάλυση από το Εθνικό Εργαστήριο Ενεργειακής Τεχνολογίας του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy's National Energy Technology-NETIL) με τη χρήση εκτιμήσεων της EPA (Environmental Protection Agency) έχει υπολογιστεί ότι η πλειονότητα του μεθανίου που απελευθερώνεται από την αλυσίδα εφοδιασμού εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της ανάκτησης και της επεξεργασίας του φυσικού αερίου. Λιγότερες ποσότητες μεθανίου εκπέμπονται κατά τη μεταφορά φυσικού αερίου στους αγωγούς και από την αποθήκευση, και από τις δραστηριότητες χειρισμού του (δραστηριότητες συγκέντρωσης καυσίμων).

Οι δραστηριότητες τροφοδοσίας περιλαμβάνουν τέσσερις διαφορετικούς τύπους απωλειών μεθανίου: (1) Απώλειες λόγω απορρόφησης θερμότητας και εξαερισμού από δεξαμενές αποθήκευσης με την πάροδο του χρόνου · (2) Από τον εξαερισμό μετατοπισμένων ατμών κατά την πλήρωση δεξαμενής αποθήκευσης · (3) Από τον καθαρισμό του LNG και των ατμών του από τους σωλήνες μετά την τροφοδοσία ενός πλοίου.(4) Απώλειες από αλλαγή φάσης που δημιουργούνται από γραμμές προψύξεως και δεξαμενές αποθήκευσης ή από τη μεταφορά από υψηλή πίεσης σε δεξαμενή χαμηλής πίεσης. Επιπροσθέτως, παρατηρούνται περιπτώσεις διαρροής μεθανίου στην ατμόσφαιρα, από το σύστημα καυσίμων και από τις εξάτμισεις του κινητήρα κατά τη λειτουργία. Ο αποτελεσματικός έλεγχος του Boil-off gas (BOG), όπως θα περιγραφεί παρακάτω, είναι το κλειδί για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών μεθανίου από την αποθήκευση έως και τη μεταφορά του LNG σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού καυσίμων των πλοίων.

Οι διαφορετικές διαδρομές για την προμήθεια καυσίμων που αναλύονται, συνεπάγονται διαφορετικά βήματα και διαδικασίες και κατά συνέπεια προσφέρουν ξεχωριστές μεθόδους για μείωση της χρήσης ενέργειας και διαρροής μεθανίου.

#### 4.1.3 Διαχείριση του BOG

Μια κρίσιμη πτυχή του ελέγχου των εκπομπών διαρροής μεθανίου είναι η διαχείριση του BOG. Σε ατμοσφαιρική πίεση, το φυσικό αέριο πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία κάτω των  $-162^{\circ}\text{C}$  για να παραμείνει σε υγρή κατάσταση. Συνεπώς, αποθηκεύεται και μεταφέρεται σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού σε ειδικά σχεδιασμένα, καλά μονωμένα δοχεία. Ανέξαρτα από το πόσο καλή είναι η μόνωση ωστόσο, κάποια θερμότητα θα διαρρέει συνεχώς στο δοχείο. Καθώς απορροφάται θερμότητα, η πίεση του κεφαλικού χώρου μέσα στο δοχείο αυξάνεται καθώς εξατμίζεται. Ο ρυθμός με τον οποίο εξατμίζεται εξαρτάται από το μέγεθος της δεξαμενής και τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής. Για τις πολύ μεγάλες δεξαμενές



ο ρυθμός εξάτμισης μπορεί να είναι τόσο χαμηλός όσο το 0,1 τοις εκατό του LNG που αποθηκεύεται ανά ημέρα. Για τις μικρότερες δεξαμενές μπορεί να φθάσει το 0,25 τοις εκατό την ημέρα (Chart Inc. 2012, Van Tassel 2010).

Οι δεξαμενές αποθήκευσης έχουν σχεδιαστεί για να εξαερίζουν ένα μέρος του αερίου όταν η εσωτερική πίεση του δοχείου ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο. Αυτός ο εξαερισμός περα απο το να ρυθμίζει την πίεση απομακρύνει ένα ποσοστό της απορροφημένης θερμότητας. Πολλές δεξαμενές αποθήκευσης είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε περιοχή κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση και συνήθως εξαερίζονται όταν η εσωτερική πίεση της δεξαμενής ανέρχεται πάνω από περίπου 10 psig (0,7 bar). Εάν πρέπει να αποθηκευτεί για μεγάλες χρονικές περιόδους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια δεξαμενή Τύπου C υπό πίεση για να παρατείνει το χρονικό διάστημα χωρίς να καταφύγει στον εξαερισμό. Η χρήση μιας δεξαμενής υπό πίεση δεν περιορίζει τον ρυθμό εξάτμισης, αλλά αυξάνει τον χρόνο μεταξύ των αερισμών επειδή μπορεί να αντέξει μια υψηλότερη εσωτερική πίεση. Για παράδειγμα, ένας κατασκευαστής προσφέρει διατροφικές δεξαμενές αποθήκευσης με μέγιστη πίεση λειτουργίας από 148 έως 345 psig. Τόσο η δεξαμενή 148-psig όσο και η δεξαμενή 345-psig έχουν διαφημιστεί με ρυθμό εξάτμισης 0,25% ημερησίως, αλλά ο πρώτος μπορεί να κρατήσει για 52 ημέρες χωρίς εξαερισμό, ενώ ο δεύτερος για 75 ημέρες (Chart Inc. 2012).

Η χρήση δεξαμενών υπό πίεση δεν μειώνει αναγκαστικά τη συνολική ποσότητα του BOG που διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα, καθώς το LNG κινείται μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού. Επηρεάζουν μόνο τότε και πώς απελευθερώνεται τελικά το αέριο. Καθώς η θερμότητα απορροφάται σε μια δεξαμενή υπό πίεση και η εσωτερική πίεση αυξάνεται, αυξάνεται και η θερμοκρασία του υγρού. Εάν το LNG στη συνέχεια φορτωθεί σε άλλη δεξαμενή ατμοσφαιρικής πίεσης (σε χαμηλότερη θερμοκρασία), η περίσσεια θερμότητας θα προκαλέσει την εξάτμιση του LNG- αυτό γενικά αναφέρεται ως απώλεια αλλαγής φάσης (flash loss).

Το BOG δημιουργείται επίσης όταν μεταφέρεται το LNG από μια δεξαμενή αποθήκευσης σε άλλη, καθώς οι ατμοί στην κενή δεξαμενή απωθούνται από το υγρό. Επίσης όταν γεμίζονται άδειες δεξαμενές, καθώς οι σωληνώσεις και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά, πρέπει να έχουν προψυχθεί με ψεκασμό LNG (καθώς απορροφάται η θερμότητα, το LNG εξατμίζεται και πρέπει να απομακρύνεται.).

Στον πλήρη κύκλο ανεφοδιασμού του LNG, η ποσότητα του BOG που δημιουργείται είναι συνάρτηση του χρόνου παραμονής του LNG της αλυσίδας εφοδιασμού, του μεγέθους, καθώς και άλλων λεπτομερειών κατασκευής, των δεξαμενών που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, σημαντική παράμετρος είναι ο αριθμός μεταφορών και οι μέθοδοι μεταφοράς που χρησιμοποιήθηκαν. Όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα πριν από τη χρήση του LNG, και όσο περισσότερες φορές μεταφέρεται από ένα δοχείο αποθήκευσης σε άλλο, τόσο περισσότερη ποσότητα BOG δημιουργείται.

Υπάρχουν τέσσερις κύριες μέθοδοι αντιμετώπισης του χώρου που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και του χειρισμού: (1) Η απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα. (2) Η καύση του. (3) Η δεσμευση του για χρήση ως αέριο καύσιμο. (4) Η δεσμευση του και η εκ νέου υγροποίηση του. Η δέσμευση του BOG μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Για τα πλοία που αποθηκεύουν LNG για την δική τους πρόωση, το BOG δημιουργείται συνεχώς στις δεξαμενές καυσίμου καθώς απορροφάται θερμότητα, αλλά τα υγρά και οι ατμοί απομακρύνονται με σταθερό ρυθμό από τη δεξαμενή αποθήκευσης για να τροφοδοτούν τους κινητήρες. Για τα σκάφη που εκτελούν καθημερινά δρομολόγια, η εσωτερική πίεση των δεξαμενών

καυσίμου μπορεί γενικά να διατηρείται κάτω από το επίπεδο εξαερισμού, επομένως δεν απελευθερώνεται BOG από τις δεξαμενές. Το BOG θα απομακρύνεται μέσω του συστήματος καυσίμου εάν τα σκάφη είναι αδρανή για μεγάλο χρονικό διάστημα. [13]

#### 4.1.2 Ανάλυση εκπομπών

Οι διαδικασίες τροφοδοσίας που περιλαμβάνει η ανάλυση είναι η ανάκτηση και η επεξεργασία φυσικού αερίου, η υγροποίηση (υπερπόντια ή εγχώρια), η μεταφορά, η αποθήκευση και ο χειρισμός σε ένα τερματικό εισαγωγής, η μεταφορά φυσικού αερίου μέσω αγωγών και η αποθήκευση και ο χειρισμός της εγκατάστασης παραγωγής, όπως ισχύει για κάθε διαδρομή. Περιλαμβάνονται επίσης οι εκπομπές που απελευθερώνονται κατά την παράδοση του καυσίμου στο σκάφος, από το σύστημα αποθήκευσης καυσίμων των σκαφών και προέρχονται από αγωγούς εξαγωγής σκαφών (τόσο εκπομπές CO<sub>2</sub> όσο και CH<sub>4</sub>) ως αποτέλεσμα της λειτουργίας των κινητήρων. Για κάθε περίπτωση, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με βάση τις συνολικές εκπομπές ισοδυνάμου CO<sub>2</sub>, που κατανέμονται στα διάφορα μέρη του κύκλου καυσίμου.

Οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τη διαδρομή ανεφοδιασμού - από 72 γραμμάρια CO<sub>2</sub> ισοδύναμα ανά megajoule έως 92 gCo<sub>2</sub>e / MJ. Οι υψηλότερες εκπομπές συμβαίνουν στα στάδια του μονοπατιού 5, το οποίο αφορά την παραγωγή από ένα ήδη υπάρχον μεγάλο εργοστασίου υγροποίησης και στη συνέχεια διανέμεται μέσω βαρέως τύπου οχήματος σε μια απομακρυσμένη μονάδα ανεφοδιασμού όπου υπάρχει χώρος αποθήκευσης επί τόπου. Η επιλογή με τις χαμηλότερες εκπομπές είναι η Διαδρομή 1, για την οποία τα εισαγόμενα καύσιμα μεταφέρονται απευθείας σε ένα πλοίο σε ένα τερματικό εισαγωγής. Οι εκπομπές GHG (Green House Gases) από την διαδρομή 5 είναι 28% υψηλότερες από αυτές της διαδρομής 1. [13]

Πηγή:: Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping

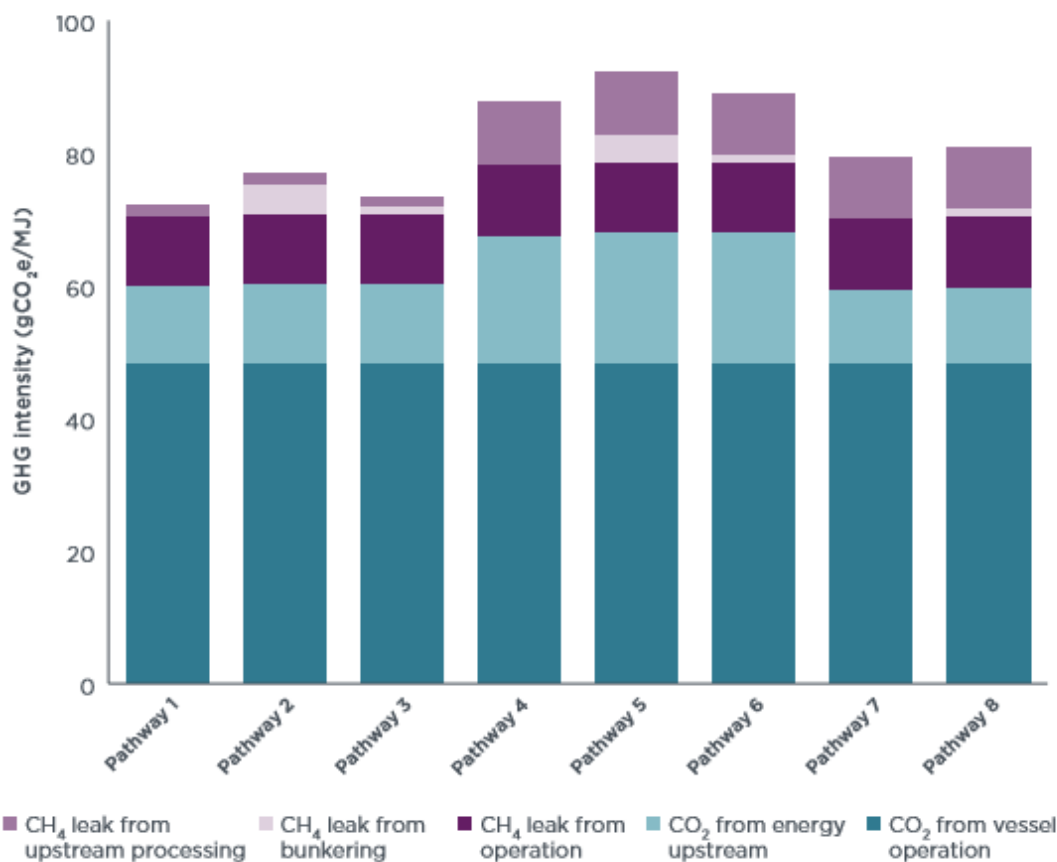
	GHG emissions (gCO <sub>2</sub> e/MJ) by bunkering pathway							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CO <sub>2</sub> from vessel operation	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4
CO <sub>2</sub> from energy upstream	11.5	11.8	11.8	19.2	19.5	19.5	11.0	11.4
CH <sub>4</sub> from vessel operation	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
CH <sub>4</sub> leakage from bunkering	0.0	4.5	1.1	0.0	4.3	1.1	0.0	1.1
CH <sub>4</sub> leakage from upstream	1.6	1.6	1.6	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
<b>Total GHG emissions</b>	<b>72.1</b>	<b>76.9</b>	<b>73.5</b>	<b>87.7</b>	<b>92.3</b>	<b>89.1</b>	<b>79.5</b>	<b>81.0</b>
Percentage of GHG from CH <sub>4</sub> emissions	17	22	18	23	26	24	25	26
Overall CH <sub>4</sub> emission rate (percentage of delivered natural gas)	2.7	3.7	3.0	4.5	5.4	4.7	4.5	4.7
GHG percentage change from conventional distillate and residual marine fuels	-18	-13	-17	-0.5	4.8	1.1	-9.8	-8.1

Πίνακας 8. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για κάθε στάδιο ανα διαδρομή

Η μεταβλητότητα των εκπομπών οξειδίου του αζώτου ανά μονοπάτι εξηγείται από δύο παράγοντες:: Οι μειωμένες εκπομπές αερίου και μεθανίου από το εισαγόμενο πετρέλαιο σε σχέση με το πετρέλαιο που παράγεται από εγχώριο φυσικό αέριο και οι υψηλότερες εκπομπές μεθανίου σε απομακρυσμένους χώρους ανεφοδιασμού με καύσιμα, ιδίως εκείνες με αποθήκευση επί τόπου, από ό, τι σε εγκαταστάσεις εισαγωγής ή παραγωγής εξοπλισμένες με κάποιο σύστημα διαχείρισης BOG.

Η διαδρομή 1 έχει το χαμηλότερο ποσοστό εκπομπών CH<sub>4</sub> στο 2,7%, ενώ η διαδρομή 5, έχει το υψηλότερο συνολικό ποσοστό εκπομπών CH<sub>4</sub>, 5,4%. Οι ρυθμοί των εκπομπών από διαρροή φαίνεται να είναι παρόμοιοι με το εύρος των ποσοστών εκπομπών μεθανίου που εμφανίζονται στην ερευνητική βιβλιογραφία για την διαρροή που σχετίζεται με τις οδικές μεταφορές με φυσικό αέριο (βλέπε π.χ. Burnham et al., 2012, howarth, santoro και Ingraffea 2011 ). Ωστόσο, οι εκπομπές CH<sub>4</sub> των καυσαερίων των θαλάσσιων κινητήρων, το οποίο αποτελεί ποσοστό άνω του 50% του συνολικού κύκλου καυσίμου CH<sub>4</sub> στις περισσότερες διαδρομές, είναι σημαντικά υψηλότερες από τις εκπομπές CH<sub>4</sub> των οδικών μεταφορών, οι οποίες υπόκεινται σε αυστηρότερους ελέγχους.

Πηγή: Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping



Διάγραμμα 5. Γραφική απεικόνιση των εκπομπών ανα <<μονοπάτι>> εφοδιασμού

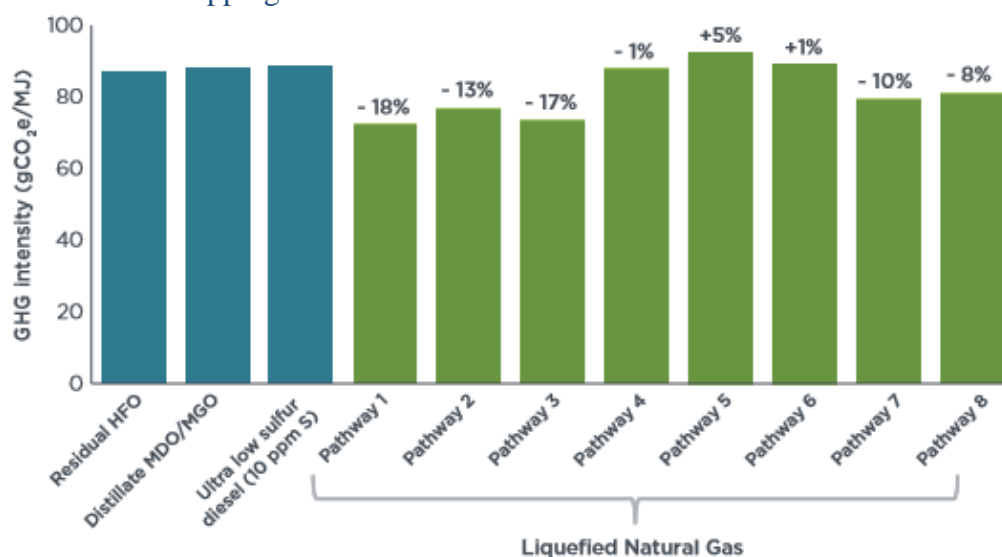
Για κάθε <<μονοπάτι >> ανεφοδιασμού, η πλειονότητα των εκπομπών GHG που σχετίζονται με τη χρήση του καυσίμου πλοίων προέρχεται από την λειτουργία των πλοίων (καύση των κινητήρων). Η χρήση ενέργειας που σχετίζεται με το χειρισμό, την επεξεργασία, τη μεταφορά και τον ανεφοδιασμό του φυσικού αερίου αντιπροσωπεύει το 15-22% των εκπομπών GHG του κύκλου καυσίμου στις οκτώ διαδρομές. Η διαρροή CH<sub>4</sub> σε όλες τις διεργασίες παραγωγής καυσίμων ανέρχεται στο 17-26% των συνολικών εκπομπών. Οι διαδρομές 4 έως 6 έχουν τις υψηλότερες εκπομπές GHG, λόγω των βαρύτερων απαιτήσεων σε ενέργεια για την επεξεργασία κατά την αντίθετη κατεύθυνση και την περισσότερη διαρροή μεθανίου. Οι προβλεπόμενες εκπομπές GHG από τις διαδικασίες τροφοδοσίας του LNG κυμαίνονται ουσιαστικά από το μηδέν για το μεθάνιο για τις διαδρομές 1, 4 και 7 σε ένα υψηλό 4,5 gCo<sub>2</sub>e/MJ (0,3 gCh<sub>4</sub>e / MJ) για το μονοπάτι 2. Στις επιλογές με τις χαμηλότερες εκτιμώμενες εκπομπές μεθανίου από το στάδιο της τροφοδοσίας, ο εφοδιασμός των σκαφών γίνεται από ένα τερματικό εισαγωγής ή απευθείας απο μονάδα παραγωγής. Ο λόγος για τον οποίο οι εκπομπές μεθανίου από αυτές τις οδούς είναι χαμηλές είναι ότι οποιοσδήποτε ατμός που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της

τροφοδοσίας των σκαφών μπορεί να συλλεχθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί από το σύστημα χειρισμού BOG των μονάδων εισαγωγής ή π της μονάδας παραγωγής, έτσι ώστε να μην απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα.

