



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Πτυχιακή/ Διπλωματική Εργασία**

**Προσδιορισμός βέλτιστου μείγματος μεθανόλης πετρελαίου για την  
ικανοποίηση των απαιτήσεων του ΙΜΟ για την απανθρακοποίηση της  
ναυτιλίας**

**Συγγραφέας  
Αρμενάκης Δημήτριος  
ΑΜ: na16008**

**Επιβλέπων:  
Λιβανός Γεώργιος**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE**

**Diploma Thesis**

**Determination of an optimum petroleum methanol blend to meet IMO  
requirements for shipping decarbonisation**

**Student name and surname:**

**Armenakis Dimitrios**

**Registration Number:**

**na16008**

**Supervisor name and surname:**

**Livanos Georgios**

**Athens, November 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Προσδιορισμός βέλτιστου μείγματος μεθανόλης πετρελαίου για  
την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ΙΜΟ για την  
απανθρακοποίηση της ναυτιλίας**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	Γεώργιος Λιβανός	Αναπληρωτής Καθηγητής	
2	Ισίδωρος Ιακωβίδης	Λέκτορας	
3	Δημήτριος Κουμπογιάννης	Αναπληρωτής Καθηγητής	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αρμενάκης Δημήτριος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου na16008 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Αρμενάκης Δημήτριος

**\* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**



**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**



## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	8
Περίληψη .....	9
Εισαγωγή .....	11
Απαιτήσεις IMO για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας .....	13
Παράρτημα VI της MARPOL.....	13
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης.....	14
Θέσπιση φόρου στις εκπομπές .....	17
Παραγωγή και κατηγοριοποίηση μεθανόλης .....	21
Βιομηχανική μεθανόλη .....	22
Διαδικασία παραγωγής .....	22
Εφαρμογές βιομηχανικής μεθανόλης .....	23
Βιομεθανόλη .....	25
Διαδικασία παραγωγής βιομεθανόλης .....	25
Η μεθανόλη στη ναυτιλία .....	28
Αξιολόγηση.....	29
Δεξαμενισμός μεθανόλης.....	31
Αποθήκευση της μεθανόλης επί του πλοίου .....	33
Χειρισμός και επεξεργασία μεθανόλης προς την κύρια μηχανή.....	35
Καύση μεθανόλης στον κύριο κινητήρα.....	37
Χειρισμός και επεξεργασία μεθανόλης μετά τον κύριο κινητήρα.....	38
Μηχανές που λειτουργούν έχοντας ως κύριο καύσιμο την μεθανόλη.....	40
Wärtsilä 32 .....	40
MAN B&W ME-LGIM .....	43
Προκλήσεις .....	46
Κόστος πράσινης μεθανόλης .....	48
Περιπτωσιολογική μελέτη πλοίου .....	50
Κύρια μηχανή (Main Engine) .....	51
Γεννήτριες (Generators/Auxiliary Engines).....	54
Συμπεράσματα .....	71

*Στην μητέρα μου Άννα,  
ήρθε η μέρα.*

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα μιας διαρκούς προσωπικής προσπάθειας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Λιβανό Γεώργιο για την ευκαιρία που μου προσέφερε, έτσι ώστε να εκπονήσω το συγκεκριμένο θέμα αλλά και για την διαρκή υποστήριξη και καθοδήγηση που παρείχε ως προς την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές και το προσωπικό του τμήματος το οποίο με κατεύθυνε και συνεργάστηκε μαζί μου καθ'όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας στο τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Γιώργο για την συνεχή του στήριξη σε κάθε μου προσπάθεια μέχρι και σήμερα, την μητέρα μου Άννα που μου στάθηκε όσο κανένας, άφθαρτα και σε καθημερινή βάση, καθώς και τους συναδέλφους μου Ανδρέα, Ηλία και Μάριο, που κάνανε υποφερτές όλες τις ημέρες φοίτησης που δεν πηγαίνανε καλά και που, χωρίς αυτούς θα είχα παρατήσει τις προσπάθειες μου προ πολλού.



## Περίληψη

Η ναυτιλιακή βιομηχανία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στο παγκόσμιο εμπόριο, αλλά ο περιβαλλοντικός της αντίκτυπος, ιδίως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, θέτει σημαντικές προκλήσεις. Για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη των στόχων απαλλαγής από τον άνθρακα, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) έχει εφαρμόσει αυστηρούς κανονισμούς για τον ναυτιλιακό τομέα. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στον προσδιορισμό του βέλτιστου μείγματος καυσίμου μεθανόλης-πετρελαίου που συνάδει με τους κανονισμούς του ΙΜΟ για τη διευκόλυνση της απαλλαγής από τον άνθρακα στη ναυτιλία. Η μεθοδολογία της έρευνας περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση των κανονισμών του ΙΜΟ, συμπεριλαμβανομένου του δείκτη ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού (EEDI), του δείκτη έντασης άνθρακα (CII), του σχεδίου διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίων (SEEMP) και των προτεινόμενων τροποποιήσεων του παραρτήματος VI της MARPOL. Επιπλέον, πραγματοποιείται ανάλυση της μεθανόλης ως δυνητικού εναλλακτικού καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητές της, τη διαθεσιμότητα, τις απαιτήσεις υποδομής και τη συμβατότητα με τις υπάρχουσες μηχανές. Η εργασία επικεντρώνεται στην αξιολόγηση των επιδόσεων και των χαρακτηριστικών εκπομπών διαφόρων μειγμάτων καυσίμου μεθανόλης-ντίζελ. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με το συμβατικό καύσιμο ντίζελ για τον προσδιορισμό της σκοπιμότητας και των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων της χρήσης μειγμάτων μεθανόλης-ντίζελ. Επιπλέον, εξετάζονται οικονομικά ζητήματα μέσω ανάλυσης κόστους, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κόστος παραγωγής μεθανόλης, οι επενδύσεις σε υποδομές και τα πιθανά κίνητρα που παρέχονται από τον ΙΜΟ ή άλλους ρυθμιστικούς φορείς. Εκτιμάται η οικονομική βιωσιμότητα της υιοθέτησης καυσίμων μεθανόλης-ντίζελ στη ναυτιλιακή βιομηχανία, λαμβάνοντας υπόψη τα πιθανά μακροπρόθεσμα οφέλη όσον αφορά τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμων και τη συμμόρφωση με τους στόχους εκπομπών του ΙΜΟ. Το προσδιοριζόμενο βέλτιστο μείγμα καυσίμου μεθανόλης-ντίζελ, το οποίο εξισορροπεί τα περιβαλλοντικά οφέλη, τις επιδόσεις του κινητήρα και τους οικονομικούς παράγοντες, χρησιμεύει ως πολύτιμος οδηγός για τους πλοιοκτήτες, τους φορείς εκμετάλλευσης και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής κατά τη μετάβασή τους προς βιώσιμες πρακτικές στη ναυτιλία.

# Abstract

The shipping industry plays a critical role in global trade, but its environmental impact, in particular greenhouse gas emissions, poses significant challenges. To combat climate change and meet decarbonisation targets, the International Maritime Organization (IMO) has implemented strict regulations for the shipping sector. This thesis aims to identify the optimal methanol-oil fuel blend that is consistent with IMO regulations to facilitate decarbonisation in shipping. The research methodology includes a comprehensive literature review of IMO regulations, including the Energy Efficiency Design Index (EEDI), the Carbon Intensity Index (CII), the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) and proposed amendments to MARPOL Annex VI. In addition, an analysis of methanol as a potential alternative fuel is carried out, taking into account its properties, availability, infrastructure requirements and compatibility with existing engines. The work focuses on the evaluation of the performance and emission characteristics of different methanol-diesel fuel blends. The results are compared with conventional diesel fuel to determine the feasibility and environmental benefits of using methanol-diesel blends. In addition, economic issues are addressed through cost analysis, taking into account factors such as methanol production costs, infrastructure investments and possible incentives provided by IMO or other regulatory bodies. The economic viability of the adoption of methanol-diesel fuels in the shipping industry is assessed, taking into account the potential long-term benefits in terms of reduced fuel consumption and compliance with IMO emission targets. The identified optimal methanol-diesel fuel blend, which balances environmental benefits, engine performance and economic factors, serves as a valuable guide for shipowners, operators and policy makers in their transition towards sustainable practices in shipping.

# Εισαγωγή

Συνολικά, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει υποστεί σημαντικές κανονιστικές αλλαγές για την αντιμετώπιση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα και τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Οι στόχοι και οι κανονισμοί του IMO καθρεφτίζουν τη συλλογική δέσμευση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη μετάβαση προς ένα μέλλον μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η επίτευξη αυτών των στόχων θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις και συνεχή συνεργασία και ίσως αλληλεγγύη μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων φορέων του κλάδου.

Η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία έχει ζωτικής σημασίας ρόλο στη διευκόλυνση του διεθνούς εμπορίου και της οικονομικής ανάπτυξης. Ωστόσο, η σημαντική συμβολή της στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) αποτελεί κρίσιμη πρόκληση στην προσπάθεια για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Έχοντας γίνει επιτακτική η ανάγκη της μείωσης των εκπομπών από τον ναυτιλιακό τομέα, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει εφαρμόσει κάποιους αυστηρούς κανονισμούς για να προωθήσει τις προσπάθειες απαλλαγής από τον άνθρακα.

Ένα τέτοιο αξιοσημείωτο κανονιστικό πλαίσιο είναι η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL), με το Παράρτημα VI να δίνει βάση στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στα μέτρα ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, η αρχική στρατηγική του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου, που εγκρίθηκε το 2018, θέτει αρκετά φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, όπως η μείωση κατά τουλάχιστον 50 % έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008. Η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί καινοτόμες ιδέες και προσεγγίσεις, καθώς και την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων.

Παράλληλα με τις πρωτοβουλίες του IMO, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εισήγαγε τον Ιούλιο του 2015 τη δική της νομοθεσία (EU MRV). Η νομοθεσία EU MRV απαιτεί από τους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης να παρακολουθούν, να αναφέρουν και να επαληθεύουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ετησίως για τα πλοία άνω των 5.000 GT που βρίσκονται ή προσεγγίζουν οποιοδήποτε λιμάνι εντός της ΕΕ, καλύπτοντας ολόκληρο τον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο (EOX). Η εν λόγω νομοθεσία αποσκοπεί στην ενίσχυση της διαφάνειας και της «λογοδοσίας» μέσω υποβολής εκθέσεων σχετικά με τις εκπομπές, διευκολύνοντας τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στον τομέα της ναυτιλίας εντός της ΕΕ και του EOX.

Εν μέσω αυτών των νομοθετικών πλαισίων, η αναζήτηση για τον εντοπισμό βιώσιμων και αποδοτικών επιλογών καυσίμων για την απαλλαγή της ναυτιλιακής βιομηχανίας από τις ανθρακούχες εκπομπές βρίσκεται δικαίως στο προσκήνιο. Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομεθανόλη) και θεωρείται ότι παράγει σχετικά χαμηλές ποσότητες αερίων ρύπων στο περιβάλλον. Έχει αναδειχθεί ως καλή εναλλακτική λύση σε σχέση

με τα παραδοσιακά ναυτιλιακά καύσιμα. Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας, του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γεγονός που την καθιστά μια ευέλικτη και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή. Η παρούσα εργασία επιδιώκει να αντιμετωπίσει την επιτακτική ανάγκη για τον προσδιορισμό του βέλτιστου μείγματος καυσίμου μεθανόλης-ντίζελ για την απαλλαγή από τον άνθρακα στη ναυτιλία, σύμφωνα πάντα με τους κανονισμούς του IMO. Το επίκεντρο είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης αναλογίας μεθανόλης σε μείγματα καυσίμου ντίζελ που εξισορροπεί τα περιβαλλοντικά οφέλη, την απόδοση του κινητήρα και την οικονομική βιωσιμότητα. Τα ευρήματα και οι συστάσεις που θα προκύψουν από την παρούσα μελέτη θα καθοδηγήσουν τους φορείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας που ενδιαφέρονται αναφορικά με την πορεία προς ένα πιο πράσινο και αποδοτικό μέλλον, συμβαδίζοντας με τους στόχους που έχει θέσει ο IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

# Απαιτήσεις IMO για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας

Η εστίαση του IMO στη ρύθμιση των εκπομπών αερίων ρύπων ξεκίνησε το 1997 με τροποποιήσεις της Διεθνούς Σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL). Η MARPOL ασχολήθηκε με διάφορους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), των πτητικών οργανικών ενώσεων, των πολυχλωριωμένων διφαινυλίων, των βαρέων μετάλλων και των χλωροφθορανθράκων.

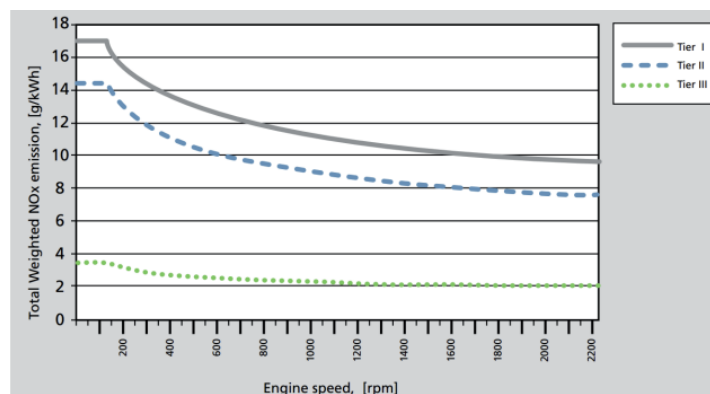
## Παράρτημα VI της MARPOL

Το παράρτημα VI της MARPOL, το οποίο τέθηκε σε ισχύ τον Μάιο του 2005, καθόρισε όρια για τις αερομεταφερόμενες εκπομπές από τα πλοία. Τα όρια αυτά αυστηροποιήθηκαν περαιτέρω με αναθεωρήσεις τον Οκτώβριο του 2008, οι οποίες τέθηκαν σε ισχύ τον Ιούλιο του 2010. Οι κανονισμοί αυτοί αποσκοπούν στον έλεγχο και τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία. Το παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL καθορίζει επίσης όρια για τις εκπομπές NO<sub>x</sub> από ναυτικούς κινητήρες ντίζελ ισχύος άνω των 130 kW, ανάλογα με τη μέση ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου (ημερομηνία καθέλκυσης του πλοίου). Η ημερομηνία καθέλκυσης της τρόπιδας καθορίζει εάν ένα πλοίο υπόκειται στην κατηγορία I, II ή III, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.

**Κατηγορία I** - Πλοία που έχουν ναυπηγηθεί από την 1η Ιανουαρίου 2000 έως την 1η Ιανουαρίου 2011.

**Κατηγορία II** - Πλοία με καρίνα από την 1η Ιανουαρίου 2011 και μεταγενέστερα.

**Κατηγορία III** - Πλοία που έχουν ναυπηγηθεί μετά την 1η Ιανουαρίου 2016 και δραστηριοποιούνται στην περιοχή ελέγχου εκπομπών της Βόρειας Αμερικής ή στην περιοχή ελέγχου εκπομπών των Ηνωμένων Πολιτειών της Καραϊβικής Θάλασσας.



Εικόνα 1. Εκπομπές βάσει κατηγορίας. (IMO, 2016)

- **Όριο περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα των πλοίων**

Ο IMO έβαλε σε εφαρμογή ένα ανώτατο όριο θείου στα καύσιμα πλοίων, το οποίο ρυθμίζει την περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα πλοίων. Το μέτρο αυτό αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SOx) από τα πλοία και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Είναι σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2020 και περιορίζει την περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα πλοίων σε 0,50% κατά βάρος (w/w).

- **Στόχοι μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (GHG)**

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους είναι η επίτευξη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008. Αυτό ευθυγραμμίζεται με τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού των Ηνωμένων Εθνών. Η Συμφωνία του Παρισιού είναι συμφωνία στο πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), που ασχολείται με την μείωση των εκπομπών αερίων, την προσαρμογή και τις οικονομικές της λεπτομέρειες, η οποία υπογράφηκε το 2016.

- **Επενδύσεις στη βιομηχανία**

Η επίτευξη των στόχων ελάττωσης των εκπομπών του IMO για το 2050 προβλέπεται ότι θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις. Εκτιμάται ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία θα πρέπει να επενδύσει τουλάχιστον 1 τρισεκατομμύριο δολάρια για την επίτευξη των στόχων αυτών. Αυτό ενισχύει τη δυναμικότητα της πρόκλησης αυτής, όπως και την ανάγκη για διάθεση σημαντικών οικονομικών πόρων που θα χρησιμοποιηθούν για αυτόν τον σκοπό.

## Μέτρα ενεργειακής απόδοσης

Τα τρέχοντα μέτρα ενεργειακής απόδοσης στο παράρτημα VI της MARPOL περιλαμβάνουν τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού (EEDI) για τα νεότευκτα πλοία και το σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίου (SEEMP) για όλα τα πλοία. Η ανάπτυξη αυτών των μέτρων είναι ο σκοπός των προτεινόμενων τροποποιήσεων.

### 1. Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)

Μια νέα τεχνική απαίτηση αποτελεί η θέσπιση του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων ή Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). Πρόκειται για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης όλων των πλοίων. Η απαιτούμενη τιμή EEXI καθορίζεται από τον τύπο

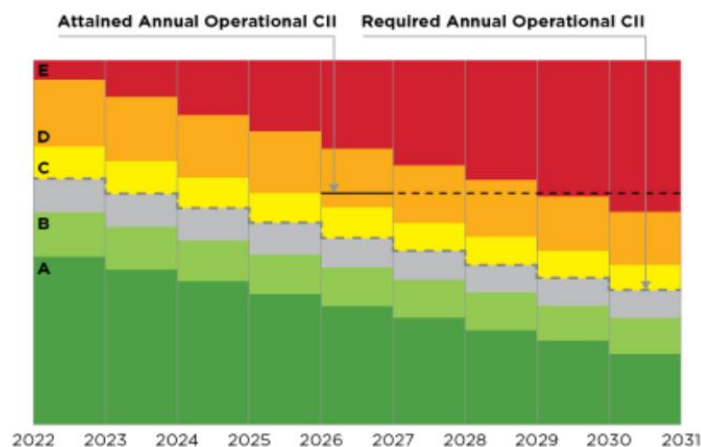
του πλοίου, τη χωρητικότητα του πλοίου και την αρχή πρόωσης και είναι η μέγιστη αποδεκτή τιμή EEXI που επιτυγχάνεται. Ο επιτευχθείς EEXI πρέπει να υπολογίζεται για το μεμονωμένο πλοίο, το οποίο εμπίπτει στον κανονισμό. Τα πλοία πρέπει να πληρούν έναν συγκεκριμένο απαιτούμενο δείκτη EEXI, ο οποίος βασίζεται σε έναν συντελεστή μείωσης σε σχέση με το βασικό δείκτη EEDI.(DNV, 2024)

## 2. Carbon Intensity Indicator (CII)

Οι τροποποιήσεις εισάγουν επίσης ένα νέο λειτουργικό μέτρο γνωστό ως λειτουργικός δείκτης έντασης άνθρακα ή Carbon Intensity Indicator (CII). Το μέτρο αυτό εφαρμόζεται σε πλοία ολικής χωρητικότητας 5.000 κόρων και άνω. Οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων πρέπει να προσδιορίζουν τον απαιτούμενο ετήσιο δείκτη CII, ο οποίος καθορίζει τον συντελεστή μείωσης που απαιτείται για τη βελτίωση της επιχειρησιακής έντασης άνθρακα του πλοίου.

## 3. Βαθμολόγηση έντασης άνθρακα

Η ένταση άνθρακα ενός πλοίου αξιολογείται και κατατάσσεται σε μία από τις πέντε κατηγορίες: A,B,C,D ή E, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2. Οι αξιολογήσεις αυτές υποδεικνύουν το επίπεδο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα του πλοίου, με το A να είναι το καλύτερο και το E το χειρότερο. Εάν ένα πλοίο λαμβάνει σταθερά βαθμολογία "D" για τρία συνεχόμενα έτη ή βαθμολογία "E" για ένα μόνο έτος, υποχρεούται να λάβει διορθωτικά μέτρα, παρουσιάζοντας ένα πλέον διαφορετικό σχέδιο. Το σχέδιο αυτό πρέπει να καταδεικνύει πώς το πλοίο προτίθεται να βελτιώσει τη βαθμολογία του ώστε να επιτύχει ή να υπερβεί τη βαθμολογία "C" ή υψηλότερη. Στην ουσία, η απαίτηση αυτή υποχρεώνει τα πλοία με σταθερά κακή βαθμολογία να δομήσουν εκ νέου τις στρατηγικές τους, ώστε να υπάρξει επίτευξη καλύτερων επιδόσεων περιβαλλοντικής ή ενεργειακής απόδοσης.



Εικόνα 2. Απαιτούμενος δείκτης έντασης άνθρακα. ("Carbon Intensity Indicator (CII) - ABS," 2023)

Ένα πλοίο μπορεί να λειτουργεί με καύσιμα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για να λάβει σαφώς υψηλότερη βαθμολογία από ένα πλοίο που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα, αλλά υπάρχουν πολλά πράγματα που μπορεί να κάνει ένα πλοίο για να βελτιώσει τη βαθμολογία του, για παράδειγμα:

- a) καθαρισμός του κύτους για τη μείωση της αντίστασης,
- b) βελτιστοποίηση της ταχύτητας και των δρομολογίων,
- c) εγκατάσταση λαμπτήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας- και
- d) εγκατάσταση βοηθητικής ηλιακής/αιολικής ενέργειας για τις υπηρεσίες στέγασης.

(IMO, 2016)

Το σχέδιο τροποποιήσεων διαβιβάζεται στην Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος ή Marine Environment Protection Committee (MEPC) για συζήτηση και πιθανή έγκριση. Μετά την έγκριση, θα ακολουθήσουν τις διαδικασίες τροποποίησης που περιγράφονται στη συνθήκη MARPOL.

Εκεί διενεργείται εκτίμηση επιπτώσεων για τα προτεινόμενα μέτρα. Θα εξεταστούν παράγοντες όπως οι αρνητικές επιπτώσεις στα κράτη, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, οι εμπορικές ροές, το ΑΕΠ και τα μοντέλα ανάλυσης. Τα αποτελέσματα υποβάλλονται στην MEPC 76 και δημιουργείται ένα πλαίσιο για την εξέταση των επιπτώσεων στα κράτη.

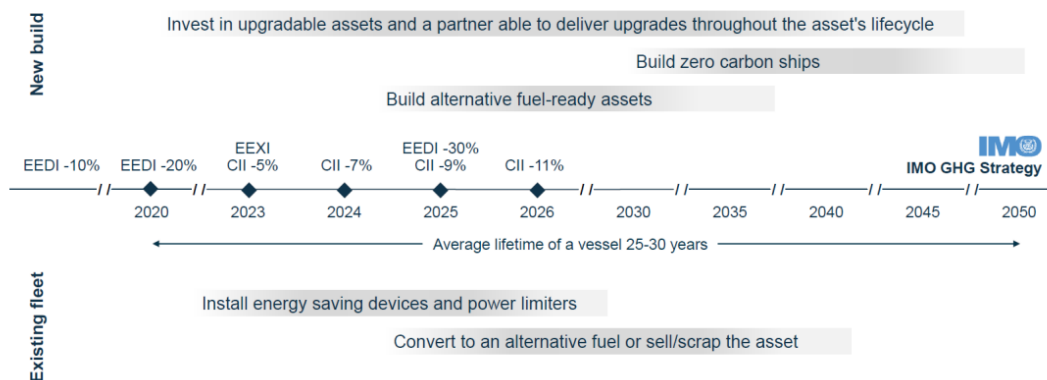
#### **4. Μηχανισμός αναθεώρησης**

Οι απαιτήσεις για την πιστοποίηση EEXI και CII τέθηκαν σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2023. Αυτό σημαίνει ότι οι πρώτες ετήσιες εκθέσεις θα ολοκληρωθούν το 2023, ενώ οι αρχικές αξιολογήσεις θα δοθούν από το 2024. Τα μέτρα θεωρούνται δεσμευτικά του IMO στο πλαίσιο της αρχικής στρατηγικής του 2018 για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία ώστε να μειώσει την ένταση άνθρακα από όλα τα πλοία κατά 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 2008. Οι τροποποιήσεις αναθέτουν στον IMO να επανεξετάσει την αποτελεσματικότητα των απαιτήσεων CII και EEXI έως την 1η Ιανουαρίου 2026 και εφ' όσον κριθεί απαραίτητο να γίνουν περαιτέρω τροποποιήσεις. Το χρονοδιάγραμμα που έχει τεθεί από



τον IMO για τα νεότευκτα και τα υφιστάμενα πλοία σε βάθος τριακονταετίας φαίνεται στην εικόνα 3.

