



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

“ Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως
Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία ”

Αντωνιάδης Απόστολος

MNΣΝΔ20006

Επιβλέπων:

Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΝΔ Θεόδωρος Ζάννης

Πειραιάς

Ιούνιος 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας των πιθανών συνεπειών αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Αναπληρωτής καθηγητής Θ.Ζάννης

ΜΕΛΟΣ Β΄: Αναπληρωτής καθηγητής Ι.Κατσάνης

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Αναπληρωτής καθηγητής Ε.Παριώτης



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την βαθιά ευγνωμοσύνη μου στον Επιβλέποντα καθηγητή μου Αναπλ. Καθηγητή Θεόδωρο Κ. Ζάννη, στον Αναπλ. Καθηγητή Δρ. Ι. Κατσάνη και στον Αναπλ. Καθηγητή Δρ. Ε. Παριώτη για όλη τη βοήθεια και την καθοδήγησή τους κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου Ιωάννη Αντωνιάδη και Σταυρούλα Αλευρομαγείρου για το συνεχές ενδιαφέρον και τη στήριξη τους καθ’ όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου σε αυτό το ΠΜΣ. ’’



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία / Technical, Economic and Environmental Assessment of the Use of Methanol as Alternative Maritime Fuel

Περίληψη

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, αρχικά, θα γίνει επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας με σκοπό την καταγραφή και την αξιολόγηση των στοιχείων που έχουν παρουσιαστεί ως σήμερα για την χρήση της μεθανόλης σε πλοία και εν συνέχεια να αποτυπωθούν τα καινοτόμα στοιχεία της παρούσας εργασίας σε σχέση με την υφιστάμενη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν οι τεχνολογίες παραγωγής ορυκτής μεθανόλης και βιο-μεθανόλης. Ακολούθως θα περιγραφεί η χημική σύνθεση της μεθανόλης και θα αναλυθούν οι φυσικές και οι χημικές της ιδιότητες. Ακόμη θα γίνει σύγκριση των χαρακτηριστικών της μεθανόλης με τα χαρακτηριστικά άλλων ναυτιλιακών καυσίμων. Στη συνέχεια θα εξεταστεί η επίδραση που έχει η χρήση της μεθανόλης στην λειτουργική απόδοση και στις εκπομπές ρύπων ναυτικών μηχανών διπλού καυσίμου. Στη συνέχεια θα μελετηθεί η χρήση της μεθανόλης ως ναυτιλιακού καυσίμου σε πλοία όπου θα εξεταστεί η εφικτότητα της χρήσης της μεθανόλης σε πλοία και θα εξεταστούν τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής της. Ακόμη θα γίνει τεχνική ανάλυση συγκεκριμένων παραδειγμάτων μετασκευής μηχανών πλοίων για λειτουργία αυτών με μεθανόλη. Ακόμα στα πλαίσια της οικονομικής ανάλυσης θα εξεταστεί το κόστος μετασκευής και το κόστος κατασκευής πλοίων των οποίων οι μηχανές θα λειτουργούν με μεθανόλη.

Abstract

Within the context of this work, firstly, a literature review will be performed to record and to assess the data that have already been presented in the literature relative to the use of methanol in shipping and after this, to depict the innovative characteristics of the present study against existing literature. Afterwards, fossil methanol and bio-methanol production technologies will be presented and discussed. The chemical composition and the physical and chemical properties of methanol will be analyzed and they will be contrasted with the corresponding composition and properties of other conventional and alternative maritime fuels. Afterwards,



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

the impact of methanol on the performance characteristics and pollutant emissions of marine internal combustion engines will be presented and evaluated. The feasibility of methanol as maritime fuel in shipping industry will be assessed, and the pertinent advantages and disadvantages of methanol compared to other maritime fuels will be analyzed. A technical analysis of specific case studies of vessel retrofits for use with methanol will thoroughly be analyzed. Finally, within the context of the economic analysis of the present study, the retrofit cost of existing vessels and the capital cost of methanol newbuilds will be investigated.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακας περιεχομένων

1.	Εισαγωγή.....	1
1.1	Βιοκαύσιμα.....	2
1.2	Υγρά βιοκαύσιμα.....	3
1.3	Βιοαέριο	3
2.	Ωρίμανση της τεχνολογίας.....	4
2.1	4χρονες μηχανές.....	4
2.2	2χρονες μηχανές.....	5
2.3	Κινητήρες αερίου ή αερίου-diesel.....	5
3.	Εναλλακτικά Καύσιμα.....	7
3.1	Οι μηχανές Diesel -LNG.....	7
3.2	Μεθανόλη.....	7
4.	Γενικά χαρακτηριστικά της μεθανόλης.....	10
4.1	Κόστος Επένδυσης.....	11
4.2	Κόστος Εγκατάστασης.....	11
4.3	Κόστος Μετατροπής.....	12
5.	Το πλοίο Stena Germanica.....	13
6.	Σύγκριση κόστους οικονομίας μεθανόλης έναντι οικονομίας υδρογόνου.....	16
6.1	Κόστος καυσίμου:.....	16
6.2	Υποδομή:.....	16
6.3	Μετατροπή ενέργειας:.....	17
7.	Το καύσιμο της μεθανόλης από την οικονομική πλευρά.....	18
7.1	Επένδυση σκάφους και μηχανής.....	18
7.2	Κατασκευή ενός δεξαμενόπλοιου με ισχύ μηχανών 10 MW.....	20
7.3	Μικρότερα πλοία.....	20