Οι εναλλακτικές διαδρομές με τις υψηλότερες εκτιμώμενες εκπομπές μεθανίου στις διεργασίες ανεφοδιασμού καυσίμων, πο Διαδρομές 2 και 5, περιλαμβάνουν αμφότερες τη μεταφορά LNG με βαρέως τύπου οχήματος από εγκατάσταση εισαγωγής ή παραγωγής σε απομακρυσμένο σημείο τροφοδοσίας, όπου διοχετεύεται σε δεξαμενή αποθήκευσης για μεταγενέστερη μεταφορά σε θαλάσσια σκάφη. Οι διαδρομές 3, 6 και 8 περιλαμβάνουν επίσης απομακρυσμένη τροφοδοσία καυσίμων αλλά όχι προσωρινής αποθήκευσης των καυσίμων. Σε αυτά τα σενάρια τα πλοία τροφοδοτούνται απευθείας από το όχημα παράδοσης.

Τα πορίσματα αξιολογούνται με βάση το μέσο όρο των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται με τα επίπεδα εκπομπής GHG των υπολειμματικών καυσίμων πετρελαίου, το προϊόντα διύλισης (MGO) και το ντίζελ θαλάσσης (MDO). Η έρευνα δείχνει ότι αυτά τα διάφορα συμβατικά καύσιμα έχουν μέσες εντάσεις GHG 87-89 gCO<sub>2</sub>e / MJ (Corbett και Winebrake 2008 · Verbeek et al., 2011). Τα αποτελέσματα εκπομπής GHG για τον κύκλο καυσίμου του LNG κυμαίνονται ανάμεσα στο 5% εκατό υψηλότερα (Διαδρομή5) και 18 % χαμηλότερα (διαδρομή 1) από το μέσο όρο των συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων απόσταξης και υπολείμματος. Και οι δύο αναφερόμενες εδώ μελέτες καλύπτουν τις εκπομπές του κύκλου καυσίμων για τον χειρισμό και την επεξεργασία των προϊόντων πετρελαίου και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται ως βάση αυτής της συγκριτικής ανάλυσης. [13]

Πηγή:: Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping

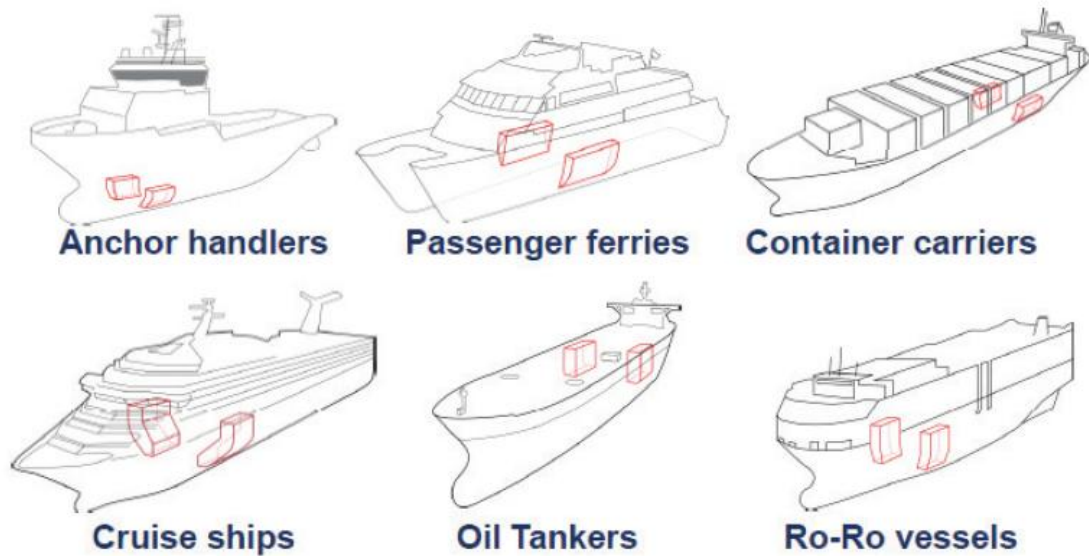


Διάγραμμα 6. Σύγκριση εκπομπών GHG LNG με συμβατικά καύσιμα

#### 4.1.3 Παράμετροι ασφαλείας για την χρήση του LNG

Το LNG είναι άχρωμο και άοσμο εύφλεκτο αέριο που αναφλέγεται από τον στατικό ηλεκτρισμό. Εξαιρετικά πτητικό υγρό. Οι ατμοί σχηματίζουν πολύ εύφλεκτα μείγματα με αέρα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά. Το σημείο βρασμού είναι -161,5 ° C υπό κανονικές συνθήκες. Το σημείο ανάφλεξης είναι -187,8 ° C, αλλά η θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης είναι 537 ° C. Εύφλεκτα όρια κατ 'όγκο: LEL 5% UEL 15% (με μικρή αλλαγή εξαρτάται από τη σύνθεση του αερίου). Το ειδικό βάρος του υγρού είναι 0,45 και 0,6 του αερίου .

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) έως 25 MPa έχει πυκνότητα 185 kg / m<sup>3</sup>. Η ταχύτητα καύσης στο στοιχειομετρικό μείγμα είναι 0,38 m /s. Είναι πολύ αργή για να χρησιμοποιείται μόνο LNG ως καύσιμο σε κινητήρες ντίζελ .Σε σύγκριση με τις δεξαμενές βαρύ μαζούτ (HFO), οι δεξαμενές LNG θα έπρεπε να είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερες λόγω της μικρότερης πυκνότητας και της απαιτούμενης θερμικής ασπίδας .Ο μεγαλύτερος αναγκαίος όγκος των δεξαμενών καυσίμου LNG είναι ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του. Επίσης τοποθεσία των δεξαμενών καυσίμου LNG επηρεάζει σημαντικά την ασφάλεια του σκάφους. . [12]



Εικόνα 8. Προτάσεις δεξαμενών αποθήκευσης LNG

Οι ατμοί LNG είναι ελαφρύτεροι από τον αέρα. Εάν το LNG διαρρεύσει στο έδαφος ή στο νερό και το εύφλεκτο μείγμα ατμού και αέρα δεν συναντήσει πηγή ανάφλεξης, θα ζεσταθεί και θα ανέβει στην ατμόσφαιρα. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων, οι δυνητικοί κίνδυνοι που συνδέονται με το LNG περιλαμβάνουν τη θερμότητα από αναφλέξιμους ατμούς LNG και την άμεση έκθεση του δέρματος ή του εξοπλισμού σε μια κρυογονική (εξαιρετικά ψυχρή) ουσία.

Υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα απελευθέρωσης του LNG κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του πλοίου λόγω αστοχίας των συστημάτων ασφαλείας που υπάρχουν. Απροσδόκητες μεγάλες απελευθερώσεις του LNG, όπως μπορεί να συνδέονται με πράξεις τρομοκρατίας ή πειρατείας.. Δεδομένου ότι το LNG αποθηκεύεται σε ατμοσφαιρική πίεση - δεν βρίσκεται υπό πίεση - μια ρωγμή ή παρακέντηση του δοχείου δεν θα δημιουργήσει ένα άμεση έκρηξη. Όταν απελευθερώνεται στο νερό, το LNG επιπλέει - είναι λιγότερο πυκνό από το νερό - και εξατμίζεται. Εάν είναι μεγάλοι όγκοι LNG απελευθερώνονται στο νερό, μπορεί να εξατμιστεί πολύ γρήγορα προκαλώντας μια ταχεία αλλαγή φάσης (Rapid Phase Transition).

Η θερμοκρασία του νερού και η παρουσία άλλων ουσιών εκτός από το μεθάνιο επηρεάζουν επίσης την πιθανότητα για ύπαρξη RPT . Μια RPT μπορεί να συμβεί μόνο εάν υπάρχει ανάμιξη μεταξύ του LNG και του νερού. Τα RPTs κυμαίνονται από αμελητέες έως μεγάλες εκρήξεις , ικανές ώστε να καταστρέψουν ενδεχομένως δομές ελαφρού βάρους. [8]

#### 4.2 Μεθανολή

Η μεθανόλη, επίσης γνωστή ως μεθυλική αλκοόλη ή ξυλόπνευμα, είναι μια χημική ουσία με τον τύπο  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Πλέον, η μεθανόλη που παράγεται σήμερα με την χρήση φυσικού αερίου ως βασική πρώτη ύλη , χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των πετροχημικών ως πρώτη ύλη για την παραγωγή άλλων χημικών, κυρίως φορμαλδεΰδης και οξικού οξέος. Η μεθανόλη έχει ενδιαφέρον ως εναλλακτικό καύσιμο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, επειδή είναι δυνατό να παραχθεί με ανανεώσιμες πρώτες ύλες όπως αστικά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα, βιομάζα και διοξείδιο του άνθρακα. Η μεθανόλη χρησιμοποιείται μόνο ως καύσιμο μεταφοράς σε σημαντική βάση για τα αυτοκίνητα στην Κίνα, όπου είναι φθηνή και άμεσα διαθέσιμη. Η μεθανόλη στην Κίνα παράγεται φτηνά από τον άνθρακα, γεγονός που προκαλεί αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον, με την απελευθέρωση μεγάλων όγκων αέριων του θερμοκηπίου. Η χρήση μεθανόλης στη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι περιορισμένη . Το 2016 ήταν μικρός ο αριθμός των νεότευκτων που θα χρησιμοποιούσαν μεθανόλη.



Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης μεθανόλης προέρχεται από την διαδικασία παραγωγής με φυσικό αέριο. Η διαδικασία περιλαμβάνει την αναμόρφωση ρεύματος φυσικού αερίου και μερική οξειδωση, με 70% ενεργειακή απόδοση. Καθώς είναι εξωθερμική, η περίσσεια θερμότητα χρησιμοποιείται για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια στην εργοστασιακή μονάδα. Παρόλο που η σημερινή περιορισμένη εφαρμογή της μεθανόλης σαν ναυτιλιακό καύσιμο προέρχεται κυρίως από την επεξεργασία του φυσικού αερίου, η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί και από την επεξεργασία βιομάζας (βιο-μεθανόλη). Μια μεταβίβαση σε βιομεθανόλη θα αποτελούσε σημαντικό βήμα για τις ναυτιλιακές εταιρίες, γιατί πέραν της απουσίας εκπομπών θεικών οξέων στην ατμόσφαιρα, θα σήμαινε και μείωση και στα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το CO<sub>2</sub> από την καύση βιο-μεθανόλης θεωρείται ουδέτερο για το κλίμα και ως εκ τούτου δεν θεωρείται αέριο θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει καθώς το CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από καύσιμο με βάση τη βιομάζα αφαιρείται από την ατμόσφαιρα μόλις αναπτυχθεί νέα βιομάζα για να αντικαταστήσει τη βιομάζα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καυσίμου. Οι εκπομπές CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O από τη μεθανόλη θεωρούνται αμελητέες. [14]

Για να προσδιοριστούν τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων, είναι απαραίτητο να συγκριθούν οι συνολικές εκπομπές της μεθανόλης σε πλοία με τα συμβατικά καύσιμα - MGO, MDO και HFO. Τα όρια του συστήματος για τις εκπομπές κύκλου καυσίμου τοποθετούνται σε βάση well to propeller. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές εξόρυξης και εξυγениσμού των ακατέργαστων ορυκτών καυσίμων. Οι συνολικές εκπομπές μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες φάσεις: Well to tank- οι συνολικές εκπομπές εξόρυξης πρώτων υλών, παραγωγή και μεταφορά καυσίμου –και tank to propeller- εκπομπές από την καύση και πιθανή διαρροή- Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>x</sub> από την καύση εξαρτώνται από την περιεκτικότητα άνθρακα και θείου του κάθε καυσίμου.

Τα CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O δεν εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες από την καύση μεθανόλης ή των συμβατικά καυσίμων πλοίων, αλλά λαμβάνονται υπόψη επειδή εκπέμπονται στην παραγωγική διαδικασία και η καταμέτρησης τους είναι σημαντική για την ολοκληρωμένη περιγραφή όλων των εκπομπών GHG. Οι εκπομπές SO<sub>x</sub> και NO<sub>x</sub> είναι σημαντικές για το θαλάσσιο περιβάλλον, κυρίως λόγω των βλαβερών επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία, στη χερσαία υποδομή και στους φυσικούς οικοτόπους. Κοντά σε λιμάνια ή σε κατοικημένες περιοχές προκαλούν τις περισσότερες ζημιές, αλλά συμβάλλουν επίσης στη δημιουργία όξινης βροχής και ενδεχομένως στην τοπική οξίνιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι εκπομπές σωματιδίων είναι σημαντικές από την άποψη της ανθρώπινης υγείας, καθώς ο μαύρος άνθρακας επιδιώκει επίσης την προσοχή ως βραχυπρόθεσμος παράγοντας αλλαγής κλίματος και πιθανός επιταχυντής του λιωσίματος των πάγων. [14]

#### 4.2.1 Η καύση μεθανόλης

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από την καύση της μεθανόλης σχετίζονται με την την περιεκτικότητα σε άνθρακα στο καύσιμο. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα μπορεί να ποικίλλει ελαφρώς ανάλογα με την καθαρότητα του καυσίμου.

Ωστόσο, η καθαρότητα του προϊόντος ελέγχεται καλά στην παραγωγική διαδικασία.

Το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο απελευθερώνεται από την καύση της βιομεθανόλης θεωρείται ουδέτερο για το κλίμα και ως εκ τούτου δεν εντάσσεται στην κατηγορία των αέριων του θερμοκηπίου. Αυτό εξηγείται καθώς ότι το CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από καύσιμο με βάση τη βιομάζα, <<αφαιρείται>> από την ατμόσφαιρα μόλις αναπτυχθεί νέα βιομάζα για να αντικαταστήσει αυτήν που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καυσίμου.

Οι εκπομπές CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O από τη μεθανόλη θεωρούνται αμελητέες . Οι εκπομπές SO<sub>x</sub> βασίζονται στην περιεκτικότητα σε θείο της μεθανόλης, η οποία είναι αμελητέα. Για την μέτρηση των εκπομπών NO<sub>x</sub> από μεθανόλη που καίγεται σε θαλάσσιους κινητήρες, δεν έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες. Η Wärtsilä εξέτασε τις εκπομπές NO<sub>x</sub> από τη μεθανόλη σε σχέση με εκείνες από HFO σε δύο μοντέλα κινητήρων: Στον Wärtsilä Vasa 32 και δοκιμές στο Sulzer z40S-mD(14) .Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι οι εκπομπές NO<sub>x</sub> ανήλθαν σε ποσοστό 40% των εκπομπών από HFO από τους ίδιους κινητήρες με παρόμοιο φορτίο. Ωστόσο, οι εκπομπές NO<sub>x</sub> δεν ήταν τόσο χαμηλές όσο προβλέπεται από το TierII. Συνεπώς, θεωρείται ότι οι εκπομπές NO<sub>x</sub> κατά την καύση μειώνονται κατά περίπου 60% όταν χρησιμοποιείται μεθανόλη (σε σύγκριση με την HFO). Η Man Diesel έχει πραγματοποιήσει δοκιμές με μεθανόλη σε θαλάσσιους κινητήρες με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub> κατά 30% σε σύγκριση με το θαλλάσιο ντίζελ. Παρόλο που τα αποτελέσματα των δοκιμασιών από Wärtsilä και Man διαφέρουν και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται σημαντική μείωση των NO<sub>x</sub> κατά την χρήση μεθανόλης. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι εκπομπές NO<sub>x</sub>, επηρεάζονται από τις συνθήκες της καύσης. Συνεπώς , οι τιμές λαμβάνονται με αβεβαιότητα. Οι δοκιμές Wärtsilä έδειξαν επίσης ότι η απόδοση καυσίμου είναι ίδια ή καλύτερη όταν χρησιμοποιείται μεθανόλη. Η εμπειρία της Stena δείχνει ότι έχει καλύτερη απόδοση καυσίμου( της τάξης του 1-2% )όταν λειτουργεί με μεθανόλη. Συνεπώς, θεωρείται ότι η ενεργειακή απόδοση των μηχανών των πλοίων παραμένει αμετάβλητη όταν <<τρέχουν>> με μεθανόλη. Παρατηρείται όμως αυξημένη κατανάλωση λιπαντικού στην χρήση μεθανόλης.

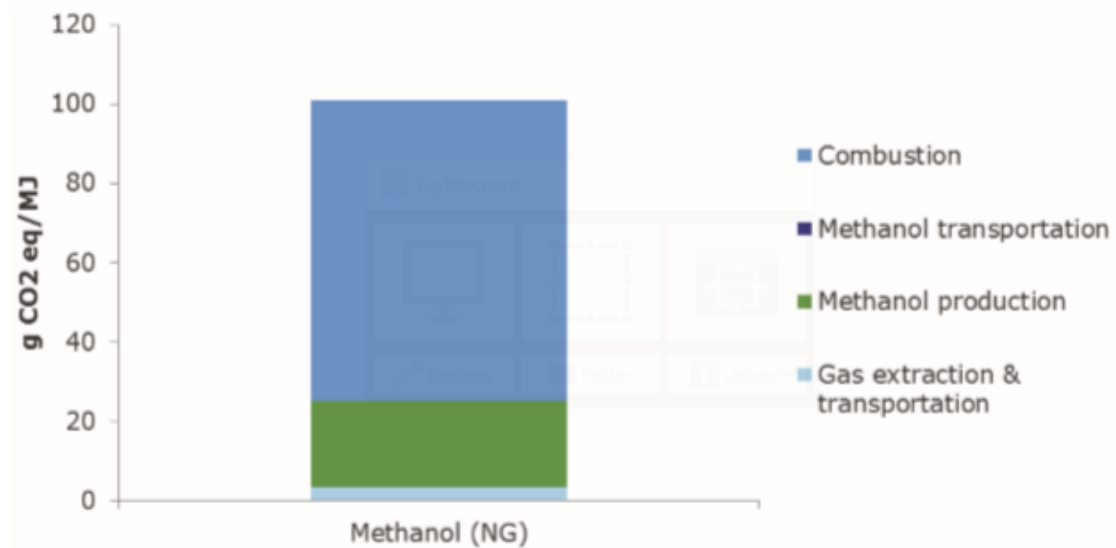
Πηγή: METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY

Compound	Emissions (g/MJ methanol)
CO <sub>2</sub>	69
CH <sub>4</sub>	0
N <sub>2</sub> O	0
NO <sub>x</sub>	0.4
SO <sub>x</sub>	0

Πίνακας 8 . Εκπομπές μεθανόλης

Το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών της μεθανόλης παρατηρείται στα στάδια της παραγωγής και της καύσης .Οι εκπομπές από την εξόρυξη και μεταφορά φυσικού αερίου μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το πού παράγεται το φυσικό αέριο. Ωστόσο, οι εκπομπές αυτές είναι μικρές σε σύγκριση με τις εκπομπές από την καύση και την παραγωγή.