## MEETING TIGHTENING REGULATIONS

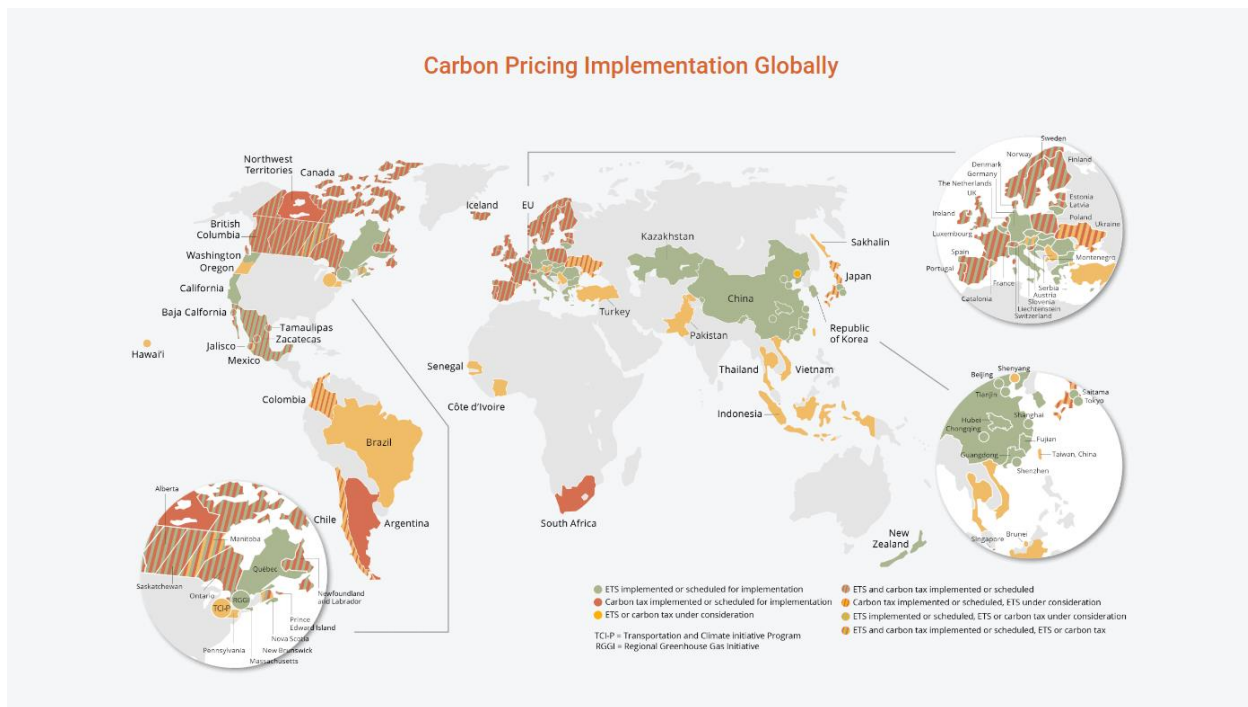


Εικόνα 3. Απεικόνιση χρονοδιαγράμματος επίτευξης στόχων IMO (Luomansuu, 2020)

### Θέσπιση φόρου στις εκπομπές

Η διεθνής ναυτιλιακή βιομηχανία αντιμετωπίζει όλο και μεγαλύτερες πιέσεις για τη θέσπιση εισφοράς ή φόρου επί των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα φέτος. Η εισφορά αυτή θα περιλαμβάνει την επιβολή τέλους με βάση τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από τα πλοία κατά τη διάρκεια των λειτουργιών τους. Τα έσοδα που θα προέκυπταν από αυτόν τον φόρο θα μπορούσαν να διατεθούν για τη χρηματοδότηση των προσπαθειών μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Παγκόσμιας Τράπεζας, ένας τέτοιος φόρος άνθρακα στην παγκόσμια ναυτιλία θα μπορούσε δυνητικά να συγκεντρώσει ένα σημαντικό χρηματικό ποσό ετησίως, που κυμαίνεται από 40 έως 60 δισεκατομμύρια δολάρια. Αυτή η σημαντική χρηματοδότηση θα μπορούσε να είναι ζωτικής σημασίας για τη στήριξη πρωτοβουλιών που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η κλιματική αλλαγή. Ο τρόπος τιμολόγησης συνοψίζεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4. Εφαρμογή τιμολόγησης άνθρακα (C2ES, 2024)

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συζητήσεις στο πλαίσιο του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), βρίσκονται σε εξέλιξη όσον αφορά την εφαρμογή ενός φόρου στις εκπομπές άνθρακα. Ενώ η τελική απόφαση για το θέμα αναβάλλεται, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι συζητήσεις δεν έχουν απορρίψει εντελώς την ιδέα της επιβολής φόρου άνθρακα στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Αυτό υποδηλώνει ότι η ιδέα εξακολουθεί να εξετάζεται, αντανακλώντας την αναγνώριση από την παγκόσμια κοινότητα της ανάγκης να αντιμετωπιστούν οι εκπομπές από τις θαλάσσιες μεταφορές στο πλαίσιο του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε πως η Παγκόσμια Τράπεζα έχει θεσπίσει δύο τρόπους φορολόγησης των εκπομπών, οι οποίοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν στην παγκόσμια ναυτιλία καθώς δεν είναι ούτε θεσμοθετημένοι ούτε υιοθετημένοι από τον IMO. Αυτοί οι τρόποι είναι οι εξής:

## 1. Emissions Trading Systems (ETS)

Γνωστά και ως συστήματα "cap-and-trade". Σε ένα σύστημα cap-and-trade, η κυβέρνηση καθορίζει ένα ανώτατο όριο εκπομπών και εκδίδει μια ποσότητα δικαιωμάτων εκπομπών που συνάδει με το εν λόγω ανώτατο όριο. Οι «εκπέμποντες» πρέπει να κατέχουν δικαιώματα για κάθε τόνο αερίου του θερμοκηπίου που εκπέμπουν. Οι εταιρείες μπορούν να αγοράζουν και να πωλούν δικαιώματα και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια αγορά για τα δικαιώματα

εκπομπής, με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση μιας τιμής για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το ανώτατο όριο διασφαλίζει ότι οι εκπομπές παραμένουν εντός του προκαθορισμένου προϋπολογισμού άνθρακα, οδηγώντας σε μειώσεις των εκπομπών.

## **2. Φόρος άνθρακα**

Ένας φόρος άνθρακα καθορίζει άμεσα μια τιμή στις εκπομπές άνθρακα. Συνήθως ορίζεται ως φορολογικός συντελεστής είτε επί των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είτε επί της περιεκτικότητας των ορυκτών καυσίμων σε άνθρακα. Σε αντίθεση με το ETS, το αποτέλεσμα της μείωσης των εκπομπών δεν είναι προκαθορισμένο. Αντ' αυτού, καθορίζεται η τιμή του άνθρακα και οι εκπέμποντες επιλέγουν πόσο θα μειώσουν με βάση οικονομικές εκτιμήσεις. Η επιλογή μεταξύ αυτών των δύο μέσων (ETS και φόρος άνθρακα) εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες και τους οικονομικούς παράγοντες μιας χώρας. Επιπλέον, υπάρχουν έμμεσες μέθοδοι τιμολόγησης του άνθρακα, όπως οι φόροι καυσίμων, η εξάλειψη των επιδοτήσεων ορυκτών καυσίμων και οι κανονισμοί που λαμβάνουν υπόψη το "κοινωνικό κόστος του άνθρακα". (The World Bank, 2024)

Η απόφαση σχετικά με τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την τιμολόγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από τη συγκεκριμένη κατάσταση μιας χώρας και την οικονομία της. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι για την αποτίμηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, αν και όχι τόσο άμεσοι όσο οι φόροι άνθρακα ή τα ETS.

Αυτοί περιλαμβάνουν:

- **Φόροι επί των καυσίμων**

Επιβολή υψηλότερης χρέωσης για ορυκτά καύσιμα όπως η βενζίνη ή το ντίζελ για να ενθαρρυνθούν οι άνθρωποι και οι επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν λιγότερα από αυτά.

- **Κατάργηση των επιδοτήσεων για ορυκτά καύσιμα**

Διακοπή της κυβερνητικής στήριξης για τις βιομηχανίες ορυκτών καυσίμων, η οποία μπορεί να τις κάνει πιο ακριβές και λιγότερο ελκυστικές σε σύγκριση με καθαρότερες εναλλακτικές λύσεις.

- **Κανονισμοί με "κοινωνικό κόστος του άνθρακα"**

Το «κοινωνικό κόστος του άνθρακα» προσδιορίστηκε για πρώτη φορά από ομάδα εργασίας της κυβέρνησης των ΗΠΑ το 2010 η οποία συγκλήθηκε για αυτό το σκοπό. Στη συνέχεια επανεκτιμήθηκε το 2013. Το κόστος έχει οριστεί σε περίπου 36\$/τόνο διοξειδίου του άνθρακα (Μαλτέζου, 2018). Άρα, εξετάζουμε τη δημιουργία κανόνων και νόμων που λαμβάνουν υπόψη

το συνολικό κόστος των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την κοινωνία, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις των επιχειρήσεων και των ατόμων.

- **Πληρωμές για τη μείωση των εκπομπών**

Οι εταιρείες ή οι χώρες μπορούν να πληρώνουν για έργα ή δράσεις που μειώνουν τις εκπομπές. Αυτό μπορεί να γίνει για να αντισταθμίσουν τις δικές τους εκπομπές ή για να υποστηρίξουν τις προσπάθειες καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής.

- **Αντισταθμίσεις**

Οι αντισταθμίσεις αποτελούν σημαντικό μέσο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων. Μέσω των αντισταθμίσεων, επιτρέπεται η «αναπλήρωση» των εκπομπών που προκύπτουν από μια δραστηριότητα με μειώσεις εκπομπών που πραγματοποιούνται αλλού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την υποστήριξη και χρηματοδότηση έργων που προωθούν τη βιωσιμότητα και την προστασία του περιβάλλοντος, όπως η αναδάσωση, τα ανανεώσιμα ενεργειακά έργα, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, καθώς και άλλες πρωτοβουλίες που συνεισφέρουν στη μείωση των εκπομπών. Αυτός ο τύπος δράσης επιτρέπει σε εταιρείες και κυβερνήσεις να επιτύχουν τους περιβαλλοντικούς τους στόχους, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλουν στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο. Η χρήση αντισταθμίσεων είναι μια πρακτική που αυξάνει τη συνειδητοποίηση για την ανάγκη δράσης κατά της κλιματικής αλλαγής και τη δημιουργία πιο πράσινων και φιλικών προς το περιβάλλον κοινωνιών.

# Παραγωγή και κατηγοριοποίηση μεθανόλης

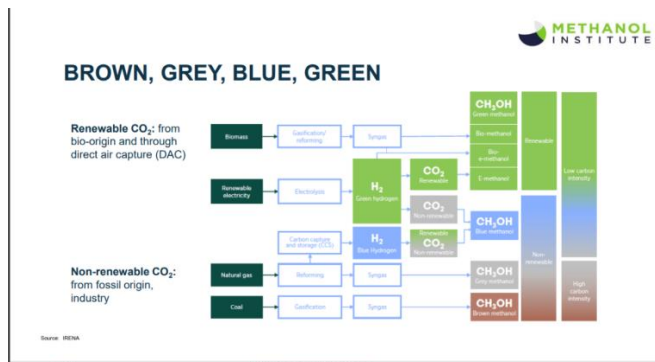
Η μεθανόλη ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), που ονομάζεται επίσης μεθυλική αλκοόλη, ξυλική αλκοόλη ή ξυλόπνευμα, η απλούστερη από μια μακρά σειρά οργανικών ενώσεων που ονομάζονται αλκοόλες, η οποία αποτελείται από μια μεθυλομάδα ( $-\text{CH}_3$ ) συνδεδεμένη με μια υδροξυλομάδα ( $-\text{OH}$ ). Είναι η απλούστερη αλκοόλη και χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολλών προϊόντων, από τα πλαστικά και τα χρώματα μέχρι τα οικοδομικά υλικά. (“Future Fuels Methanol - Wartsila,” 2024) Η μεθανόλη παλαιότερα παραγόταν με την ξηρή απόσταξη του ξύλου. Η σύγχρονη μέθοδος παρασκευής της μεθανόλης βασίζεται στον άμεσο συνδυασμό αερίου μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου παρουσία καταλύτη. Για την παραγωγή μεθανόλης χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο το syngas, ένα μείγμα υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα που προέρχεται από βιομάζα. (Encyclopedia Britannica, 2023). Η μεθανόλη είναι το φθηνότερο καύσιμο ναυτιλίας όσο αναφορά το ουδέτερο ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα, με βάση το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO), σε ένα ευρύ φάσμα πλοίων και εφαρμογών σε σύγκριση με την αμμωνία, την ηλεκτρική ενέργεια και το υδρογόνο.

Η μεθανόλη είναι ένα άχρωμο υγρό, με χαρακτηριστική οσμή αλκοόλης, εύφλεκτο, τοξικό αν καταποθεί, που αποτελεί καλό διαλύτη για πλήθος χημικών ουσιών. Τα διάφορα είδη μεθανόλης, ανάλογα με την πρώτη ύλη την οποία παράγονται, διακρίνονται στα εξής:

- Η **πράσινη μεθανόλη** παράγεται από βιομάζα ή δεσμευμένο  $\text{CO}_2$  και πράσινο υδρογόνο.
- Η **μπλε μεθανόλη** παράγεται με τη χρήση μπλε υδρογόνου σε συνδυασμό με τεχνολογία δέσμευσης άνθρακα.
- Η **γκρίζα μεθανόλη** παράγεται με χρήση φυσικού αερίου.
- Η **καφέ μεθανόλη** παράγεται με χρήση άνθρακα.

(WÄRTSILÄ, 2024)

Τα διάφορα είδη μεθανόλης με βάση την προέλευση τους, φαίνονται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5. Κατηγορίες μεθανόλης με βάση τη διαδικασία παραγωγής. (“Methanol as Marine Fuel - Methanex,” 2024)

Η μεθανόλη κατηγοριοποιείται κυρίως ως βιομηχανικό χημικό και βιοκαύσιμο. Έχει διάφορες εφαρμογές και παράγεται με διάφορες μεθόδους. Ακολουθούν οι κύριες κατηγορίες μεθανόλης και ο τρόπος παραγωγής τους: (Balcombe et al., 2019)

### Βιομηχανική μεθανόλη

Η βιομηχανική μεθανόλη αναφέρεται στην παραγωγή μεθανόλης από ορυκτά καύσιμα, κυρίως φυσικό αέριο και άνθρακα. Οι δύο κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη βιομηχανική παραγωγή μεθανόλης είναι:

- **Αναμόρφωση φυσικού αερίου με υδρατμό**

Το φυσικό αέριο (κυρίως μεθάνιο) αντιδρά με υδρατμό σε υψηλές θερμοκρασίες (700-1000°C) και μέτριες πιέσεις παρουσία καταλύτη για την παραγωγή μίγματος υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα, γνωστού ως αέριο σύνθεσης ή syngas. Το syngas μετατρέπεται στη συνέχεια καταλυτικά σε μεθανόλη.

- **Αεριοποίηση άνθρακα**

Ο άνθρακας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή μεθανόλης μέσω αεριοποίησης. Ο άνθρακας αντιδρά με οξυγόνο και ατμό σε υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 1000°C) για την παραγωγή syngas, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε μεθανόλη χρησιμοποιώντας παρόμοιες καταλυτικές διεργασίες όπως στην αναμόρφωση με ατμό.

Η βιομηχανική μεθανόλη είναι ένα ζωτικής σημασίας χημικό προϊόν με ευρύ φάσμα εφαρμογών, καθιστώντας την ένα από τα σημαντικότερα χημικά προϊόντα παγκοσμίως. Τι εφαρμογές έχει όμως η βιομηχανική μεθανόλη και ποια είναι η διαδικασία παραγωγής της;

### Διαδικασία παραγωγής

Η κύρια μέθοδος για την παραγωγή βιομηχανικής μεθανόλης είναι η αναμόρφωση φυσικού αερίου με ατμό. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει διάφορα στάδια:

- **Προεπεξεργασία φυσικού αερίου**

Το φυσικό αέριο υφίσταται προεπεξεργασία για την απομάκρυνση ακαθαρσιών, όπως ενώσεις θείου, οι οποίες θα μπορούσαν να απενεργοποιήσουν τον καταλύτη που χρησιμοποιείται στα επόμενα στάδια.

- **Αποθείωση**

Οι ενώσεις του θείου απομακρύνονται από το φυσικό αέριο μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται αποθείωση, διασφαλίζοντας ότι το τελικό προϊόν πληροί τις αυστηρές απαιτήσεις καθαρότητας.

- **Καταλυτικός αντιδραστήρας**

Το αποθειωμένο φυσικό αέριο αναμιγνύεται με ατμό και στη συνέχεια διέρχεται από καταλυτικό αντιδραστήρα σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρουσία καταλύτη (συνήθως μίγμα νικελίου και αλουμίνιας), το μεθάνιο του φυσικού αερίου αντιδρά με ατμό για να παραχθεί αέριο σύνθεσης ή syngas, το οποίο αποτελείται κυρίως από υδρογόνο ( $H_2$ ) και μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ).

- **Μετατροπή του αερίου Syngas**

Το αέριο σύνθεσης επεξεργάζεται περαιτέρω σε αντιδραστήρα σύνθεσης μεθανόλης, όπου υφίσταται καταλυτική αντίδραση για την παραγωγή μεθανόλης ( $CH_3OH$ ). Ο τυπικός καταλύτης που χρησιμοποιείται για το στάδιο αυτό είναι ένα μείγμα χαλκού, οξειδίου του ψευδαργύρου και οξειδίου του αργιλίου.

- **Καθαρισμός**

Η ακατέργαστη μεθανόλη που παράγεται στον αντιδραστήρα σύνθεσης περιέχει ακαθαρσίες και νερό. Υποβάλλεται σε στάδια καθαρισμού για την απομάκρυνση αυτών των προσμίξεων και την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου καθαρότητας.

Εφαρμογές βιομηχανικής μεθανόλης

- **Χημική βιομηχανία**

Η μεθανόλη είναι μια κρίσιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή ενός ευρέος φάσματος χημικών προϊόντων, όπως η φορμαλδεΰδη, το οξικό οξύ, ο μεθυλο-τερτ-βουτυλαιθέρας (MTBE) και ο διμεθυλαιθέρας (DME). Αυτές οι χημικές ουσίες, με τη σειρά τους, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ρητινών, πλαστικών, διαλυτών και διαφόρων άλλων προϊόντων.

- **Καύσιμα και ενέργεια**

Η μεθανόλη είναι ένας δυναμικός εναλλακτικός φορέας καυσίμων και ενέργειας. Μπορεί να αναμιχθεί με βενζίνη για τη δημιουργία βενζινόλης, να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο καθαρής καύσης σε σόμπες και λαμπτήρες.

- **Διαλύτες και καθαριστικά**

Οι ιδιότητες της μεθανόλης ως διαλύτη την καθιστούν πολύτιμη σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η παραγωγή χρωμάτων και βερνικιών, η εκτύπωση και οι εφαρμογές καθαρισμού.

- **Φαρμακευτικά προϊόντα**

Η μεθανόλη χρησιμοποιείται ως διαλύτης και αντιδραστήριο στη φαρμακευτική βιομηχανία για τη σύνθεση διαφόρων φαρμάκων και άλλων προϊόντων.

- **Αντιψυκτικά**

Η μεθανόλη χρησιμοποιείται ως αντιψυκτικό σε εφαρμογές αυτοκινήτων, ιδίως σε υγρά πλυσίματος παμπρίζ και ως συστατικό σε σκευάσματα ψυκτικού υγρού κινητήρα.

- **Περιβαλλοντικές εφαρμογές**

Μεθανόλη χρησιμοποιείται σε ορισμένα σκευάσματα καυσίμων για τη μείωση των εκπομπών επιβλαβών ρύπων σε κινητήρες εσωτερικής καύσης.

- **Άλλες βιομηχανικές εφαρμογές**

Η μεθανόλη χρησιμοποιείται στην παραγωγή συγκολλητικών, απορρυπαντικών, φυτοφαρμάκων, ακόμη και ως μετουσιωτικό για την αιθανόλη.

Παρά την πολυχρηστικότητά της, η βιομηχανική παραγωγή μεθανόλης έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που σχετίζονται κυρίως με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Η πλειονότητα των εκπομπών στις ορυκτές διαδρομές αφορά τις στοιχειομετρικές εκπομπές στο τέλος του κύκλου ζωής, όταν χρησιμοποιείται η μεθανόλη ως καύσιμο για κινητήρες εσωτερικής καύσης σε αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία και πλοία. Για χρήσεις που βασίζονται σε ανανεώσιμες πρώτες ύλες, οι εκπομπές αυτές είναι κλιματικά ουδέτερες, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των συνολικών κλιματικών εκπομπών, καθώς το αποτύπωμα άνθρακα βελτιώνεται σημαντικά. (Rattan, 2019)



## Βιομεθανόλη

Γνωστή και ως ανανεώσιμη μεθανόλη, η βιομεθανόλη μπορεί να παραχθεί μέσω διαφόρων οδών, που ξεκινούν από τη βιομάζα ως πρωτογενή πρώτη ύλη. Η βιομάζα μπορεί να περιλαμβάνει μια ποικιλία οργανικών υλικών, όπως ξύλο, γεωργικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες όπως το switchgrass ή το miscanthus, ακόμη και οργανικά απόβλητα. Οι κύριες μέθοδοι παραγωγής βιομεθανόλης είναι οι εξής:

### Διαδικασία παραγωγής βιομεθανόλης

- **Αεριοποίηση βιομάζας**

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια θερμοχημική διεργασία που μετατρέπει τη βιομάζα σε syngas, ένα μείγμα υδρογόνου ( $H_2$ ), μονοξειδίου του άνθρακα ( $CO$ ), διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) και άλλων αερίων που περιέχονται σε μικρά ποσοστά. Το syngas μετατρέπεται στη συνέχεια σε μεθανόλη μέσω καταλυτικών αντιδράσεων παρόμοιων με εκείνες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιομηχανικής μεθανόλης.

- **Αναμόρφωση βιοαερίου**

Το βιοαέριο, το οποίο παράγεται από την αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων, όπως γεωργικά υπολείμματα, απόβλητα τροφίμων ή λύματα, αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $CH_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Μέσω της αναμόρφωσης του βιοαερίου, το  $CO_2$  απομακρύνεται από το βιοαέριο και το υπόλοιπο μεθάνιο μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης. Στη συνέχεια, το αέριο σύνθεσης υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία για την παραγωγή μεθανόλης.