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

7.4	Υποδομή.....	20
7.5	Κόστος καυσίμων	22
7.6	Συμπεράσματα.....	24
8.	Προβλήματα και προτεινόμενες λύσεις της χρήσης της μεθανόλης	28
8.1	Η πολιτική πλευρά του θέματος	28
8.1.1	Προβλήματα	28
8.1.2	Προτεινόμενες λύσεις	28
8.2	Η τεχνική πλευρά του θέματος.....	29
8.2.1	Προβλήματα	29
8.2.2	Προτεινόμενες λύσεις	29
8.3	Η εμπορική πλευρά του θέματος.....	30
8.3.1	Προβλήματα	30
8.3.2	Προτεινόμενες λύσεις	31
9.	Διάφορες οπτικές γωνίες εξέτασης της μεθανόλης ως καύσιμο	32
10.	Χρόνος απόσβεσης	39
11.	Το χρονοδιάγραμμα με έργα που πραγματοποιήθηκαν με χρήση της μεθανόλης	48
12.	Το έργο μετατροπής ενός πλοίου που λειτουργεί με καύσιμο την μεθανόλη.....	52
12.1	Χαρακτηριστικά.....	52
12.2	Εργασίες μετατροπής.....	54
13.	Συμπεράσματα-Επίλογος	55
14.	Βιβλιογραφία	58



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Drop In fuels (Πηγή: (http://ainsworthenergy.com/products/drop-in-fuels)	2
Εικόνα 2 Το Stena Germanica είναι το πρώτο πλοίο στον κόσμο με καύσιμο μεθανόλη. Το έργο διαμορφώθηκε χάρη στην άριστη συνεργασία μεταξύ Methanex και Wartsila (Πηγή: https://www.ship-technology.com/projects/stena-germanica-ropax-)	13
Εικόνα 3 Η Stena Line πετυχαίνει άλλη μια παγκόσμια πρωτιά χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένη μεθανόλη για την τροφοδοσία του πλοίου Stena Germanica (Πηγή: https://www.ship-technology.com/projects/stena-germanica-ropax-ferry)	14
Εικόνα 4 Ιστορικές τιμές της μεθανόλης στην Ευρώπη(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)	40
Εικόνα 5 Η κωδικοποίηση των χρωμάτων ανάλογα με τον χρόνο απόσβεσης (Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	40
Εικόνα 6 Τα χαρακτηριστικά του Stena Germanica(Πηγή: Erik Lewenhaupt Stena Line, Methanol as an alternative fuel in shipping, 2017).....	52
Εικόνα 7 Έργα μετασκευής του Stena Germanica(Πηγή :Erik Lewenhaupt Stena Line, Methanol as an alternative fuel in shipping, 2017).....	53



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1 Τιμή της μεθανόλης για τον Ιανουάριο 2020-2021(Πηγή: Methanex monthly average regional posted contract price history,Methanex 2021)	8
Σχήμα 2 Τιμή της μεθανόλης ανά τρίμηνο για το 2019-2020(Πηγή: Methanex monthly average regional posted contract price history,Methanex ,2021)	9
Σχήμα 3 Τιμές ΜΕΟΗ και ΜGO(\$/MMBTU)(Πηγή: MMSA, 2015)	23
Σχήμα 4 Κόστος της ΜΕΟΗ σε σύγκριση με το φυσικό αέριο(Πηγή: RTI International)	24
Σχήμα 5 Ιδιότητες διαφόρων καυσίμων (Πηγή: methanol_institute_report_2015).....	27
Σχήμα 6 Σύγκριση τιμών φυσικού αερίου και μεθανόλης(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)	46
Σχήμα 7 Χρονοδιάγραμμα που δείχνει μερικά από τα κύρια έργα που διερευνούν τη χρήση της μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων(Ellis J., Tanneberger K,Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. Report prepared for the European Maritime Safety Agency (EMSA),2015).....	48



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακες

Πίνακας 1 Τιμές μεθανόλης στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική, την Ασία και τον Ειρηνικό στις 28 Οκτωβρίου 2015. Ο πίνακας αναπαράχθηκε από στοιχεία που ελήφθησαν από (Methanex,2015,Moirangthem,2016)	11
Πίνακας 2 Εκτίμηση της παγκόσμιας προσφοράς της ΜΕΟΗ (Πηγή: IHS, 2015).....	26
Πίνακας 3 Σύνοψη της τεχνολογικής ετοιμότητας ανεφοδιασμού της ΜΕΟΗ(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	33
Πίνακας 4 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για αποθήκευση της ΜΕΟΗ(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	34
Πίνακας 5 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για τον χειρισμό και τις διαδικασίες ΠΙΠΙΝ την κύρια μηχανή(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	35
Πίνακας 6 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για καύση της κύριας μηχανής(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	35
Πίνακας 7 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για τον χειρισμό και τις διαδικασίες ΜΕΤΑ την κύρια μηχανή(Πηγή: Edmund Hughes ,Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	36
Πίνακας 8 Πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για μια νέα κατασκευή με σύστημα καυσίμου ΜΕΟΗ(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	37
Πίνακας 9 Πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για μία νέα κατασκευή(Πηγή: Edmund Hughes ,Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	37
Πίνακας 10 Η ευαισθητοποίηση της τιμής μιας νέας κατασκευής με σενάριο χαμηλών τιμών ΜΓΟ(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	41
Πίνακας 11 Η ευαισθητοποίηση της τιμής μιας νέας κατασκευής με σενάριο υψηλών τιμών ΜΓΟ(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016).....	42