Πηγή: METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY

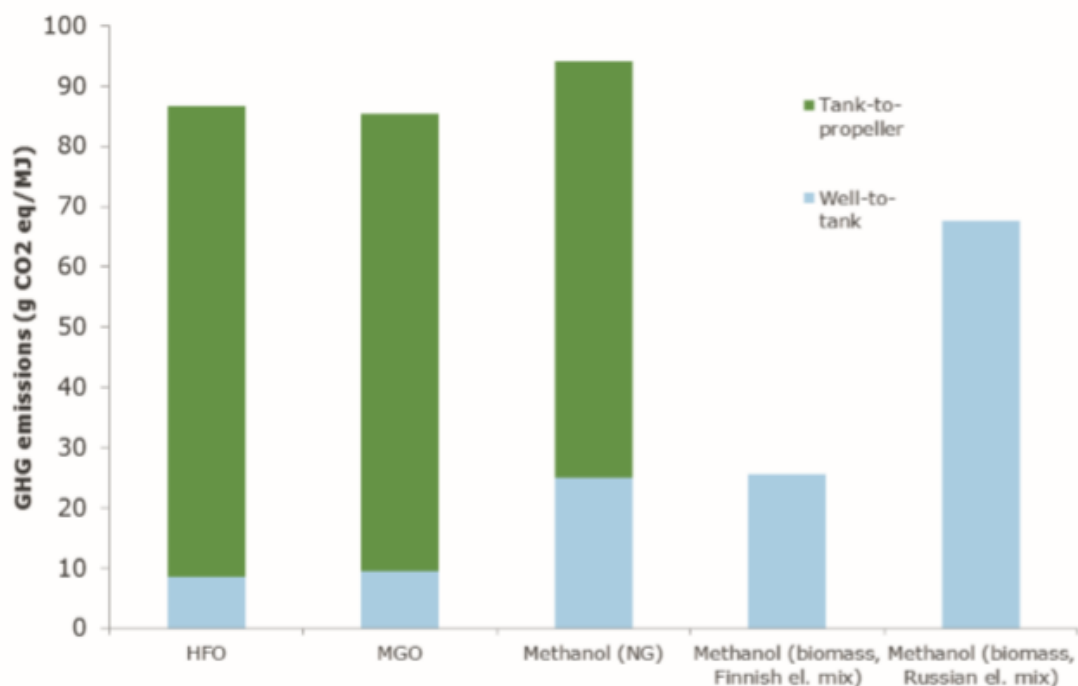


Διάγραμμα 7. Εκπομπές GHG της μεθανόλης ανα στάδιο κύκλου του καυσίμου

Οι εκπομπές μεθανόλης , που παράγεται από το φυσικό αέριο, είναι ελαφρώς υψηλότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές από τα MGO και HFO. Οι εκπομπές GHG της παραγωγής μεθανόλης από βιομάζα είναι μικρότερες από το ήμισυ των

συμβατικών καυσίμων, υπό την προϋπόθεση ότι η βιομάζα παράγεται χρησιμοποιώντας ένα σχετικά καθαρό μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα περιβαλλοντικά οφέλη της μεθανόλης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή της. ακόμη και η βιομεθανόλη δεν είναι απαραίτητα πολύ βελτιωμένη σε σύγκριση με το MGO εάν γίνεται με ένα μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας που δεν περιλαμβάνει μεγάλο ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [14]

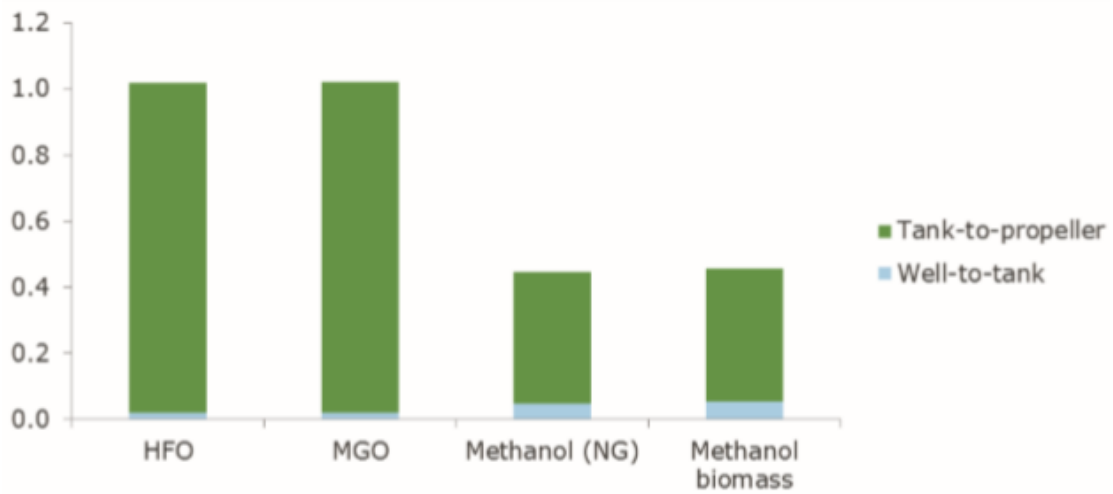
Πηγή: METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY



Διάγραμμα 8 .Συνολικές εκπομπές μεθανόλης σε σύγκριση με άλλα καύσιμα.

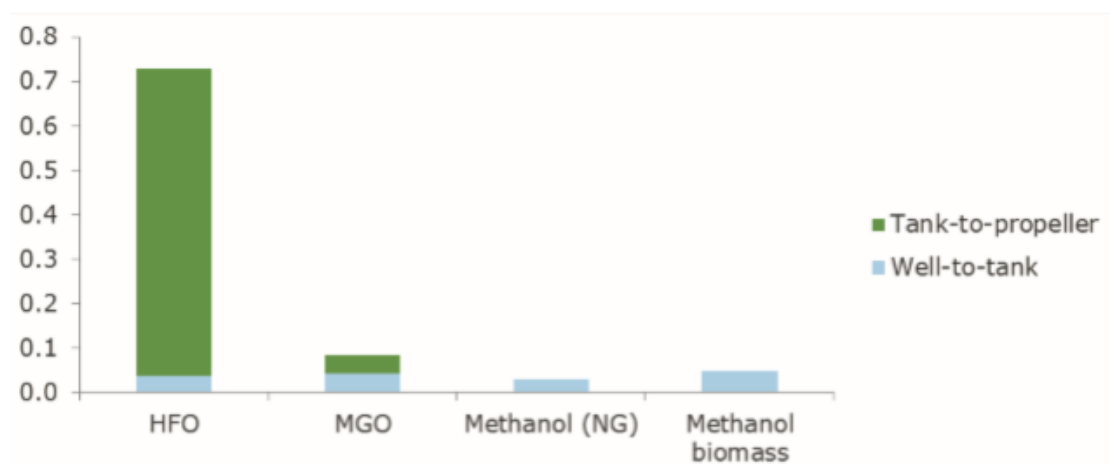
Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub> μειώνονται κατά περίπου 55% και 92% αντίστοιχα όταν χρησιμοποιείται μεθανόλη αντί για συμβατικά καύσιμα.

Πηγή:: METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY



Διάγραμμα 9 Εκπομπές NOx από την χρήση μεθανόλης σε σύγκριση με άλλα καύσιμα.

Πηγή:: METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY



Διάγραμμα 10. Εκπομπές SOx από την χρήση μεθανόλης σε σύγκριση με άλλα καύσιμα.

#### 4.2.2 Τύποι μηχανών καύσης μεθανόλης

Είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί η ανάφλεξη της μεθανόλης σε μια συνηθισμένη μηχανή ντίζελ. Την τελευταία πενταετία υπήρξαν δύο κορυφαίοι κατασκευαστές κινητήρων που ανέπτυξαν τον σχεδιασμό κινητήρων συμβατούς μεθανόλης. Η πρώτη εταιρία είναι η Wärtsilä, η οποία επικεντρώνεται στη ανάπτυξη του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα. Η δεύτερη εταιρεία είναι η MAN Diesel Turbo, η οποία επικεντρώθηκε στην αναδιαμόρφωση των δίχρονων κινητήρων, ώστε να είναι συμβατοί με μεθανόλη.

Πριν περιγραφεί ο κινητήρας μεθανόλης, πρέπει να είναι γνωστά τα βασικά στοιχεία ενός κινητήρα ντίζελ. Ο κινητήρας λειτουργεί με συμπίεση του αέρα σε υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία στον οποίο εισέρχεται το καύσιμο. Η υψηλή θερμοκρασία μέσα στον κύλινδρο θα προκαλέσει την ανάφλεξη του καυσίμου. Αυτή η διαδικασία ανάφλεξης ισχύει τόσο για τους δίχρονους όσο και για τους τετράχρονους κινητήρες.

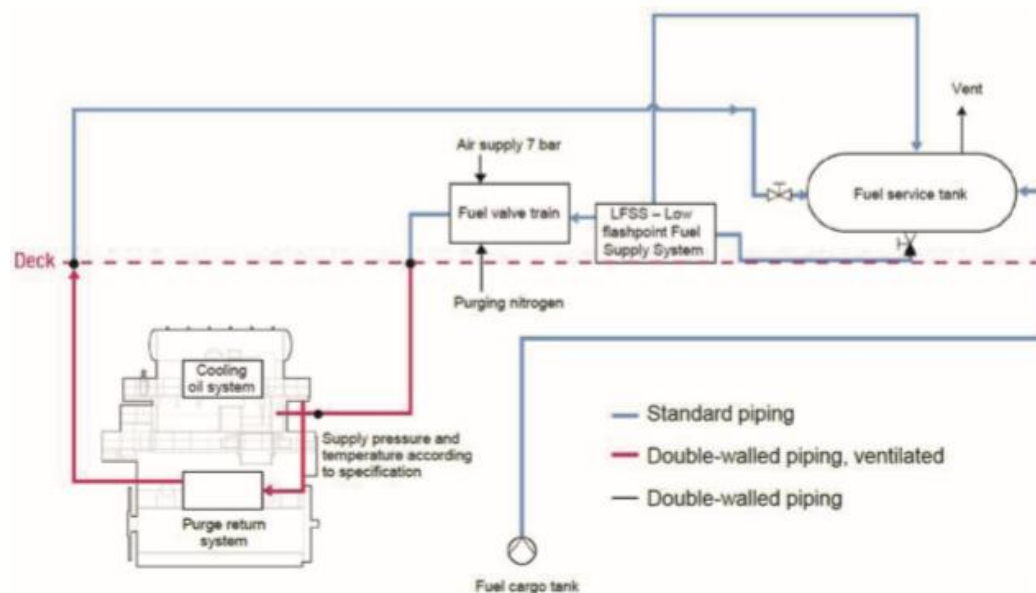
Η μεθανόλη δύναται να χρησιμοποιηθεί κυρίως σε κινητήρες διπλού καυσίμου (Dual Fuel). Όπως προκύπτει και από το όνομα, ο κινητήρας λειτουργεί με δύο καύσιμα, συχνά με ένα που είναι δύσκολο να αναφλεγεί όπως μεθανόλη ή LNG και ένα που είναι ευκολότερο όπως το ντίζελ. Η MAN έχει δύο τύπους Κινητήρες Dual Fuel, τον κινητήρα GI και τον κινητήρα LGI. Ο κινητήρας GI είναι ένας κινητήρας αερίωθης όπου ένα από τα καύσιμα εγχέεται σε μορφή αερίου και το οποίο στη συνέχεια αναφλέγεται από το άλλο υγρό καύσιμο.

Ο κινητήρας LGI είναι ένας κινητήρας έγχυσης υγροποιημένου αερίου, όπου και τα δύο καύσιμα εισάγονται σε υγρή μορφή. Η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον κινητήρα LGI.

Σε σύγκριση με έναν συμβατικό ναυτικό κινητήρα Diesel, οι πιο σημαντικές διαφορές που παρουσιάζονται είναι:

- Η κυλινδροκεφαλή, όπου προστίθεται επιπλέον εγχυτήρας.
- Ένα μπλοκ καυσίμου, το οποίο φιλοξενεί καύσιμο για έγχυση
- Το σύστημα παράδοσης καυσίμων, ένα τμήμα της σωληνώσεως είναι διπλό τοίχωμα για να ανιχνεύσει οποιαδήποτε διαρροή.
- Ειδικό σύστημα εξαερισμού για πιθανή διαρροή

Πηγή:: METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY



Εικόνα 9 .Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος διαχείρισης μεθανόλης

#### 4.2.3 Τροφοδοσία μεθανόλης

Οι απαιτήσεις σχετικά με τον ανεφοδιασμό της μεθανόλης είναι προσαρμοσμένες σύμφωνα με τους κανόνες DNV GL, χωρισμένοι στο σταθμό ανεφοδιασμού και στο σύστημα ανεφοδιασμού καυσίμων μεμονωμένα:

Σταθμός ανεφοδιασμού καυσίμων:

Ο σταθμός ανεφοδιασμού πρέπει να είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να παρέχεται επαρκής φυσικός αερισμός. Ο σταθμός ανεφοδιασμού πρέπει να διαχωρίζεται από τις άλλες περιοχές του πλοίου με αεροστεγείς διαφράξεις, εκτός εάν βρίσκεται στην περιοχή φορτίου στα δεξαμενόπλοια. Οι κλειστοί ή ημι-κλειστοί σταθμοί ανεφοδιασμού θα υπόκεινται σε ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά τις απαιτήσεις για μηχανικό αερισμό.

Οι σωληνώσεις πρέπει να τοποθετούνται κάτω από τις συνδέσεις γεώτρησης. Ο έλεγχος της δεξαμενής πρέπει να είναι δυνατός από μια ασφαλή τοποθεσία όσον αφορά τις διαδικασίες τροφοδοσίας. Απο αυτή τη θέση θα παρακολουθείται η στάθμη

της δεξαμενής. Ο συναγερμός υπερπλήρωσης και ο αυτόματος τερματισμός λειτουργίας πρέπει επίσης να υποδεικνύονται σε αυτή τη θέση.

Σύστημα ανεφοδιασμού καυσίμου:

- Σε κάθε γραμμή καυσίμων κοντά στο σημείο σύνδεσης της ακτής τοποθετείται χειροκίνητη βαλβίδα διακοπής και βαλβίδα διακοπής με τηλεχειρισμό σε σειρά ή ένας συνδυασμός χειροκίνητης και τηλεχειριζόμενης βαλβίδα.
- Οι σωλήνες τροφοδοσίας πρέπει να αποστραγγίζονται.
- Οι γραμμές τροφοδοσίας πρέπει να είναι διευθετημένες για την αδρανοποίηση και την απελευθέρωση αερίου.
- Ο σύνδεσμος σύνδεσης για τον εύκαμπτο σωλήνα μεταφοράς πρέπει να είναι τύπου που κλείνει αυτόματα κατά την αποσύνδεση (αυτοσφραγιζόμενος τύπος).

#### 4.2.4. Αποθήκευση μεθανόλης στο σκάφος

Θέση των δεξαμενών καυσίμου:

- Το καύσιμο δεν πρέπει να αποθηκεύεται στους χώρους μηχανοστασίου ή στους χώρους ενδιαιτήσεως και η ελάχιστη οριζόντια απόσταση μεταξύ της πλευράς της δεξαμενής καυσίμου και του περιβλήματος του πλοίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 760 mm.
- Οι χώροι μπροστά από το διάφραγμα σύγκρουσης (forepeak) και το οπίσθιο τμήμα του μεταγενέστερου διαφράγματος (afterpeak) δεν πρέπει να τοποθετούνται ως δεξαμενές καυσίμων
- Πρέπει να παρέχονται δύο δεξαμενές εξυπηρέτησης καυσίμων για κάθε τύπο καυσίμου που χρησιμοποιείται επί του πλοίου, απαραίτητο για την πρόωση και ζωτικά συστήματα ή ισοδύναμες διατάξεις.
- Κάθε δεξαμενή πρέπει να έχει επαρκή χωρητικότητα για τη συνεχή βαθμολόγηση της μονάδας πρόωσης και το κανονικό φορτίο λειτουργίας στη θάλασσα της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για περίοδο όχι μικρότερη των 8 ωρών, εφόσον χρησιμοποιείται μόνο ως μεθανόλη ως καύσιμο.

Η διαμόρφωση της δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμου μεθανόλης είναι πιο πολύπλοκη σε σύγκριση με το συμβατικό πετρέλαιο, λόγω της φύσης και των ιδιοτήτων της μεθανόλης ως καυσίμου. Απαιτούνται πρόσθετα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, όπως συναγερμοί υπερπλήρωσης και διακοπή λειτουργίας, παρακολούθηση της ανίχνευσης υγρών εξαερισμού και αερίων. Συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς σε χώρους δίπλα στις δεξαμενές καυσίμων, καθώς και συστήματα πυρόσβεσης. Ειδικά, τα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι σημαντικά, λόγω του γεγονότος ότι μια πυρκαγιά με βάση μεθανόλη καίει αόρατα, σε αντίθεση με τη βενζίνη, η οποία καίει με μια ορατή φλόγα. Η ανίχνευση πυρκαγιάς με υπέρυθρες κάμερες είναι συνεπώς μια πιθανή λύση σε αυτό το πρόβλημα σε συνδυασμό με συστήματα πυρόσβεσης με ψεκασμό νερού. [14]



## Κεφάλαιο 5

### Οι επιδράσεις στην ναυτιλία

Η απαίτηση του 0,50% θα εφαρμοστεί αυστηρά σε παγκόσμιο επίπεδο από τις λιμενικές αρχές, των οποίων η αποστολή θα επικουρείται από την απαγόρευση της μεταφοράς μη συμμορφούμενων καυσίμων, η οποία θα τεθεί σε ισχύ την 1η Μαρτίου 2020. Τονίζεται ότι τα κράτη μέλη του IMO συμφώνησαν ότι δεν θα υπάρξει μεταβατική περίοδος μετά 1η Ιανουαρίου 2020. Συνεπώς, θα είναι αδύνατη η καύση οποιουδήποτε <<μη συμμορφούμενου καυσίμου>> που παραμένει στα πλοία. Η περίοδος «μετάβασης» θα διαρκέσει στην πραγματικότητα μέχρι την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2019. Αυτό σημαίνει ότι οι ναυτιλιακές πρέπει να έχουν ήδη προετοιμαστεί πλήρως.