- **Μεθανόλη από τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ )**

Η μεθανόλη μπορεί επίσης να παραχθεί με τη χρήση δεσμευμένου διοξειδίου του άνθρακα από βιομηχανικές εκπομπές ή μέσω άμεσης δέσμευσης στον αέρα. Αυτό περιλαμβάνει την αντίδραση  $CO_2$  με υδρογόνο που λαμβάνεται από διεργασίες όπως η ηλεκτρόλυση νερού ή άλλες πηγές για τη δημιουργία syngas, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε μεθανόλη. Αξίζει να τονιστεί ότι οι τεχνικές παραγωγής που περιγράφονται παραπάνω αποτελούν απλουστευμένη περιγραφή, ενώ οι βιομηχανικές διεργασίες που εφαρμόζονται στην πράξη μπορεί να περιλαμβάνουν παραλλαγές και πρόσθετα βήματα. Επιπλέον, οι συνεχιζόμενες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης αποσκοπούν στη διερεύνηση εναλλακτικών, πιο βιώσιμων μεθόδων για την παραγωγή μεθανόλης. Η βιομεθανόλη, που αναφέρεται επίσης ως ανανεώσιμη μεθανόλη, αποτελεί ένα φιλικό προς το περιβάλλον υποκατάστατο της παραδοσιακής βιομηχανικής μεθανόλης. Παρασκευάζεται από ανανεώσιμες πηγές βιομάζας αντί για ορυκτά καύσιμα. Αυτή η

ιδιότητα την καθιστά μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση της αειφορίας.

Η βιομεθανόλη προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη σε αντίθεση με την παραδοσιακή βιομηχανική μεθανόλη.

- **Ουδετερότητα άνθρακα**

Έχει τη δυνατότητα να επιτύχει ουδετερότητα ως προς τον άνθρακα ή ακόμη και αρνητικό αποτύπωμα άνθρακα, ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται κατά την καύση της μεθανόλης αντισταθμίζεται από το διοξείδιο του άνθρακα που δεσμεύεται ή απορροφάται κατά την ανάπτυξη της βιομάζας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή.

- **Μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου**

Η βιομεθανόλη μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τη μεθανόλη που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και υποστηρίζει τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

- **Αξιοποίηση αποβλήτων**

Η παραγωγή βιομεθανόλης μπορεί να αξιοποιήσει αποτελεσματικά διάφορες μορφές βιομάζας, συμπεριλαμβανομένων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, αποβλήτων και ενεργειακών καλλιεργειών. Αυτό ενθαρρύνει την αξιοποίηση των αποβλήτων και μειώνει τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Μπορεί επίσης να βρει εφαρμογές σε μια σειρά από τομείς παρόμοιες με την παραδοσιακή μεθανόλη.

- **Βιοκαύσιμα**

Η βιομεθανόλη μπορεί να αναμιχθεί με βενζίνη ή να χρησιμοποιηθεί ως αυτόνομο καύσιμο σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, μειώνοντας έτσι τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών.

- **Χημικές ουσίες και διαλύτες**

Η βιομεθανόλη μπορεί να χρησιμεύσει ως πρώτη ύλη για τη σύνθεση διαφόρων χημικών ουσιών, διαλυτών και βιομηχανικών προϊόντων.

- **Αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας**

Η βιομεθανόλη μπορεί να συμβάλει στην αποθήκευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και στη σταθερότητα του δικτύου, χρησιμεύοντας ως καθαρός φορέας ενέργειας για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές.

- **Καύσιμα αεροπορίας και θαλάσσιων μεταφορών**

Η βιομεθανόλη μπορεί να λειτουργήσει ως ανανεώσιμο καύσιμο για τις αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές, βοηθώντας στις προσπάθειες για την απαλλαγή από τον άνθρακα στους τομείς αυτούς.

- **Βιοδιασπώμενα πλαστικά**

Οι χημικές ουσίες που προέρχονται από τη βιομεθανόλη μπορούν να ενσωματωθούν στην παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών, υποστηρίζοντας έτσι τη μείωση των πλαστικών αποβλήτων και της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και της έρευνας, αναμένεται ότι η αποτελεσματικότητα και η οικονομική σκοπιμότητα της παραγωγής βιομεθανόλης θα βελτιωθούν. Η ευρεία αποδοχή της βιομεθανόλης έχει τη δυνατότητα να έχει ουσιαστικό θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και τη βιωσιμότητα, καθώς μπορεί να μειώσει την εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα και να περιορίσει τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

## Η μεθανόλη στη ναυτιλία

Η μεθανόλη υπόσχεται πολλά ως εναλλακτικό καύσιμο, μέσω του οποίου μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ξεχωρίζει ως ιδιαίτερα ευνοϊκή επιλογή για την επίτευξη τόσο των σημερινών όσο και των μελλοντικών στόχων μείωσης των εκπομπών σε σύγκριση με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα. Η μεθανόλη μειώνει σημαντικά τις εκπομπές NOx (οξειδία του αζώτου), SOx (οξειδία του θείου) και σωματιδίων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επιλογές. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η μεθανόλη παραμένει σε υγρή κατάσταση υπό κανονικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, επιτρέποντας την αποθήκευση σε δεξαμενές παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται για το παραδοσιακό ντίζελ. Είναι διαθέσιμη σε περισσότερα από 125 από τα μεγαλύτερα λιμάνια του κόσμου. Ως υγρό προϊόν, η μεθανόλη είναι ασφαλής για μεταφορά, αποθήκευση και δεξαμενισμό με τη χρήση των συνήθων διαδικασιών ασφαλείας. Βέβαια, η μεθανόλη έχει υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης και χρειάζεται τουλάχιστον 5% πιλοτικό καύσιμο (σε ενέργεια). Οι κατασκευαστές κινητήρων διερευνούν τρόπους για να μειώσουν την ποσότητα του απαιτούμενου καυσίμου πιλότου - για να μειώσουν με τη σειρά τους το κόστος και τις πρόσθετες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα - αλλά το πιλοτικό καύσιμο παραμένει απαραίτητο (BV, 2024). Η τεχνολογία κινητήρων διπλού καυσίμου είναι ήδη διαθέσιμη. Η πράσινη μεθανόλη (περιλαμβάνει τη βιομεθανόλη και την e-μεθανόλη) είναι συμβατή με την τρέχουσα τεχνολογία κινητήρων διπλού καυσίμου μεθανόλης, προσφέροντας μια σαφή πορεία προς την απεξάρτηση από τον άνθρακα χωρίς μελλοντικές επενδύσεις ή προβλήματα συμβατότητας. (“Methanol as Marine Fuel - Methanex,” 2024).

### **Stena Germanica**

Το Stena Germanica είναι το πρώτο εμπορικό πλοίο στον κόσμο που λειτουργεί με μεθανόλη ως κύριο καύσιμο, το οποίο είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Πλήρως ανακαινισμένο σε υψηλές προδιαγραφές, προσφέρει τώρα ένα άνετο, φωτεινό και ευρύχωρο ταξίδι από τη Γερμανία στη Σουηδία. Το Stena Germanica, αρχικά γνωστό ως Stena Hollandica, έχει μια συναρπαστική ιστορία προσαρμογών και αλλαγών. Ναυπηγήθηκε από το ναυπηγείο Astilleros Españoles στο Πουέρτο Ρεάλ της Ισπανίας και εισήλθε στη διοίκηση των Harwich και Hook of Holland στις 9 Μαρτίου 2001 με το όνομα Stena Hollandica. Τον Ιανουάριο του 2007, το ταχύπλοο Stena Discovery αποσύρθηκε από την υπηρεσία και για να αντιμετωπίσει τη διευρυμένη κίνηση στην πορεία, το Stena Hollandica υπέστη σημαντικές αλλαγές. Τον Μάρτιο του 2007, το πλοίο μεταφέρθηκε από το ναυπηγείο της Lloyd Werft στο Bremerhaven για ένα έργο επιμήκυνσης. Το πλοίο κόπηκε προς τα πάνω στα δύο και εισήχθη ένα τμήμα 52 μέτρων, αποτελώντας μία από τις κύριες επεκτάσεις που γίνονται σε ένα πλοίο RoPax (Roll-on/Roll-off Passenger).

Χάρη στην ευέλικτη μετατροπή καυσίμου που του επιτρέπει να χρησιμοποιεί μεθανόλη, το Stena Germanica, το οποίο κινείται από μία τροποποιημένη μηχανή Wärtsilä ZA40S, μείωσε τις εκπομπές NOx κατά 60%, SOX κατά 99% και τις εκπομπές σωματιδίων κατά 90%.

## **Cajun Sun**

Τον Φεβρουάριο του 2023, το πλοίο διπλού καυσίμου Cajun Sun, το οποίο διαχειρίζεται η WFS και έχει ναυλωθεί από τη MOL, ολοκλήρωσε το πρώτο ταξίδι καθαρών μηδενικών εκπομπών με καύσιμο την βιομεθανόλη. Με την ανάμειξη πιστοποιημένης βιομεθανόλης ISCC που έχει αρνητική ένταση άνθρακα με μεθανόλη με βάση το φυσικό αέριο, επιτεύχθηκαν καθαρές μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδο κύκλου ζωής για το 18ήμερο υπερατλαντικό ταξίδι. (“Methanol as Marine Fuel - Methanex,” 2024)

## **Αξιολόγηση**

Η αξιολόγηση της μετατροπής ενός σκάφους ώστε να λειτουργεί με μεθανόλη περιλαμβάνει λεπτομερή εξέταση διαφόρων στοιχείων του συστήματος. Τα στοιχεία/τμήματα αυτά έχουν κομβικό ρόλο σε ολόκληρη τη διαδικασία, από την αποθήκευση της μεθανόλης μέχρι την καύση της στην κύρια μηχανή και τον μετέπειτα χειρισμό της. Τα βασικά τμήματα που εμπλέκονται είναι:

### **1. Δεξαμενισμός μεθανόλης**

Το στοιχείο αυτό περιλαμβάνει τη διαδικασία ανεφοδιασμού του σκάφους με μεθανόλη. Περιλαμβάνει ζητήματα όπως η πηγή της μεθανόλης, ο εξοπλισμός δεξαμενισμού, οι διαδικασίες ασφαλείας και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς που διέπουν τη διαδικασία δεξαμενισμού.

### **2. Αποθήκευση μεθανόλης επί του πλοίου**

Η αποθήκευση μεθανόλης επί του πλοίου απαιτεί εξειδικευμένες δεξαμενές και λύσεις αποθήκευσης. Ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση αυτών των δεξαμενών, τα μέτρα ασφαλείας και τα ζητήματα χωρητικότητας είναι βασικές πτυχές που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

### 3. Χειρισμός και επεξεργασία μεθανόλης προς την κύρια μηχανή

Αυτή η φάση καλύπτει τη μεταφορά και την επεξεργασία της μεθανόλης από την αποθήκευση στον κύριο κινητήρα. Περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την εγκατάσταση αγωγών, αντλιών και συναφών συστημάτων για την παράδοση της μεθανόλης στον κινητήρα.

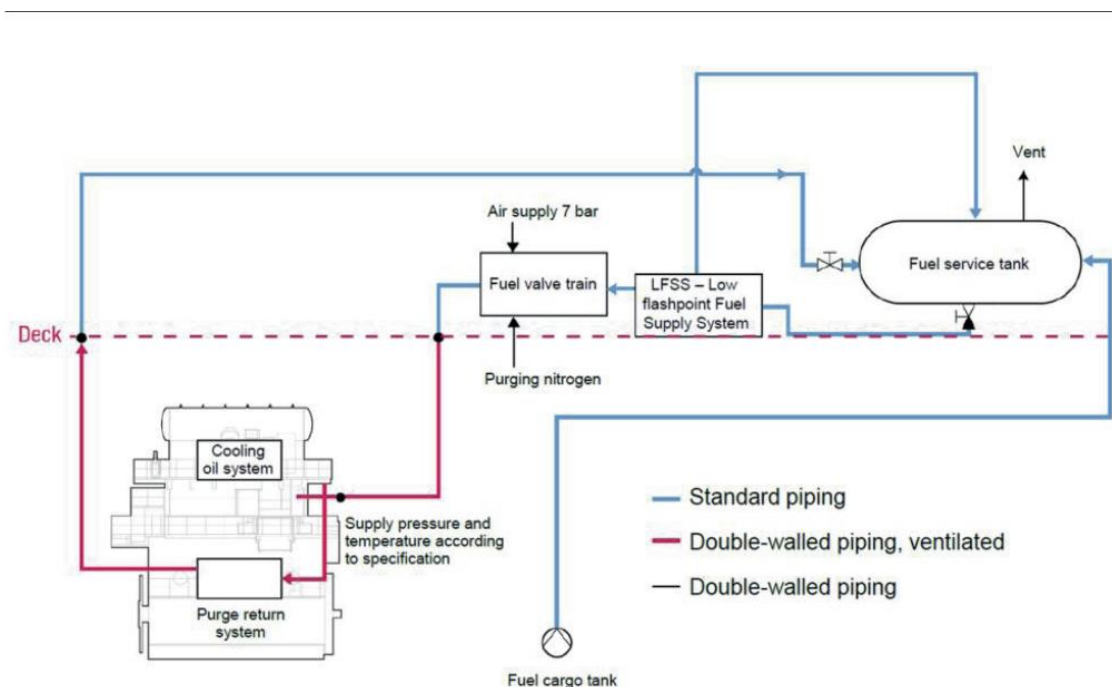
### 4. Καύση της μεθανόλης στον κύριο κινητήρα

Αυτή είναι η καρδιά της διαδικασίας μετατροπής, όπου η μεθανόλη καίγεται στον κύριο κινητήρα για την παραγωγή ισχύος. Περιλαμβάνει την τροποποίηση του κινητήρα ώστε να δέχεται τη μεθανόλη ως πηγή καυσίμου, τη βελτιστοποίηση της καύσης και τον έλεγχο των εκπομπών.

### 5. Χειρισμός και επεξεργασία μεθανόλης μετά τον κύριο κινητήρα

Μετά την καύση, η εναπομένουσα μεθανόλη, τα καυσαέρια και τα υποπροϊόντα πρέπει να διαχειριστούν κατάλληλα και να επεξεργαστούν. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα επεξεργασίας των καυσαερίων και τη διάθεση ή την ανακύκλωση των αποβλήτων με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

Μια τυπική απεικόνιση ενός συστήματος καυσίμου μεθανόλης φαίνεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6. Σύστημα καυσίμου μεθανόλης

## Δεξαμενισμός μεθανόλης

Σύμφωνα με τον DNV, ο δεξαμενισμός της μεθανόλης και οι απαιτήσεις του, χωρίζεται στον σταθμό του δεξαμενισμού και στο σύστημα δεξαμενισμού του καυσίμου.

### Σταθμός δεξαμενισμού

#### i. Εξαερισμός

Ο σταθμός δεξαμενισμού των καυσίμων πρέπει να είναι στρατηγικά τοποθετημένος ώστε να επιτρέπει επαρκή φυσικό αερισμό (ventilation). Ο επαρκής εξαερισμός εξυπηρετεί στη διάχυση τυχόν δυνητικά επικίνδυνων αναθυμιάσεων και τη διατήρηση ενός ασφαλούς περιβάλλοντος εργασίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο σταθμός δεξαμενισμού θα πρέπει να διαχωρίζεται από άλλες περιοχές του πλοίου με στεγανές φραγτές (bulkheads). Αυτός ο διαχωρισμός συμβάλλει στην αποτροπή της εξάπλωσης αναθυμιάσεων ή αερίων σε άλλα μέρη του πλοίου, ενισχύοντας τη συνολική ασφάλεια. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον μηχανικό εξαερισμό κλειστών ή μισόκλειστων σταθμών δεξαμενισμού, όπου εξασφαλίζει ένα πιο ελεγχόμενο περιβάλλον όταν ο φυσικός εξαερισμός δεν επαρκεί.

#### ii. Coamings

Κάτω από τις συνδέσεις δεξαμενισμού θα πρέπει να τοποθετούνται αναχώματα ή υπερυψωμένα φράγματα (coamings, hatches). Τα λεγόμενα hatches λειτουργούν ως προστατευτικά φράγματα για τον περιορισμό τυχόν διαρροών, αποτρέποντας τη διαρροή καυσίμων στη θάλασσα, καθώς και την πιθανή είσοδο νερού στη δεξαμενή.

#### iii. Έλεγχος και παρακολούθηση

Ο σταθμός δεξαμενισμού καυσίμων πρέπει να είναι πλήρως εξοπλισμένος με συστήματα ελέγχου που να βοηθούν στην ασφαλή και αποτελεσματική διαχείριση των εργασιών μεταφοράς καυσίμων. Ο έλεγχος του δεξαμενισμού θα πρέπει να είναι δυνατός από μια ασφαλή θέση μακριά από την άμεση περιοχή δεξαμενισμού, ώστε οι εκάστοτε χειριστές να μην διατρέχουν κάποιον κίνδυνο. Πρέπει να παρακολουθείται στενά η στάθμη της δεξαμενής κατά τη διάρκεια της δεξαμενισμού, ώστε να αποφεύγεται η υπερπλήρωση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε διαρροές ή άλλους κινδύνους για την ασφάλεια. Θα πρέπει επίσης να υπάρχει σύστημα

συναγερμού υπερχειλίσης και σύστημα αυτόματης διακοπής λειτουργίας για την άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

## **Σύστημα δεξαμενισμού καυσίμου**

### **i. Βάνες για τη γραμμή δεξαμενισμού**

Στη γραμμή δεξαμενισμού, θα πρέπει να υπάρχει ένας συνδυασμός βανών για τον έλεγχο και τον τερματισμό της διαδικασίας μεταφοράς καυσίμου. Αυτό περιλαμβάνει τόσο μια χειροκίνητη όσο και μια τηλεχειριζόμενη βάνα διακοπής. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ενιαία συνδυασμένη βαλβίδα που μπορεί να λειτουργεί είτε χειροκίνητα είτε απομακρυσμένα. Αυτές οι βαλβίδες εγκαθίστανται συνήθως κοντά στο σημείο σύνδεσης στην ακτή (shore connection), ώστε να επιτρέπουν τον γρήγορο και αποτελεσματικό έλεγχο της μεταφοράς καυσίμου.

### **ii. Self-Draining αγωγοί δεξαμενισμού**

Οι σωλήνες αποχέτευσης πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν την πλήρη αποστράγγισή τους. Αυτό σημαίνει ότι είναι κεκλιμένοι ή διαμορφωμένοι με τρόπο που δεν αφήνει τυχόν υπολείμματα καυσίμου ή υγρών μετά τις εργασίες δεξαμενισμού. Αυτό αποτρέπει τη συσσώρευση καυσίμων, μειώνοντας τον κίνδυνο διαρροών και μόλυνσης.

### **iii. Αδρανοποίηση και απελευθέρωση αερίων**

Οι γραμμές δεξαμενισμού θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες για να χειρίζονται διαδικασίες αδρανοποίησης και απελευθέρωσης αερίου. Η αδρανοποίηση είναι η αντικατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα στις γραμμές και στις δεξαμενές καυσίμου με αδρανές αέριο (π.χ. άζωτο) για την αποφυγή έκρηξης. Η απελευθέρωση αερίων είναι η διαδικασία ασφαλούς απομάκρυνσης τυχόν εναπομεινάντων αερίων πριν και μετά τον δεξαμενισμό, για την εξασφάλιση ενός ασφαλούς περιβάλλοντος εργασίας.

### **iv. Αυτοσφραγιζόμενη σύνδεση**

Η σύνδεση που χρησιμοποιείται για τον σωλήνα μεταφοράς πρέπει να είναι αυτοσφραγιζόμενου τύπου. Αυτό σημαίνει ότι κλείνει αυτόματα όταν αποσυνδέεται, αποτρέποντας τη διαρροή ή διαφυγή καυσίμου όταν ο σωλήνας δεν βρίσκεται σε χρήση.

Καμία από αυτές τις πτυχές δεν είναι νέας και περίπλοκης φύσης. Τα συστήματα αυτά υπάρχουν ήδη σε πολλές εφαρμογές, π.χ. για πολλά πλοία που χρησιμοποιούν ΥΦΑ ως καύσιμο σε διάφορα τμήματα πλοίων. Συνεπώς, η παρούσα ανάλυση του συστήματος είναι θεωρείται ώριμη τεχνολογία(“Methanol as Marine Fuel - Methanex,” 2024)



## Αποθήκευση της μεθανόλης επί του πλοίου

Οι κανόνες που έχει θέσει ο DNV GL/19 καθορίζουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές για την ασφαλή αποθήκευση της μεθανόλης, με τις απαιτήσεις αυτές να κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες. Αυτές περιλαμβάνουν κανονισμούς που αφορούν την τοποθέτηση των δεξαμενών, μέτρα προστασίας για τις δεξαμενές καυσίμων, διαδικασίες για τον καθαρισμό των αερίων, διαδικασίες αδρανοποίησης, εξαερισμό των δεξαμενών καυσίμων και ειδικούς κανονισμούς όσο αναφορά τις δεξαμενές που είναι τοποθετημένες σε εκτεθειμένα καταστρώματα (weather decks).

### Θέση και χωρητικότητα δεξαμενών

- i. Τα καύσιμα δεν πρέπει να αποθηκεύονται εντός των μηχανοστασίων (machinery spaces) ή των χώρων ενδιαιτήσης (accommodation spaces) και η ελάχιστη απόσταση μεταξύ της πλευράς της δεξαμενής καυσίμου και του κελύφους του πλοίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 76 cm.
- ii. Οι δεξαμενές καυσίμων δεν επιτρέπονται στις περιοχές που βρίσκονται στην πλώρη και στην πρύμνη (γνωστές ως forepeak και afterpeak αντίστοιχα).
- iii. Απαιτείται να υπάρχουν δύο δεξαμενές καυσίμων για κάθε τύπο καυσίμου που χρησιμοποιείται τόσο για την πρόωση όσο και για άλλα συστήματα του σκάφους.
- iv. Κάθε δεξαμενή πρέπει να έχει χωρητικότητα επαρκή για τη συνεχή λειτουργία της εγκατάστασης πρόωσης, καθώς και το κανονικό φορτίο λειτουργίας της εγκατάστασης γεννήτριας στη θάλασσα τουλάχιστον 8 ώρες, σε περίπτωση που μόνο η μεθανόλη χρησιμοποιείται ως καύσιμο.

### Προστασία των δεξαμενών καυσίμων που βρίσκονται στο εσωτερικό της γάστρας του πλοίου

- i. Για τις δεξαμενές καυσίμων που έχουν υγρό με χαμηλό σημείο ανάφλεξης (Low Flashpoint Liquid-LFL), εάν οι εν λόγω δεξαμενές δεν βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα ή σε χώρο αντλίας καυσίμων, πρέπει να περικλείονται από «προστατευτικά» φράγματα (Cofferdams).
- ii. Τα cofferdam που περιβάλλουν τη δεξαμενή καυσίμου LFL πρέπει να είναι διαμορφωμένα με συστήματα ανίχνευσης διαρροής από ατμούς και υγρά. Επίσης, πρέπει να υπάρχει δυνατότητα πλήρωσης με νερό μετά την ανίχνευση διαρροής. Η πλήρωση με νερό πρέπει να γίνεται μέσω συστήματος χωρίς μόνιμες συνδέσεις με συστήματα νερού

σε περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας. Η αποστράγγισή τους πρέπει να γίνεται με ξεχωριστό σύστημα.