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Πίνακας 12 Η Ευαισθητοποίηση της τιμής μετασκευής με το σενάριο χαμηλών τιμών MGO(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)..... 43

Πίνακας 13 Ευαισθητοποίηση της τιμής μετασκευής με το σενάριο υψηλών τιμών MGO(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)..... 44



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

1. Εισαγωγή

Σε αυτή την εργασία θα παρουσιασθεί η οικονομική πτυχή της χρήσης της μεθανόλης στα πλοία :

Πιο συγκεκριμένα θα αναλυθούν τα εξής κόστη:

1. Το κόστος παραγωγής από ορυκτά καύσιμα (Fossil Methanol)
2. Το κόστος παραγωγής από δέσμευση του CO₂(Green Methanol)
3. Το κόστος μετατροπής υφισταμένων πλοίων για να λειτουργούν με μεθανόλη
4. Το κόστος τροφοδοσίας των πλοίων (bunkering)

Σε σύγκριση με άλλους τομείς όπως οι οδικές μεταφορές και οι αερομεταφορές, ο ναυτιλιακός τομέας χρησιμοποιεί λιγότερο διυλισμένα ή/και επεξεργασμένα καύσιμα . Το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιείται στον ναυτιλιακό τομέα για την τροφοδοσία κινητήρων diesel πλοίων είναι το βαρύ μαζούτ (HFO). Το HFO έχει πολύ υψηλό ιξώδες και περιέχει μεγάλες ποσότητες θείου , το οποίο όταν καίγεται απελευθερώνει επιβλαβείς SO_x εκπομπές. Ο ναυτιλιακός τομέας χρησιμοποιεί άλλα καύσιμα με χαμηλότερα επίπεδα ιξώδους και χαμηλότερο θείο , όπως:

- το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO)
- το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων (MDO)

Τα εναλλακτικά καύσιμα μπορεί να έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν ή να έχουν μηδενικές καθαρές εκπομπές όταν χρησιμοποιούνται για την πρόωση πλοίων . Επί του παρόντος, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως το LNG και το υδρογόνο, κερδίζουν έδαφος. Τα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα "drop-in" (όπως το βιοντίζελ) αλλά εξακολουθούν να εφαρμόζονται στη ναυτιλία σε πειραματική βάση.

Το καύσιμο drop-in είναι ένα συνθετικό και πλήρως εναλλάξιμο υποκατάστατο των συμβατικών υδρογονανθράκων που προέρχονται από το πετρέλαιο (βενζίνη, καύσιμο αεριωθούμενων αεροσκαφών και ντίζελ), που σημαίνει ότι δεν απαιτεί προσαρμογή του κινητήρα, του συστήματος καυσίμου ή του δικτύου διανομής καυσίμου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί "ως έχει" σε διαθέσιμους σύγχρονους κινητήρες είτε σε καθαρή μορφή είτε να



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

αναμειγνύεται σε οποιαδήποτε ποσότητα με άλλα αμιγή καύσιμα drop-in, μείγματα drop-in ή συμβατικά καύσιμα. (<http://ainsworthenergy.com/products/drop-in-fuels>)



Εικόνα 1 Drop In fuels (Πηγή: (<http://ainsworthenergy.com/products/drop-in-fuels>))

1.1 Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα παράγονται από οργανικά απόβλητα όπως φυτικά και ζωικά απόβλητα.

Αυτή την στιγμή η μόνη πηγή βιοκαυσίμου είναι τα φυτικής παραγωγής ζάχαρα και έλαια , όπως φοίνικες, κραμβέλαια και σόγια .

Υπάρχουν τρεις γενιές καυσίμων ,

- Πρώτη Γενιά: Η κύρια πηγή είναι η ζάχαρη, λιπίδια , αραβόσιτα κατευθείαν από κάποιο φυτό.
- Δεύτερη Γενιά: Το βιοκαύσιμο προκύπτει από οξική κυτταρίνη , ημικυτταρίνη , λινίνη και πηκτίνη. Για παράδειγμα , αυτό μπορεί να περιλαμβάνει υπολείμματα δασοκομίας , ή πρώτες ύλες.
- Τρίτη Γενιά :Το βιοκαύσιμο διοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από υδρόβιους οργανισμούς .



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

1.2 Υγρά βιοκαύσιμα

Τα υγρά βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε μηχανή (πετρελαιοκινητήρα ή βενζινομηχανή) και είναι ταιριαστά σε οποιοδήποτε τύπο πλοίου. Έχουν εκτελεσθεί τέστ τρίτης γενιάς βιοκαυσίμων στην ναυτιλία. Ένα παράδειγμα αποτελεί η Maersk Kalmar όπου η Maersk συνεργάστηκε με τα αμερικάνικο ναυτικό για να τεστάρει τα βιοκαύσιμα ελαίου.