Όπως συνιστάται από τον IMO, είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι ναυτιλιακές εταιρείες να έχουν πάρει τα μέτρα τους, ακολουθώντας ένα συγκεκριμένο σχέδιο υλοποίησης (Implentation plan), έχοντας λάβει υπ' όψιν τους τις οδηγίες τις ICS( International Chamber of Shipping).

Θα είναι ευθύνη των πλοιοκτητών να διασφαλίσουν ότι το πλοίο τους θα συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του IMO. Πρέπει να λάβουν την κρίσιμη απόφαση σχετικά με την επιλογή ή τις επιλογές συμμόρφωσης και η απόφασή τους πρέπει να γίνει σε μια περίοδο παρατεταμένης οικονομικής στυγνότητας για ένα μεγάλο μέρος της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Στον ναυτιλιακό κλάδο παρουσιάζονται αρκετές επιλογές για το 2020 και έπειτα, χωρίς όμως ενδεδειγμένη λύση. Όλες οι διαφορετικές επιλογές θα αξιολογηθούν από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη και θα επιλεγεί εκείνη που θεωρείται η πιο οικονομική, κατάλληλη για τις δραστηριότητές τους και εμπορικά βιώσιμη σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

Για τους εφοπλιστές, η επιλογή μιας λανθασμένης στρατηγικής συμμόρφωσης αντιπροσωπεύει τον μεγαλύτερο κίνδυνο που συνδέεται με το παγκόσμιο όριο για το 2020, καθώς θα μπορούσε να τους θέσει σε μειονεκτική θέση έναντι των ανταγωνιστών τους. Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή είναι δύο: η τιμολόγηση και η διαθεσιμότητα των καυσίμων. Τα δύο αυτά μεγέθη αναμένεται να παρουσιάσουν πολύ λιγότερη σταθερότητα το μεγαλύτερο μέρος του 2020.

Σε πρώτη ανάλυση, η απλούστερη λύση την απόφαση του IMO φαίνεται να είναι η μετάβαση σε καύσιμο θείου 0,5% και ίσως να είναι αυτή η επιλογή που οι περισσότεροι πλοιοκτήτες θα ακολουθήσουν. Η δυσκολία θα έγκειται στην πρόβλεψη της τιμής και της διαθεσιμότητας των καυσίμων αυτών. Το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να εξεταστεί είναι ότι δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτή μέθοδος εξευγενισμού για την παραγωγή ενός καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.5%. Η εμπειρία της βορειοδυτικής Ευρώπης κατά την εφαρμογή του ορίου 0,1% στην παραπλήσια ECA στις αρχές του 2015 δείχνει ότι η αγορά αυτών των καυσίμων θα είναι κατακερματισμένη, με καύσιμα διαφορετικών προδιαγραφών σε προσφορά.

Η μεγάλη ποικιλία των επιλογών μπορεί να είναι βολική για τις πετρελαϊκές εταιρίες, αλλά θα προκαλέσει προβλήματα στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Τα προϊόντα Blend ειδικά, δεν παρουσιάζουν πάντα αξιόπιστη σταθερότητα και σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι συμβατά με άλλα καύσιμα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής καυσίμου ενός σκάφους, διακινδυνεύοντας πιθανό μπλοκάρισμα φίλτρων ή ακόμα και βλάβη στον κινητήρα.

Αυτά τα ανησυχητικά δεδομένα θα διαμορφώσουν μια κατάσταση χάους στην αγορά των καυσίμων για τα πρώτα χρόνια μετά το 2020, τουλάχιστον μέχρις ότου συμφωνηθεί ένα τυποποιημένο σύνολο προδιαγραφών. Ένα σκάφος που ξεκινά από το Ρότερνταμ και ανεφοδιάζεται στη Σιγκαπούρη, είναι απαραίτητο να έχει πρόσβαση σε παρόμοια καύσιμα και στα δύο λιμάνια για να αποφευχθούν προβλήματα συμβατότητας.

Πηγή:: History Argus Media, forecast Wood Mackenzie

Med Prices FOB cargoes		2020	2021	2022	2023
Gasoil	\$/tonne	689	719	747	795
0.5%S ULSFO	\$/tonne	563	580	606	650
1 wt%S FO	\$/tonne	427	430	453	491
3.5 wt%S FO	\$/tonne	324	361	405	448

Προβλεπόμενες τιμές καυσίμων για τα επόμενα τρία χρόνια

Παράλληλα, σε μεγάλους σταθμούς ανεφοδιασμού, θα προσφέρεται μεγάλη ποικιλία σε καύσιμα που συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του IMO στις αρχές του 2020, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις. Γεγονός, που δεν θα ισχύει για τα μικρότερα λιμάνια, όπου θα είναι πιο περιορισμένες οι επιλογές.

### 5.1 Scrubbers

Αρκετοί στην ναυτιλιακή βιομηχανία προωθούν τους scrubbers ως λύση. Το κύριο πλεονέκτημα των scrubbers είναι ότι αυτοί επιτρέπουν στους εφοπλιστές να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν HFO χωρίς παραβιάζουν τους κανονισμούς για το νέο παγκόσμιο όριο θείου. Αλλά αυτό έρχεται με κόστος: ο εφοπλιστής θα αναγκαστεί να δαπανήσει έως και 6 εκατομμύρια δολάρια (σύμφωνα με τις εκτιμήσεις) για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε κάθε σκάφος. Με την πάροδο του χρόνου, το

κεφάλαιο αυτό θα εξοικονομηθεί σε χαμηλότερες τιμές καυσίμων. Η ταχύτητα απόδοσης της επένδυσης θα προσδιοριστεί από τη διαφορά τιμής μεταξύ των καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο και όσων έχουν περιεκτικότητα 0,5% η χαμηλότερη.

Η Φινλανδική εταιρεία τεχνολογίας Wartsila, ένας από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές scrubbers στον κόσμο, έχει εξετάσει την περίπτωση ενός τυπικού δεξαμενόπλοιου με κινητήρα 8 MW για το οποίο ο χρόνος αποπληρωμής για μια εγκατάσταση φίλτρων με κόστος € 3,8 εκατομμύρια (περίπου 4,2 εκατομμύρια δολάρια) θα έφτανε στα 4,8 χρόνια. Για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με κινητήρα 20 MW, ο χρόνος αποπληρωμής για μεγαλύτερο scrubber, αξίας 5,275 εκατ. Ευρώ, θα ανέλθει σε πέντε χρόνια, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της εταιρείας. Εκτός από το κόστος της επένδυσης, πρέπει να συνυπολογιστεί και η οικονομική απώλεια για τον πλοιοκτήτη, καθώς το πλοίο θα παραμένει για διάστημα ενός μήνα εκτός λειτουργίας, μέχρι να γίνει η εγκατάσταση. Το χρονικό διάστημα αποπληρωμής, μαζί με το χρόνο που απαιτείται για την εγκατάσταση, καθιστά μη οικονομικά αποδοτική την χρήση scrubbers για πλοία τα οποία ενδέχεται να αποσυρθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Οι ναυτιλιακές που εξετάζουν το ενδεχόμενο εγκατάστασης scrubber, πρέπει να αναλογιστούν ποιος τύπος είναι ο πλέον κατάλληλος για τις ανάγκες τους. Οι καθαριστές ανοιχτού βρόχου λαμβάνουν φυσικό αλκαλικό θαλασσινό νερό και στη συνέχεια το εκκενώνουν από την έξοδο στη θάλασσα, ενώ στα συστήματα κλειστού βρόχου, προστίθεται καυστική σόδα για την αύξηση της αλκαλικότητας του νερού που χρησιμοποιείται ενώ η εκκένωση πραγματοποιείται σε λιμάνι. Οι πλυντρίδες κλειστού βρόχου έχουν μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος. Ένα μέρος του είναι το κόστος της καυστικής σόδας που πρέπει να παρέχεται συνεχώς στο σύστημα. Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου είναι σημαντικά φθηνότερα όσον αφορά για την εγκατάσταση, με τιμές έως και \$ 800.000 χαμηλότερες από τα κλειστά συστήματα σε ορισμένες περιπτώσεις.

Η διάθαρση ορισμένων καυσίμων μετά το 2020 μπορεί να αποδειχθεί πρόβλημα για ορισμένους πλοιοκτήτες που θα βασιστούν στην λειτουργία των καθαριστών. Η μετάβαση σε καύσιμα με περιεκτικότητα θείου 0,5% το 2020, θα καταστήσει τα καύσιμα πετρελαίου που δεν πληρούν την συγκεκριμένη προδιαγραφή λιγότερα ελκυστικά. Ίσως, σε ορισμένα μικρά λιμάνια, αρκετοί προμηθευτές να σταματήσουν τον εφοδιασμό.

## 5.2 LNG- Μεθανόλη

Το LNG θα πρέπει να είναι φθηνότερο από τα καύσιμα θείου 0,5% σε κανονικές συνθήκες αγοράς, ενώ προσφέρει χαμηλότερες εκπομπές. Ένα από τα κύρια πλεονέκτημα της μετάβασης σε αυτό το καύσιμο είναι πώς προστατεύει από μελλοντικούς πιθανούς περιβαλλοντικούς περιορισμούς στη ναυτιλία όσον αφορά τις εκπομπές αζώτου, σωματιδίων και άνθρακα.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η έλλειψη προβλημάτων συμβατότητας, καθώς οι προδιαγραφές του καυσίμου είναι σταθερές και δεν θα παρατηρούνται συχνά

προβλήματα στην διαθεσιμότητα στις εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού LNG. Επίσης, οι κινητήρες διπλού καυσίμου ικανοί να καίνε MGO καθώς και LNG είναι ευρέως διαθέσιμοι, γεγονός που σημαίνει ότι η ναυτιλιακή μπορεί να αλλάζει τα καύσιμα εάν η τιμή του LNG αυξηθεί.

Όπως και με τους scrubbers, η κύρια αντίρρηση στην χρήση LNG είναι το κόστος. Πιο συγκεκριμένα το κόστος μεταποίησης πλοίου σε κινητήρα LNG θα ήταν απαγορευτικά δαπανηρό. Συνεπώς, όποιος πλοιοκτήτης σκέφτεται την χρήση LNG θα πρέπει να είναι σε ένα θέση να αγοράσει νέο σκάφος. Σημαντικό μειονέκτημα είναι επίσης ότι οι δεξαμενές αποθήκευσης του LNG είναι αρκετά μεγάλες σε σχέση με άλλα καύσιμα, άρα μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος για την μεταφορά φορτίου.

Η μεθανόλη έχει παρόμοια περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα με το LNG, δηλαδή χαμηλότερες εκπομπές θείου, αζώτου, σωματιδίων και άνθρακα σε σχέση με το πετρελαϊκά καύσιμα. Επίσης, όπως και το LNG είναι φθηνότερη σε σχέση με τα MDO, MGO ενώ παρουσιάζει καλύτερες ιδιότητες σαν υγρό καύσιμο από ότι το LNG

Το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού ανεφοδιασμού μεθανόλης έχει εκτιμηθεί περίπου στα 400.000 ευρώ, σύμφωνα με μια έκθεση της FC Business Intelligence και του Methanol Institute που δημοσιεύθηκε το 2015, ενώ μια φορτηγίδα θα μπορούσε να μετατραπεί για την μεταφορά μεθανόλης για περίπου 1,5 εκατ. ευρώ. Αντίθετα, ένας τερματικός σταθμός για LNG χρειάζεται 50 εκ. ευρώ ενώ μια καινούργια φορτηγίδα 30 εκ. ευρώ.

Βέβαια το μειονέκτημα είναι της μεθανόλης βρίσκεται στο κόστος της εγκατάστασης.

Μπορεί μια μεταποίηση να είναι οικονομικά αποδοτική, όμως αυτό το κόστος σε συνδυασμό με τον χρόνο που το σκάφος θα παραμείνει εκτός λειτουργίας, κάνει την μεθανόλη δαπανηρή επένδυση. Επίσης, εκφράζονται ανησυχίες για την διαθεσιμότητα της μεθανόλης ακόμα σε σταθμούς εφοδιασμού σε μεγάλα λιμάνια.

### 5.3 Οικονομική ανάλυση δυο περιπτώσεων για συμμόρφωση στα νέα μέτρα

Στο πλαίσιο του οικονομικού αντικτύπου για τις ναυτιλιακές παρατίθενται δύο οικονομικές μελέτες. Η πρώτη αφορά στο συνολικό κόστος μια επένδυσης scrubber και η δεύτερη μια επένδυση σε LNG. Αυτές κατόπιν συγκρίνονται με τις άλλες εναλλακτικές που έχουν οι ναυτιλιακές εταιρίες για συμμόρφωση με τα νέα δεδομένα. Στην πρώτη μέλετη τα στοιχεία έχουν ληφθεί από την εργασία 'A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies' 2013, EMSHIP Erasmus Mundus, Master Thesis, Shih-Tung Shu ενώ τα στοιχεία για την δεύτερη μελέτη έχουν παρουσιαστεί στην ανάλυση 'LNG as a marine fuel-The investement oprtunity, SEA-LNG..

#### 5.3.1 Κοςτος Εγκατάστασης & Λειτουργίας Συστήματος SCRUBBER

Υπάρχουν πολλά είδη πλοίων και πολλά προφίλ λειτουργίας για το καθένα. Έτσι είναι φανερό πως συνιστώσες όπως η ισχύς των κινητήρων και οι ημέρες συνεχούς λειτουργίας σε ECA επηρεάζουν την κοστολόγηση μιας τέτοιας επένδυσης. Για κάθε σύστημα, ο μηχανικός σχεδιασμός γίνεται ειδικά για συγκεκριμένο πλοίο ανάλογα με τα αιτήματα του πλοιοκτήτη και το προφίλ λειτουργίας πλοίου<sup>[18]</sup>

Παρουσιάζονται και αναλύονται τα παρακάτω πιθανά σενάρια :

Ένα τάνκερ(container ship) 4.000 TEU με 60.000 DWT πραγματοποιεί δρομολόγια μεταξύ Ευρώπης και Βόρειας Αμερικής είναι εξοπλισμένο με σύστημα καθαρισμού. Η ισχύς του κινητήρα πρόωσης είναι 36 MW και χρησιμοποιεί μέσο φορτίο κινητήρα 80% για να διατηρεί την ταχύτητα. Από τις περισσότερες φορές ταξιδεύει σε ολόκληρο τον Ειρηνικό Ωκεανό, ο συνολικός χρόνος που αφιερώνεται στο ECA-SOx υπολογίζεται σε 30% ετησίως, ενώ οι ημέρες συνεχούς λειτουργίας εντός του ECA-SOx θεωρούνται 3 ημέρες.<sup>[18]</sup>

Ένα επιβατηγό πλοίο (passenger) 7.500 DWT με χωρητικότητα 2.500 επιβατών ταξιδεύει στα ύδατα της ΕΕ είναι εξοπλισμένο με σύστημα scrubber . Η ισχύς του κινητήρα πρόωσης είναι 16 MW και χρησιμοποιεί το 90% μέσο φορτίο κινητήρα για τη διατήρηση της ταχύτητας. Η συνολική διάρκεια παραμονής σε ECA υπολογίζεται σε 70% ετησίως, δεδομένου ότι το πλοίο θα εκτρέψει μέρος της πορείας του εκτός του ECA. Οι συνεχείς ημέρες λειτουργίας εντός του ECA θεωρούνται ότι είναι 2 ημέρες.<sup>[18]</sup>

Μια Ro-pax 1.500 TEU με 400 επιβάτες εκτελεί δρομολόγια μεταξύ Ηνωμένου Βασιλείου και Νορβηγίας σχεδιάζει να εγκαταστήσει ένα σύστημα καθαρισμού. Η ισχύς του κινητήρα πρόωσης είναι 12 MW και χρησιμοποιεί το 90% από το μέσο φορτίο του κινητήρα για τη διατήρηση της ταχύτητας. Το πλοίο παραμένει μέσα σε ECA-SOx για όλη την διαδρομή. Η συνεχής λειτουργία θεωρείται ότι διαρκεί για μία ημέρα.<sup>[18]</sup>

Τέλος, ένα δεξαμενόπλοιο( tanker) 37.000 DWT ταξιδεύει μεταξύ Ευρώπης και Βόρειας Αμερικής έχει εξοπλιστεί με σύστημα scrubber. Η ισχύς του κινητήρα πρόωσης είναι 10 MW και χρησιμοποιεί μέσο όρο 80% φορτίο του κινητήρα για τη διατήρηση της ταχύτητας. Ο συνολικός χρόνος εντός ECA εκτιμάται σε 50% ανά έτος από τότε που το πλοίο ταξιδεύει στον Ειρηνικό Ωκεανό και ξοδεύει περισσότερο χρόνο στην Βόρειο-Αμερικάνικη ECA. Οι ημέρες συνεχούς λειτουργίας εντός του ECA είναι 5 μέρες.<sup>[18]</sup>

Η βασική γραμμή (baseline) της ανάλυσης κόστους του κύκλου ζωής ορίζεται ως το κόστος καυσίμου ( Μόνο MGO) για λειτουργία ενός έτους. Το κόστος κύκλου ζωής ισούται με τη συνολική κατανάλωση MGO για πάνω από 15 ετη και χρησιμοποιείται για σύγκριση με τα κόστη κύκλου ζωής των συστημάτων καθαρισμού. Η διαφορά μεταξύ τους μπορεί να θεωρηθεί ως εκτίμηση της Καθαρής Παρούσας Αξίας -Net Present Value (NPV) κάθε ενός.

Στο σενάριο έγινε η παραδοχή ότι εγκαθίσταται ένα μόνο σύστημα καθαρισμού απλής εισόδου για το ρεύμα καυσαερίων από έναν μόνο κύριο κινητήρα πρόωσης. Οι περιπτώσεις του συστήματος πλύσης πολλαπλών εισόδων δεν συζητούνται στην ανάλυση. Το κόστος αλλαγής καυσίμων χωρίς την εγκατάσταση οποιασδήποτε τεχνολογίας καθαρισμού για να ανταποκριθεί στα νέα όρια IMO μπορούν να υπολογιστούν από τη διαφορά τιμής μεταξύ του HFO και MGO και της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου ανά έτος.

Παρακάτω δίνεται μια βασική γραμμή (baseline) ανάλυσης κόστους του κύκλου για τον τύπο πλοίου και το προφίλ λειτουργίας που μελετάται.