### **Απελευθέρωση αερίων, αδρανοποίηση και εξαέρωση δεξαμενών καυσίμων**

- i. Οι δεξαμενές καυσίμου πρέπει να είναι εξοπλισμένες με σύστημα ασφαλούς καθαρισμού με αδρανές αέριο και απελευθέρωσης αερίου.
- ii. Οι δεξαμενές καυσίμων χωρίς άμεση πρόσβαση από το ανοικτό κατάστρωμα πρέπει να διαθέτουν επαρκή αριθμό εισόδων και εξόδων εξαερισμού ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης απελευθέρωση των αερίων, αλλά όχι λιγότερες από 2 εισόδους και 2 εξόδους ανά δεξαμενή.
- iii. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, του δεξαμενισμού και της μεταφοράς καυσίμου, οι δεξαμενές πρέπει να διαθέτουν διάταξη για την αποσυμπίεσή τους, τοποθετημένη σε κάθε μία από τις δεξαμενές.
- iv. Σε κάθε δεξαμενή πρέπει να εγκατασταθούν μεμονωμένες βαλβίδες εκτόνωσης ή κάποια ισοδύναμη διάταξη για τον περιορισμό της πίεσης ή του κενού εντός της δεξαμενής. Επίσης, το σύστημα εξαερισμού πρέπει να είναι σχεδιασμένο να εξυπηρετεί μεγαλύτερες ανάγκες ώστε να διασφαλίζεται με ασφαλέστερο τρόπο η εκτόνωση λόγω υπερπίεσης. Ωστόσο, μια εναλλακτική επιλογή είναι η εγκατάσταση αισθητήρων πίεσης σε κάθε δεξαμενή καυσίμου, οι οποίοι συνδέονται με ένα σύστημα συναγερμού. Επιπλέον, οι βαλβίδες ασφαλείας πίεσης/υποπίεσης πρέπει να βρίσκονται σε σημεία με εύκολη πρόσβαση (ανοικτά καταστρώματα). Οι βαλβίδες αυτές θα πρέπει να είναι κατάλληλου τύπου ώστε να διευκολύνουν την εύκολη επιθεώρηση και εξακρίβωσης της καλής λειτουργίας τους. Αυτός ο σχεδιασμός είναι εξαιρετικά σημαντικός για την ασφάλεια και τη συντήρηση των δεξαμενών.
- v. Το σύστημα εξαερισμού πρέπει να είναι κατάλληλα διαστασιολογημένο ώστε να φιλοξενεί σήτες για τις φλόγες και να αποτρέπει την υπερπίεση κατά τη διάρκεια του δεξαμενισμού. Θα πρέπει να συνδέεται στο υψηλότερο σημείο κάθε δεξαμενής καυσίμου, εξασφαλίζοντας γραμμές εξαερισμού με αυτοεκκένωση υπό κανονικές συνθήκες. Επιπλέον, οι διατάξεις απελευθέρωσης αερίων θα πρέπει να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους που σχετίζονται με εύφλεκτους ατμούς και πρέπει να τοποθετούνται ξεχωριστά από άλλα συστήματα εξαερισμού.

## Χειρισμός και επεξεργασία μεθανόλης προς την κύρια μηχανή

### Γενικό πλαίσιο

- i. Το σύστημα καυσίμου πρέπει να είναι εντελώς ανεξάρτητο από όλα τα άλλα συστήματα σωληνώσεων του σκάφους.
- ii. Οι σωληνώσεις πρέπει να τοποθετούνται σε ελάχιστη απόσταση 760 mm από την πλευρά του πλοίου.
- iii. Στην περίπτωση πλοίων που βασίζονται αποκλειστικά σε υγρό LFL ως πηγή καυσίμου, το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να περιλαμβάνει εφεδρεία, δηλαδή να υπάρχει σε περίσσεια, καθώς και να υπάρχει διαχωρισμός από τη δεξαμενή καυσίμου έως τον καταναλωτή. Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί ότι, εάν συμβεί διαρροή στο σύστημα καυσίμου, μαζί με τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας, δεν θα οδηγήσει σε απώλεια της πρόωσης, της παραγωγής ενέργειας ή άλλων κρίσιμων λειτουργιών του πλοίου.
- iv. Όλες οι σωληνώσεις που μεταφέρουν υγρά LFL θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τον καθαρισμό και την αδρανοποίηση του αερίου.
- v. Η ελάχιστη πίεση σχεδιασμού (p) για τις σωληνώσεις καυσίμου ορίζεται στα 10 bar. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην πιθανότητα να υπάρξει «hammering» υγρού κατά το κλείσιμο των βαλβίδων.
- vi. Κάτω από όλα τα πιθανά σημεία διαρροής του συστήματος καυσίμου πρέπει να τοποθετούνται δίσκοι σταγόνων που θα αντιλαμβάνονται τυχόν διαρροές.

### Προστασία του συστήματος μεταφοράς καυσίμου

- i. Οι σωληνώσεις καυσίμου πρέπει να προστατεύονται από τυχούσες μηχανικές βλάβες. Οι σωληνώσεις που μεταφέρουν υγρό LFL μέσα από κλειστούς χώρους του πλοίου πρέπει να περικλείονται μέσα σε έναν εξωτερικό σωλήνα στεγανό σε αέριο και νερό ή, εάν κρίνεται απαραίτητο, να οδηγούνται μέσω ειδικών αγωγών όταν διέρχονται από χώρους ενδιαίτησης (accommodation spaces). Σε σωληνώσεις καυσίμων με διπλά τοιχώματα, ο δακτυλιοειδής χώρος θα πρέπει να αερίζεται προς τον ανοικτό αέρα και να είναι εξοπλισμένος με ανιχνευτές διαρροής ατμών και υγρών, με δυνατότητα αδρανοποίησης σε συστήματα καυσίμων χαμηλής πίεσης και παροχή συναγερμών για την παρακολούθηση της πίεσης αδρανούς αερίου.
- ii. Οι είσοδοι και οι έξοδοι των δεξαμενών αποθήκευσης υγρών LFL θα πρέπει να διαθέτουν τηλεχειριζόμενες βαλβίδες διακοπής, τοποθετημένες όσο το δυνατόν πιο κοντά στη δεξαμενή, για την αυτόματη διακοπή της παροχής LFL. Οι βαλβίδες που

λειτουργούν κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, αλλά δεν είναι εύκολα προσβάσιμες, πρέπει επίσης να λειτουργούν εξ αποστάσεως. Οι κύριες γραμμές τροφοδοσίας καυσίμου σε κάθε μηχανοστάσιο πρέπει να διαθέτουν αυτόματες κύριες βαλβίδες καυσίμου LFL που βρίσκονται εκτός του μηχανοστασίου για να διακόπτουν αυτόματα την τροφοδοσία LFL. Επιπλέον, κάθε παροχή καυσίμου LFL προς τους καταναλωτές πρέπει να διαθέτει απομακρυσμένη βαλβίδα διακοπής. Απαιτείται χειροκίνητη βαλβίδα διακοπής στη γραμμή τροφοδοσίας LFL σε κάθε μηχανή για την ασφαλή απομόνωση στις περιπτώσεις που διενεργείται συντήρηση. Τέλος, όλες οι αυτόματες και τηλεχειριζόμενες βαλβίδες θα πρέπει να διαθέτουν ενδείξεις για την ανοικτή και κλειστή θέση στο σημείο όπου τηλεχειρίζονται (δηλαδή σε κάποιο control room).

- iii. Τα αντλιοστάσια, εφόσον υπάρχουν, πρέπει να βρίσκονται εκτός του μηχανοστασίου και να είναι στεγανά και υδατοστεγή ώστε να αποφεύγονται διαρροές στους γύρω κλειστούς χώρους. Θα πρέπει να αερίζονται προς το ύπαιθρο (εκτός πλοίου). Για υδραυλικά τροφοδοτούμενες αντλίες που είναι βυθισμένες σε δεξαμενές καυσίμου, απαιτείται σύστημα διπλού φράγματος για την απομόνωση του υδραυλικού συστήματος από το καύσιμο και την ανίχνευση και αποστράγγιση όλων των πιθανών διαρροών καυσίμου. Τα δωμάτια αντλιών LFL πρέπει να διαθέτουν ειδικό σύστημα με συλλέκτες υγρού που να λειτουργεί από εξωτερικό χώρο, χωρίς μόνιμη σύνδεση με το σύστημα νερού κίνησης. Το σύστημα που συλλέγει υγρό μπορεί να διαθέτει επιλογές για την απόρριψη σε κατάλληλες δεξαμενές, αλλά πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή κινδύνων που σχετίζονται με την ασυμβατότητα των απορριμμάτων με το περιεχόμενο της εκάστοτε δεξαμενής.
- iv. Το σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας, ως δευτερεύον ανεξάρτητο σύστημα, θα πρέπει να περιλαμβάνει βαλβίδες απομόνωσης (isolation valves) για κάθε γραμμή παροχής ή δεξαμενή. Επιπλέον, κάθε σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας πρέπει να διατηρεί υψηλότερη πίεση από τη μέγιστη πίεση του περιεχομένου της δεξαμενής καυσίμου, όταν αυτή δεν είναι κενή. Το δοχείο διαστολής εντός του κυκλώματος ελέγχου της θερμοκρασίας πρέπει να διαθέτει ανιχνευτή αερίου, συναγερμό χαμηλής στάθμης και να εξαερίζεται στον αέρα.

Το σύστημα μεταφοράς και παροχής καυσίμου μεθανόλης, που ξεκινά από τη δεξαμενή αποθήκευσης μεθανόλης και εκτείνεται στον κύριο κινητήρα, είναι πιο περίπλοκο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα μεταφοράς μαζούτ, κυρίως λόγω της χρήσης σωληνώσεων διπλού τοιχώματος με χαρακτηριστικά απελευθέρωσης αερίων και αδρανοποίησης, εξαιρισμού δακτυλιοειδούς χώρου με ανίχνευση διαρροών ατμών και υγρών, μαζί με τηλεχειριζόμενες βαλβίδες κλεισίματος της δεξαμενής, βαλβίδες που απαιτούνται για την κανονική λειτουργία και βαλβίδες παροχής καυσίμου χαμηλού σημείου ανάφλεξης (LFL) για μεμονωμένους

καταναλωτές, τα οποία συμβάλλουν στην αυξημένη πολυπλοκότητα και το δυνητικά αυξημένο κόστος εγκατάστασης.

## Καύση μεθανόλης στον κύριο κινητήρα

**Ισχύοντες απαιτήσεις τόσο για τους κινητήρες μόνο με καύσιμο LFL όσο και για τους κινητήρες διπλού καυσίμου (IMO, 2016)**

- i. Αποτελεσματική σφράγιση του εξοπλισμού έγχυσης ή εισαγωγής.

Το σημείο αυτό τονίζει τη σημασία της στεγανοποίησης του εξοπλισμού έγχυσης ή εισαγωγής που μπορεί να προκαλέσει διαρροή καυσίμου στο μηχανοστάσιο. Αυτό είναι ένα κρίσιμο μέτρο ασφαλείας για την αποφυγή διαρροών καυσίμου και των συναφών κινδύνων.

- ii. Λίπανση των αντλιών και των συσκευών έγχυσης καυσίμου LFL.

Η απαίτηση αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη να διασφαλιστεί ότι οι αντλίες και οι συσκευές έγχυσης καυσίμου με χαμηλό σημείο ανάφλεξης (LFL) λιπαίνονται επαρκώς. Η κατάλληλη λίπανση είναι απαραίτητη για την ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία αυτών των εξαρτημάτων.

- iii. Ακολουθία εκκίνησης για καύσιμο LFL.

Η ακολουθία εκκίνησης του κινητήρα πρέπει να είναι σχεδιασμένη κατά τρόπο που να αποτρέπει την έγχυση ή την εισαγωγή καυσίμου LFL στους κυλίνδρους έως ότου ενεργοποιηθεί η ανάφλεξη και ο κινητήρας φτάσει σε μια ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής. Αυτό είναι σημαντικό για την αποφυγή των κινδύνων που συνδέονται με την πρόωρη εισαγωγή καυσίμου πριν από την ανάφλεξη.

- iv. Σύστημα παρακολούθησης κινητήρα για την ανίχνευση ανάφλεξης.

Αναφορά στην ύπαρξη συστήματος παρακολούθησης του κινητήρα. Εάν η ανάφλεξη δεν ανιχνευθεί από αυτό το σύστημα εντός του προκαθορισμένου/αναμενόμενου χρόνου μετά την ενεργοποίηση της εισαγωγής ή του ψεκασμού καυσίμου, μπορεί να υπάρχει πρόβλημα ασφάλειας ή να εμφανιστεί κάποια δυσλειτουργία. Πρόκειται για μια κρίσιμη

δικλείδα ασφαλείας που διασφαλίζει ότι η έγχυση καυσίμου γίνεται μόνο όταν επιβεβαιωθεί η ανάφλεξη, αλλιώς η ακολουθία τερματίζεται και η έγχυση σταματάει.

### **Λειτουργικές απαιτήσεις για κινητήρες διπλού καυσίμου**

- i. Οι κινητήρες διπλού καυσίμου LFL θα πρέπει να εκκινούν και να σταματούν με ασφάλεια υπό κανονικές συνθήκες και να έχουν σταθερή λειτουργία σε χαμηλή ισχύ. Εάν διακοπεί η παροχή καυσίμου LFL, ο κινητήρας πρέπει να συνεχίσει να λειτουργεί με πετρέλαιο.
- ii. Η εναλλαγή μεταξύ της λειτουργίας με καύσιμο LFL και με πετρέλαιο πρέπει να γίνεται μόνο σε επίπεδα ισχύος όπου η αξιοπιστία έχει αποδειχθεί μέσω δοκιμών, και η ίδια η διαδικασία εναλλαγής πρέπει να είναι αυτόματη.
- iii. Τόσο κατά την κανονική όσο και κατά την έκτακτη διακοπή λειτουργίας, η παροχή καυσίμου LFL πρέπει να διακόπτεται την ίδια στιγμή που ο κινητήρας μεταβαίνει σε λειτουργία με diesel.
- iv. Η έναρξη της καύσης στους κυλίνδρους με το μείγμα LFL-αέρα πρέπει να περιλαμβάνει επαρκή ενέργεια για αποτελεσματική ανάφλεξη και καύση. Η πηγή ανάφλεξης δεν μπορεί να κλείσει χωρίς να κλείσει πρώτα ή ταυτόχρονα η παροχή καυσίμου LFL σε κάθε κύλινδρο ή σε ολόκληρο τον κινητήρα.

### **Χειρισμός και επεξεργασία μεθανόλης μετά τον κύριο κινητήρα**

Υπάρχουν απαιτήσεις ως προς την απελευθέρωση αερίων και την αδρανοποίηση του συστήματος καυσίμου μεθανόλης, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- i. Όλες οι σωληνώσεις που περιέχουν καύσιμο χαμηλού σημείου ανάφλεξης (LFL) πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο που να επιτρέπει τις διαδικασίες απελευθέρωσης και αδρανοποίησης αερίων. Πρόκειται για ένα κρίσιμο μέτρο ασφαλείας που εξασφαλίζει την απομάκρυνση κάθε δυνητικά επικίνδυνου αερίου ή ατμού από το σύστημα καυσίμου.
- ii. Κάθε κινητήρας στο σύστημα πρέπει να διαθέτει χειροκίνητη βαλβίδα διακοπής λειτουργίας στη γραμμή τροφοδοσίας LFL. Αυτή η βαλβίδα είναι απαραίτητη για την ασφαλή απομόνωση κατά τη διάρκεια της συντήρησης του κινητήρα, παρέχοντας ένα πρόσθετο επίπεδο ασφαλείας για το προσωπικό συντήρησης.

- iii. Αυτές οι απαιτήσεις είναι λειτουργικής φύσης, πράγμα που σημαίνει ότι αφήνουν περιθώρια ερμηνείας στον σχεδιαστή και κατασκευαστή του συστήματος καυσίμου. Ενώ μπορεί να υπάρχουν διάφορες λύσεις, ένας κοινός παρονομαστής είναι ότι ολόκληρο το σύστημα καυσίμου μεθανόλης πρέπει να αποστραγγίζεται, να καθαρίζεται και να απελευθερώνεται από τα αέρια για να διασφαλίζεται η ασφάλεια.
- iv. Αυτή η διαδικασία απελευθέρωσης αερίου και αδρανοποίησης πρέπει να εφαρμόζεται σε ολόκληρο το σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων που υπάρχουν στον κύριο κινητήρα. Τυχόν υπολείμματα μεθανόλης πρέπει να συλλέγονται, είτε επιστρέφοντας τα στη δεξαμενή λειτουργίας καυσίμου είτε μεταφέροντάς τα σε μια πρόσθετη δεξαμενή υπολειμμάτων. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ο κατάλληλος χειρισμός και ο περιορισμός της μεθανόλης στο σύστημα.

## **Ασφάλεια**

Εξετάζονται οι πτυχές ασφαλείας για το χειρισμό της μεθανόλης στο πλαίσιο κινητήρων διπλού καυσίμου και κατά την αλλαγή καυσίμου ή τη συντήρηση. Οι πτυχές περιλαμβάνουν τα ακόλουθα σημεία:

### **i. Ανάκλυση σωληνώσεων καυσίμου για μεθανόλη**

Λόγω του χαμηλού σημείου ανάφλεξης και της τοξικότητας της μεθανόλης, υπάρχουν ειδικές ανησυχίες για την ασφάλεια που σχετίζονται με το χειρισμό αυτού του καυσίμου. Είναι ζωτικής σημασίας να αντιμετωπιστούν αυτές οι ανησυχίες, ιδίως σε σενάρια όπως η εναλλαγή καυσίμου και η συντήρηση του κινητήρα, που απαιτούν άδειασμα των σωληνώσεων καυσίμου.

### **ii. Διάταξη σωληνώσεων καυσίμου**

Σύμφωνα με την MAN Diesel & Turbo, ο σχεδιασμός των σωληνώσεων καυσίμου προς τον κινητήρα και εντός του μηχανοστασίου είναι τέτοιος που επιτρέπει την εκκαθάριση του υγρού καυσίμου μεθανόλης, το οποίο μπορεί στη συνέχεια να επιστρέψει στη δεξαμενή εξυπηρέτησης καυσίμου. Αυτός ο σχεδιασμός εξασφαλίζει την ασφαλή διαχείριση τυχόν υπολειμμάτων μεθανόλης.

### **iii. Διαδικασία καθαρισμού και αδρανοποίησης**

Μετά την επιστροφή του καυσίμου μεθανόλης στη δεξαμενή εξυπηρέτησης, πραγματοποιείται πλήρης διαδικασία καθαρισμού και αδρανοποίησης του συστήματος σωληνώσεων διπλού

τοιχώματος. Ο καθαρισμός και η αδρανοποίηση είναι κρίσιμες διαδικασίες ασφαλείας για την απομάκρυνση τυχόν εναπομεινάντων εύφλεκτων ή επικίνδυνων αερίων από το σύστημα.

#### **iv. Ρόλος της εγκατάστασης αζώτου**

Η διανομή και η εκτέλεση των διαδικασιών καθαρισμού και αδρανοποίησης για κάθε υποσύστημα, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος σωληνώσεων διπλού τοιχώματος, διαχειρίζεται από την εγκατάσταση αζώτου. Το άζωτο χρησιμοποιείται συχνά για την παροχή αδρανούς ατμόσφαιρας, αποτρέποντας τον σχηματισμό εκρηκτικών μειγμάτων και ενισχύοντας την ασφάλεια κατά τη διάρκεια αυτών των διαδικασιών.

### **Μηχανές που λειτουργούν έχοντας ως κύριο καύσιμο μεθανόλη**

Η ανάπτυξη κινητήρων καυσίμου LFL πραγματοποιείται από το 2012, από τις εταιρείες MAN Diesel & Turbo και Wärtsilä. Ο κινητήρας MAN B&W ME-LGI είναι μια λύση διπλού καυσίμου για υγρά καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης. Ο ψεκασμός καυσίμου επιτυγχάνεται με μια βαλβίδα ενισχυτικού ψεκασμού καυσίμου, χρησιμοποιώντας υδραυλική ισχύ 300 ή περισσότερων bar για την αύξηση της πίεσης καυσίμου σε πίεση ψεκασμού. (IMO, 2016)

Ενδεικτικά, παραθέτονται δύο μηχανές που λειτουργούν με καύσιμο την μεθανόλη, μία από την Wärtsilä (Wärtsilä 32) και μία από την MAN (MAN B&W LGIM).

#### **Wärtsilä 32**

Ο κινητήρας Wärtsilä 32 φαίνεται να είναι μια πολύ δημοφιλής επιλογή στον χώρο της ναυτιλίας από τη δεκαετία του 1980. Με περισσότερους από 5.300 κινητήρες που έχουν παραδοθεί στη ναυτιλιακή αγορά και εγκαταστάσεις στην ξηρά, φαίνεται να έχει αποδείξει την αξιοπιστία του. Οι δύο κύριες προτεραιότητές του φαίνονται να είναι η αξιοπιστία και η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, κάτι που τον καθιστά αποδοτική λύση καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του πλοίου.

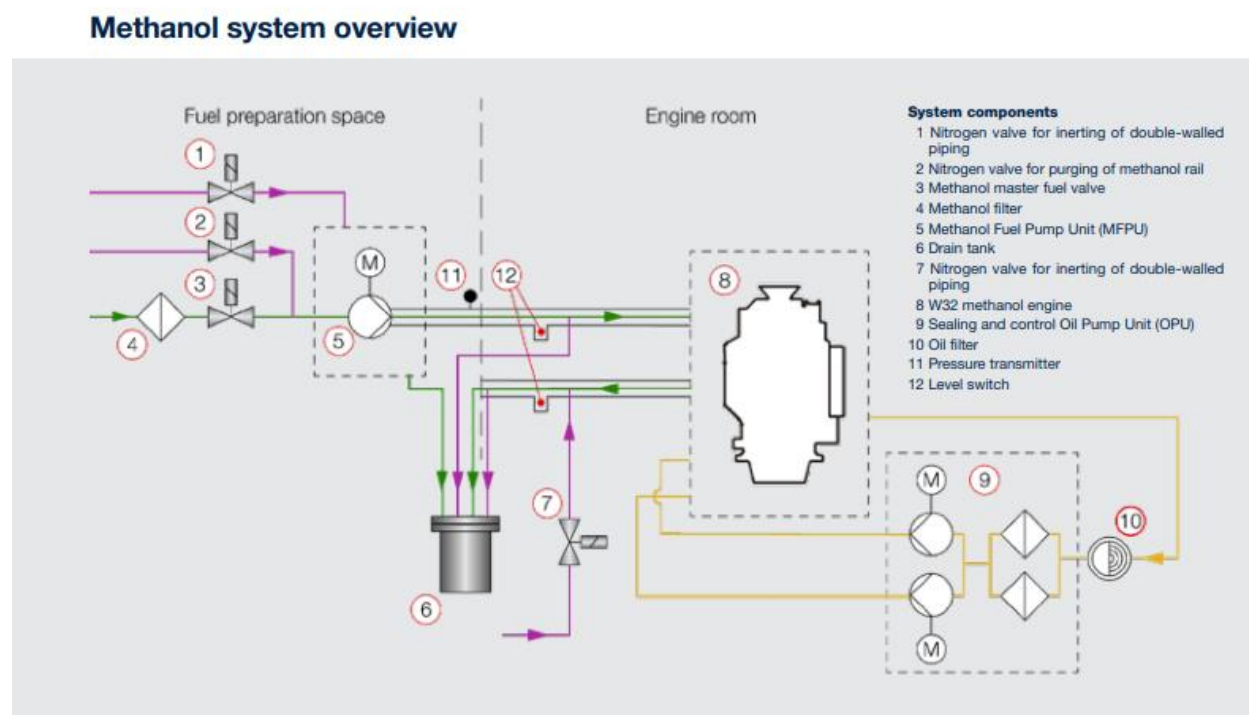
Ο κινητήρας Wärtsilä 32 είναι ένας καινοτόμος κινητήρας σχεδιασμένος να λειτουργεί με μεθανόλη ή/και μαζούτ. Είναι κατάλληλος τόσο για τα νεότευκτα όσο και για μετασκευή υφιστάμενων πλοίων.

Αυτός ο κινητήρας ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες χειρισμού καυσίμου, έγχυσης και καύσης, οι οποίες βασίζονται στην εμπειρία που αποκτήθηκε από τους μετασκευασμένους



κινητήρες Wärtsilä Z40 της Germanica. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν βελτιωθεί και βελτιστοποιηθεί για να βελτιώσουν την απόδοση και την αποδοτικότητα του κινητήρα. Επιπλέον, ο κινητήρας μεθανόλης Wärtsilä 32 ενσωματώνει συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου του κινητήρα αιχμής, μαζί με άλλα υπερσύγχρονα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας Wärtsilä 32. Τα χαρακτηριστικά αυτά αποσκοπούν στη βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας και των περιβαλλοντικών επιδόσεων του κινητήρα. Συνολικά, αυτός ο κινητήρας αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία πρόωσης της ναυτιλίας, προσφέροντας ευελιξία στις επιλογές καυσίμου και ενσωματώνοντας σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Έχει σχεδιαστεί για να συμβάλει σε πιο βιώσιμες και αποδοτικές θαλάσσιες λειτουργίες με τη χρήση μεθανόλης και άλλων καυσίμων ελαίων.