1.3 Βιοαέριο

Το βιοαέριο μπορεί να είναι είτε μεθάνιο είτε υδρογόνο. Το βιοαέριο παράγεται από αναερόβια ζύμωση σε ένα κλειστό περιβάλλον το οποίο αποτελείται από μικρόβια τα οποία διασπώνται σε οργανική ύλη.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

2. Ωρίμανση της τεχνολογίας

Οι Μηχανές εσωτερικής καύσης παρέχουν ισχύ σε ένα πλοίο (για βοηθητικές και επικουρικές εφαρμογές) και ισχύ για πρόωση. Αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να συνδυαστούν με άλλα καύσιμα ώστε να μειωθεί η ειδική κατανάλωση καυσίμου και με έτερα ώστε να μειωθούν/εξάλειφθούν οι εκπομπές. Οι ναυτικές MEK κατέχουν μια ηγετική θέση στον παγκόσμιο εμπορικό στόλο. (το 98% του εμπορικού στόλου χρησιμοποιεί ναυτικές MEK). Επί του παρόντος, οι μηχανές εσωτερικής καύσης στην ναυτιλία έχουν τις υψηλότερες αποδόσεις. Επίσης, η μείωση του κόστους της ενέργειας λόγω της χρήσης βαρύ μαζούτ έχει καταστήσει τις MEK πολύ ελκυστικές για την ναυτιλία. Επιπλέον, η μετάβαση των κύκλων φυσικού αερίου και φυσικού αερίου-ντίζελ και η εισαγωγή νέων τεχνολογιών που σχετίζονται με τον έλεγχο συστημάτων έχουν βελτιώσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των MEK. (Bilouson, Bulgakov, & Savchuk, 2020)

Επί του παρόντος, υπάρχουν πολυάριθμοι τύποι MEK και κινητήρων. Οι κυριότεροι τύποι ναυτικών κινητήρων είναι οι τετράχρονοι κινητήρες, οι τετράχρονοι κινητήρες αερίου και αερίου-ντίζελ, οι δίχρονοι κινητήρες πλοίων χαμηλής ταχύτητας με εγκάρσια κεφαλή (transversal head) και οι δίχρονοι κινητήρες αερίου-ντίζελ χαμηλής ταχύτητας.

2.1 4χρονοι μηχανές

Η εξέλιξη των τεχνολογιών υψηλής έγχυσης καυσίμου, βέλτιστης ανάμειξης αέρα και καυσίμου στον κύλινδρο και οι νέες προσεγγίσεις στην διαχείριση των μεσόστροφων και ταχύστροφων μηχανών έχουν φτιάξει φιλικές προς το περιβάλλον, ειδικά στις εκπομπές NOx τετράχρονες μηχανές.

Ωστόσο οι τετράχρονες μηχανές είναι ελκυστικές για τεχνικά πλοία του στόλου, μεταφορικά, cargo πλοία και κρουαζιερόπλοια, που λειτουργούν σε περιοχές με περιορισμούς εκπομπών βλαβερών ουσιών, όπως ζώνες ελέγχου εκπομπών.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

2.2 Δίχρονες μηχανές

Το θετικό των δίχρονων μηχανών σε σχέση με τις τετράχρονες είναι η ικανότητα τους να αυξήσουν την παραγόμενη ισχύ για τον ίδιο ωφέλιμο όγκο.

Στις αργόστροφες δίχρονες μηχανές , η ανάμειξη αέρα με καύσιμο επιτυγχάνεται με δύο τρόπους .

- Καύσιμο (σε αέρια μορφή) εισάγεται στον κύλινδρο αφού η βαλβίδα εξαγωγής κλείσει κατά την αρχική φάση της συμπίεσης υπό σχετικά χαμηλή πίεση (χαμηλής πίεσης εναλλακτικά συστήματα)
- Καύσιμο (σε αέρια μορφή) με έγχυση καυσίμου εισάγεται στον κύλινδρο στο τέλος της συμπίεσης η οποία είναι σε υψηλή πίεση. (υψηλής πίεσης εναλλακτικά συστήματα ή άμεσης έγχυσης)

2.3 Κινητήρες αερίου ή αερίου-diesel

Για να επιτευχθούν χαμηλά επίπεδα εκπομπών ,ειδικά στις ECA zones , η χρήση του αερίου σαν καύσιμο είναι ο πιο υποσχόμενος τρόπος . Καύσιμα αερίων μειώνουν τις εκπομπές σε σύγκριση με τα βαριά καύσιμα : SOx οξείδια δεν υπάρχουν , NOx εκπομπές έχουν μειωθεί στο 90 % και PM και CO2 εκπομπές έχουν μειωθεί στο 30% .Το πιο υποσχόμενο αέριο καύσιμο είναι το μεθάνιο, το προπάνιο και το βουτάνιο.

Υπάρχουν τριών ειδών διαφορετικές προσεγγίσεις όπου τα αέρια καύσιμα χρησιμοποιούνται είτε στις δίχρονες είτε στις τετράχρονες μηχανές

- 1.Λειτουργία των diesel κινητήρων σύμφωνα με τον Otto κύκλο (τετράχρονες μηχανές)
- 2.Ανάμειξη του μείγματος αέρα-καυσίμου εξωτερικά στον κύλινδρο και έκχυση του μείγματος αέρα-καυσίμου με σπινθιριστή με ταυτόχρονη έκχυση υγρού καυσίμου κατά την συμπίεση .
- 3.Ανάμειξη του μείγματος αέρα-καυσίμου στον κύλινδρο και έκχυση του μείγματος αέρα-καυσίμου με σπινθιριστή με έκχυση υγρού καυσίμου κατά την συμπίεση. (dual-fuel engine , αργόστροφες δίχρονες μηχανές)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Οι μηχανές διπλού καυσίμου (Dual-Fuel engines) αποτελούν τις μηχανές ‘‘κλειδιά ‘’ για ναυτικές εφαρμογές. Οι προκλήσεις που σημειώνονται είναι οι εξής:

- Αποδοτική λίπανση εξαιτίας της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων
- Διαφορετικά χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου σε διαφορετικούς σταθμούς ανεφοδιασμού



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

3. Εναλλακτικά Καύσιμα

3.1 Οι μηχανές Diesel -LNG

Οι Diesel-LNG μηχανές έχουν πολλά θετικά επειδή το LNG έχει μία καλύτερη αναλογία C:H και συνεπώς μειωμένες εκπομπές CO₂

3.2 Μεθανόλη

Η μεθανόλη ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε ναυτικούς κινητήρες ανάφλεξης με σπινθηριστή όσο και σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση σε λειτουργία διπλού καυσίμου. Υπάρχει σημαντική μείωση των εκπομπών NO_x, υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται ανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR) ή γαλάκτωμα νερού σε διπλού καυσίμου κινητήρες. Τα γαλακτώματα καυσίμου-νερού αξιοποιούν το νερό ως μηχανισμό ψύξης. Η παρουσία του νερού στο θάλαμο καύσης ενός κινητήρα είναι γνωστό ότι μειώνει τις αέριες εκπομπές, ειδικά τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM))

Η χρήση μεθανόλης σε υφιστάμενα πλοία έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος μετασκευής σε σύγκριση με το κόστος μετασκευής LNG. Συγκεκριμένα, το κόστος μετασκευής μεθανόλης κυμαίνεται από 25% έως 35% του αντίστοιχου κόστους μετασκευής LNG για κινητήρες 10-25 MW.

Οι Andersson & Salazar αναφέρουν την αναγκαία μετασκευή (και την ποσότητα των σωληνώσεων που απαιτούνται) για την εισαγωγή μεθανόλης στον κύλινδρο καύσης. Οι μετασκευές αποτελούν μέρος του Stena Germanica, το οποίο χρησιμοποιούσε τετράχρονο μεσόστροφο κινητήρα. Ένας δίχρονος κινητήρας έχει επίσης αναπτυχθεί και δοκιμαστεί για δεξαμενόπλοια νέας κατασκευής από την MAN Diesel και Turbo. Το κόστος της μετασκευής του κινητήρα ενός πλοίου από diesel καύσιμο σε διπλού καυσίμου μεθανόλης/diesel έχει εκτιμηθεί σε 250-350 €/kW για μεγάλες μηχανές (10-25 MW). Το αντίστοιχο κόστος για τη μετατροπή σε LNG είναι της τάξης των 1000 €/kW.

Πιο ελκυστική για χρήση στα πλοία είναι η πράσινη μεθανόλη ενώ η ορυκτή μεθανόλη παράγεται από φυσικό αέριο. Η διεργασία της παραγωγής ορυκτής μεθανόλης από ορυκτό



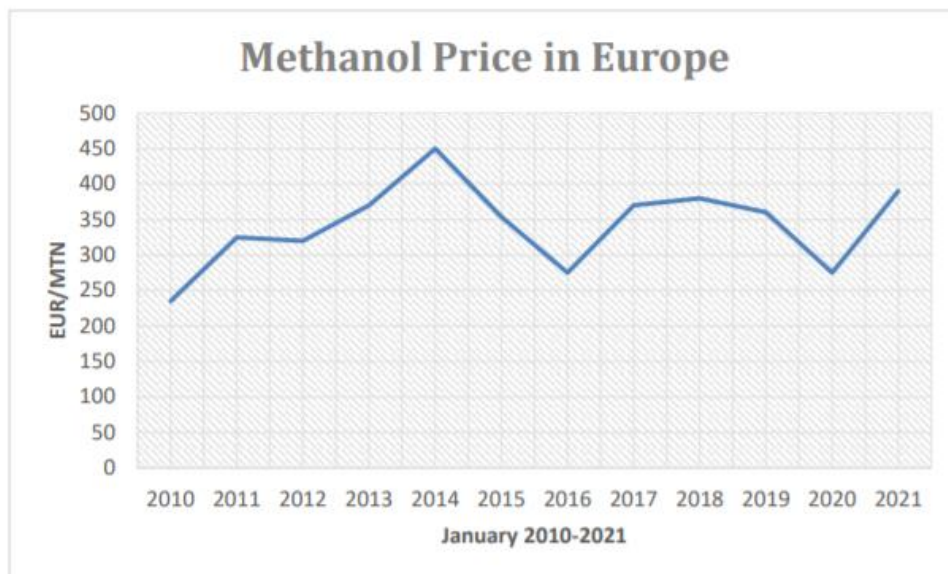
‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

φυσικό αέριο σε επίπεδο κύκλου ζωής έχει μεγαλύτερες εκπομπές CO₂ από ότι έχει η αντίστοιχη διεργασία της πράσινης μεθανόλης . Η παραγωγή της πράσινης μεθανόλης είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον σε σχέση με την διεργασία παραγωγής ορυκτής μεθανόλης .Όμως το κόστος παραγωγής πράσινης μεθανόλης είναι μεγαλύτερο από το κόστος παραγωγής της ορυκτής μεθανόλης .

Βασικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την τιμή της μεθανόλης είναι ο νόμος της προσφοράς και της ζήτησης. Όπως φαίνεται και παρακάτω η τιμή της παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με την εκάστοτε χρονική περίοδο.

Η τιμή της μεθανόλης για το πρώτο τρίμηνο του 2021 στην Ευρώπη έχει οριστεί στα 390 ευρώ ανά τόνο παρουσιάζοντας αύξηση σε σχέση με το κλείσιμο του 2020 όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. (Methanex, 2015)

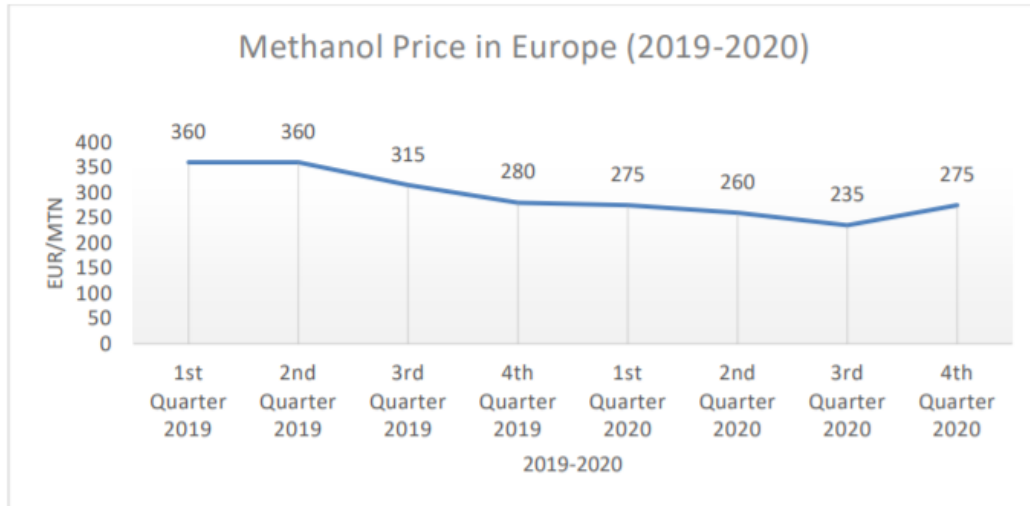


Σχήμα 1 Τιμή της μεθανόλης για τον Ιανουάριο 2020-2021(Πηγή: Methanex monthly average regional posted contract price history, Methanex 2021)



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’



Σχήμα 2 Τιμή της μεθανόλης ανά τρίμηνο για το 2019-2020(Πηγή: Methanex monthly average regional posted contract price history, Methanex, 2021)

Διακυμάνσεις παρουσιάζει επίσης και η πράσινη μεθανόλη, με την τιμή να κυμαίνεται μεταξύ 320 \$/tn με 770 \$/tn (Irena and methanol Institute, 2021). Γενικότερα η τιμή τόσο της πράσινης μεθανόλης, όσο και της συμβατικής αναμένεται να μειωθεί περαιτέρω καθώς ωριμάζει η τεχνολογία και αναμένεται να αυξηθεί η παραγωγή σε 160 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2030 και σε 500 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2050. (Irena and methanol Institute, 2021)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

4. Γενικά χαρακτηριστικά της μεθανόλης

Ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθανόλης είναι ότι υπάρχει ήδη αρκετά μεγάλης κλίμακας παραγωγική ικανότητα και υποδομή. Η μεθανόλη είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα χημικά προϊόντα σε όλο τον κόσμο , με 70.000.000 μετρικούς τόνους που παρήχθησαν το 2015 στην Ευρώπη και μια παγκόσμια παραγωγική ικανότητα περίπου 110.000.000 μετρικών τόνων . (Verhelst, 2019) (η παγκόσμια παραγωγή βενζίνης το 2012 ήταν περίπου 1.000.000.000 μετρικοί τόνοι).

Μία από τις χρήσεις της είναι η υποστήριξη της πετροχημικής βιομηχανίας: μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πολλών άλλων χημικών ουσιών μέσω της διαδικασίας μετατροπής της μεθανόλης σε ολεφίνες .Ως συνέπεια αυτού είναι ένα από τα πιο ευρέως διακινούμενα χημικά προϊόντα σε όλο τον κόσμο, και λόγω του γεγονότος ότι είναι επίσης καύσιμο, η μεταφορά του σε μεγάλες ποσότητες όγκου οδηγεί στην ανάπτυξη ναυτικών μηχανών που το χρησιμοποιούν. Οι περιφερειακές άδειες εξόρυξης άνθρακα οδήγησαν στην κατασκευή πολύ μεγάλης παραγωγικής ικανότητας μεθανόλης στην Κίνα- υπάρχει ήδη αρκετή αδρανής παραγωγική ικανότητα για να καλύψει το ήμισυ των αναγκών της Κίνας σε καύσιμα για τις οδικές μεταφορές.