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

	<b>Container</b>	<b>Passenger</b>	<b>Ro-Rax</b>	<b>Tanker</b>
Engine Power	36 MW	16 MW	12 MW	10 MW
DWT	60,000	7,500	27,000	37,000
Cargo capacity	4000 TEU	-	1500 TEU	-
Passengers capacity	-	2500	400	-
Average Engine Load	80% MCR	90% MCR	90% MCR	80% MCR
ECA-SOx time	30%	70%	100%	50%
Continues Operation Days in ECA-SOx	3 days	2 days	1 day	5 days
Days of Operation (per year)	270 days	270 days	270 days	270 days
Life-span	15 years	15 years	15 years	15 years
Date of Installation	2014	2014	2014	2014
Engine Fuel Consumption	173g/kW-hr	173g/kW-hr	173g/kW-hr	173g/kW-hr
Total Fuel Used (per year)	9686 tons	11300 tons	12107 tons	4484 tons
Cost of HFO (per metric ton)	591 USD	591 USD	591 USD	591 USD
Cost of MGO(per metric ton)	925 USD	925 USD	925 USD	925 USD
Price Spread (MGO-HFO)	334 USD	334 USD	334 USD	334 USD
Exchange rate	1.3 USD/€	1.3 USD/€	1.3 USD/€	1.3 USD/€
Cost of Baseline (per year)	2,488,557 €	2,903,231 €	3,110,568 €	1,152,043 €

Πίνακας 11. Κόστη Baseline

Το κόστος αλλαγής καυσίμων χωρίς την εγκατάσταση οποιασδήποτε τεχνολογίας καθαρισμού για την συμμόρφωση με τα όρια του IMO, μπορεί να υπολογιστεί από τη διαφορά τιμής μεταξύ του HFO και του MGO και την συνολική κατανάλωση καυσίμου ανά έτος. Προφανώς τέτοιες βασικές γραμμές μπορούμε να συνθέσουμε για οποιοδήποτε πλοίο και συνδυασμό δρομολογίου.<sup>[18]</sup>

### 5.3.2 Πάγια Κόστη

Οι δαπάνες κεφαλαίου κάθε σκάφους, μπορούν να χωριστούν σε πέντε υποκατηγορίες

1. Κόστος αγοράς εξοπλισμού,
2. Κόστος σχεδιασμού εγκατάστασης
3. Κόστος εγκατάστασης σε λειτουργία ( commissioning)
4. Κόστος τεκμηρίωσης / κατάρτισης και
5. Κόστος απωλειών κερδών ( εκτός μίσθωσης)

Είναι σχετικά δύσκολο να πραγματοποιηθεί μια ακριβής και απόλυτη εκτίμηση κόστους ενός συστήματος καθαρισμού. Ωστόσο από εταιρικά δελτία τύπου, φυλλάδια, δημόσιες εκθέσεις και μελέτες από κατασκευαστές scrubbers, σχηματίζεται μια γενική ιδέα των γύρω από την κεφαλαική δαπάνη για τα συστήματα καθαρισμού τα τελευταία χρόνια. [18]

Τα δεδομένα κόστους συλλέγονται αναφορικά με το μέγεθος του κινητήρα όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα. Η εκτίμηση του γραμμικού κόστους (με κόκκινο χρώμα) προκύπτει από την εκτίμηση για το μέσο κόστος ανά MW από διάφορες μελέτες.

Ορισμένα από τα στοιχεία κόστους πάρθηκαν απλά απο ειδησεογραφικά άρθρα ή δελτία τύπου χωρίς συγκεκριμένα στοιχεία.για τους τύπους συστημάτων καθαρισμού ή ποιο από τα τα στοιχεία κόστους (πχ το κόστος απόκτησης εξοπλισμού, το κόστος σχεδιασμού, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος τεκμηρίωσης / κατάρτισης)

περιλαμβάνεται. και οι πραγματικές τιμές για τα συστήματα καθαρισμού πρέπει να λαμβάνονται απευθείας από τους κατασκευαστές των scrubbers για συγκεκριμένες απαιτήσεις σχεδίασης.

Παρ 'όλα αυτά, μια γενική διακύμανση του κόστους των scrubber είναι από 1 εκατομμύριο δολάρια έως 4 εκατομμύρια δολάρια.[18].

Οι εκθέσεις που έχουν εκπονηθεί σχετικά συμφωνούν ότι

- Τα έξοδα είναι σημαντικά υψηλότερα για τα συστήματα που έχουν εγκατασταθεί εκ των υστέρων από ό,τι για τα νέα και Τα συστήματα κλειστού βρόγχου καθαρισμού είναι πιο δαπανηρά από τα ανοικτού βρογχου.

Τα δεδομένα κόστους συλλέγονται αναφορικά με την ισχύ του κινητήρα όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα. Η εκτίμηση του γραμμικού κόστους (με κόκκινο χρώμα) προκύπτει από την εκτίμηση για το μέσο κόστος ανά MW από διάφορες μελέτες.

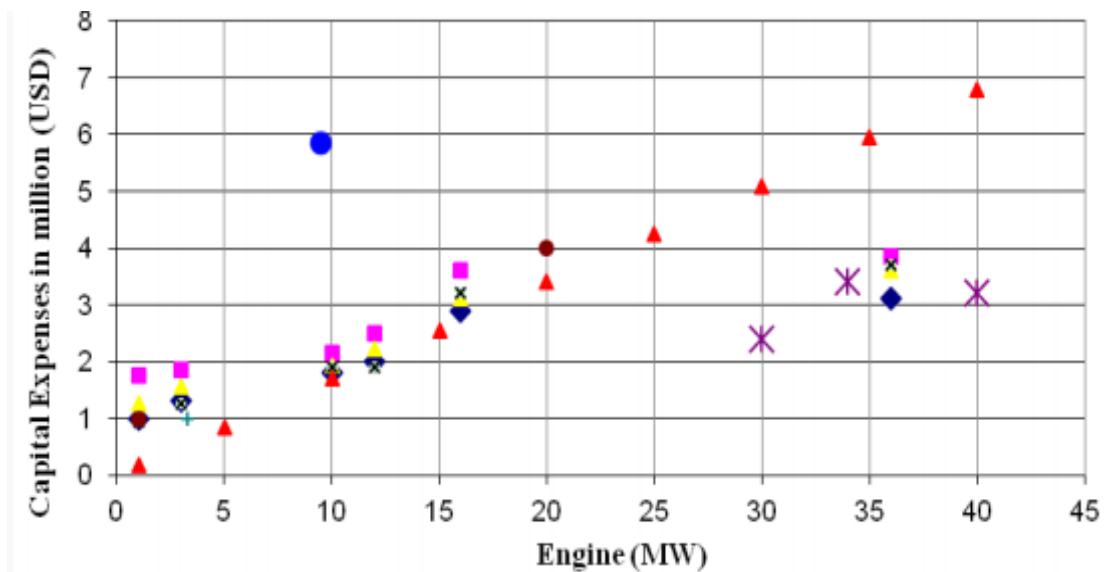
Στο παρακάτω πίνακα – Εικόνα φαίνονται οι εκτιμήσεις κόστους και ο το εύρος της διακύμανσής τους. (μόνο για το κόστος του εξοπλισμού )

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

(USD)*	SWS	FWS	HS	Dry
36 MW	3,100,000	3,850,000	3,600,000	3,770,000
16 MW	2,900,000	3,600,000	3,120,000	2,780,000
12 MW	2,000,000	2,500,000	2,220,000	2,615,000
10 MW	1,800,000	2,150,000	1,920,000	1,870,000
3 MW	1,300,000	1,850,000	1,560,000	1,250,000
1 MW	1,000,000	1,750,000	1,260,000	920,000

Πίνακας 12. Κόστη συστημάτων καθαριστών για διαφορετικούς κινητήρες

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies



Διάγραμμα 11. Κόστη Baseline

Ο πίνακας αποτελεί την εκτίμηση της Glosten όσο αφορά στα υγρά συστήματα. Το κόστος του ξηρού συστήματος καθαρισμού προέρχεται κατευθείαν από τον πωλητή με αναγωγή στην αντίστοιχη ισχύ.

### 5.3.3 Λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης

Οι δαπάνες αυτές εκτιμώνται με βάση το ποσοστό του κόστους εξοπλισμού που τους αντιστοιχεί :

9% για το κόστος μελέτης μηχανικού,

80% για το κόστος εγκατάστασης / ανάθεσης και

2% για το κόστος τεκμηρίωσης (γραφειοκρατικά)

1% απώλεια ενοικίου (εκτός λειτουργίας λόγω της εγκατάσταση)

Το κόστος εξωρηματιστηριακής εγκατάστασης μπορεί να εκτιμηθεί ως 1% του κόστους εξοπλισμού ή υπολογίζεται από τη διάρκεια της εγκατάστασης και την απώλεια ενοικίου.[18]

Οι συνολικές δαπάνες κεφαλαίου και τα στοιχεία κόστους αποδίδονται σχηματικά :

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Capital Expenditure		Total = 1.92 A or 1.91A +B
Equipment	Equipment capital cost [€]	= A
Installation/Commissioning	Equipment capital cost [€]* Estimation in percentage [%]	= 0.8 A
Engineering Design	Equipment capital cost [€]* Estimation in percentage [%]	= 0.09 A
Documentation	Equipment capital cost [€]* Estimation in percentage [%]	= 0.02 A
Installation Off-hire Loss	Loss of off-hire [€/day]* Installation time [days]	= 0.01 A or B

Πίνακας 13. Συνολικές δαπάνες κεφαλαίου και στοιχεία κόστους.



Χωρίς επαρκή στοιχεία κόστους από την πραγματική εγκατάσταση, υπάρχει αβεβαιότητα για το εκτιμώμενο ποσοστό κόστους. Οι συνολικές κεφαλαικές δαπάνες είναι κατά σχετική τάξη μεγέθους. Οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες υποκατηγορίες που παρουσιάζονται παρακάτω. Οι συνολικές δαπάνες λειτουργίας διαφέρουν σε κάθε σύστημα καθαρισμού και υπολογίζονται με βάση τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 14. Συνολικές δαπάνες κεφαλαίου και στοιχelia κόστους.

O&M Expenditures	Total =	SWS=	C+D+E+F+G
		FWS=	C+D+E+F+G+H+I
		HS=	C+D+E+F+G+H+I
		Dry=	C+D+E+F+J+K+L
Scrubber power cost	Total fuel consumption per annum [MT] * Power consumption [% of MCR] * HFO fuel price [455 €/MT]		= C
Labour cost	Staff need for scrubber per annum (engineer level) [0.2 staff] * Labour cost (engineer level) [10,000 €/year]		= D
Maintenance	Equipment capital cost [€] * Maintenance cost estimation in percentage [%]		= E
Loss in freight	Minimum capacity loss [TEU] * Travel schedule [voyages] * Freight rate [€/voyage]		= F
Sludge disposal cost	Total sludge generation per annum [MT] * Sludge disposal price [200 €/MT]		= G
NaOH cost	Total NaOH consumption per annum [MT] * NaOH price [350 €/MT]		= H
Fresh water cost	Total fresh water consumption per annum [MT] * Fresh water price [2 €/MT]		= I
Granulate cost	Total Ca(OH) <sub>2</sub> granulate consumption per annum [MT] * Granulate price [230 €/MT]		= J
Fresh granulate transport	Total fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate consumption per annum [MT] * Fresh handling price [75 €/MT]		= K
Used granulate transport	Total used Ca(OH) <sub>2</sub> granulate generation per annum [MT] * Disposal handling price [50 €/MT]		= L

Πίνακας 14. Κόστη λειτουργίας και συντήρησης

- Το λειτουργικό προσωπικό θεωρείται ότι είναι το 20% σε επίπεδο μηχανικού με ετήσιο μισθό 10.000 € για το κόστος εργασίας, δεδομένου ότι οι περισσότεροι πωλητές ισχυρίζονται ότι απαιτείται ελάχιστη επιτήρηση για τη λειτουργία του scrubber.
- Οι τιμές του NaOH είναι ευμετάβλητες και εκτιμάται ότι θα αυξηθούν λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων των βιομηχανιών. Το ξηρό σύστημα απαιτεί υδροξείδιο του ασβεστίου υπό τη μορφή σφαιρικού κοκκώδους προϊόντος για την λειτουργία του.

Η τιμή των σφαιρικών κοκκίων εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 230 € ανά μετρικό τόνο από τους προμηθευτές. Τα έξοδα διακίνησης για τη μεταφορά νωπών και μεταχειρισμένων κόκκων εκτιμώνται σε 75 και 50 € ανά μετρικό τόνο, αντίστοιχα.

Η αναπλήρωση γλυκού νερού στα λιμάνια θεωρείται απλά ότι είναι 2 € ανά μετρικό τόνο παρά την το γεγονός ότι υπάρχουν διαφορετικοί προμηθευτές σε διαφορετικούς λιμένες. [18]

- Με βάση τη μελέτη της Δανέζικης ΕΡΑ, αναφέρεται ότι η ιλύς που παράγεται από τους υγρούς scrubbers πρέπει να αντιμετωπίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα και να μεταφέρονται στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις. Για την διαχείριση της ιλύος θεωρείται ότι το κόστος φτάνει τα 200 € ανά μετρικό τόνο. Εάν υπάρχουν περαιτέρω μελέτες που αποδεικνύουν ότι η παραγόμενη ιλύς είναι απλώς κανονική πετρελαιοκή λάσπη και μπορεί να απορριφθεί στα λιμάνια άμεσα, τότε το κόστος μειώνεται άμεσα.
- Για τα υγρά και ξηρά συστήματα καθαρισμού, η ελάχιστη απώλεια χωρητικότητας σε TEU υπολογίζεται μόνο από τη συνολική απώλεια βάρους από την εγκατάσταση, δεδομένου ότι είναι η μόνη απόλυτη μέτρηση παρά την θέση της εγκατάστασης. Για κάθε 20 μετρικούς τόνους εγκατάστασης scrubber, θεωρείται ως μία απώλεια χωρητικότητας TEU. Τα δεδομένα αυτά συμπεριλαμβάνονται στα έξοδα με την υπόθεση ότι υπάρχουν τουλάχιστον 20 δρομολόγια κάθε χρόνο και ότι η κοστολόγηση που χρησιμοποιείται είναι 300 € / TEU . [18]
- Για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου , χημικών αναλωσίμων, παραγωγής γλυκών υδάτων και ιλύος, πρέπει να καθοριστούν περισσότερες παράμετροι. Πιο κάτω παρέχεται τη σχέση μεταξύ των τεχνικών παραμέτρων που εισάγονται και των συνολικών ωρών λειτουργίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 15 και στον πίνακα 16 για συστήματα υγρής και ξηρής πλύσης αντίστοιχα.

Τα αλφάβητικά σύμβολα που παρατίθενται στην δεξιά σειρά υποδηλώνουν το σχετικό στοιχείο κόστους . Για τα συστήματα υγρού και ξηρού καθαρισμού, η ελάχιστη απώλεια χωρητικότητας σε TEU υπολογίζεται μόνο με τη συνολική απώλεια βάρους από την εγκατάσταση συστήματος καθαρισμού καθώς είναι η μόνη απόλυτη μέτρηση.[18]

- Καθε 20 μετρικοί τόνοι που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση συστήματος πλύσης θεωρείται ως μία απώλεια εμπορευμάτων σε TEU και συμπεριλαμβάνεται ως ένα από τα στοιχεία κόστους για τις δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (O & M )για να αντικατοπτρίζει το οικονομικό τίμημα λόγω της απώλειας φορτίου, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν τουλάχιστον 20 δρομολόγια κάθε έτος και ισχύει τίμημα 300 € / TEU.

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Parameter	Definition	
Total ECA operation engine profile [hours] =	Days of operation per annum [days]* 24 [hours/day] * Average engine load per annum [%] * Sailing in ECA [%]	
Total fuel consumption per annum [MT] =	Engine size [kW] * Fuel consumption [g/kW] / 10 <sup>6</sup> [g/MT] * Total ECA operation engine profile [hours]	C
Total NaOH consumption per annum [MT] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * HFO sulphur content [%]*100 * NaOH consumption rate [l/MWh-%S] / 10 <sup>3</sup> [l/m <sup>3</sup> ]* 1.52 [MT/m <sup>3</sup> ] * Total ECA operation engine profile [hours]	H
Total Fresh water consumption per annum [MT] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * Fresh water consumption rate [m <sup>3</sup> /MWh]/ 1 [m <sup>3</sup> /MT] * Total ECA operation engine profile [hours]	I
Total sludge generation per annum [MT] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * Sludge generation rate [kg/MWh]/ 10 <sup>3</sup> [kg/MT] * Total ECA operation engine profile [hours]	G
NaOH storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * Continuous operation days between bunkering [hours] * HFO sulphur content [%]* 100 * NaOH consumption rate [l/MWh-%S] / 10 <sup>3</sup> (l/m <sup>3</sup> )	
Fresh water storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * Continuous operation days between bunkering [hours] * Fresh water consumption rate [m <sup>3</sup> /MWh]	
Bleed-off holding tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * Continuous operation days between bunkering [hours] * Bleed-off flow rate [m <sup>3</sup> /MWh]	
Sludge tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] =	Engine size [kW] * Continuous operation days between bunkering [hours] * Sludge generation rate [m <sup>3</sup> /MWh]	
NaOH consumption rate [litre/MWh-%S] =	When 3.5 %S used, NaOH consumption rate [litre/MWh] = 20 When 2.7 %S used, NaOH consumption rate [litre/MWh] = 16 When 1.5 %S used, NaOH consumption rate [litre/MWh] = 8.57 Average: NaOH consumption rate [litre/MWh-%S] = 5.714	
Total weight loss [MT] =	Equipments dry weight [MT] + NaOH storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ]* 1.52 [MT/m <sup>3</sup> ] + Fresh water storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ]* 1.0 [MT/m <sup>3</sup> ]	
Total space needed [m <sup>3</sup> ] =	NaOH storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] + Fresh water storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] + Bleed off storage tank capacity needed [m <sup>3</sup> ] + Sludge tank capacity needed [m <sup>3</sup> ]	
Minimum capacity loss [TEU] =	Total weight loss [MT] / 20[MT/TEU]	

Πίνακας 15. Παράμετροι υπλογογισμού κόστους.

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Parameter	Definition	
Total ECA operation engine profile [hours] =	Days of operation per annum [days] * 24 [hours/day] * Average engine load per annum [%] * Sailing in ECA [%]	
Total fuel consumption per annum [MT] =	Engine size [kW] * Fuel consumption [g/kW] / 10 <sup>6</sup> [g/ MT] * Total ECA operation engine profile [hours]	C
Total fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate consumption per annum [MT] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * HFO sulphur content [%]*100 * Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> consumption rate [kg/MWh-%S]/10 <sup>3</sup> [kg/ MT] * Total ECA operation engine profile [hours]	J
Total used Ca(OH) <sub>2</sub> granulate generation per annum [MT] =	Engine size [kW] / 10 <sup>3</sup> [kW/MW] * HFO sulphur content [%] * Used Ca(OH) <sub>2</sub> generation rate [kg/MWh-%S] / 10 <sup>3</sup> [kg/ MT] * Total ECA operation engine profile [hours]	L
	Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate consumption rate = 7.1 [kg/MWh-%S] Used Ca(OH) <sub>2</sub> granulate generation rate = 8.5 [kg/MWh-%S]	K L
Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate storage capacity needed [m <sup>3</sup> ] =	Engine size [kW]/1000[kW/MW] * Continuous operation days between bunkering [hours] * HFO sulphur content [%]*100 * Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate consumption rate [kg/MWh-%S]/ 800[kg/m <sup>3</sup> ]	
Used Ca(OH) <sub>2</sub> granulate storage capacity needed [m <sup>3</sup> ] =	Equals to Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate storage capacity needed [m <sup>3</sup> ]	
Total weight loss [MT] =	Equipments dry weight [MT] + Absorber wet weight [MT] + Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> granulate storage capacity needed [m <sup>3</sup> ] * 800[kg/m <sup>3</sup> ]	
Total space needed [m <sup>3</sup> ] =	Absorber capacity needed [m <sup>3</sup> ] / 38.5 [m <sup>3</sup> /TEU] + Fresh Ca(OH) <sub>2</sub> storage capacity needed [m <sup>3</sup> ] / 38.5 [m <sup>3</sup> /TEU] + Used Ca(OH) <sub>2</sub> storage capacity needed [m <sup>3</sup> ] / 38.5 [m <sup>3</sup> /TEU]	
Minimum capacity loss [TEU] =	Total weight loss [MT] / 20[MT/TEU]	

Πίνακας 16. Παράμετροι υπόλογισμού κόστους.

Τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή των scrubber έχει αυξηθεί, τα στοιχεία των DMA και Greenship θεωρούνται τα πιο αξιόπιστα στοιχεία και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στους υπολογισμούς (DMA, 2012) (Greenship, 2012).

### 5.3.4 Εξέλιξη καυσίμων και πληθωρισμός

Η ανάλυση αυτή υποθέτει ότι η τιμή καυσίμων κλιμακώνεται σε ποσοστό 8% ετησίως και χρησιμοποιεί το ποσοστό 3% για τον πληθωρισμό κόστους εργασίας. Οποιοδήποτε κόστος που σχετίζεται με την τιμή καυσίμων αναμένεται επίσης να κλιμακωθεί με τον ίδιο ρυθμό όπως το κόστος των χημικών υλικών, μεταφοράς και διάθεσης.[18]

### 5.3.5 Σύγκριση τεχνολογιών

Οι αναλύσεις κόστους κύκλου ζωής για τέσσερις συνδυασμούς σκαφών / διαδρομών χρησιμοποιούν το ίδιο ετήσιο προεξοφλητικό επιτόκιο 10%. Το Καθαρό Παρούσα Κόστος (NPC) υπολογίζεται για κάθε ανάλυση που περιλαμβάνει το κόστος κύκλου ζωής πάνω από 15 χρόνια όσον αφορά τα τρέχοντα χρήματα με την εισαγωγή του προεξοφλητικού επιτοκίου και του ποσοστού κλιμάκωσης.[18]

- Το κόστος κύκλου ζωής της χρήσης του MGO χρησιμοποιείται ως βασική γραμμή για να συγκριθεί με το κόστος κύκλου ζωής των συστημάτων καθαρισμού. Η διαφορά μεταξύ των δύο μπορεί να θεωρηθεί ως η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) κάθε εναλλακτικής λύσης.
- Ένας άλλος βασικός παράγοντας είναι η Επιστροφή Επενδύσεων (ROI), η οποία υπολογίζει το χρόνο που απαιτείται για το κόστος του κύκλου ζωής της χρήσης του MGO για την αντιστάθμιση των κεφαλαιουχικών δαπανών που πραγματοποιήθηκαν στο Έτος 0.

### 5.3.6 Αποτελέσματα

- Όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες, όλα τα αποτελέσματα της ανάλυσης επιστρέφουν θετική NPV και το χρονικό διάστημα ROI κυμαίνεται από 1 έως 6 έτη.
- Ο κυρίαρχος παράγοντας είναι το συνολικό καύσιμο που χρησιμοποιείται σε ECA το οποίο είναι αλληλένδετο με την ROI. Το πλεονέκτημα κόστους της εγκατάστασης ενός συστήματος καθαρισμού εξαρτάται επίσης από την διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ HFO και MGO. Στην παρούσα μελέτη, η τρέχουσα διαφορά τιμών των 257 € ανά τόνο είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εξασφαλίσει την προβλεπόμενη απόδοση της επένδυσης εγκαθιστώντας οποιαδήποτε από αυτές τις τεχνολογίες καθαρισμού.[18]
- Για το σκάφος 3: Ro-Pax, παρουσιάζεται ο συντομότερος χρόνος ROI (1 ~ 2 έτη) για όλα τα συστήματα καθαρισμού βρίσκεται σε σύγκριση με τους άλλους τύπους σκαφών, ενώ το σκάφος 1 (containership) έχει το μεγαλύτερο ROI χρόνο (3 ~ 5 έτη) μεταξύ των τεσσάρων, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα του χρόνου ROI σχετίζονται με το συνολικό πετρέλαιο που χρησιμοποιείται.[18]
- Τα συστήματα καθαρισμού ανοικτού βρόγχου, υβριδικού βρόγχου και ξηρό έχουν παρόμοιο χρόνο ROI εντός ενός έτους όπως φαίνεται στους πίνακες. Το NPC μεταξύ των συστημάτων πλύσης κυριαρχείται από το κόστος εξοπλισμού και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης κατά την περίοδο της μελέτης.[18]
- Μεταξύ όλων των συστημάτων καθαρισμού, το σύστημα ανοικτού βρόγχου έχει το χαμηλότερο NPC και το μικρότερο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την απόδοση της επένδυσης, καθώς δεν είναι απαραίτητη η χρήση χημικού υλικού στο πλοίο για τη λειτουργία της συσκευής καθαρισμού και οι κεφαλαιουχικές δαπάνες είναι συχνά οι χαμηλότερες. Ωστόσο, άλλα συστήματα παρέχουν διάφορες ευελιξίες ή συμβατότητα με, για παράδειγμα, ένα σύστημα SCR. Οι οικονομικές, τεχνικές και οικολογικές επιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη συζήτηση για την επιλογή των

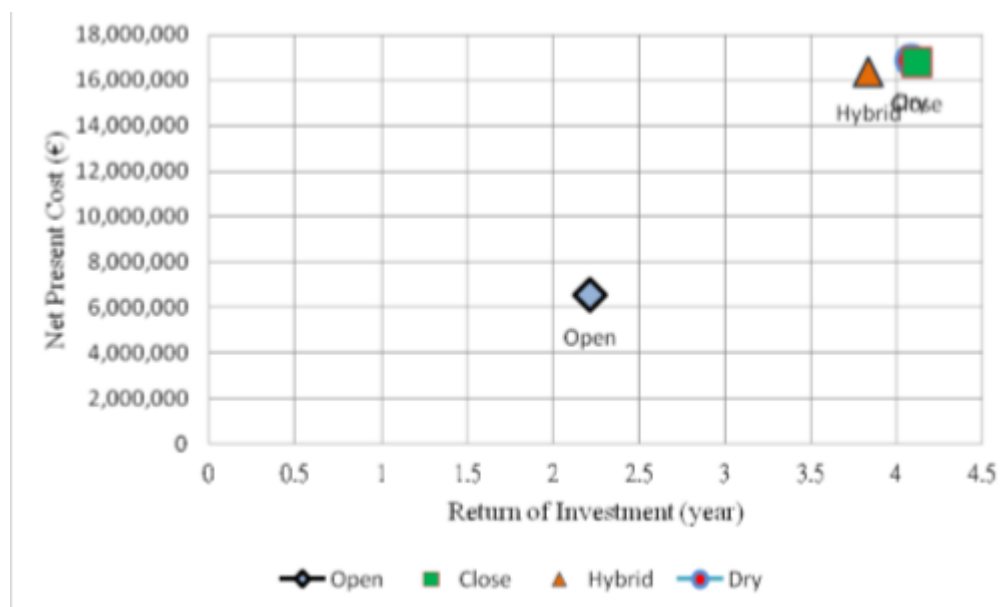
τεχνολογιών καθαρισμού στο στάδιο λήψης αποφάσεων.[18]

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Containership	SWS	FWS	HS	Dry
Engine Size	36MW	36MW	36MW	36MW
Fuel consumption	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW
Average engine load	80%	80%	80%	80%
Sailing in ECA	30%	30%	30%	30%
Days of operation	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr
Continuous operation	3 days	3 days	3 days	3 days
Life cycle	15 years	15 years	15 years	15 years
Discount rate (per year)	10%	10%	10%	10%
HFO and MGO spread (euro€/MT)	257 €	257 €	257 €	257 €
Total Fuel Used	9,686 tons	9,686 tons	9,686 tons	9,686 tons
Capital Cost (euro€ - Year 0)	4,578,462	5,686,154	5,316,923	5,568,000
Equipment	2,384,615	2,961,538	2,769,231	2,900,000
Installation (80%)	1,907,692	2,369,231	2,215,385	2,320,000
Engineering Design (9%)	214,615	266,538	249,231	261,000
Document (2%)	47,692	59,231	55,385	58,000
Off-hire loss (1%)	23,846	29,615	27,692	29,000
1st Year O&M Cost (euro€ - Year one)	190,359	925,394	923,471	946,270
Weight loss (tons)	56 tons	653 tons	653 tons	456 tons
(% of total DWT)	0.09 %	1.09 %	1.09 %	0.76 %
Net present Cost (euro€ - Present)	6,561,271	16,757,553	16,365,187	16,890,543
MGO Life-cycle cost (euro€ - Present)	29,937,665	29,937,665	29,937,665	29,937,665
Net present value (euro€ - Present)	23,376,394	13,180,112	13,572,478	13,047,122
Return of Investment (year & month)	2yrs3m	4yrs1m	3yrs10m	4yrs1m

Πίνακας 17. Αποτελέσματα για το σενάριο 1.

Διαγραμμα 12 Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies



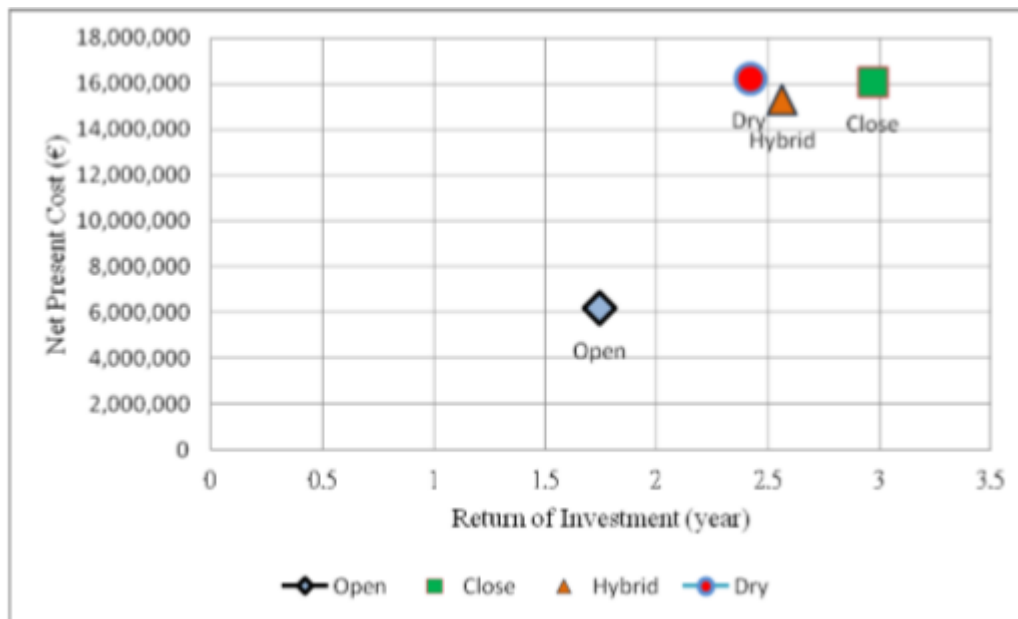
Διάγραμμα 12. Αποτελέσματα για το σενάριο 1.

Πίνακας 18 Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Passenger ship		SWS	FWS	HS	Dry
Engine Size		16MW	16MW	16MW	16MW
Fuel consumption		173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW
Average engine load		90%	90%	90%	90%
Sailing in ECA		70%	70%	70%	70%
Days of operation		270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr
Continuous operation		2 days	2 days	2 days	2 days
Life cycle		15 years	15 years	15 years	15 years
Discount rate		10%	10%	10%	10%
HFO and MGO spread	(euro€/MT)	257 €	257 €	257 €	257 €
Total Fuel Used		11,300 tons	11,300 tons	11,300 tons	11,300 tons
Capital Cost	(euro€ - Year 0)	4,283,077	5,316,923	4,608,000	4,103,583
Equipment		2,230,769	2,769,231	2,400,000	2,137,283
Installation	(80%)	1,784,615	2,215,385	1,920,000	1,709,826
Engineering Design	(9%)	200,769	249,231	216,000	192,355
Document	(2%)	44,615	55,385	48,000	42,746
Off-hire loss	(1%)	22,308	27,692	24,000	21,373
1st Year O&M Cost	(euro€ - Year one)	184,906	898,434	894,742	1,011,188
Weight loss	(tons)	29 tons	206 tons	206 tons	278 tons
	(% of total DWT)	0.39 %	2.75 %	2.75 %	3.71 %
Net present Cost	(euro€ - Present)	6,200,283	16,063,983	15,310,640	16,207,113
MGO Life-cycle cost	(euro€ - Present)	34,927,276	34,927,276	34,927,276	34,927,276
Net present value	(euro€ - Present)	28,726,993	18,863,293	19,616,636	18,720,163
Return of Investment	(year & month)	1yrs9m	2yrs12m	2yrs7m	2yrs5m

Πίνακας 18. Αποτελέσματα για το σενάριο 2.

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies



Διάγραμμα 13. Αποτελέσματα για το σενάριο 2.

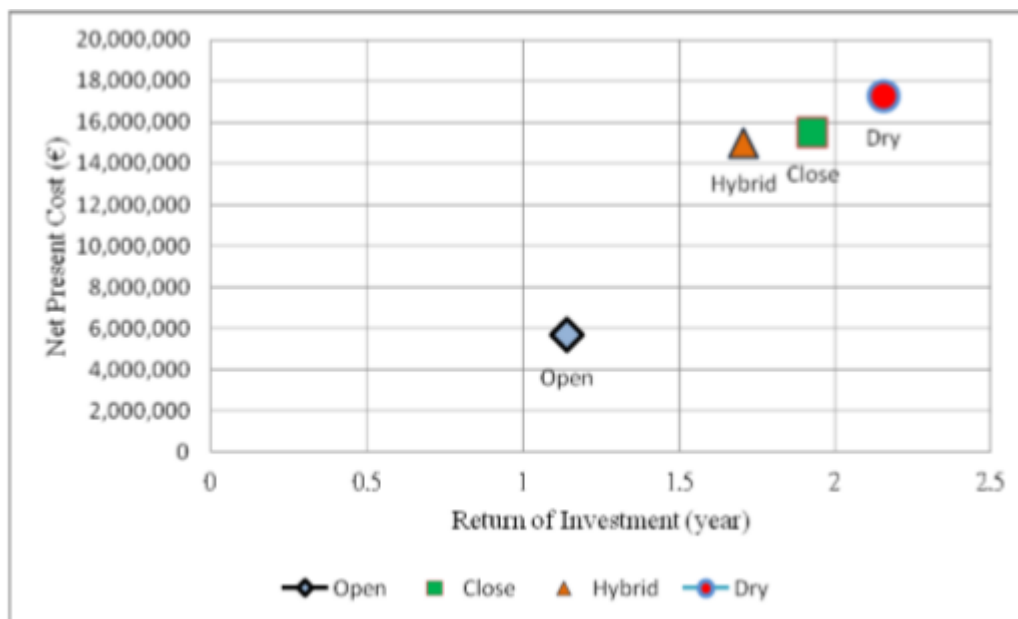
Πίνακας 18. Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Ro-Pax ship	SWS	FWS	HS	Dry
Engine Size	12MW	12MW	12MW	12MW
Fuel consumption	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW
Average engine load	90%	90%	90%	90%
Sailing in ECA	100%	100%	100%	100%
Days of operation	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr
Continuous operation	1 days	1 days	1 days	1 days
Life cycle	15 years	15 years	15 years	15 years
Discount rate	10%	10%	10%	10%
HFO and MGO spread (euro€/MT)	257 €	257 €	257 €	257 €
Total Fuel Used	12,107 tons	12,107 tons	12,107 tons	12,107 tons
Capital Cost (euro€ - Year 0)	2,953,846	3,692,308	3,278,769	3,862,061
Equipment	1,538,462	1,923,077	1,707,692	2,011,490
Installation (80%)	1,230,769	1,538,462	1,366,154	1,609,192
Engineering Design (9%)	138,462	173,077	153,692	181,034
Document (2%)	30,769	38,462	34,154	40,230
Off-hire loss (1%)	15,385	19,231	17,077	20,115
1st Year O&M Cost (euro€ - Year one)	252,451	984,726	980,419	1,118,359
Weight loss (tons)	22	88	88	185
(% of total DWT)	0.08 %	0.33 %	0.33 %	0.69 %
Net present Cost (euro€ - Present)	5,683,652	15,477,495	15,012,134	17,254,897
MGO Life-cycle cost (euro€ - Present)	37,422,081	37,422,081	37,422,081	37,422,081
Net present value (euro€ - Present)	31,738,429	21,944,586	22,409,947	20,167,184
Return of Investment (year & month)	1yrs2m	1yrs11m	1yrs8m	2yrs2m

Πίνακας 18. Αποτελέσματα για το σενάριο 3.



Διάγραμμα 14 Πηγή: A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies



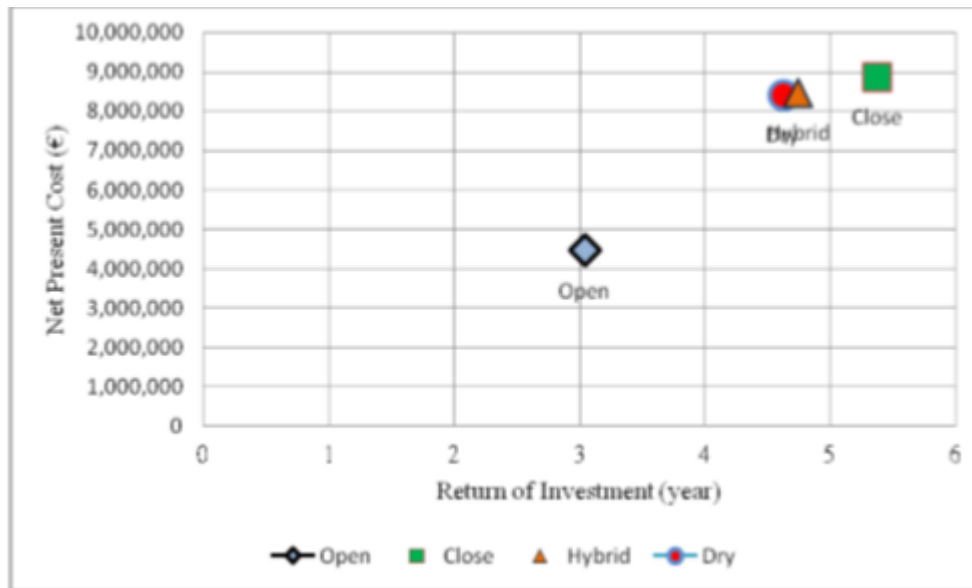
Διάγραμμα 14. Αποτελέσματα για τα σενάριο 3.