Ο κινητήρας Wärtsilä 32 (βλ. Εικόνα 7) έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορους τύπους πλοίων και τομείς, λόγω των αποδεδειγμένων επιδόσεων και της αξιοπιστίας του. Ακολουθούν ορισμένες τυπικές εφαρμογές.



Εικόνα 7. Δίκτυο καυσίμου μεθανόλης (WÄRTSILÄ, 2024)

## **1. Κύριες εφαρμογές κινητήρα**

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κύριος κινητήρας πρόωσης για πλοία με συστήματα άμεσης μηχανικής κίνησης. Είναι επίσης κατάλληλος για εφαρμογές κύριας μηχανής σε πλοία που διαθέτουν συστήματα πετρελαιοηλεκτρικής πρόωσης.

## **2. Σταθερή ταχύτητα ή κατά μήκος καμπύλης ταχύτητας**

Ο κινητήρας μπορεί να βελτιστοποιηθεί είτε για σταθερή ταχύτητα είτε κατά μήκος μιας συνδυαστικής καμπύλης, επιτρέποντάς του να προσαρμόζεται στις ειδικές απαιτήσεις του σκάφους.

## **3. Εμπορικός στόλος**

### **Tankers & Containers**

Ο Wärtsilä 32 χρησιμοποιείται συνήθως ως κύριος κινητήρας σε διάφορους τύπους δεξαμενόπλοιων, συμπεριλαμβανομένων των πετρελαιοφόρων και των δεξαμενόπλοιων χημικών. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ως κύριος κινητήρας για την πρόωση.

## **4. Offshore τομέας**

### **Υποστηρικτικά σκάφη ανοικτής θαλάσσης (OSVs)**

Τα σκάφη που παρέχουν διάφορες υπηρεσίες υποστήριξης σε υπεράκτιες εργασίες πετρελαίου και φυσικού αερίου.

### **Σκάφη γεώτρησης**

Χρησιμοποιείται επίσης ως κύριος κινητήρας σε σκάφη γεώτρησης, συμβάλλοντας στην επιχειρησιακή τους αποδοτικότητα.

## **5. Τομέας κρουαζιέρας και ακτοπλοΐας**

Η Wärtsilä 32 αποτελεί αγαπημένη επιλογή στον τομέα της κρουαζιέρας και των οχηματαγωγών, όπου οι επιδόσεις και η αποδοτικότητά της εκτιμώνται ιδιαίτερα.

## **6. Βοηθητική ηλεκτρική παραγωγή**

Ο κινητήρας είναι κατάλληλος για βοηθητική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις κατηγορίες πλοίων όπου απαιτείται υψηλό βοηθητικό φορτίο. Αυτό περιλαμβάνει την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για διάφορα συστήματα και εξοπλισμό επί του σκάφους.

Συνοψίζοντας, η ευελιξία και η αξιοπιστία του κινητήρα Wärtsilä 32 τον έχουν καταστήσει δημοφιλή επιλογή σε ένα ευρύ φάσμα τύπων πλοίων και εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των εμπορικών πλοίων, των υπεράκτιων πλοίων, των κρουαζιερόπλοιων και ως βοηθητική πηγή ενέργειας για διάφορες θαλάσσιες λειτουργίες. Η προσαρμοστικότητά του σε διαφορετικά συστήματα πρόωσης και η βελτιστοποίηση για συγκεκριμένες απαιτήσεις ταχύτητας τον καθιστούν έναν ευέλικτο και πολύτιμο κινητήρα στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

## MAN B&W ME-LGIM

Ο κινητήρας ME-LGIM ενσωματώνει στοιχεία από τον τυπικό δίχρονο κινητήρα ντίζελ της MAN B&W, συμπεριλαμβανομένων στοιχείων από τον κινητήρα διπλού καυσίμου ME-GI. Ο κινητήρας διατηρεί τα θετικά χαρακτηριστικά του παραδοσιακού δίχρονου πετρελαιοκινητήρα.

Συγκεκριμένα, η απεικόνιση εστιάζει στα εξαρτήματα και τις σωληνώσεις που έχουν προστεθεί στο πάνω μέρος των κυλίνδρων του κινητήρα για να καταστεί δυνατή η καύση της μεθανόλης. Αυτά τα πρόσθετα εξαρτήματα και οι σωληνώσεις είναι απαραίτητα για να διευκολύνουν τη χρήση της μεθανόλης ως πηγή καυσίμου στον κινητήρα, επιτρέποντάς του να λειτουργεί τόσο με συμβατικό καύσιμο όσο και με μεθανόλη.

### Τύπος κινητήρα

Ο κινητήρας είναι δίχρονος τύπος, ο οποίος είναι κοινός σχεδιασμός για μεγάλους ναυτικούς και βιομηχανικούς κινητήρες. Μπορεί να έχει διαφορετικό αριθμό κυλίνδρων, που κυμαίνεται από 5 έως 12. Ο ακριβής αριθμός εξαρτάται από το μέγεθος της οπής (τη διάμετρο του κυλίνδρου). Ο κινητήρας διατίθεται σε διάφορες διαμορφώσεις με μεγέθη οπών 45 cm, 50 cm, 60 cm, 80 cm και 95 cm. Αυτά τα μεγέθη καθορίζουν την δυναμικότητα και την ισχύ του κινητήρα. Επίσης, ο συγκεκριμένος κινητήρας συμμορφώνεται με συγκεκριμένους κανονισμούς εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων των IMO Tier II και IMO Tier III με EGR (ανακύκλωση καυσαερίων). Αυτοί οι κανονισμοί αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών από τους ναυτικούς κινητήρες.

### Σειρά κινητήρων LGIM της MAN B&W

Αποτελεί μέρος του χαρτοφυλακίου κινητήρων LGIM (Liquefied Gas Injection in the Marine Market) της MAN B&W. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με μεθανόλη ως κινητήρας διπλού καυσίμου. Είναι αξιοσημείωτος ως ο πρώτος δίχρονος κινητήρας διπλού καυσίμου μεθανόλης στον κόσμο. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να λειτουργεί τόσο με μεθανόλη όσο και με συμβατικό καύσιμο. Ο σχεδιασμός του κινητήρα βασίζεται στην δοκιμασμένη και εξελιγμένη σειρά

κινητήρων ME-C της MAN B&W, η οποία είναι μια καθιερωμένη και αξιόπιστη σειρά κινητήρων. Επιπλέον, εξυπηρετεί τον στόχο μιας κλιμακούμενης ενεργειακής μετάβασης, ειδικά καθώς η παραγωγή μεθανόλης από ανανεώσιμες πηγές γίνεται ευρύτερα διαδεδομένη. Όταν τροφοδοτείται με μεθανόλη, αυτός ο κινητήρας μειώνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), τις εκπομπές σωματιδίων (particulate matter) και τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>). Αυτό ευθυγραμμίζεται με τους περιβαλλοντικούς στόχους του IMO για τη μείωση της ρύπανσης.

Συνοπτικά, πρόκειται για έναν προηγμένο δίχρονο κινητήρα που σχεδιάστηκε από τη MAN B&W. Είναι αξιοσημείωτος για την ικανότητά του να λειτουργεί με μεθανόλη ως κινητήρας διπλού καυσίμου, μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων και συμβάλλοντας στην επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων. Αποτελεί μέρος ενός χαρτοφυλακίου που στοχεύει στην υποστήριξη καθαρότερης ενέργειας στη ναυτιλιακή βιομηχανία και υποστηρίζεται από ένα παγκόσμιο δίκτυο σέρβις.

## **Τύποι πλοίων που μπορεί να τεθεί σε εφαρμογή ένας κινητήρας χρησιμοποιώντας ως καύσιμο την μεθανόλη**

Σύμφωνα με τον DNV οι ειδικές απαιτήσεις για τα πλοία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες πλοίων, τα working ships (π.χ. πλοίο εφοδιασμού ανοικτής θαλάσσης), τα φορτηγά πλοία (π.χ. δεξαμενόπλοιο) και τα επιβατηγά πλοία (π.χ. κρουαζιερόπλοιο). Για κάθε τύπο πλοίου ισχύουν πρόσθετες γενικές απαιτήσεις.

### **1. Working ships (OSV)**

Οι δεξαμενές καυσίμων LFL δεν επιτρέπονται στο κατάστρωμα των offshore εφοδιαστικών πλοίων. Ο περιορισμός αυτός ισχύει πιθανότατα για την αποφυγή πιθανών κινδύνων για την ασφάλεια που σχετίζονται με εκτεθειμένες δεξαμενές καυσίμων στο εξωτερικό του πλοίου.

Οι χώροι πρυμναίας και προραίας ζώνης των OSV δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως Cofferdam για δεξαμενές καυσίμων LFL. Η χρήση αυτών των χώρων για την αποθήκευση καυσίμων LFL απαγορεύεται, πιθανότατα για να αποφευχθούν τυχόν κίνδυνοι που σχετίζονται με την αποθήκευση καυσίμων σε αυτές τις περιοχές.

## 2. Φορτηγά πλοία

Είναι υποχρεωτική η ύπαρξη μια δεξαμενής καυσίμου LFL. Το σύστημα σωληνώσεων που εξυπηρετεί τη δεξαμενή αυτή πρέπει να διαχωρίζεται από τα συστήματα σωληνώσεων χειρισμού φορτίου, εκτός από τους σωλήνες μεταφοράς καυσίμου από τις δεξαμενές για αποθήκευσης καυσίμων.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις απαιτήσεις πυρασφάλειας των φορτηγών πλοίων. Αυτές περιλαμβάνουν την αδρανοποίηση των δεξαμενών φορτίου κατά τον καθαρισμό και την εκκαθάριση για την αποφυγή εκρήξεων εντός της δεξαμενής. Επίσης, οι δεξαμενές καυσίμων LFL και οι σχετικοί χώροι καταστρώματος θα πρέπει να διαθέτουν συστήματα ψεκασμού νερού για ψύξη και πρόληψη πυρκαγιάς, εκτός από τα συστήματα πυρόσβεσης με αφρό. Επιπλέον, το σύστημα πρέπει να διαθέτει χειροκίνητες βαλβίδες διακοπής ή διαχωρισμό σε δύο τμήματα με βαλβίδες ελέγχου σε προσβάσιμες θέσεις για την απομόνωση οποιασδήποτε ζημιάς. Τέλος, θα πρέπει να εξυπηρετείται από ξεχωριστή αντλία ψεκασμού νερού με την απαιτούμενη χωρητικότητα και να διαθέτει σύνδεση με τον κεντρικό πυροσβεστικό αγωγό του πλοίου μέσω βαλβίδας διακοπής.

### Διαχωρισμός του συστήματος φορτίου και καυσίμων

Αυτό επιτυγχάνεται με μέτρα ασφαλείας για την πρόληψη της μόλυνσης και τη διασφάλιση της συμβατότητας του συστήματος καυσίμου.

1. Εφαρμογή μέτρων για την πρόληψη της ακούσιας μεταφοράς ασυμβίβαστου ή μολυσματικού φορτίου στο σύστημα καυσίμων μετά τη φόρτωση των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων.
2. Όταν οι δεξαμενές φορτίου που βρίσκονται εντός του χώρου φορτίου χρησιμεύουν ως δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων χαμηλού σημείου ανάφλεξης (LFL), οι δεξαμενές αυτές πρέπει να προορίζονται αποκλειστικά για καύσιμα LFL όταν το πλοίο λειτουργεί με καύσιμα LFL, διασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχει ανάμιξη με άλλα φορτία.
3. Οι γραμμές (σωληνώσεις) υγρού φορτίου για τις ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων LFL πρέπει να διαχωρίζονται φυσικά από τις σωληνώσεις υγρού φορτίου που εξυπηρετούν άλλες δεξαμενές φορτίου, συμπεριλαμβανομένων των κοινών σωληνώσεων υγρού φορτίου. Ωστόσο, οι διασταυρούμενες συνδέσεις με σωληνώσεις υγρού φορτίου που εξυπηρετούν κοινά συστήματα ή άλλες δεξαμενές μπορούν να γίνουν αποδεκτές, υπό την προϋπόθεση ότι είναι διατεταγμένες με σπειροειδή τεμάχια (περιστρεφόμενες καμπύλες) κατά τρόπο που αποτρέπει την ακούσια μεταφορά ασύμβατου ή μολυσματικού φορτίου.

4. Οι σωληνώσεις και οι συλλέκτες που εξυπηρετούν τις ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων LFL πρέπει να είναι ειδικά χρωματισμένες για εύκολη αναγνώριση.
5. Το σύστημα εξαερισμού της δεξαμενής φορτίου για τις ειδικές δεξαμενές καυσίμου LFL πρέπει να διατηρείται χωριστά από τα συστήματα εξαερισμού των άλλων δεξαμενών φορτίου όταν λειτουργεί με καύσιμο LFL.
6. Άλλα συστήματα χειρισμού φορτίου, όπως πλύσιμο δεξαμενών, αδρανές αέριο και επιστροφή ατμών, που εξυπηρετούν ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων LFL πρέπει επίσης να διαχωρίζονται. Τα συστήματα αδρανών αερίων μπορούν να συνδεθούν σε ένα κοινό σύστημα όταν χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση καυσίμων LFL, αλλά το σύστημα πρέπει να παραμένει υπό συνεχή πίεση για να διασφαλίζεται ο διαχωρισμός.
7. Η θέση των δεξαμενών καυσίμων LFL πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη συμβατότητα με άλλα φορτία. Όταν μεταφέρεται καύσιμο LFL στις δεξαμενές αποθήκευσης, οι δεξαμενές αυτές δεν πρέπει να βρίσκονται δίπλα σε δεξαμενές φορτίου που προορίζονται για φορτία που δεν είναι συμβατά με το καύσιμο LFL. Ο διαχωρισμός αυτός συμβάλλει στην αποφυγή του κινδύνου μόλυνσης και εξασφαλίζει την ασφάλεια κατά το χειρισμό διαφορετικών τύπων φορτίου στο πλοίο.

### **3. Επιβατηγά πλοία**

Οι περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνες ζώνες πρέπει να παραμένουν απρόσιτες στους επιβάτες ανά πάσα στιγμή, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των επιβατών και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας.

Οι χώροι πρυμναίας και προωραίας ζώνης δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται ως Cofferdam.

Οι διαφορές μεταξύ αυτών των τύπων πλοίων είναι πιο έντονες στα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών ουσιών και επικεντρώνονται κυρίως στην ενίσχυση της πυρασφάλειας και στην εφαρμογή πρόσθετων προφυλάξεων για την πρόληψη της μόλυνσης των καυσίμων από το φορτίο.

### **Μελλοντικές προοπτικές και προκλήσεις**

Η μετατροπή ενός σκάφους για να λειτουργεί με μεθανόλη είναι ένα πολλά υποσχόμενο βήμα προς τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά συνοδεύεται από ορισμένες μοναδικές προκλήσεις. Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι η ανάγκη για περίπου διπλάσιο (1,6 φορές, βλ. Εικόνα 8) όγκο δεξαμενής καυσίμου σε σύγκριση με το ντίζελ για να διατηρηθεί το ίδιο επίπεδο αντοχής καυσίμου (δηλαδή να μπορεί το καύσιμο να είναι λειτουργικό με βάση τις ανάγκες του εκάστοτε πλοίου).

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μεθανόλη έχει χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με το ντίζελ, οπότε απαιτούνται μεγαλύτερες δεξαμενές για να επιτευχθούν παρόμοιες αποστάσεις. Επιπλέον, οι δεξαμενές μεθανόλης σε θαλάσσιες εφαρμογές χρειάζονται πρόσθετα μέτρα ασφαλείας. Τα cofferdam είναι απαραίτητα για να αποτρέψουν πιθανές διαρροές από το να φτάσουν σε χώρους μηχανημάτων, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια του σκάφους και του πληρώματός του.

Η εγκατάσταση δεξαμενών καυσίμων μεθανόλης και του σχετικού εξοπλισμού χειρισμού καυσίμων μπορεί να είναι ένα πολύπλοκο έργο, ιδίως σε μετασκευές, όπου ο χώρος μπορεί να είναι περιορισμένος.

Όμως, εκτός από το πρόβλημα του χώρου, πρόκληση μπορεί να θεωρηθεί και ο τρόπος παραγωγής της πράσινης μεθανόλης, όπως επίσης και η τιμή της στην αγορά. Επιπλέον, η μεθανόλη είναι τοξική, εύφλεκτη και μπορεί να είναι εκρηκτική.

Συνοψίζοντας, ενώ η μετατροπή σε μεθανόλη ως ναυτιλιακό καύσιμο προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη, απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, μηχανική και ζητήματα ασφαλείας, καθιστώντας την καθοδήγηση από ειδικούς και τις ενδεδειγμένες μελέτες σκοπιμότητας ανεκτίμητες στη διαδικασία.



## SPACEWISE FUEL STORAGE COMPARISON



Εικόνα 8. Σύγκριση καταλαμβάνοντος χώρου δεξαμενών (Luomansuu, 2019)

# Κόστος πράσινης μεθανόλης

Κατά την διαδικασία της μετατροπής της μεθανόλης σε ναυτιλιακό καύσιμο, ο εκάστοτε ενδιαφερόμενος πρέπει σαφώς να προσμετρήσει και την οικονομική δυνατότητα και αξία αυτής της μετατροπής. Με μία πρώτη ματιά στις συγκρίσεις των τιμών των καυσίμων σε USD\$/ton (Εικόνα 9), αντιλαμβανόμαστε πως η πράσινη μεθανόλη δείχνει βιωσιμότερη σε σχέση με το «μαύρο» πετρέλαιο και το μαζούτ, αφού παρατηρείται σχεδόν σταθερά σε χαμηλότερη τιμή από τα υπόλοιπα.

## Fuel price comparison

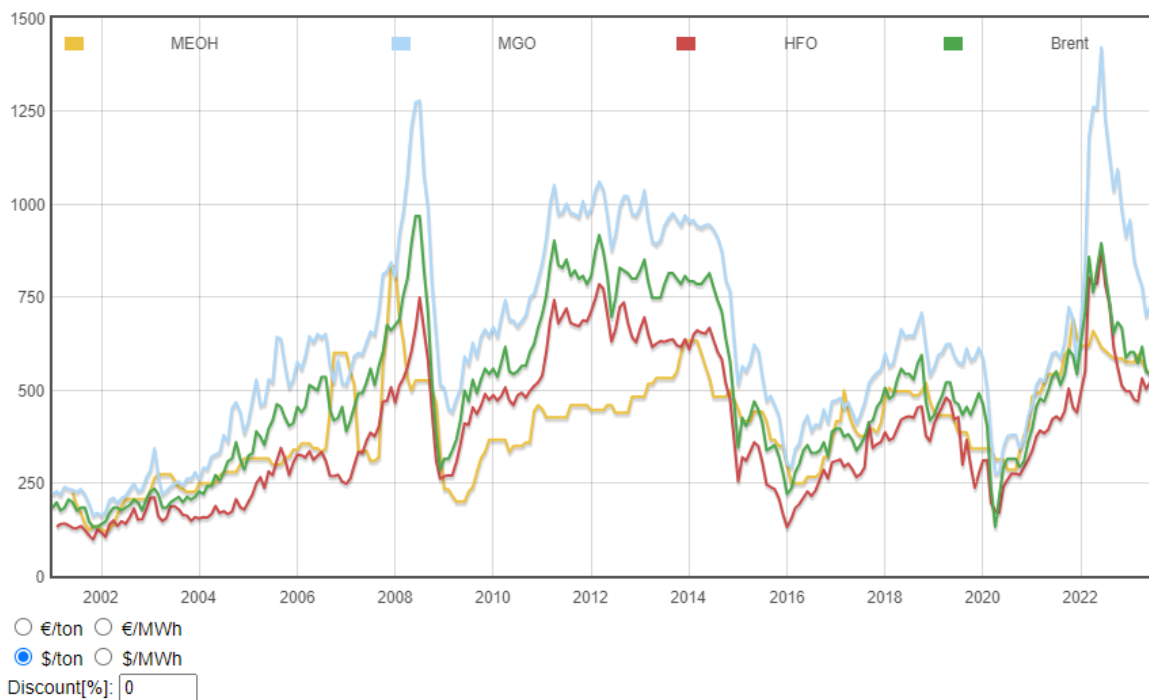
Comparison of methanol to other marine fuels over time. The Brent oil price is also included for reference.

The methanol price is the listed price from [Methanex](#). Dependin on currency, it is either the *European Posted Contract Price* or the *North American Non-Discounted Reference Price*. MGO and HFO prices are listed from Gothenburg, Sweden.

Note that a default discount of 15% is applied to the methanol price.

Start:  End:

MEOH  MGO  HFO  Brent  Electrofuel



Εικόνα 9. Σύγκριση τιμών ναυτιλιακών καυσίμων USD\$/ton (Marine Methanol)



Το ερώτημα όμως γεννάται στην ενεργειακή απόδοση του καυσίμου σε σχέση με την τιμή που αγοράζεται. Εκεί μπορεί να παρατηρηθεί πως η πράσινη μεθανόλη είναι σημαντικά ψηλότερα σε θέμα τιμής από το «μαύρο» πετρέλαιο και το μαζούτ (βλ. Εικόνα 10), μονάχα με μια μικρή έξαρση του MGO που οφείλεται στο ζήτημα του πολέμου στην Ουκρανία (2022).

## Fuel price comparison

Comparison of methanol to other marine fuels over time. The Brent oil price is also included for reference.

The methanol price is the listed price from [Methanex](#). Dependin on currency, it is either the *European Posted Contract Price* or the *North American Non-Discounted Reference Price*. MGO and HFO prices are listed from Gothenburg, Sweden.

Note that a default discount of 15% is applied to the methanol price.

Start:  End:

MEOH  MGO  HFO  Brent  Electrofuel



Εικόνα 9. Σύγκριση τιμών ναυτιλιακών καυσίμων USD\$/MWh (Marine Methanol)

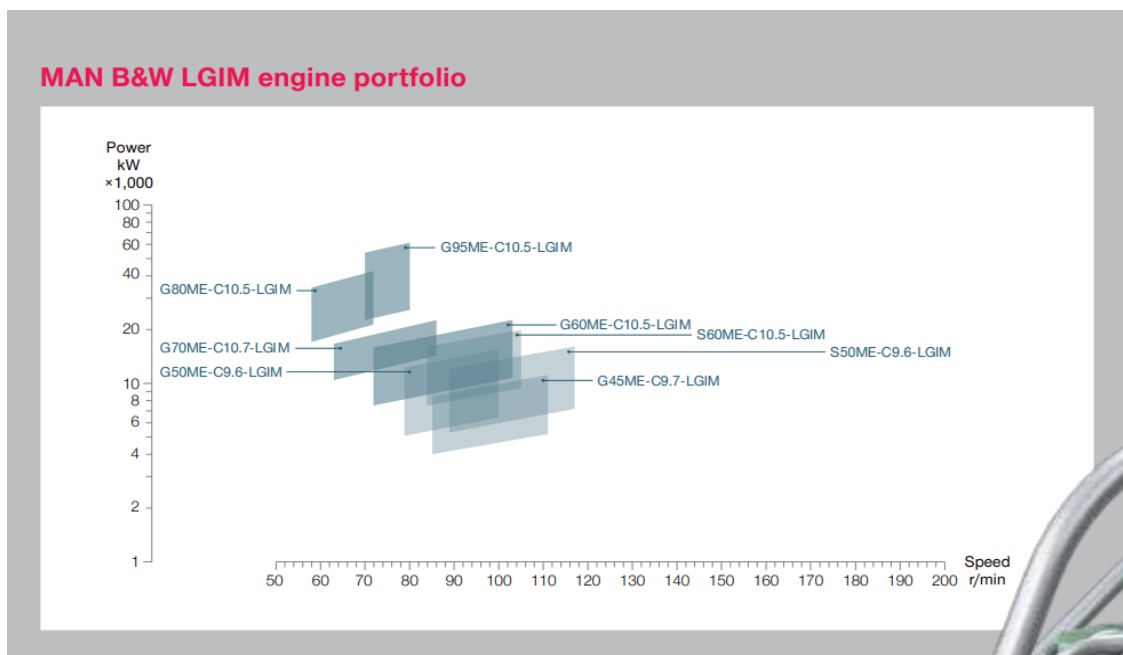
Έτσι, καταλήγουμε στην ανάγκη να γίνουν κάποιοι υπολογισμοί με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους (οι οποίες αλλάζουν με βάση το πλοίο και την μηχανή την οποία χρησιμοποιεί ως μέσο πρόωσης), ώστε να φτάσουμε σε ένα ασφαλές συμπέρασμα για την αξιολόγηση (οικονομικά και τεχνικά) μιας δυνητικής μετατροπής σε μεθανόλη ως κύριο καύσιμο για το πλοίο.