Η χωρητικότητα της μεθανόλης στην Αμερική υπερδιπλασιάστηκε το 2015, με τις τιμές να πέφτουν καθώς το χαμηλού κόστους φυσικό αέριο έγινε όλο και πιο διαθέσιμο, με αποτέλεσμα η Αμερική να εκτοπίσει την Κίνα από τον χαμηλότερου κόστους παγκόσμιο παραγωγό μεθανόλης .Πιο συγκεκριμένα , ένα μεγάλο διυλιστήριο πετρελαίου συνήθως επεξεργάζεται περίπου 500.000 βαρέλια αργού πετρελαίου την ημέρα. Μια μεγάλη μονάδα παραγωγής μεθανόλης παράγει σήμερα περίπου 20.000 βαρέλια μεθανόλης την ημέρα.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακας 1 Τιμές μεθανόλης στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική, την Ασία και τον Ειρηνικό στις 28 Οκτωβρίου 2015. Ο πίνακας αναπαράχθηκε από στοιχεία που ελήφθησαν από (Methanex,2015,Moirangthem,2016)

	Price	Date Last Changed
Europe (Valid October 1 – December 31, 2015)		
Methanex European Posted Contract Price (Posted September 17, 2015)	295€/MT	Oct. 1/15 (-70MT)
North America (Valid November 1 – 30, 2015)		
U.S. Gulf Coast	USD 1.05/Gal	Nov. 1/15 (-.05 Gal)
Methanex Non-Discounted Reference Price	312.8€/MT	
Asian Pacific (Valid November 1 – 30, 2015)		
Asian Posted Contract Price	273.4€/MT	Oct. 1/15 (-10/MT)

Όπως αναφέρθηκε, η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από ορυκτά καύσιμα (δηλαδή φυσικό αέριο) και για το λόγο αυτό ονομάζεται «ορυκτή μεθανόλη» ή μπορεί να παραχθεί από βιομάζα ή απόβλητα ή CO₂ και σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται «βιομεθανόλη». (Elias A. Yfantis et all, 2019)

Η τρέχουσα υποδομή ανεφοδιασμού χρειάζεται μόνο μικρές τροποποιήσεις για τη διαχείριση της μεθανόλης. Η μεθανόλη είναι υγρή σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ το φυσικό αέριο είναι αέριο και απαιτεί περίπλοκες και δαπανηρές εγκαταστάσεις υγροποίησης επί του σκάφους.

4.1 Κόστος Επένδυσης

Το κόστος επένδυσης σε υποδομή MeOH είναι χαμηλό σε σχέση με ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις όπως το LNG.

4.2 Κόστος Εγκατάστασης

Το κόστος εγκατάστασης μιας μικρής μονάδας ανεφοδιασμού μεθανόλης υπολογίζεται σε περίπου 400.000 € και ένα πλοίο ανεφοδιασμού μπορεί να μετατραπεί με κόστος 1,5 εκατ. €.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Αντίθετα, το κόστος ενός τερματικού LNG είναι περίπου 50.εκατ.€ και ένα δεξαμενόπλοιο LNG στοιχίζει περίπου 30.εκατ. € .

Οι τιμές της μεθανόλης παρουσιάζουν σχετικές διακυμάνσεις και υποδεικνύουν ενδεχόμενη μείωση σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ως καύσιμο, η μεθανόλη το 2010 ήταν ανταγωνιστική (λιγότερο ακριβή) ως προς το κόστος , αλλά σήμερα βρίσκεται σε μειονεκτική θέση σε σύγκριση με το χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO). Σημειώθηκε πτώση της τιμής του MGO ,σαν αποτέλεσμα της μείωσης της τιμής του πετρελαίου παγκοσμίως .

Η εξέλιξη της δυνατότητας παραγωγής μεθανόλης σε βασικές αγορές όπως οι ΗΠΑ θα αυξήσει την πίεση στο κόστος καθιστώντας τη μεθανόλη ακόμη πιο ανταγωνιστική (λιγότερο ακριβή) από πλευράς κόστους .

Όταν η τιμή του πετρελαίου θα αυξηθεί, είναι αναμφισβήτητο ότι τα παράγωγα του όπως τοMGO θα αυξηθούν. Με δεδομένο αυτό το γεγονός, είναι λογικό να αντισταθμίσουμε την τιμή των καυσίμων και τους κινδύνους που συνεπάγεται η αστάθεια των τιμών τους και να χρησιμοποιήσουμε σε ορισμένα πλοία και εναλλακτικά καύσιμα όπως η μεθανόλη. Η λύση κινητήρα διπλού καυσίμου επιτρέπει τη χρήση MGO καθώς και μεθανόλης, δίνοντας τη δυνατότητα στο πλοίο για εναλλαγή μεταξύ καυσίμων για να λειτουργήσει οικονομικά παραμένοντας σε συμμόρφωση.

4.3 Κόστος Μετατροπής

Το κόστος μετατροπής της μεθανόλης θα μειωθεί σημαντικά σαν διαδικασία



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

5. Το πλοίο Stena Germanica



Εικόνα 2 Το Stena Germanica είναι το πρώτο πλοίο στον κόσμο με καύσιμο μεθανόλη. Το έργο διαμορφώθηκε χάρη στην άριστη συνεργασία μεταξύ Methanex και Wartsila (Πηγή: <https://www.ship-technology.com/projects/stena-germanica-ropax->)

Το ειδικό κόστος μετατροπής του Ro-Pax Ferry Stena Germanica 24 MW ήταν ίσο με 13.000.000 ευρώ ενώ το συνολικό κόστος του έργου ήταν 22.000.000 ευρώ συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής αποθήκευσης μεθανόλης καθώς και η προσαρμογή δεξαμενοφορηγίδας. Αναμένεται ότι το κόστος του δεύτερου έργου μετασκευής θα είναι χαμηλότερο περίπου 30%-40% του κόστους μετατροπής του Stena Germanica λόγω τεχνοοικονομικής εμπειρίας .