Πίνακας 19 Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies

Tanker ship	SWS	FWS	HS	Dry
Engine Size	10MW	10MW	10MW	10MW
Fuel consumption	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW	173 g/kW
Average engine load	80%	80%	80%	80%
Sailing in ECA	50%	50%	50%	50%
Days of operation	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr	270 days/yr
Continuous operation	5 days	5 days	5 days	5 days
Life cycle	15 years	15 years	15 years	15 years
Discount rate	10%	10%	10%	10%
HFO and MGO spread (euro€/MT)	257 €	257 €	257 €	257 €
Total Fuel Used	4,484 tons	4,484 tons	4,484 tons	4,484 tons
Capital Cost (euro€ - Year 0)	2,658,462	3,175,385	2,835,692	2,761,294
Equipment	1,384,615	1,653,846	1,476,923	1,438,174
Installation (80%)	1,107,692	1,323,077	1,181,538	1,150,539
Engineering Design (9%)	124,615	148,846	132,923	129,436
Document (2%)	27,692	33,077	29,538	28,763
Off-hire loss (1%)	13,846	16,538	14,769	14,382
1st Year O&M Cost (euro€ - Year one)	176,538	477,249	473,711	474,663
Weight loss (tons)	20 tons	296 tons	296 tons	176 tons
(% of total DWT)	0.05 %	0.80 %	0.80 %	0.48 %
Net present Cost (euro€ - Present)	4,475,000	8,855,423	8,473,162	8,410,221
MGO Life-cycle cost (euro€ - Present)	13,860,031	13,860,030	13,860,031	13,860,030
Net present value (euro€ - Present)	9,385,031	5,004,607	5,386,869	5,449,809
Return of Investment (year & month)	3yrs0m	5yrs4m	4yrs9m	4yrs8m

Πίνακας 19. Αποτελέσματα για το σενάριο 4.

Πηγή : A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies



Διάγραμμα 14, Αποτελέσματα για την περίπτωση 4.

#### 5.4 Σύγκριση κόστους επένδυσης LNG με διαφορετικές επιλογές συμμόρφωσης

Η μελέτη αφορά νεότευκτο με κινητήρα διπλού καυσίμου το οποίο θα χρησιμοποιεί LNG. Αυτή θα είναι η συνηθέστερη περίπτωση σκάφους που θα πραγματοποιείται χρήση LNG. Η μελέτη παίρνει ως δεδομένο ότι μια μεταποίηση παλαιότερου κινητήρα σε κινητήρα LNG θα ήταν αρκετά δαπανηρή επένδυση. Επίσης σε μια μεταποίηση το σκάφος θα πρέπει να είναι 'νεαρό' με αρκετό ορίζοντα λειτουργίας μπροστά του, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί οικονομικά η μεγάλη αρχική επένδυση.

Το εξεταζόμενο δρομολόγιο είναι η γραμμή Ασίας- δυτικές ακτές ΗΠΑ. Η συνολική απόσταση ιστιοπλοΐας είναι 13.007 ναυτικά μίλια .Το 8% της διαδρομής εκτελείται σε ECA

##### 5.4.1 ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ

Τέσσερις τύποι κύριων διαμορφώσεων κινητήρων παρουσιάζονται πλήρως διατιμημένοι (κοστολογημένοι) και σε σύγκριση σε αυτή τη μελέτη:

- Ένας διπλής καύσης κινητήρας LNG (2-s HP DF) με επεξεργασία Tier III,
- Ένας διπλής καύσης LNG κινητήρας (2-s LP DF),
- Ένας συμβατικός κινητήρας ντίζελ χαμηλών στροφών εξοπλισμένος με ένα πλυντήριο ανοιχτού βρόχου με λειτουργία Εκλεκτικής Καταλυτικής Μείωσης (SCR)

- Ένας συμβατικός πετρελαϊκός κινητήρας εφοδιασμένος με SCR αλλά χωρίς καθαριστή .

Η επένδυση για κάθε διάταξη και τα στοιχεία της αναλύονται λεπτομερώς στη περίληψη CAPEX.

### 1.Κινητήρας 2-S HP DF

Αυτή η διαμόρφωση έχει μοντελοποιηθεί από βασικό κινητήρα MAN ME-GI (M / E) χρησιμοποιώντας δοκιμαστικό καύσιμο 1,5% σε θείο χωρίς εκπομπές μεθανίου. Αν συμμορφώνεται με την βαθμίδα NOx II, απαιτεί επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR) ή την επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) για τη συμμόρφωση με τη βαθμίδα NOx III. Οι βοηθητικοί κινητήρες (A / E) και οι λέβητες θεωρούνται αερίου μόνο και δεν απαιτούν SCR. Η ειδική κατανάλωση καυσίμου M / E (SFOC) είναι 167,5 g / KWh, το αέριο κυκλοφορεί στα 250-300 bar στο M / E και με χαμηλή πίεση στο A / E. Το σύστημα αερίου HP είναι \$ 1.2M, αέριο LP το σύστημα είναι 700K\$. Δεν υπάρχει κάποια διαφορά στις κεφαλαιακές δαπάνες που να αποδίδεται στους λέβητες και γίνεται υπόθεση για μηχανική πρόωση.

### 2 Κινητήρας 2-S LP DF

Αυτή η διαμόρφωση διαμορφώνεται σε μοντέλο WinGD 9X-92DF Winterthur Gas & Diesel engines που χρησιμοποιούν Otto-cycle καύση με μικρό έγχυση περίπου 1% σε θείο. Συμμορφώνεται με NOx Tier III σε λειτουργία αερίου, έτσι λειτουργεί χωρίς SCR. Για την κύρια μηχανή, η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι 169g / KWh με αέριο χαμηλής πίεσης που τροφοδοτείται σε M / E και A / E. Για άλλη μια φορά, το σύστημα φυσικού αερίου LP διατιμάται σε \$ 700K

### 3 Σκάφος με σύστημα ανοιχτού κύκλου

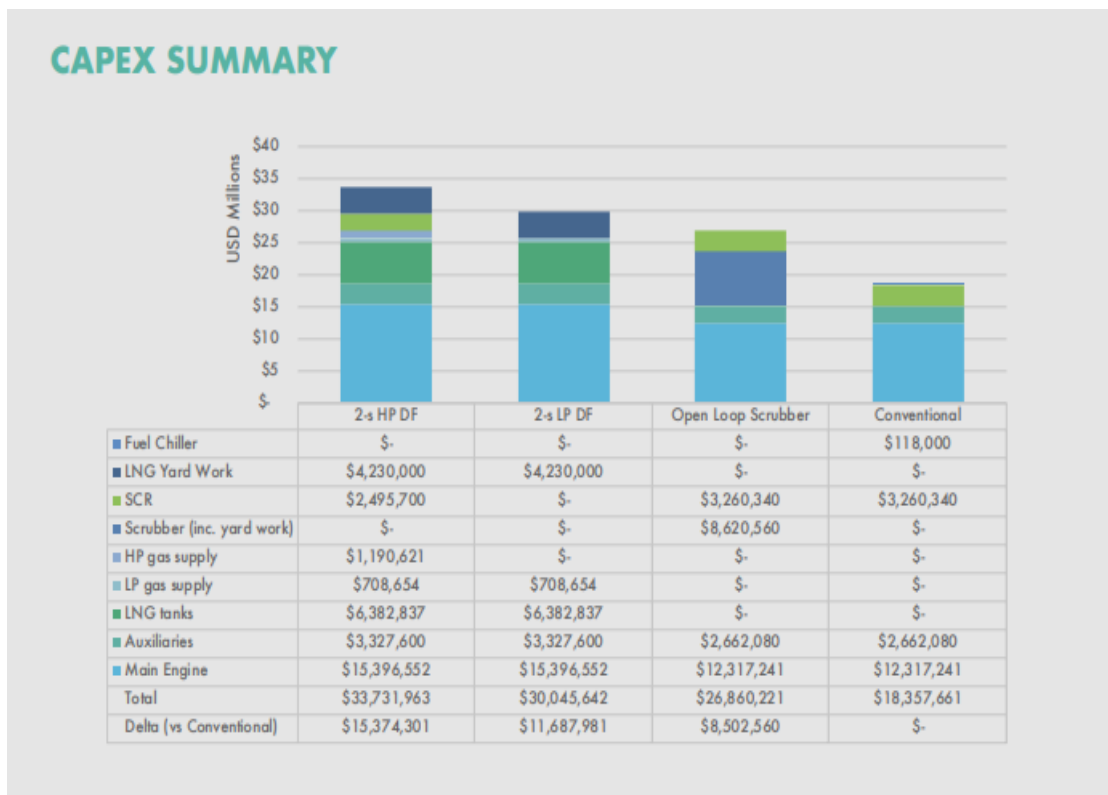
Αυτή η διαμόρφωση βασίζεται στον συμβατικό κύκλο πετρελαίου ντίζελ, με χαμηλής ταχύτητας κινητήρα, με σύστημα scrubber τοποθετημένο για να καλύψει τα καυσαέρια από M / E, A / E και έναν λέβητα με ονομαστική ισχύ 5MW. Ο άλλος λέβητας θεωρείται ότι είναι (WHR), δηλαδή χρησιμοποιεί την περισσευούμενη θερμότητα και συνεπώς δεν χρειάζεται scrubber. Παρόλο που η κύρια μηχανή είναι συμβατή με την βαθμίδα NOx Tier II, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση SCR ώστε να συμμορφώνεται με τα όρια NOx Tier III. Το κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης φτάνει τα \$3,2

εκατομμύρια. Η ειδικά κατανάλωση καυσίμου είναι 170g / KWh με ποινή (penalty) κατανάλωσης καυσίμου 2% εντός 0,1% S ECA και με ποινή 1% εντός 0,5% S περιοχών. Το σύστημα είναι ανοιχτού βρόγχου και ως εκ τούτου δεν καταναλώνει NaOH.

#### 4 Συμβατικό σκάφος

Αυτή η διαμόρφωση βασίζεται σε συμβατικό κύκλο ντίζελ, με κινητήρα χαμηλής ταχύτητας. Αν και το M / E είναι συμβατό με NOx Tier II, το SCR είναι υποχρεούνται να συμμορφώνονται με το NOx Tier III. Η ειδική κατανάλωση καυσίμου για την κύρια μηχανή καυσίμου είναι 170 g / KWh. Το πρόσθετο CAPEX των 120K \$ για ένα ψυκτικό συγκρότημα καυσίμου, κρίνεται απαραίτητο δεδομένου ότι η κύρια μηχανή σχεδιάστηκε για να λειτουργεί με καύσιμα υψηλότερου σχετικού ιξώδους από ότι το MGO.

Πηγή: LNG AS A MARINE FUEL – THE INVESTMENT OPPORTUNITY



Πίνακας 19. Συνολικά στοιχεία CAPEX

- Για την πρώτη περίπτωση, το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 33.731.963\$
- Για την δεύτερη περίπτωση, οι κεφαλαιακές δαπάνες φτάνουν τα 30.045.642\$
- Για την επιλογή με το σύστημα ανοιχτού βρόγχου, τα κόστη ανέρχονται στα 26.860.221 \$
- Για την τελευταία επένδυση, το κόστος βρίσκεται στα 18.357.661 \$

Το πρόσθετο CAPEX για κάθε επιλογή διαμόρφωσης σε σχέση με την συμβατική επιλογή είναι:

- HP DF \$ 215,37 M
- LP DF \$ 11.68 εκατομμύρια δολάρια
- Σύστημα με καθαριστή ανοιχτού βρόγχου \$ 8.5M

Πρέπει να σημειωθεί ότι η υπόθεση αφορά scrubber ανοικτού βρόγχου. Το CAPEX του ανοικτού βρόγχου είναι χαμηλότερο από ότι για ένα υβριδικό σύστημα ή κλειστού βρόγχου και το OPEX είναι γενικά χαμηλότερο. Αυτή η μελέτη υποθέτει επίσης ότι ένα σκάφος που χρησιμοποιεί ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου θα του επιτρέπεται να λειτουργεί σε όλα τα χωρικά ύδατα, κάτι το οποίο μπορεί να μην ισχύει στο μέλλον.

#### Κατανάλωση καυσίμου

Η κατανάλωση καυσίμου για την κύρια μηχανή βασίζεται στο μέγιστο της σύμβασης συνεχούς ισχύς (CMCR) και την ταχύτητα CMCR σε όλες τις περιπτώσεις. Η ισχύς της δευτερεύουσας μηχανής υπολογίζεται στο 40% της ονομαστικής ισχύος στη θάλασσα, κατά 30% κατά τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι και 70% κατά τη διάρκεια ενεργού λειτουργίας στο λιμάνι. Η κατανάλωση του λέβητα συμπεριλαμβάνεται στις εκτιμήσεις για την δευτερεύουσα μηχανή. Η κατανάλωση του scrubber αποτελεί ένα παρασιτικό φορτίο για τις ECA. Η ενεργειακή κατανάλωση περιλαμβάνει τα πιλοτικά καύσιμα για τους κινητήρες DF του LNG. Η κατανάλωση καυσίμου για κάθε επιλογή συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πηγή: LNG AS A MARINE FUEL – THE INVESTMENT OPPORTUNITY

Propulsion Technology	Design Consumption [tpd]				Energy Consumption [MMBtu/hr]	M/E SFOC [g/kWh]	A/E SFOC [g/kWh]
	LNG	HSFO	VLSFO	MGO			
2s HP DF	122.0	2.0	-	-	240.9	168	180
2s LP DF	123.6	-	-	1.3	242.8	169	180
Open-loop scrubber	-	154.2	-	-	246.6	170	180
Conventional	-	-	145.9	-	244.1	170	180

Πίνακας 20. Στοιχεία κατανάμωσης σε κάθε περίπτωση

Τα ενδεικτικά ποσά κατανάλωσης στον πίνακα υπολογίζονται για ταχύτητα 20,5 κόμβων με κατεύθυνση προς τα ανατολικά. Ο πίνακας δίνει έμφαση στο γεγονός ότι το LNG περιέχει 24% περισσότερο ενεργειακό περιεχόμενο για μια δεδομένη μάζα από ότι τα συμβατικά πετρελαικά καύσιμα.

Επιπτώσεις μεγέθους δεξαμενών

Τα πλοία που κινούνται με LNG υποτίθεται ότι χρησιμοποιούν δεξαμενές τύπου C μεγέθους 8.581 κυβικά μέτρα. Αυτό μειώνει δραματικά το χώρο, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση σε σχέση με ένα συμβατικά τροφοδοτούμενο σκάφος. Για 14.000 TEU χωρητικότητας αυτή η μελέτη θεωρεί ότι η απώλεια χώρου για αποθήκευση φορτίου ισοδυναμεί με 300 TEU ή περίπου με 2% της αποθηκευτικής ικανότητας.[19]

Πηγή: LNG AS A MARINE FUEL – THE INVESTMENT OPPORTUNITY

Propulsion Technology	Tank Sizes [m3]				TEU loss
	LNG	HSFO	VLSFO	MGO	
2s HP DF	8,581	304	-	59	300
2s LP DF	8,581	-	-	75	300
Scrubber	-	4,866	-	-	-
Conventional	-	-	5,234	733	-

Πίνακας 21. Μέγεθος δεξαμενών

Ο αντίκτυπος της χαμένης χωρητικότητας στο κέρδος υπολογίζεται βάσει των εκτοπισθέντων κερδών προ φόρων ανά TEU πολλαπλασιαζόμενα με τον αριθμό δρομολογίων μετ'επιστροφής ανά έτος Αυτό το χαμένο κέρδος είναι 200\$ ανά TEU σε μια ισχυρή αγορά και μηδέν ανά TEU σε μια αδύναμη αγορά. Όμως, τα σκάφη αναμένονται να λειτουργούν κάτω από το 98% της ολικής χωρητικότητας τους και

συνεπώς δεν θα υπόκεινται σε ποινή κέρδους.

- Οι τιμές καυσίμων

Η μελέτη εξετάζει τέσσερα καύσιμα, το LNG συν τρία παραγόμενα από πετρέλαιο. Ένα συμβατικό καύσιμο πετρελαίου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, "HSFO" με την περιεκτικότητά του σε θείο να φτάνει ως το 3,5% S, ένα καύσιμο αποσταγμένο τύπου MGO που περιέχει 0,1% θείο και ένα καύσιμο πετρελαίου πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο "VLSFO" το οποίο συμμορφώνεται με το όριο 0,5% . Παρόλο που τα καύσιμα 0,5% θα μπορούσαν να επιτευχθούν είτε μέσω ανάμειξης ή απευθείας ως υπολείμματα από κοίτασμα <<γλυκού>> αργού. Εκτιμάται ότι η τιμή αυτών των εναλλακτικών λύσεων θα συγκλίνει, ανεξάρτητα από τη χημική τους σύνθεση.[19]

Στην μελέτη εκπονούνται έξι σενάρια για την διαμόρφωση των τιμών:

#### 1.Stranded Fuels :

Αρχικά, η τιμή του HSFO μειώνεται με την εφαρμογή των κανόνων του IMO 2020, ακολουθούμενη από μεταβατικά έτη ανάκαμψης. Θεωρείται ότι η τιμολόγηση του HSFO δεν θα παραμείνει μειωμένη καθώς η ζήτηση προβλέπεται να είναι ελάχιστη εφόσον οι κανονισμοί για το θείο θα εφαρμόζεται πλήρως και μόνο σκάφη εξοπλισμένα με καθαριστές θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτό το προϊόν.

#### 2. Business as usual 'BAU':

Οι σχετικές τιμές παραμένουν όπως ήταν πριν το 2020 ( συγκεκριμένα όπως ήταν το τρίτο τρίμηνο του 2018).

#### 3. Περιορισμένη πρόσφορα αποσταγμένων( Tight supply for distillates):

Η τιμή του MGO αυξάνεται κατά 20% σε σχέση με το τρίτο τρίμηνο του 2018 λόγω της υψηλής ζήτησης για καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο το 2020. Τα δεδομένα για το HSFO και το LNG παραμένουν όπως το 3ο τρίμηνο του 2018.

#### 4. Υιοθέτηση LNG( LNG economies of scale):

Οι δαπάνες υδροποίησης και παράδοσης LNG μειώνονται κατά 20% λόγω της αυξημένης προτίμησης σε LNG.

#### 5. Τεχνολογία επεξεργασίας LNG(LNG Liquefaction technology improvements):

Το κόστος υδροποίησης μειώνεται κατά 20% λόγω των βελτιώσεων στην τεχνολογία υδροποίησης σε μικρή κλίμακα.

#### 6. Ακριβό MGO, περιορισμένη διαθεσιμότητα για HSFO, <<βελτιωμένο>> LNG ( Tight MGO, unavaliable HSFO. Improve LNG) :

Αυξάνεται η τιμή του MGO κατά 20% λόγω της υψηλής ζήτησης για καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η τιμή του HSFO αυξάνεται κατά 20% επειδή δεν είναι πλέον ευρέως διαθέσιμο. Αυτές οι αυξήσεις θεωρούνται συντηρητικές και οι πραγματικές αυξήσεις των τιμών μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερες. Οι τιμές υδροποίησης και παράδοσης μειώνονται κατά 20% λόγω βελτιώσεων.