## Περιπτωσιολογική μελέτη πλοίου

Για να μπορέσουμε να κάνουμε μια οικονομοτεχνική μελέτη αξιολόγησης, χρειαζόμαστε ένα υπάρχον πλοίο ώστε να έχουμε πραγματικά δεδομένα για την προωστική ικανότητα του, που θα βοηθήσει στην επιλογή αντίστοιχης μηχανής της MAN B&W.

Το επιλεγμένο πλοίο είναι bulk carrier, με deadweight στο design draft 158,400 metric tons, GT 107000 και MCR 15,330 kW x 69.5 rpm. Λειτουργεί με δύο γεννήτριες των 1025 kvA / 60 Hz.

Από τα παραπάνω στοιχεία και συνδυαστικά με την παρακάτω εικόνα του portfolio της MAN B&W LGIM, καταλήγουμε στην επιλογή της G70ME-C10.7-LGIM ως μηχανή πρόωσης που θα λειτουργήσει με μεθανόλη και κάποιο ακόμα πιλοτικό καύσιμο.



Εικόνα 10. MAN B&W LGIM portfolio (MAN B&W, 2024)

Ως γεννήτριες θα επιλεγθούν δύο MAN 6L21/31DF-M με ισχύ 1320 kW η καθεμία (Πίνακας 1).

MAN G70ME-C10_7-LGIM	Propulsion	15330	kW
MAN 6L21/31DF-M	Generators (x2)	2640	kW

Πίνακας 1 Επιλεγμένες μηχανές MAN B&W

Για να μπορέσουμε να είμαστε πιο ακριβείς με τις μετρήσεις μας, πρέπει να διαχωρίσουμε σε ένα χρονικό πλαίσιο ενός χρόνου (8760 ωρών) την κατάσταση που λειτουργεί η μηχανή του πλοίου. Οπότε αποδεχόμαστε πως σε έναν μέσο όρο, το πλοίο λειτουργεί στο 100% περίπου 3000 ώρες μέσα στον χρόνο, στο 75% περίπου 2000 ώρες, άλλες 1000 ώρες λειτουργεί στο 50%, 1000 ώρες βρίσκεται στο λιμάνι και τις υπόλοιπες που απομένουν βρίσκεται σε κατάσταση συντήρησης, σε ναυπηγείο.

## Κύρια μηχανή (Main Engine)

Όσο αναφορά την κύρια μηχανή, αυτό μεταφράζεται απλά όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2), δηλαδή για το κάθε ποσοστό λειτουργίας της μηχανής, παίρνουμε ίδιο ποσοστό ισχύος (kW).

Propulsion			
Function	hours	Load	kW
Full M/E load	3000	100%	15330
75% M/E load	2000	75%	11497,5
50% M/E load	1000	50%	7665
In port	1000	0%	0
Maintenance	1760	0%	0

Πίνακας 2 Ισχύς κύριας μηχανής στην διάρκεια ενός χρόνου ζωής του πλοίου.

Στην συνέχεια, βρίσκουμε τις kWh σε κάθε περίπτωση, πολλαπλασιάζοντας τις ώρες λειτουργίας με την ισχύ σε kW που παράγει κάθε φορά η μηχανή (Πίνακας 3).

Επιπρόσθετα, για κάθε περίπτωση λειτουργίας της μηχανής βρίσκουμε την ειδική κατανάλωση του καυσίμου (Πίνακας 3) από το product guide που μας παρέχει η MAN B&W (σε g/kWh).

kWh	bsfc (gr/kWh)
45990000	170
22995000	162
7665000	159,5
0	
0	

Πίνακας 3 kWh & ειδική κατανάλωση καυσίμου στην κύρια μηχανή (MAN B&W).

Συνεχίζοντας, υπολογίζουμε τους τόνους καυσίμου (HFO) που χρειάζεται η μηχανή να καταναλώσει σε ένα χρόνο, πολλαπλασιάζοντας τις kWh με την ειδική κατανάλωση καυσίμου, ενώ μετατρέπουμε και τα γραμμάρια σε τόνους (Πίνακας 4).

bsfc (gr/kWh)	tons
170	7818,3
162	3725,19
159,5	1222,5675
	0
	0
<b>SUM</b>	<b>12766,0575</b>

Πίνακας 4 Τόνοι καυσίμου που χρειάζονται σε ένα έτος ζωής του πλοίου.

Κρατάμε ως αναφορά το Cf (συντελεστής καυσίμου) των καυσίμων (HFO & Μεθανόλη). Ο στόχος μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα ανέρχεται σε ποσοστό 27% από το 2021 μέχρι και το 2030(NK Class). Οπότε χωρίζουμε το ποσοστό στα δέκα χρόνια και καταλήγουμε πως είναι ανάγκη κάθε χρόνο να υπάρχει μια μείωση της τάξης του 2,7%. Οι τρεις τιμές φαίνονται στον πίνακα 5.

HFO Cf (Fuel factor)	3,114	Reduction goal	2,7%
Biomethanol Cf (Fuel factor)	0		

Πίνακας 5 Fuel factor & Reduction goal until 2030

Με βάση τους τόνους κατανάλωσης του καυσίμου, βρίσκουμε και τους τόνους διοξειδίου του άνθρακα που παράγει όλο τον χρόνο το πλοίο. Πολλαπλασιάζουμε τους τόνους καυσίμου με τον

συντελεστή του καυσίμου και παίρνουμε τις τιμές που θέλουμε. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζουμε με το ποσοστό μείωσης που χρειαζόμαστε τους τόνους διοξειδίου που βρήκαμε και καταλήγουμε στους επιθυμητούς τόνους μείωσης του CO<sub>2</sub>, ώστε να συμβαδίζουμε με τους στόχους του IMO μέχρι το 2030. Τέλος, βρίσκουμε αντίστοιχα και την ποσότητα του καυσίμου που πρέπει να μειώσουμε, διαιρώντας με το Cf. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω στον πίνακα 6.

bsfc (gr/kWh)	tons	CO <sub>2</sub> (tons)	Reductions CO <sub>2</sub> (tons)	Reduction Fuel (tons)
170	7818,3	24346,1862	657,3470274	211,0941
162	3725,19	11600,24166	313,2065248	100,58013
159,5	1222,5675	3807,075195	102,7910303	33,0093225
	0	0	0	0
	0	0	0	0
<b>SUM</b>	<b>12766,0575</b>	<b>39753,50306</b>	<b>1073,344582</b>	<b>344,6835525</b>

Πίνακας 6 Ποσότητα παραγόμενου CO<sub>2</sub>, μείωση ποσότητας CO<sub>2</sub> & ποσότητας καυσίμου.

Συνεχίζοντας αντίστροφα, διαιρούμε την απαιτούμενη ποσότητα μείωσης καυσίμου με τον συντελεστή καυσίμου για να μπορέσουμε να βρούμε τις απαιτούμενες KWh μείωσης. Εύκολα μετά μπορούμε να βρούμε και τις ώρες λειτουργίας που χρειάζεται να μειωθεί η λειτουργία της μηχανής με το HFO (Πίνακας 7), ώστε στην συνέχεια να μπορέσουμε με βάση αυτές τις ώρες να προσδιορίσουμε την ποσότητα της πράσινης μεθανόλης που θα χρειαστεί να προσθέσουμε για να λειτουργήσει η μηχανή (Πίνακας 8).

Παρατηρούμε πως η απαιτούμενη ποσότητα βιομεθανόλης είναι διπλάσια από την ποσότητα HFO που αφαιρέσαμε. Ως εκ τούτου, είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι θα χρειαστεί μια οικονομική φύσεως μελέτη για να καταφέρουμε να βγάλουμε ένα ασφαλές συμπέρασμα για την βιωσιμότητα μιας τέτοιας μετατροπής, ανά τα χρόνια.

Reduced kWh	hours
1241730	81
620865	54
206955	27
<b>2069550</b>	<b>162</b>

Πίνακας 7 Απαιτούμενες ώρες ισχύος λειτουργίας και ώρες μείωσης λειτουργίας με HFO.

bsfc (gr/kWh)	Reduction Fuel (tons)
346,3	430,011099
325,5	202,0915575
312,9	64,7562195
	696,858876

Πίνακας 8 Ειδική κατανάλωση βιομεθανόλης και απαιτούμενη ποσότητα προσθήκης καυσίμου.

## Γεννήτριες (Generators/Auxiliary Engines)

Από την άλλη, για τις γεννήτριες αλλάζει η ισχύς στην οποία δουλεύουν ανάλογα την κατάσταση που βρίσκεται το φορτηγό πλοίο που εξετάζουμε. Στην περίπτωση που βρίσκεται το πλοίο στο λιμάνι, λειτουργούν και οι δύο γεννήτριες στο 100%, ενώ όσο ταξιδεύει το πλοίο λειτουργεί μόνο η μία από τις δύο. Όσο βρίσκεται σε κατάσταση συντήρησης, οι γεννήτριες δεν χρειάζεται να είναι σε λειτουργία, καθώς υπάρχει παροχή ρεύματος από την στεριά, άρα και δεν υπάρχει λόγος κατανάλωσης καυσίμου για αυτόν τον σκοπό. Οι ώρες λειτουργίας φαίνονται στον πίνακα 9.

Generator			
Function	hours	Load	kW
Full M/E load	3000	50%	1320
75% M/E load	2000	50%	1320
50% M/E load	1000	50%	1320
In port	1000	100%	2640
Maintenance	1760	0%	0

Πίνακας 9 Ισχύς γεννητριών στην διάρκεια ενός χρόνου ζωής του πλοίου.

Η συνέχεια του υπολογισμού όμως είναι ίδια με την μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για την κύρια μηχανή, ώστε στο τέλος να καταφέρουμε να βρούμε την απαιτούμενη ποσότητα προσθήκης βιομεθανόλης για να διατηρηθεί ο στόχος μείωσης της τάξεως του 2,7% ανά χρόνο. Στον πίνακα 10, βρίσκουμε ποσότητα καταναλωμένου καυσίμου και παραγόμενου CO<sub>2</sub>, αφού έχουμε βρει τις kWh στις γεννήτριες.

kWh	bsfc (gr/kWh)	tons	CO <sub>2</sub> (tons)
3960000	192	760,32	2367,63648
2640000	192	506,88	1578,42432
1320000	192	253,44	789,21216
2640000	189	498,96	1553,76144
0		0	0
	<b>SUM</b>	<b>2019,6</b>	<b>6289,0344</b>

Πίνακας 10 Ποσότητα καταναλώμενου καυσίμου και παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα στις γεννήτριες.

Reductions CO <sub>2</sub> (tons)	Reduction Fuel (tons)	Reduced kWh	hours	bsfc (gr/kWh)	Reduction Fuel (tons)
63,92618496	20,52864	106920	81	411,9798995	44,04889085
42,61745664	13,68576	71280	54	411,9798995	29,36592724
21,30872832	6,84288	35640	27	411,9798995	14,68296362
41,95155888	13,47192	71280	27	405,5427136	28,90708462
0	0				
169,8039288	54,5292	285120	189		117,0048663

Πίνακας 11 Ποσότητα μείωσης HFO και προσθήκης βιομεθανόλης στις γεννήτριες για την επίτευξη του στόχου ως το 2030.

Στην συνέχεια, όπως λειτουργήσαμε και στην κύρια μηχανή, βρίσκουμε ποσότητα μείωσης HFO καθώς και προσθήκη μεθανόλης για να επιτευχθεί ο στόχος μείωσης του 2,7% ανά χρόνο (Πίνακας 11).

Αφού γίνει η διαδικασία του υπολογισμού της ποσότητας για τις γεννήτριες, ακολουθούμε μια διαδικασία συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων, ώστε να διενεργηθούν διαδικασίες οικονομικής αποτίμησης ολόκληρου του εγχειρήματος αλλαγής καυσίμου στο πλοίο (Πίνακας 12).

Οι τρεις παράγοντες για την αποτίμηση αυτή είναι η τιμή του HFO (\$/ton), η τιμή της μεθανόλης (\$/ton) και η τιμή του προστίμου που έχει θεσπιστεί για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> (\$/ton).

Όπως είναι προφανές, η διαδικασία θα επαναληφθεί για ποικίλες διακυμάνσεις των τιμών αυτών. Η τιμή του HFO θα είναι η μόνη που μένει σταθερή σε 620\$/τόνο. Αντίθετα, στην βιομεθανόλη θα δοκιμάσουμε τρεις τιμές, η μία στα 500\$/τόνο, η δεύτερη σε 750\$/τόνο και η τρίτη σε 1000\$/τόνο. Όσο για το κόστος που επιβάλλεται στις εκπομπές διοξειδίου, επειδή και αυτό είναι κυμαινόμενο, θα πάρουμε τιμές σε 100\$/τόνο, 150\$/τόνο και 200\$/τόνο.

Για την ανάγκη της μελέτης, χρειάζεται να στηθεί ένας πίνακας που να συγκεντρώνει τα έξοδα και τα κόστη που εξοικονομούνται σε κάθε περίπτωση, για κάθε έναν χρόνο απο το 2021 μέχρι το 2030, καθώς και συνολικά σε όλη τη διάρκεια των δέκα χρόνων.

	2021
Year	1
HFO Reduction	(399,21)
Methanol Addition	813,86
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)
Savings HFO	\$ -247.511,91
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -124.314,85
Total Savings	\$ -371.826,76
Expenses Methanol	\$ 406.931,87
Difference	\$ 35.105,11
Net present value difference	\$ 32.206,53

Πίνακας 12 Συγκεντρωτικός πίνακας-κοστολόγιο.

Εδώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται καθαρά οι τόνοι καυσίμου που μειώνονται, οι τόνοι βιομεθανόλης που προσθέτονται και οι τόνοι διοξειδίου που χρειάζεται να μειωθούν. Με πράσινο χρώμα είναι το κόστος που εξοικονομείται από την αφαίρεση τόνων καυσίμου και την μειωμένη παραγωγή CO<sub>2</sub>. Με κόκκινο χρώμα είναι τα έξοδα για τους τόνους βιομεθανόλης που προστέθηκαν, ενώ με γκριζό χρώμα είναι η διαφορά των εξόδων με τα κόστη που εξοικονομούνται. Στο τέλος, για να μπορούμε να είμαστε σωστοί με την σημερινή αξία που έχουν αυτές οι τιμές, θα μετατρέψουμε την τελική μας τιμή για κάθε έτος στην εκάστοτε αξία του, χρησιμοποιώντας ένα επιτόκιο αναγωγής της τάξεως του 9%.

$$\text{Net present value difference} = \frac{\text{Difference}}{1 + R^n}$$

Με R=επιτόκιο αναγωγής και n=αριθμός έτους.

Για παράδειγμα, αν εξετάζουμε την τιμή για το 4<sup>ο</sup> έτος, θα έχουμε n=4.

## 1<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως πρώτη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 500\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 100\$/τόνο (Πίνακας 13).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	500
CO <sub>2</sub>	100

Πίνακας 13 Πρώτο σενάριο τιμών.

Πατώντας στο μοτίβο που έχουμε δημιουργήσει, ενδεικτικά μπορούμε να δούμε για κάθε χρόνο τον οικονομικό ισολογισμό του εγχειρήματος (Πίνακας 14). Έτσι, μπορούμε να κάνουμε και συνολικά την αξιολόγηση που χρειαζόμαστε για να δούμε την βιωσιμότητά του.

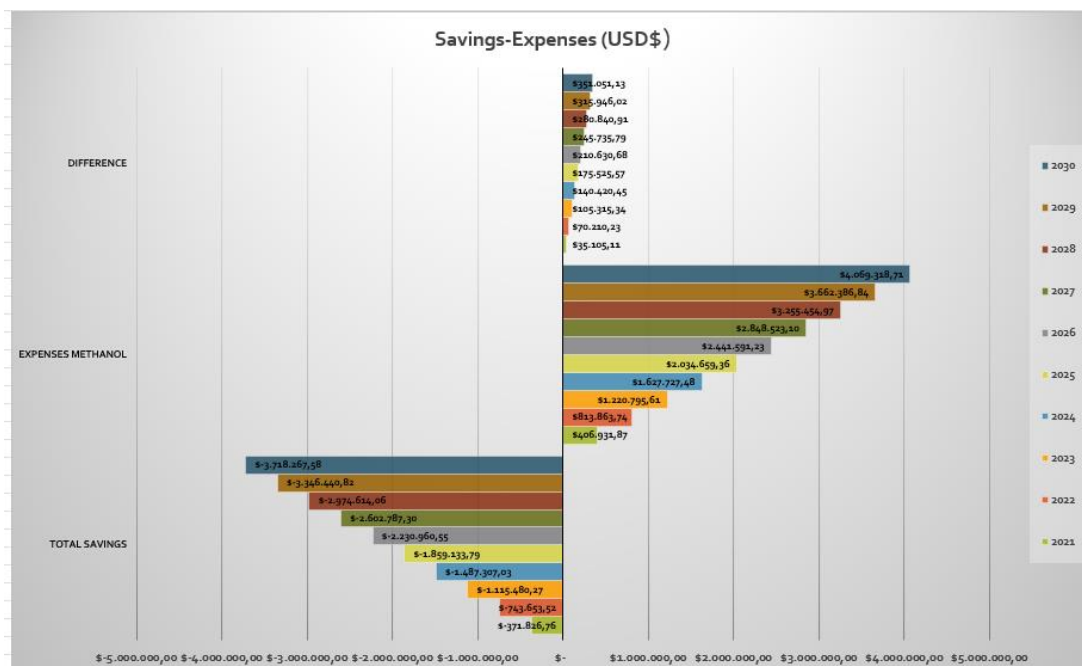


	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -124.314,85	\$ -248.629,70	\$ -372.944,55	\$ -497.259,40	\$ -621.574,26
Total Savings	\$ -371.826,76	\$ -743.653,52	\$ -1.115.480,27	\$ -1.487.307,03	\$ -1.859.133,79
Expenses Methanol	\$ 406.931,87	\$ 813.863,74	\$ 1.220.795,61	\$ 1.627.727,48	\$ 2.034.659,36
Difference	\$ 35.105,11	\$ 70.210,23	\$ 105.315,34	\$ 140.420,45	\$ 175.525,57
Net present value difference	\$ 32.206,53	\$ 59.094,54	\$ 81.322,77	\$ 99.477,39	\$ 114.079,58

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -745.889,11	\$ -870.203,96	\$ -994.518,81	\$ -1.118.833,66	\$ -1.243.148,51	\$ -6.837.316,81
\$ -2.230.960,55	\$ -2.602.787,30	\$ -2.974.614,06	\$ -3.346.440,82	\$ -3.718.267,58	\$ -20.450.471,67
\$ 2.441.591,23	\$ 2.848.523,10	\$ 3.255.454,97	\$ 3.662.386,84	\$ 4.069.318,71	\$ 22.381.252,91
\$ 210.630,68	\$ 245.735,79	\$ 280.840,91	\$ 315.946,02	\$ 351.051,13	\$ 1.930.781,24
\$ 125.592,19	\$ 134.425,89	\$ 140.944,58	\$ 145.470,33	\$ 148.287,79	\$ 1.080.901,59

Πίνακας 14 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμων σε βιομεθανόλη. (500\$/-100\$/τόνο).

Δημιουργώντας αυτόν τον πίνακα, αθροίζουμε για κάθε κατηγορία τις τιμές και των δέκα χρόνων και βρίσκουμε συνολικά την αξία της προσπάθειας αυτής, με καλύτερη οπτικοποίηση στον πίνακα 15. Με κίτρινο χρώμα εμφανίζεται το συνολικό ισοζύγιο (είτε έλλειμμα, είτε πλεόνασμα).



Πίνακας 15 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (500\$/-100\$/τόνο).

## 2<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως δεύτερη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 500\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 150\$/τόνο (Πίνακας 16).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	500
CO <sub>2</sub>	150

Πίνακας 16 Δεύτερο σενάριο τιμών.

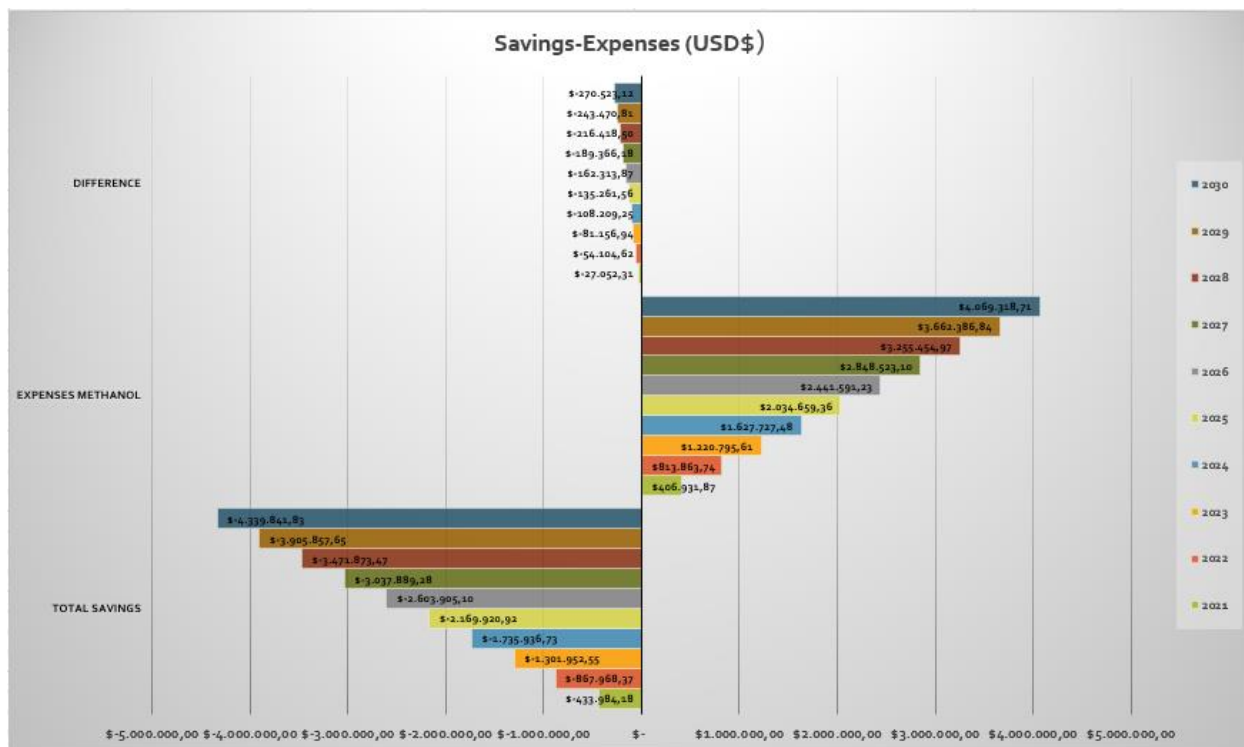
Όπου αντίστοιχα αλλάζουν και οι τιμές κόστους και εξοικονόμησης χρημάτων (Πίνακας 17).

Στον πίνακα 18 έχουμε το γράφημα με τα συνολικά έξοδα, την εξοικονόμηση χρημάτων καθώς και τη διαφορά τους.

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -186.472,28	\$ -372.944,55	\$ -559.416,83	\$ -745.889,11	\$ -932.361,38
Total Savings	\$ -433.984,18	\$ -867.968,37	\$ -1.301.952,55	\$ -1.735.936,73	\$ -2.169.920,92
Expenses Methanol	\$ 406.931,87	\$ 813.863,74	\$ 1.220.795,61	\$ 1.627.727,48	\$ 2.034.659,36
Difference	\$ -27.052,31	\$ -54.104,62	\$ -81.156,94	\$ -108.209,25	\$ -135.261,56
Net present value difference	\$ -24.818,63	\$ -45.538,78	\$ -62.668,05	\$ -76.658,16	\$ -87.910,73

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -1.118.833,66	\$ -1.305.305,94	\$ -1.491.778,21	\$ -1.678.250,49	\$ -1.864.722,77	\$ -10.255.975,22
\$ -2.603.905,10	\$ -3.037.889,28	\$ -3.471.873,47	\$ -3.905.857,65	\$ -4.339.841,83	\$ -23.869.130,08
\$ 2.441.591,23	\$ 2.848.523,10	\$ 3.255.454,97	\$ 3.662.386,84	\$ 4.069.318,71	\$ 22.381.252,91
\$ -162.313,87	\$ -189.366,18	\$ -216.418,50	\$ -243.470,81	\$ -270.523,12	\$ -1.487.877,16
\$ -96.782,46	\$ -103.589,79	\$ -108.613,15	\$ -112.100,72	\$ -114.271,89	\$ -812.952,36

Πίνακας 17 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθανόλη. (500\$-150\$/τόνο).



Πίνακας 18 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (500\$/τόνο).

### 3<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως τρίτη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 500\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 200\$/τόνο (Πίνακας 19).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	500
CO <sub>2</sub>	200

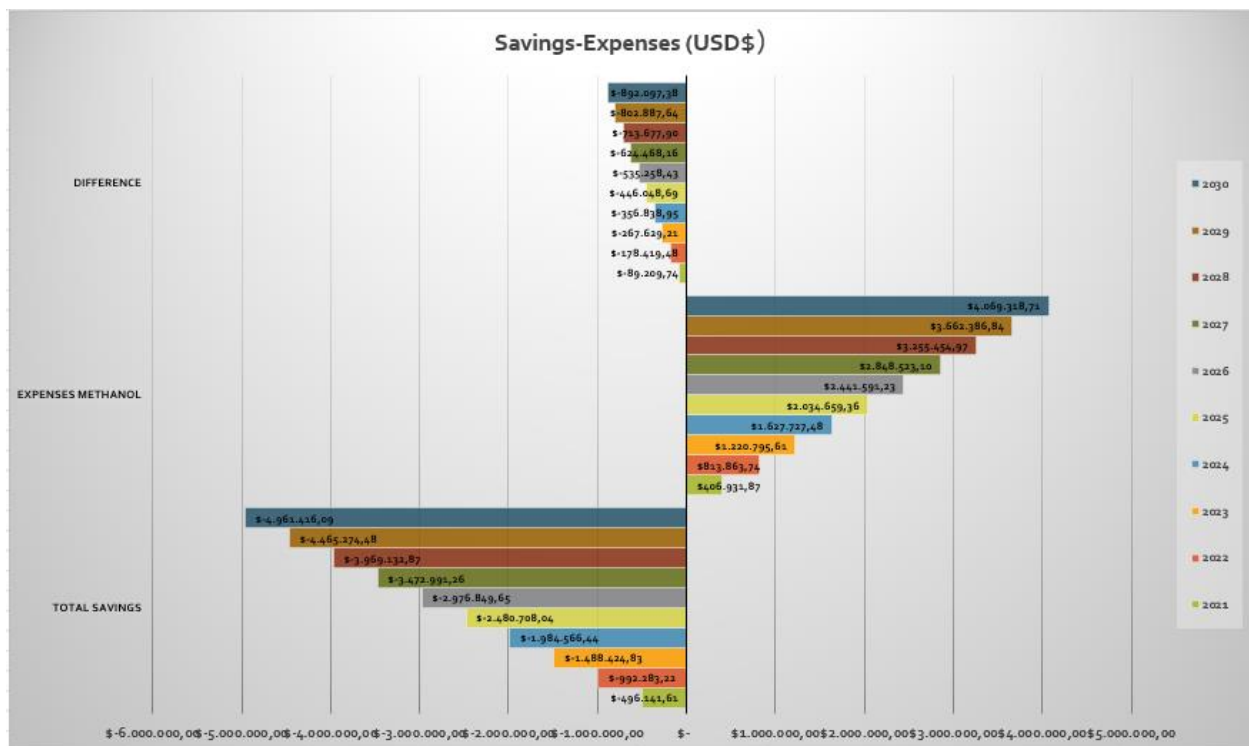
Πίνακας 19 Τρίτο σενάριο τιμών.

Με τις αλλαγές να είναι εμφανείς στον πίνακα 20 και στον πίνακα 21, με τον ίδιο τρόπο που ενεργήσαμε στις προηγούμενες περιπτώσεις.

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -248.629,70	\$ -497.259,40	\$ -745.889,11	\$ -994.518,81	\$ -1.243.148,51
Total Savings	\$ -496.141,61	\$ -992.283,22	\$ -1.488.424,83	\$ -1.984.566,44	\$ -2.480.708,04
Expenses Methanol	\$ 406.931,87	\$ 813.863,74	\$ 1.220.795,61	\$ 1.627.727,48	\$ 2.034.659,36
Difference	\$ -89.209,74	\$ -178.419,48	\$ -267.629,21	\$ -356.838,95	\$ -446.048,69
Net present value difference	\$ -81.843,80	\$ -150.172,10	\$ -206.658,86	\$ -252.793,71	\$ -289.901,04

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -1.491.778,21	\$ -1.740.407,92	\$ -1.989.037,62	\$ -2.237.667,32	\$ -2.486.297,02	\$ -13.674.633,62
\$ -2.976.849,65	\$ -3.472.991,26	\$ -3.969.132,87	\$ -4.465.274,48	\$ -4.961.416,09	\$ -27.287.788,48
\$ 2.441.591,23	\$ 2.848.523,10	\$ 3.255.454,97	\$ 3.662.386,84	\$ 4.069.318,71	\$ 22.381.252,91
\$ -535.258,43	\$ -624.468,16	\$ -713.677,90	\$ -802.887,64	\$ -892.097,38	\$ -4.906.535,57
\$ -319.157,11	\$ -341.605,47	\$ -358.170,87	\$ -369.671,77	\$ -376.831,57	\$ -2.746.806,31

Πίνακας 20 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθανόλη. (500\$/-200\$/τόνο).



Πίνακας 21 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (500\$/-200\$/τόνο).

## 4<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως τέταρτη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 750\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 100\$/τόνο (Πίνακας 22).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	750
CO <sub>2</sub>	100

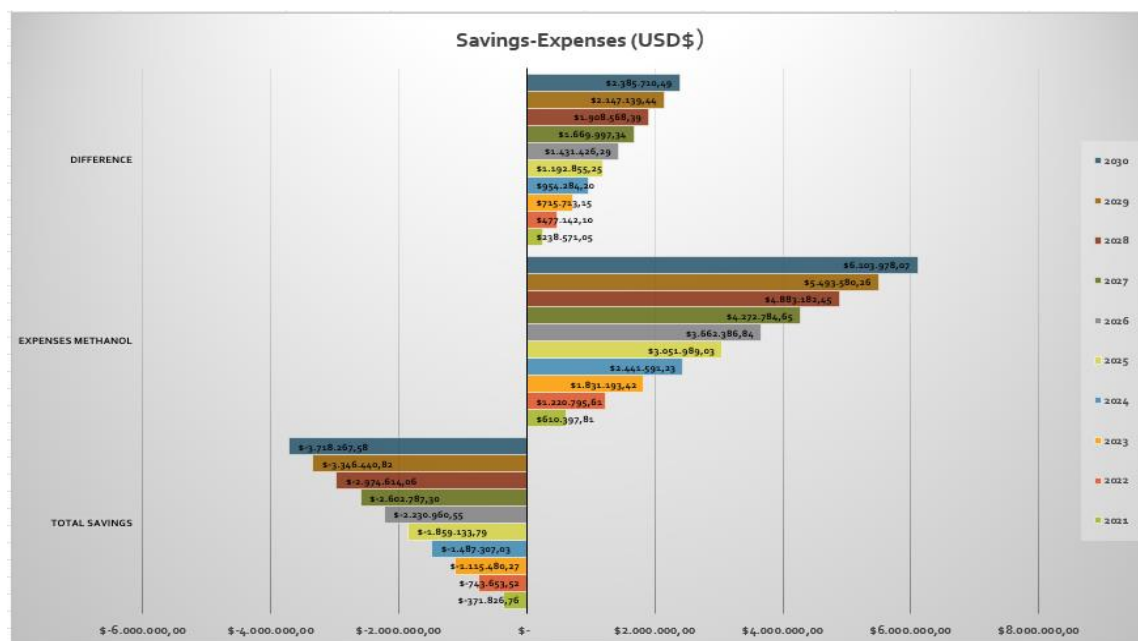
Πίνακας 22 Τέταρτο σενάριο τιμών.

Οπότε θα έχουμε και τις εξής αλλαγές στις οικονομικές εκτιμήσεις (Πίνακας 23 & Πίνακας 24):

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -124.314,85	\$ -248.629,70	\$ -372.944,55	\$ -497.259,40	\$ -621.574,26
Total Savings	\$ -371.826,76	\$ -743.653,52	\$ -1.115.480,27	\$ -1.487.307,03	\$ -1.859.133,79
Expenses Methanol	\$ 610.397,81	\$ 1.220.795,61	\$ 1.831.193,42	\$ 2.441.591,23	\$ 3.051.989,03
Difference	\$ 238.571,05	\$ 477.142,10	\$ 715.713,15	\$ 954.284,20	\$ 1.192.855,25
Net present value difference	\$ 218.872,52	\$ 401.600,96	\$ 552.661,87	\$ 676.038,98	\$ 775.274,06

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -745.889,11	\$ -870.203,96	\$ -994.518,81	\$ -1.118.833,66	\$ -1.243.148,51	\$ -6.837.316,81
\$ -2.230.960,55	\$ -2.602.787,30	\$ -2.974.614,06	\$ -3.346.440,82	\$ -3.718.267,58	\$ -20.450.471,67
\$ 3.662.386,84	\$ 4.272.784,65	\$ 4.883.182,45	\$ 5.493.580,26	\$ 6.103.978,07	\$ 33.571.879,37
\$ 1.431.426,29	\$ 1.669.997,34	\$ 1.908.568,39	\$ 2.147.139,44	\$ 2.385.710,49	\$ 13.121.407,70
\$ 853.512,73	\$ 913.545,74	\$ 957.846,12	\$ 988.602,65	\$ 1.007.749,89	\$ 7.345.705,52

Πίνακας 23 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμων σε βιομεθανόλη. (750\$/-100\$/τόνο).



Πίνακας 24 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (750\$/-100\$/τόνο).

## 5<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως πέμπτη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 750\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 150\$/τόνο (Πίνακας 25).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	750
CO <sub>2</sub>	150

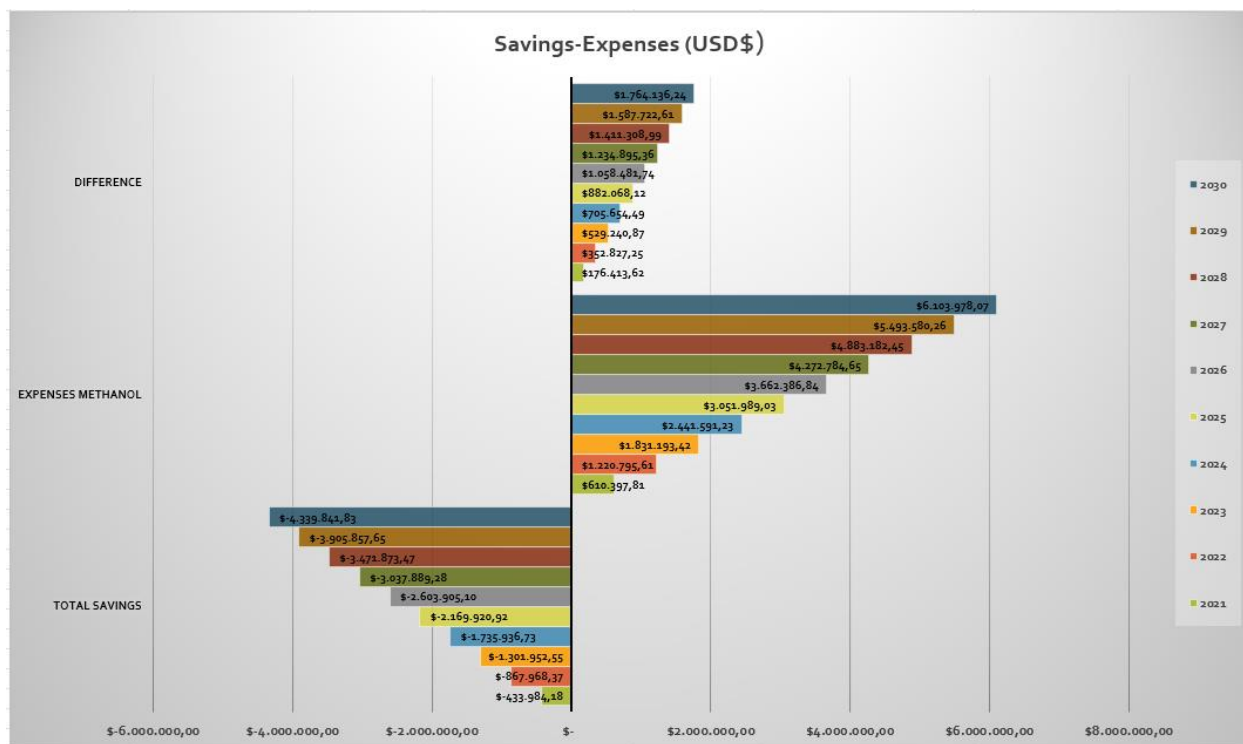
Πίνακας 25 Πέμπτο σενάριο τιμών.

Αρα παίρνουμε και τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 26 & 27):

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -186.472,28	\$ -372.944,55	\$ -559.416,83	\$ -745.889,11	\$ -932.361,38
Total Savings	\$ -433.984,18	\$ -867.968,37	\$ -1.301.952,55	\$ -1.735.936,73	\$ -2.169.920,92
Expenses Methanol	\$ 610.397,81	\$ 1.220.795,61	\$ 1.831.193,42	\$ 2.441.591,23	\$ 3.051.989,03
Difference	\$ 176.413,62	\$ 352.827,25	\$ 529.240,87	\$ 705.654,49	\$ 882.068,12
Net present value difference	\$ 161.847,36	\$ 296.967,63	\$ 408.671,06	\$ 499.903,43	\$ 573.283,75

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -1.118.833,66	\$ -1.305.305,94	\$ -1.491.778,21	\$ -1.678.250,49	\$ -1.864.722,77	\$ -10.255.975,22
\$ -2.603.905,10	\$ -3.037.889,28	\$ -3.471.873,47	\$ -3.905.857,65	\$ -4.339.841,83	\$ -23.869.130,08
\$ 3.662.386,84	\$ 4.272.784,65	\$ 4.883.182,45	\$ 5.493.580,26	\$ 6.103.978,07	\$ 33.571.879,37
\$ 1.058.481,74	\$ 1.234.895,36	\$ 1.411.308,99	\$ 1.587.722,61	\$ 1.764.136,24	\$ 9.702.749,29
\$ 631.138,08	\$ 675.530,05	\$ 708.288,39	\$ 731.031,60	\$ 745.190,21	\$ 5.431.851,57

Πίνακας 26 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθανόλη. (750\$/150\$/τόνο).



Πίνακας 27 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (750\$-150\$/τόνο).

## 6<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως έκτη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 750\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 200\$/τόνο (Πίνακας 28).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	750
CO <sub>2</sub>	200

Πίνακας 28 Έκτο σενάριο τιμών.

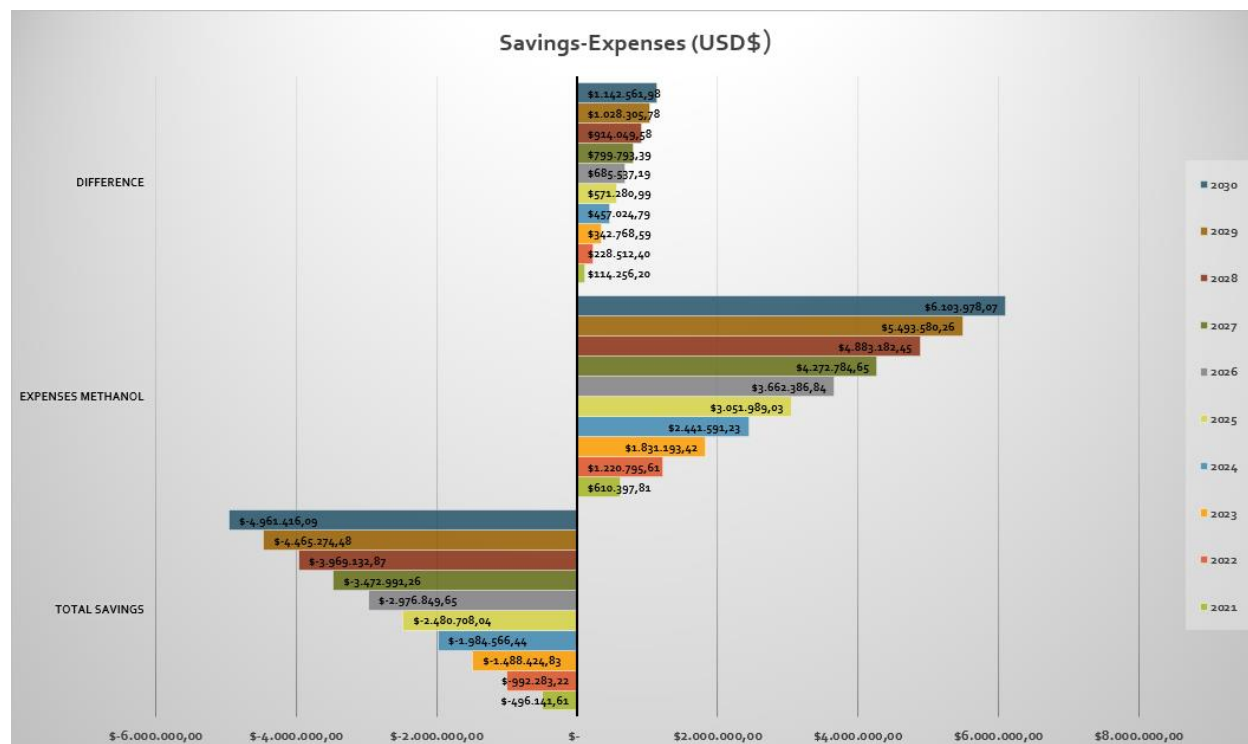


Με αυτές τις τιμές, έχουμε τις τιμές που φαίνονται στους πίνακες 29 & 30:

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -248.629,70	\$ -497.259,40	\$ -745.889,11	\$ -994.518,81	\$ -1.243.148,51
Total Savings	\$ -496.141,61	\$ -992.283,22	\$ -1.488.424,83	\$ -1.984.566,44	\$ -2.480.708,04
Expenses Methanol	\$ 610.397,81	\$ 1.220.795,61	\$ 1.831.193,42	\$ 2.441.591,23	\$ 3.051.989,03
Difference	\$ 114.256,20	\$ 228.512,40	\$ 342.768,59	\$ 457.024,79	\$ 571.280,99
Net present value difference	\$ 104.822,20	\$ 192.334,31	\$ 264.680,25	\$ 323.767,88	\$ 371.293,45

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -1.491.778,21	\$ -1.740.407,92	\$ -1.989.037,62	\$ -2.237.667,32	\$ -2.486.297,02	\$ -13.674.633,62
\$ -2.976.849,65	\$ -3.472.991,26	\$ -3.969.132,87	\$ -4.465.274,48	\$ -4.961.416,09	\$ -27.287.788,48
\$ 3.662.386,84	\$ 4.272.784,65	\$ 4.883.182,45	\$ 5.493.580,26	\$ 6.103.978,07	\$ 33.571.879,37
\$ 685.537,19	\$ 799.793,39	\$ 914.049,58	\$ 1.028.305,78	\$ 1.142.561,98	\$ 6.284.090,89
\$ 408.763,43	\$ 437.514,37	\$ 458.730,66	\$ 473.460,55	\$ 482.630,53	\$ 3.517.897,62

Πίνακας 29 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθανόλη. (750\$/-200\$/τόνο).



Πίνακας 30 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (750\$/-200\$/τόνο).



## 7<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως έβδομη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 1000\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 100\$/τόνο (Πίνακας 31).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	1000
CO <sub>2</sub>	100

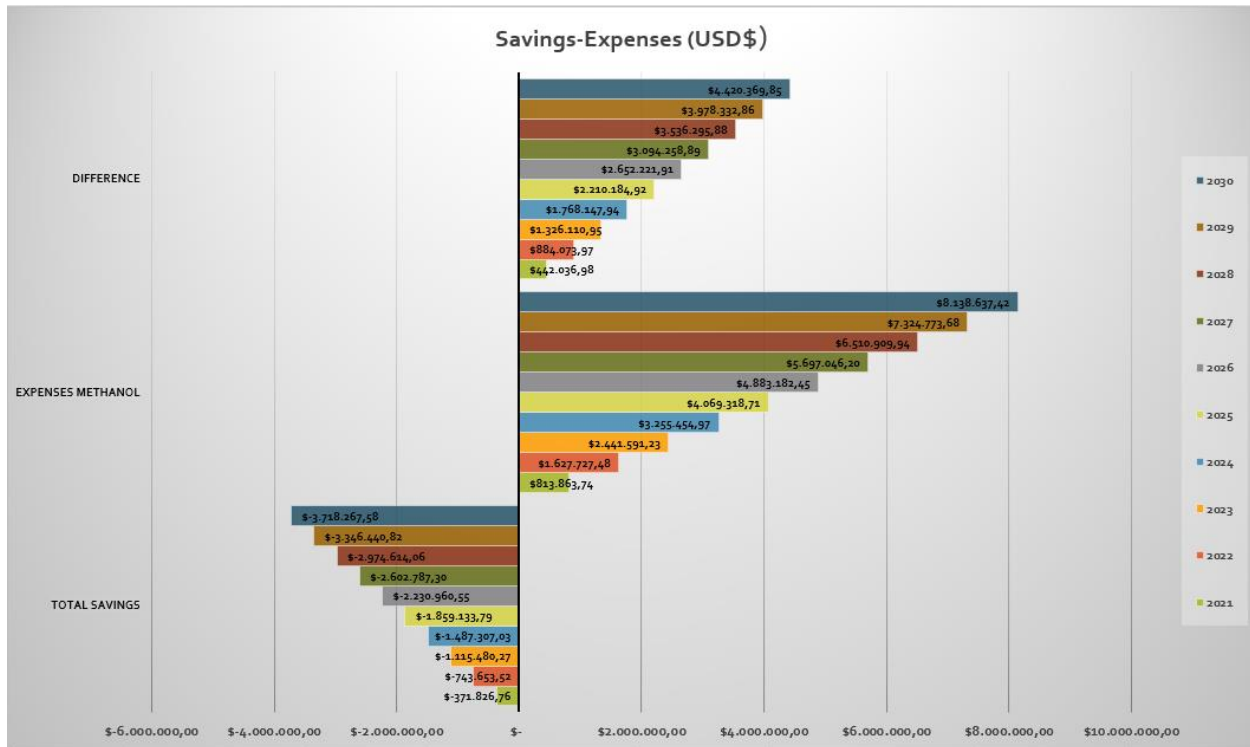
Πίνακας 31 Έβδομο σενάριο τιμών.