#### Stranded fuels

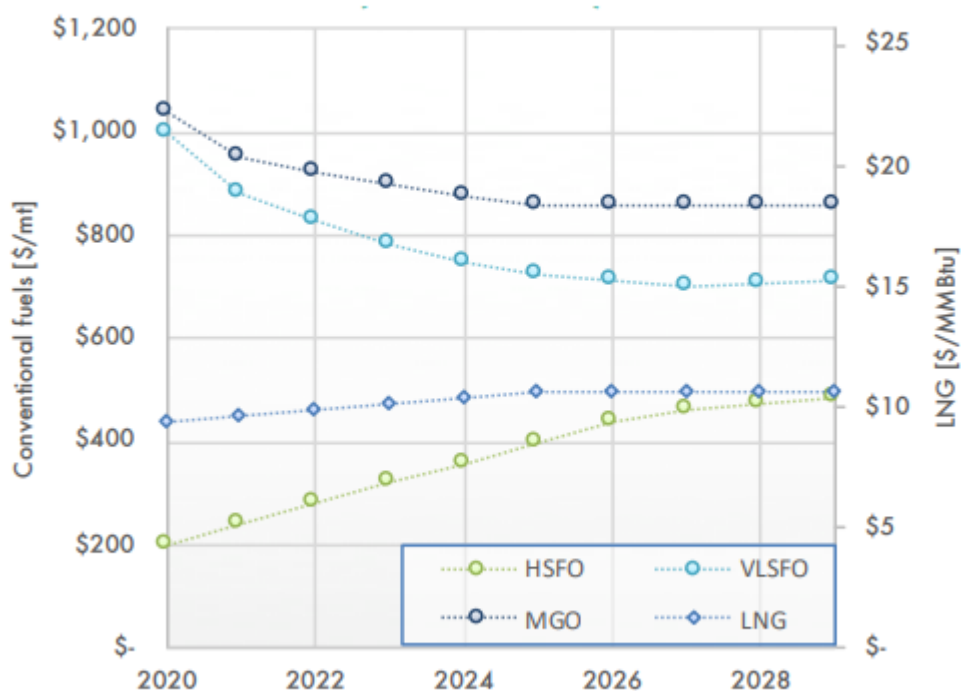
Το σενάριο των αχρηστευμένων καυσίμων (Stranded fuels) συνεπάγεται μια πολύπλοκη δυναμική Τα αποθέματα του HSFO καθίστανται μη ελκυστικά το 2020 λόγω της χαμηλής διείσδυσης στην αγορά των καθαριστών. [19]

Η διείσδυση των scrubbers διαμορφώνεται έτσι ώστε να αναπτυχθεί σταδιακά προς το 2027, οδηγώντας σε σταδιακή ανάκαμψη τιμών του HSFO . Το MGO και τα αποσ-

ταγμένα καύσιμα αναμένεται ότι θα έχουν πολύ μεγάλη ζήτηση το 2020. Καθώς το LNG και οι καθαριστές αυξάνουν τη διείσδυσή τους και η πρόσθετη δυναμικότητα διυλιστηρίου έρχεται σε απευθείας σύνδεση, οι τιμές MGO θα ομαλοποιηθούν. Το VLSFO αρχικά συνδέεται πολύ στενά με το MGO. Καθώς όμως νέα μείγματα δοκιμάζονται και γίνονται αποδεκτά από την αγορά, υπάρχει μια σταδιακή διαφοροποίηση

Πηγή: LNG AS A MARINE FUEL – THE INVESTMENT OPPORTUNITY

### STRANDED FUELS FORECAST (NATIVE UNITS)



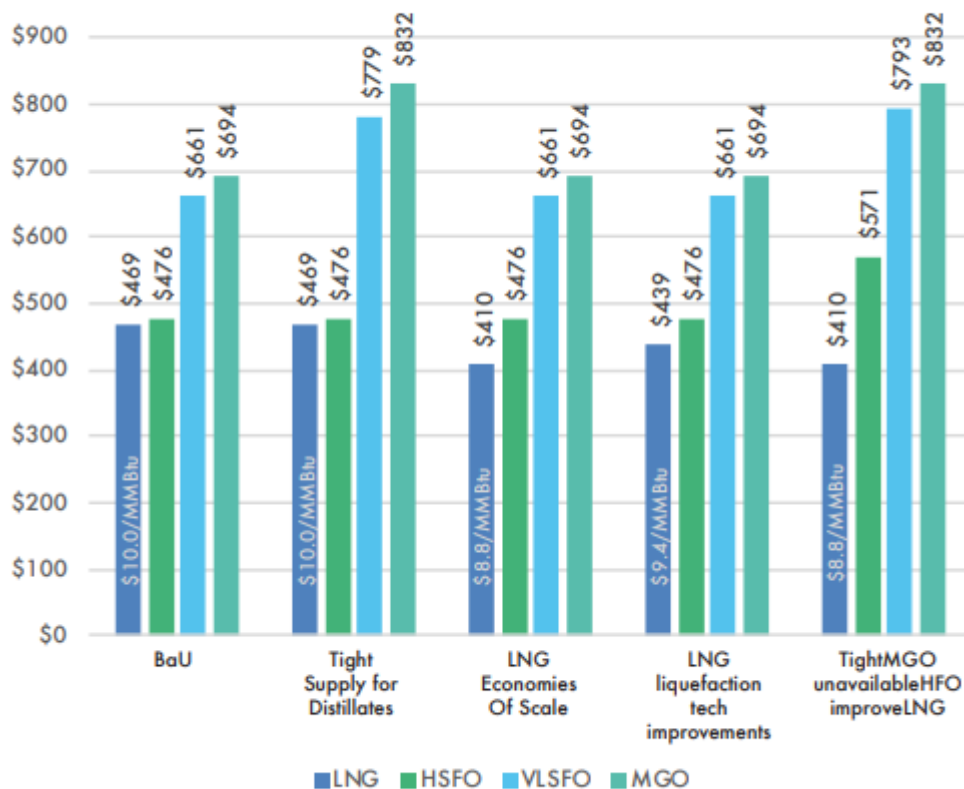
Διάγραμμα 12. Διακυμάνσεις τιμών με βάση το πρώτο σενάριο.

Καθώς όλες οι παρακάτω προβλέψεις καυσίμων είναι υποθέσεις, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε από μπορεί να προσαρμοστεί και για άλλα σενάρια καυσίμων.



Πηγή: LNG AS A MARINE FUEL – THE INVESTMENT OPPORTUNITY

### 2020 PRICES FOR FIVE SCENARIOS (USD/MT)



Διάγραμμα 22. Διακυμάνσεις τιμών βάσει των υπόλοιπων σεναρίων.

Για τα άλλα πέντε σεναρία, οι τιμές προβλέπεται να αυξηθούν με τον πληθωρισμό (που αναμένεται να φθάσει το 2,5% σε ετήσια βάση) μετά το 2020.[19]

Κοινές υποθέσεις και πηγές για τις προβλέψεις για τα καύσιμα:

- Το μοντέλο υποθέτει ότι οι τιμές HSFO, VLSFO και MGO θα καθοριστούν σε σχέση με τις τιμές του Ρότερνταμ
- Το κόστος υγροποίησης LNG "Sabine Pass", υπολογιζόμενο σε 3,0 \$ / MMBtu (Ripple) για το 2018
- Τα λογιστικά κόστη και ο ανεφοδιασμός για το LNG εκτιμώνται σε 3,0 \$ / MMBtu
- Η τιμή (Ρότερνταμ) για το HSFO \$ 442 / mt (2018)
- Η τιμή MGO (Ρότερνταμ) \$ 644 / mt (Ship & Bunker) (2018)
- Η τιμή VLSFO 0,5% σε θείο επιτυγχάνεται προσθέτοντας το 85% του MGO και το 15% της τιμής HSFO.
- Οι τιμές αυξάνονται κατά 2,5% ετησίως

## Αποτελέσματα

Η μελέτη αυτή δείχνει σαφώς ότι το LNG παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση επένδυσης σε βάση NPV σε ένα συντηρητικό 10ετή ορίζοντα με γρήγορες περιόδους αποπληρωμής που κυμαίνονται από ένα έως δύο χρόνια. Αυτό επιβεβαιώνεται σε όλα τα σενάρια σε σύγκριση με ένα συμβατικό σκάφος, το οποίο καίει LSFO. Το LNG αποδίδει καλύτερα σαν επένδυση από ό,τι οι καθαριστές ανοιχτού βρόχου εκτός από τα πρώτα σενάρια των αχρηστευμένων καυσίμων. Όμως οι επιστροφές που απεικονίζονται στο πρώτο παράδειγμα, έχουν ως προϋπόθεση την εγκατάσταση και την λειτουργία των καθαριστών από την αρχή του 2020. Οι τρέχουσες παραγγελίες όμως δεν θα τεθούν σε λειτουργία πριν από τα μέσα του 2020. Επίσης, οι υπάρχουσες παραγγελίες για scrubber, ειδικά αυτές για πολύ μεγάλα σκάφη, δείχνουν ότι η ζήτηση του HFO δεν θα πέσει. Δηλαδή η αναγκαία συνθήκη για το σενάριο των αχρηστευθέντων καυσίμων δεν θα ισχύσει.[19]

### 5.5 Ο αντίκτυπος στην πετρελαϊκή-πετροχημική βιομηχανία

- Ενώ για τις ναυτιλιακές, τα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο μπορεί να είναι μια φθηνή και σίγουρη λύση για να ανταποκριθούν στα πρότυπα του IMO για το θείο, για την πετρελαϊκή βιομηχανία η ξαφνική μετάβαση της ζήτησης σε καύσιμα χαμηλού θείου αποτελεί πρόβλημα. Οι πλοιοκτήτες επιλέγοντας αυτόν τον δρόμο, ουσιαστικά μεταφέρουν τον βάρος της συμμόρφωσης στις πετρελαϊκές.
- Το πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι διττό. Η πιθανή κατάρρευση της ζήτησης του HSFO, ενός προϊόντος για το οποίο δεν υπάρχουν άλλες χρήσεις, και η αύξηση στην ζήτηση καυσίμων χαμηλού θείου, των οποίων η παραγωγή είναι περιορισμένη.
- Ωστόσο, όπως οι ναυτιλιακές δείχνουν σημάδια ότι έχουν λάβει συγκεκριμένα μέτρα προετοιμασίας για τους κανόνες του IMO, το ίδιο μπορεί να ειπωθεί για τη βιομηχανία διύλισης. Καθώς δεν φαίνεται να υπάρχει βεβαιότητα για την προσέγγιση της ναυτιλιακής βιομηχανίας, οι πετρελαϊκές έχουν υιοθετήσει μια στάση αναμονής όσον αφορά τα νέα μέτρα. Αυτό οδήγησε πολλούς αναλυτές να κάνουν αναλογίες με την περίοδο του 2008 και να υπενθυμίσουν ότι μια άλλη εκστρατεία μείωσης των εκπομπών θείου, αυτή για το οδικό ντίζελ, οδήγησε στο να σφίξουν οι αγορές ντίζελ και στην εκτόξευση των τιμών του πετρελαίου σχεδόν μια δεκαετία πριν.
- Οι προκλήσεις για την πετροχημική βιομηχανία είναι αδιαμφισβήτητες, παρόλα αυτά, δεν πρέπει να παραβλεφθεί μια καίρια διαφοροποίηση με προηγούμενες περιπτώσεις. Αρχικά, η αύξηση της ζήτησης MGO από τον ναυτιλιακό τομέα συνεπάγεται ότι όσοι δεν θα στραφούν στο LNG, θα περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ δύο πετρελαϊκών προϊόντων, του HFO και του MGO. Ενώ σήμερα αυτά μπορεί να είναι τα κύρια καύσιμα στην αγορά, αυτό ίσως να μην ισχύει στο μέλλον.
- Δεδομένων των υψηλών απαιτήσεων ιξώδους των μεγάλων κινητήρων των πλοίων, τα περισσότερα μελλοντικά καύσιμα είναι πιθανό να είναι νέα υβρίδια LSFO. Η παραγωγή αυτών των νέων καυσίμων δεν θα ασκήσει τόση

πίεση στην πετροχημική βιομηχανία, όπως φοβούνται οι αναλυτές, αλλά πιθανόν να απαιτούν μεγάλες ποσότητες gasoil κενού (VGO), μιας ενδιάμεσης πρώτης ύλης που αποτελεί σημαντική βάση της ευρωπαϊκής παραγωγής βενζίνης. Η βενζίνη λοιπόν, και όχι το πετρέλαιο ντίζελ, θα μπορούσε έτσι να είναι το προϊόν του οποίου η αγορά θα παρουσιάσει πρόβλημα.

- Παρόλο που τα ναυτιλιακά καύσιμα αντιπροσωπεύουν περίπου το 4-7% του παγκόσμιου πετρελαίου, η σημασία τους για τα διυλιστήρια είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Τα υποπροϊόντα χαμηλής αξίας και υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην ναυτιλιακή βιομηχανία. Άρα, η μόνη οικονομική τους εκμετάλλευση γίνεται μόνο σε αυτόν τον τομέα. Οι αλλαγές στην αγορά των καυσίμων θα μπορούσαν συνεπώς να έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις, επιδεινώνοντας την κατάρρευση ορισμένων από τα λιγότερο ανταγωνιστικά ευρωπαϊκά διυλιστήρια..
- Μεταξύ άλλων επιπτώσεων, μια τέτοια εξέλιξη θα μπορούσε να καταστήσει την Ευρώπη εξαρτημένη στις εισαγωγές προϊόντων και να ενισχύσει περαιτέρω τον ρόλο των εμπορικών εταιρειών στην παγκόσμια προσφορά προϊόντων, με πιθανές επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια και τη μεταβλητότητα των τιμών του πετρελαίου.
- Έχει εκτιμηθεί ότι το 47% των υπολειμμάτων της ατμοσφαιρικής απόσταξης χρησιμοποιείται στη ναυτιλία, το 32% στην ηλεκτροπαραγωγή, και τέλος άλλες βιομηχανικές χρήσεις (21%). Η ζήτηση για αυτά τα πετρελαϊκά προϊόντα μειώνεται καθώς οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής στρέφονται ολοένα και περισσότερο στο φυσικό αέριο, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ακόμα και στον άνθρακα αντί του HSFO. Η κατάσταση αυτή, επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι η μόνη που διέξοδος εκμετάλλευσης για τα βαριά προϊόντα. Όμως, η πραγματικότητα αυτή ίσως αλλάξει.
- Πολλοί αναλυτές εκτιμούν ότι οι νέοι κανόνες του IMO θα μειώσουν δραστικά την χρήση υπολειμματικών καυσίμων στον θαλάσσιο τομέα. Η κατανάλωση του HSFO αναμένεται να μειωθεί κατά 75%, ίσως μόνο 500.000 bpd (barrels per day) που θα καίγονται στα πλοία στα οποία έχουν τοποθετηθεί scrubbers, αφήνοντας περίπου 2,5 εκατομμύρια bpd ζήτησης να << μεταναστεύσουν>> σε αγορές καυσίμων χαμηλότερου θείου. Από το ποσό αυτό, οι αναλυτές αναμένουν 500.000 bpd έως 600.000 bpd το πολύ να είναι LSFO, και το υπόλοιπο MGO. Μια τέτοια μετατόπιση μεγάλης κλίμακας από το HSFO θα άφηνε ένα μεγάλο μέρος της βιομηχανίας διύλισης να ανακαλύψει εναλλακτικές διόδους πώλησης για καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τα πλασματικά περιθώρια διύλισης του HSFO είναι συνήθως αρνητικά, δίνοντας στα διυλιστήρια κίνητρο να επενδύσουν στην ικανότητα μετατροπής για να περιορίσουν την παράγωγη του HSFO. Ωστόσο, δεν μπορούν όλα τα διυλιστήρια να συγκεντρώσουν το κεφάλαιο για αναβάθμιση. Ορισμένα από τα πιο μικρά, λιγότερο ανταγωνιστικά διυλιστήρια με υψηλές αποδόσεις του HSFO ενδέχεται να μην επιβιώσουν από τις εξελίξεις.[17]
- Οι αναλυτές φοβούνται ότι η αυξανόμενη ζήτηση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θα αποτελέσει δοκιμή για την ικανότητα παραγωγής αποστάγματος. Η προσφορά LSFO επηρεάζεται από την περιορισμένη διαθεσιμότητα αργού πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, από το

οποίο μπορεί να παραχθεί LSFO χωρίς απομάκρυνση του θείου. Αυτό θα άφηνε το MGO, το οποίο παράγεται από αργό πετρέλαιο υψηλότερης περιεκτικότητας σε θείο, το οποίο πρέπει να επεξεργαστεί από μονάδα αποθείωσης, ως η κύρια επιλογή για την κάλυψη των προδιαγραφών του IMO. Η διαθεσιμότητα του LSFO θα επηρεάζεται από τους περιορισμούς των πρώτων υλών, και τα όρια των δομών εξευγενισμού.[17]

- Η IEA ( International Energy Agency) εκτιμά ότι η χαμηλή διαθεσιμότητα σε αργό χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θα περιορίσει την παραγωγή συμβατού LSFO σε περίπου 500.000 έως 600.000 bpd μέχρι το 2020. Με βάση τις αναβαθμισμένες απαιτήσεις για ναυτιλία, προβλέπει αύξηση της ζήτησης MGO έως 2,9 εκατομμυρίων bpd έως το 2020. Ενώ η ζήτηση για τα προϊόντα μεσαίας απόσταξης αναμένεται να αυξηθεί συνολικά κατά περίπου 5 εκατομμύρια bpd. Οι αναβαθμίσεις των διυλιστηρίων και οι επεκτάσεις εκτιμάται ότι οδηγούν σε αύξηση των προϊόντων διύλισης σχεδόν κατά 4 εκατομμύρια bpd. Η επέκταση της παραγωγικής ικανότητας για τα αποστάγματα, πέραν των έργων που βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη, θα χρειαζόταν πάρα πολύ καιρό για να ολοκληρωθεί εγκαίρως και το κόστος θα αυξανόταν απότομα. [17]

## Βιβλιογραφία

[1] [www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ%202019.pdf](http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ%202019.pdf)

[2] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>

[3] [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)

[4] The 2020 global sulphur limit

[5] .Marquard-Bahls, HFO

[6] Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil, James J. Corbett, James J. Winebrake.

[7] ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΠΛΟΙΩΝ - SCRUBBERS ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑΣ ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΖΗΖΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

[8] An economic and ecological assessment, Eelco den Boer, Maarten 't Hoen. Scrubbers –

[9] [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)

[10] [https://www.motorship.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0036/986319/White-Paper\\_Shipping-in-the-2020-era\\_Pre-final](https://www.motorship.com/__data/assets/pdf_file/0036/986319/White-Paper_Shipping-in-the-2020-era_Pre-final)

[11] LNG AS A MARINE FUEL – POSSIBILITIES AND PROBLEMS, Jerzy Herdzi ,Gdynia Maritime University

[12] Shipping in the 2020 era – selection of fuel and propulsion machinery

[13] Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping, Dana Lowell, MJ Bradley, Nic Lutsey,

[14] METHANOL AS MARINE FUEL: ENVIRONMENTAL BENEFITS, TECHNOLOGY READINESS, AND ECONOMIC FEASIBILITY

[15] Tracking the impact of IMO's 2020 global sulphur limit regulation on risk management and counterparty risk appraisal.

[16] Jack Jordan, Paul Hickin, Tackling 2020: the impact of the IMO and how shipowners can deal with tighter sulfur limits

[17] The likely implications of the new IMO standards on the shipping industry, Antoine Halfa , Lara Younesb , Tim Boersmaa,

[18] A Life Cycle Cost Analysis of Marine Scrubber Technologies, Shih-Tung Shu, University of Rostock, Germany

[19] LNG AS A MARINE FUEL – THE INVESTMENT OPPORTUNITY, SEA-LNG