Συνεχίζοντας με τον ίδιο τρόπο, έχουμε τους πίνακες 32 & 33:

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -124.314,85	\$ -248.629,70	\$ -372.944,55	\$ -497.259,40	\$ -621.574,26
Total Savings	\$ -371.826,76	\$ -743.653,52	\$ -1.115.480,27	\$ -1.487.307,03	\$ -1.859.133,79
Expenses Methanol	\$ 813.863,74	\$ 1.627.727,48	\$ 2.441.591,23	\$ 3.255.454,97	\$ 4.069.318,71
Difference	\$ 442.036,98	\$ 884.073,97	\$ 1.326.110,95	\$ 1.768.147,94	\$ 2.210.184,92
Net present value difference	\$ 405.538,52	\$ 744.107,37	\$ 1.024.000,97	\$ 1.252.600,58	\$ 1.436.468,55

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -745.889,11	\$ -870.203,96	\$ -994.518,81	\$ -1.118.833,66	\$ -1.243.148,51	\$ -6.837.316,81
\$ -2.230.960,55	\$ -2.602.787,30	\$ -2.974.614,06	\$ -3.346.440,82	\$ -3.718.267,58	\$ -20.450.471,67
\$ 4.883.182,45	\$ 5.697.046,20	\$ 6.510.909,94	\$ 7.324.773,68	\$ 8.138.637,42	\$ 44.762.505,83
\$ 2.652.221,91	\$ 3.094.258,89	\$ 3.536.295,88	\$ 3.978.332,86	\$ 4.420.369,85	\$ 24.312.034,16
\$ 1.581.433,27	\$ 1.692.665,58	\$ 1.774.747,66	\$ 1.831.734,97	\$ 1.867.211,99	\$ 13.610.509,45

Πίνακας 32 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθάνη. (1000\$-100\$/τόνο).



Πίνακας 33 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (1000\$/-100\$/τόνο).

## 8<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως όγδοη περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 1000\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 150\$/τόνο (Πίνακας 34).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	1000
CO <sub>2</sub>	150

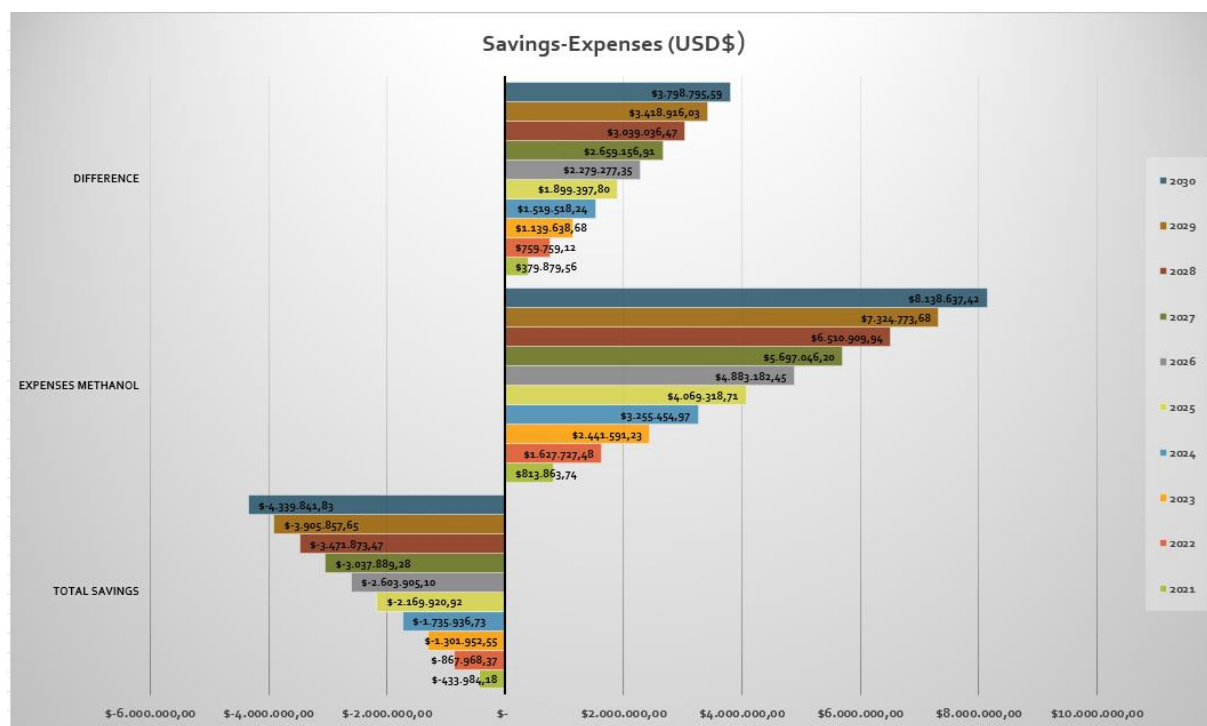
Πίνακας 34 Όγδοο σενάριο τιμών.

Έτσι, έχουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στους πίνακες 35 & 36:

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1,197,64)	(1,596,85)	(1,996,06)
Methanol Addition	813,86	1,627,73	2,441,59	3,255,45	4,069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1,243,15)	(2,486,30)	(3,729,45)	(4,972,59)	(6,215,74)
Savings HFO	\$ -247,511,91	\$ -495,023,81	\$ -742,535,72	\$ -990,047,63	\$ -1,237,559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -186,472,28	\$ -372,944,55	\$ -559,416,83	\$ -745,889,11	\$ -932,361,38
Total Savings	\$ -433,984,18	\$ -867,968,37	\$ -1,301,952,55	\$ -1,735,936,73	\$ -2,169,920,92
Expenses Methanol	\$ 813,863,74	\$ 1,627,727,48	\$ 2,441,591,23	\$ 3,255,454,97	\$ 4,069,318,71
Difference	\$ 379,879,56	\$ 759,759,12	\$ 1,139,638,68	\$ 1,519,518,24	\$ 1,899,397,80
Net present value difference	\$ 348,513,36	\$ 639,474,05	\$ 880,010,16	\$ 1,076,465,03	\$ 1,234,478,24

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -1.118.833,66	\$ -1.305.305,94	\$ -1.491.778,21	\$ -1.678.250,49	\$ -1.864.722,77	\$ -10.255.975,22
\$ -2.603.905,10	\$ -3.037.889,28	\$ -3.471.873,47	\$ -3.905.857,65	\$ -4.339.841,83	\$ -23.869.130,08
\$ 4.883.182,45	\$ 5.697.046,20	\$ 6.510.909,94	\$ 7.324.773,68	\$ 8.138.637,42	\$ 44.762.505,83
\$ 2.279.277,35	\$ 2.659.156,91	\$ 3.039.036,47	\$ 3.418.916,03	\$ 3.798.795,59	\$ 20.893.375,75
\$ 1.359.058,62	\$ 1.454.649,89	\$ 1.525.189,93	\$ 1.574.163,92	\$ 1.604.652,31	\$ 11.696.655,59

Πίνακας 35 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθανόλη. (1000\$-150\$/τόνο).



Πίνακας 36 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (1000\$-150\$/τόνο).

## 9<sup>η</sup> περίπτωση τιμών

Ως ένατη και τελευταία περίπτωση θα επιλέξουμε τιμή μεθανόλης τα 1000\$/τόνο και τιμή «κύρωσης» των εκπομπών διοξειδίου τα 200\$/τόνο (Πίνακας 37).

Fuel	Price (USD/t)
HFO	620
Methanol	1000
CO <sub>2</sub>	200

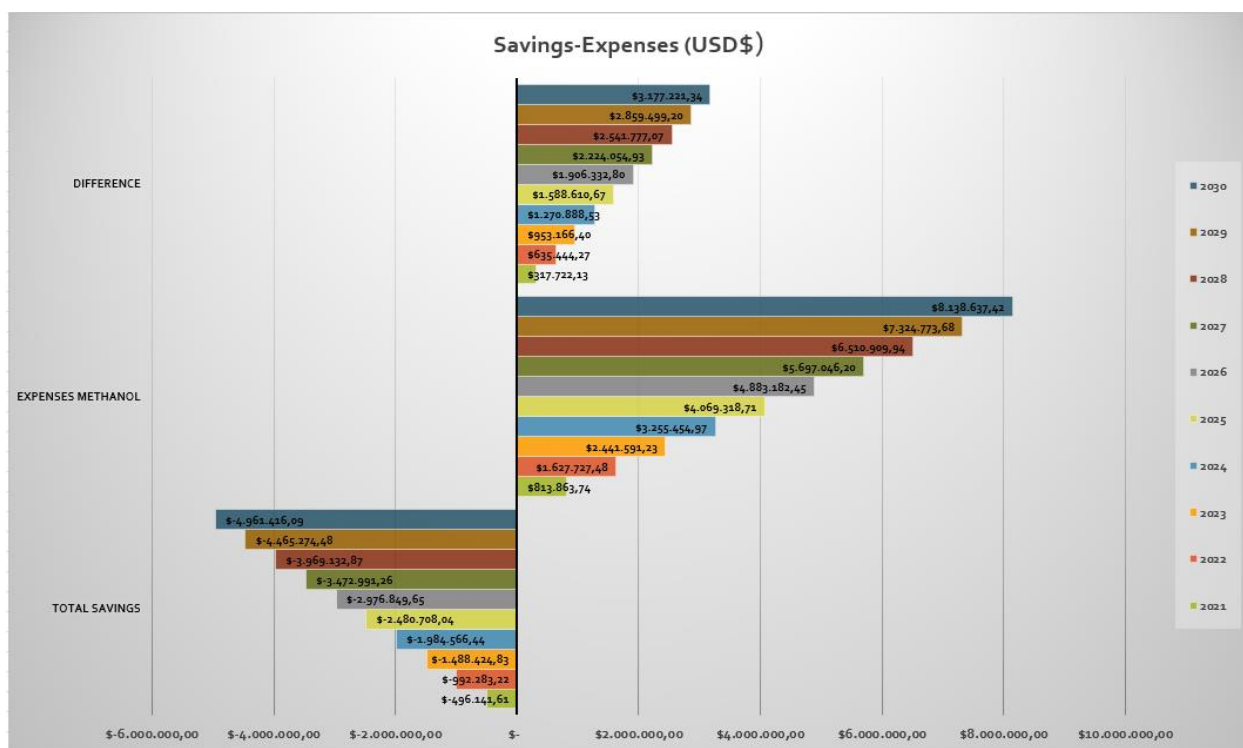
Πίνακας 37 Ένατο σενάριο τιμών.

Αρα για την τελευταία περίπτωση, οι υπολογισμοί βγαίνουν ως εξής (Πίνακας 38 & Πίνακας 39):

	2021	2022	2023	2024	2025
Year	1	2	3	4	5
HFO Reduction	(399,21)	(798,43)	(1.197,64)	(1.596,85)	(1.996,06)
Methanol Addition	813,86	1.627,73	2.441,59	3.255,45	4.069,32
CO <sub>2</sub> Reduction	(1.243,15)	(2.486,30)	(3.729,45)	(4.972,59)	(6.215,74)
Savings HFO	\$ -247.511,91	\$ -495.023,81	\$ -742.535,72	\$ -990.047,63	\$ -1.237.559,53
Savings CO <sub>2</sub>	\$ -248.629,70	\$ -497.259,40	\$ -745.889,11	\$ -994.518,81	\$ -1.243.148,51
Total Savings	\$ -496.141,61	\$ -992.283,22	\$ -1.488.424,83	\$ -1.984.566,44	\$ -2.480.708,04
Expenses Methanol	\$ 813.863,74	\$ 1.627.727,48	\$ 2.441.591,23	\$ 3.255.454,97	\$ 4.069.318,71
Difference	\$ 317.722,13	\$ 635.444,27	\$ 953.166,40	\$ 1.270.888,53	\$ 1.588.610,67
Net present value difference	\$ 291.488,20	\$ 534.840,73	\$ 736.019,35	\$ 900.329,48	\$ 1.032.487,93

2026	2027	2028	2029	2030	SUM
6	7	8	9	10	
(2.395,28)	(2.794,49)	(3.193,70)	(3.592,91)	(3.992,13)	(21.956,70)
4.883,18	5.697,05	6.510,91	7.324,77	8.138,64	44.762,51
(7.458,89)	(8.702,04)	(9.945,19)	(11.188,34)	(12.431,49)	(68.373,17)
\$ -1.485.071,44	\$ -1.732.583,35	\$ -1.980.095,25	\$ -2.227.607,16	\$ -2.475.119,07	\$ -13.613.154,86
\$ -1.491.778,21	\$ -1.740.407,92	\$ -1.989.037,62	\$ -2.237.667,32	\$ -2.486.297,02	\$ -13.674.633,62
\$ -2.976.849,65	\$ -3.472.991,26	\$ -3.969.132,87	\$ -4.465.274,48	\$ -4.961.416,09	\$ -27.287.788,48
\$ 4.883.182,45	\$ 5.697.046,20	\$ 6.510.909,94	\$ 7.324.773,68	\$ 8.138.637,42	\$ 44.762.505,83
\$ 1.906.332,80	\$ 2.224.054,93	\$ 2.541.777,07	\$ 2.859.499,20	\$ 3.177.221,34	\$ 17.474.717,34
\$ 1.136.683,96	\$ 1.216.634,21	\$ 1.275.632,20	\$ 1.316.592,87	\$ 1.342.092,63	\$ 9.782.801,55

Πίνακας 38 Υπολογισμοί βιωσιμότητας της αλλαγής καυσίμου σε βιομεθανόλη. (1000\$-200\$/τόνο).



Πίνακας 39 Παρουσίαση αποτελεσμάτων (1000\$-200\$/τόνο).

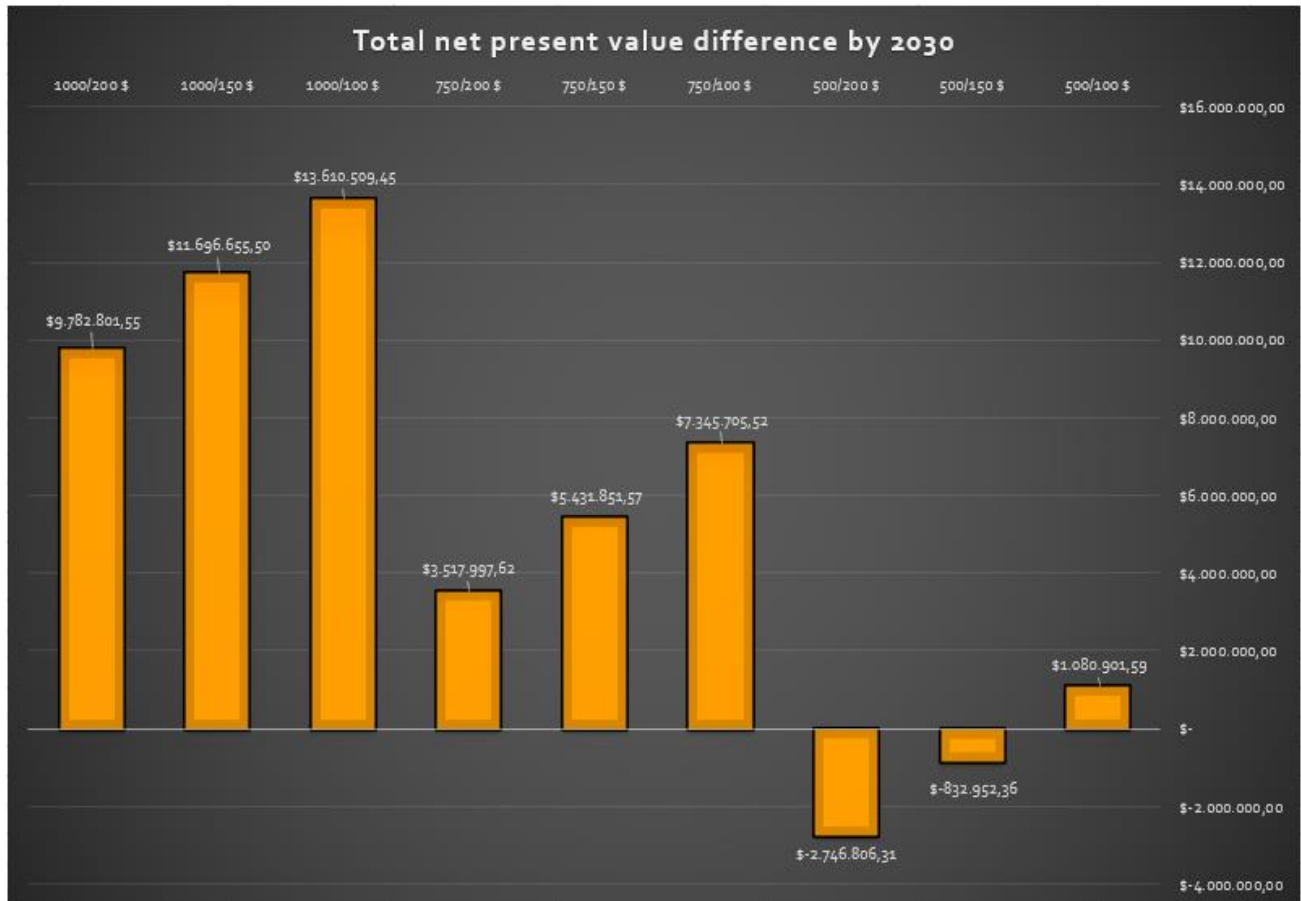
Συνοψίζοντας, μπορούμε να βάλουμε συγκεντρωτικά σε έναν πίνακα τα ελλείμματα και τα πλεονάσματα κάθε περίπτωσης, ώστε να βγάλουμε συμπέρασμα σε ποιες από αυτές τις περιπτώσεις είναι άξια η προσπάθειά μας (δηλαδή έχουμε λιγότερα έξοδα από όσα λεφτά εξοικονομούμε).

Με αυτόν τον τρόπο, παίρνουμε τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 40), όπου με τη βοήθεια του γραφήματος που το ακολουθεί (Πίνακας 41), μπορούμε να οπτικοποιήσουμε και τα αποτελέσματα για να γίνεται πιο εύκολα η σύγκριση των περιπτώσεων.

Case (Methanol/CO <sub>2</sub> )	500/100 \$	500/150 \$	500/200 \$	750/100 \$
Total net present value difference by 2030	\$ 1.080.901,59	\$ -832.952,36	\$ -2.746.806,31	\$ 7.345.705,52

750/150 \$	750/200 \$	1000/100 \$	1000/150 \$	1000/200 \$
\$ 5.431.851,57	\$ 3.517.997,62	\$ 13.610.509,45	\$ 11.696.655,50	\$ 9.782.801,55

Πίνακας 40 Συγκεντρωτικός οικονομικός απολογισμός του εγχειρήματος μέχρι το 2030.



Πίνακας 41 Γράφημα παρουσίασης του οικονομικού απολογισμού του εγχειρήματος μέχρι το 2030.

## Συμπεράσματα

Καταλαβαίνουμε πως η πιο ευνοϊκή οικονομική συνθήκη είναι η 3<sup>η</sup> περίπτωση που εξετάσαμε, δηλαδή η τιμή της βιομεθανόλης να είναι στα 500\$/τόνο και η τιμή που θα κοστολογείται κάθε τόνος παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα να ανέρχεται στα 200\$. Μια ακόμη περίπτωση που δείχνει να είναι βιώσιμη από οικονομικής απόψεως είναι η 2<sup>η</sup> περίπτωση, δηλαδή με την τιμή της βιομεθανόλης στα 500\$/τόνο και την «κύρωση» των εκπομπών του CO<sub>2</sub> να ανέρχεται στα 150\$/τόνο. Παρατηρείται πως καμία άλλη επιλογή τιμών δεν μπορεί να αποβεί σε μια επικερδής επένδυση (ιδίως αν αναλογιστεί κανείς ότι η τιμή των 1000\$/τόνο που εξετάσαμε για τη βιομεθανόλη ίσως ανήκει και στην σφαίρα της φαντασίας μας ακόμα). Άρα καταλήγουμε πως μόνο υπό ιδανικές συνθήκες θα μπορέσει να γίνει μια τέτοιου είδους μετατροπή σε πλοίο και να υπάρχει οικονομικό όφελος του πλοιοκτήτη.

Συνολικά, η μετατροπή ενός πλοίου ώστε να είναι τεχνολογικά έτοιμο να χρησιμοποιήσει ως καύσιμο την μεθανόλη απαιτεί λεπτομερή και προσεκτικό σχεδιασμό τόσο μηχανικά, όσο και οικονομικά. Αν μπορούμε να αποφανθούμε ότι μηχανικά υπάρχει η τεχνογνωσία να μετατραπεί το εκάστοτε πλοίο, πρέπει να ληφθεί υπόψιν το οικονομικό σκέλος του εγχειρήματος. Από την ανάγκη μεγαλύτερων χώρων για την αποθήκευση της μεθανόλης (ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του πλοίου), άρα και μεγαλύτερου κόστους για την δημιουργία και αναδιάταξη των δεξαμενών, μέχρι το κόστος της μεθανόλης ως καύσιμο και των «κυρώσεων» που επιβάλλει ο IMO στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, η οικονομική μελέτη για την εξαγωγή ενός ισοζυγίου που θα αξιολογεί την μετατροπή παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Μέσα από το συγκεκριμένο παράδειγμα που μελετήσαμε, φαίνεται ότι δεν υπάρχει απόλυτα ξεκάθαρο συμπέρασμα ως προς το αν είναι επικερδής μια τέτοια προσπάθεια, καταδεικνύοντας έτσι, ότι είναι ζωτικής σημασίας η λεπτομερής μελέτη όλων των παραγόντων που συνεισφέρουν στην ζωή ενός πλοίου ώστε να συμβαδίσει κάποιος πλοιοκτήτης με τις απαιτήσεις του IMO για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας.

## Βιβλιογραφία

- Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., Staffell, I., 2019. How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Convers. Manag.* 182, 72–88. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080>
- Britannica, 2023. Methanol-Chemical Compound [WWW Document]. URL <https://www.britannica.com/science/methanol>
- BV, 2024 All about methanol: Your questions answered [WWW Document]. URL <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/all-about-methanol-your-questions-answered>
- C2ES, 2024 Carbon Tax Basics. URL <https://www.c2es.org/content/carbon-tax-basics/>
- Carbon Intensity Indicator (CII) - ABS [WWW Document], 2024 . ABS Solut. URL [https://ww2.eagle.org/en/Products-and-Services/sustainability/carbon-intensity-indicator.html?utm\\_source=Google&utm\\_medium=CPC&utm\\_campaign=ADC++Bureau++CII&utm\\_id=19646224039&gclid=CjwKCAjw6eWnBhAKEiwADpnw9pYMVT3M8t01eu8RZT7jfOdG1TziUZxwtv-bJXP0eUnj-XhHizFHpBoCtx8QAvD\\_BwE](https://ww2.eagle.org/en/Products-and-Services/sustainability/carbon-intensity-indicator.html?utm_source=Google&utm_medium=CPC&utm_campaign=ADC++Bureau++CII&utm_id=19646224039&gclid=CjwKCAjw6eWnBhAKEiwADpnw9pYMVT3M8t01eu8RZT7jfOdG1TziUZxwtv-bJXP0eUnj-XhHizFHpBoCtx8QAvD_BwE)
- DNV, 2024 EEXI – Energy Efficiency Existing Ship Index.
- Future fuels 101 - Methanol [WWW Document], 2023 URL [https://brandhub.wartsila.com/m/17830388ea964117/original/Wartsila-Future-Fuels-Methanol.pdf?utm\\_term=marine&utm\\_content=bwp&utm\\_campaign=bwp-lead-scoring](https://brandhub.wartsila.com/m/17830388ea964117/original/Wartsila-Future-Fuels-Methanol.pdf?utm_term=marine&utm_content=bwp&utm_campaign=bwp-lead-scoring)
- IMO, 2016. Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness and economic feasibility. IMO.
- IMO, 2024 EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system [WWW Document]. URL <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx>
- Luomansuu, S., 2020 Wärtsilä 32 Methanol the power to reach carbon neutral.
- Methanol as Marine Fuel - Methanex [WWW Document], 2019 URL <https://www.methanex.com/about-methanol/marine-fuel/>
- Rattan, C., 2019 Carbon Footprint of Methanol [WWW Document]. URL <https://energycentral.com/c/og/carbon-footprint-methanol>
- The World Bank, 2023 Carbon Pricing [WWW Document]. URL <https://www.worldbank.org/en/programs/pricing-carbon>
- WÄRTSILÄ, 2024 Methanol as marine fuel – is it the solution you are looking for?
- WÄRTSILÄ, 2022 THE WÄRTSILÄ 32 METHANOL ENGINE.
- Μαλτέζου, Φ., 2018 Το κοινωνικό κόστος του άνθρακα, η νέα κυβέρνηση των ΗΠΑ και η κλιματική αλλαγή. URL [https://www.huffingtonpost.gr/fotini-maltezou/-9853\\_b\\_14593028.html](https://www.huffingtonpost.gr/fotini-maltezou/-9853_b_14593028.html)