Η μεθανόλη είναι φορέας υδρογόνου και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου υψηλής απόδοσης. Επίσης, η ευρεία εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών καύσης, όπως το Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) αναμένεται να βελτιώσει



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

περαιτέρω τη λειτουργική και περιβαλλοντική απόδοση των ναυτιλιακών κινητήρων μεθανόλης .

Η μεθανόλη αποστέλλεται παγκοσμίως, χειρίζεται και χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές για περισσότερα από 100 χρόνια. Από την άποψη της υγείας και της ασφάλειας, η χημική βιομηχανία και η ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν αναπτύξει διαδικασίες για τον ασφαλή χειρισμό της μεθανόλης .

Η μεθανόλη διαλύεται εύκολα στο νερό και βιοδιασπάται γρήγορα καθώς οι περισσότεροι μικροοργανισμοί μπορούν να οξειδώσουν τη μεθανόλη. Συνεπώς, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μεγάλης διαρροής μεθανόλης θα ήταν πολύ χαμηλότερες από ό,τι από μια ισοδύναμη πετρελαιοκηλίδα . (Andersson K and Salazar C.M., 2015)



Εικόνα 3 Η Stena Line πετυχαίνει άλλη μια παγκόσμια πρωτιά χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένη μεθανόλη για την τροφοδοσία του πλοίου Stena Germanica (Πηγή: <https://www.ship-technology.com/projects/stena-germanica-ropax-ferry>)

Το Stena Germanica (προηγουμένως Stena Hollandica) κατασκευάστηκε από την εταιρεία Astilleros Españoles. Η Stena Hollandica ξεκίνησε να εκμεταλλεύεται το πλοίο στη γραμμή



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Holland-Harwich το 2001. Το σκάφος μετατράπηκε το 2007 καθώς και το 2010 και μετονομάστηκε την ίδια χρονιά προτού μεταφερθεί για δρομολόγηση στην γραμμή Γκέτεμποργκ - Κίελο τον Αύγουστο την ίδια χρονιά. Το συνολικό κόστος του έργου ήταν 22,5 εκατομμύρια USD. Η μετατροπή του πλοίου το 2010 πραγματοποιήθηκε από την Cargotec ως κύριο ανάδοχο. Οι ηλεκτρολογικές εργασίες και οι αναβαθμίσεις HVAC στο σκάφος πραγματοποιήθηκαν από την Wilhelmsen Marine Engineering στα τέλη του 2010. Ολόκληρη η εσωτερική διακόσμηση του σκάφους κατά τη μετατροπή του το 2007 και το 2010 έγινε από τη Figura. Το πλοίο προμηθεύτηκε επίσης από την ABB ένα σύστημα ηλεκτρικής τροφοδότησης του , επιτρέποντας του να μην λειτουργεί τους κινητήρες ντίζελ κατά την διάρκεια της παραμονής του στο λιμάνι του Γκέτεμποργκ (www.ship-technology.com/projects/stena-germanica-ropax-ferry)



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

6. Σύγκριση κόστους οικονομίας μεθανόλης έναντι οικονομίας υδρογόνου

6.1 Κόστος καυσίμου:

Η μεθανόλη είναι φθηνότερη από το υδρογόνο. Για μεγάλες ποσότητες (δεξαμενή) η τιμή για την ορυκτή μεθανόλη είναι περίπου 0,3 έως 0,6 USD/L. Ένα λίτρο μεθανόλης έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με 0,13 kg υδρογόνου. Η τιμή για 0,13 kg ορυκτού υδρογόνου είναι σήμερα περίπου 1,2 έως 1,3 USD για μεγάλες ποσότητες (περίπου 9,5 USD/kg στους σταθμούς ανεφοδιασμού υδρογόνου). Για μεσαίας κλίμακας ποσότητες (παράδοση σε δοχείο IBC με 1000 L μεθανόλης) η τιμή για την ορυκτή μεθανόλη είναι συνήθως περίπου 0,5 έως 0,7 USD/L, για τη βιομεθανόλη περίπου 0,7 έως 2,0 USD/L και για την e-μεθανόλη από CO₂ περίπου 0,8 έως 2,0 USD/L συν την προκαταβολή για το δοχείο IBC. Για μεσαίας κλίμακας ποσότητες υδρογόνου (δέσμη φιαλών αερίου) η τιμή για 0,13 kg ορυκτού υδρογόνου είναι συνήθως περίπου 5 έως 12 USD συν το ενοίκιο για τις φιάλες. Η σημαντικά υψηλότερη τιμή για το υδρογόνο σε σύγκριση με τη μεθανόλη οφείλεται μεταξύ άλλων στην πολύπλοκη υλικοτεχνική υποστήριξη και αποθήκευση του υδρογόνου. Ενώ η βιομεθανόλη και η ανανεώσιμη e-μεθανόλη είναι διαθέσιμες στους διανομείς, το πράσινο υδρογόνο συνήθως δεν είναι ακόμη διαθέσιμο στους διανομείς. Οι τιμές του ανανεώσιμου υδρογόνου καθώς και της ανανεώσιμης μεθανόλης αναμένεται να μειωθούν στο μέλλον.

6.2 Υποδομή:

Για το μέλλον αναμένεται ότι για τα επιβατικά αυτοκίνητα ένα μεγάλο ποσοστό των οχημάτων θα είναι πλήρως ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία. Για τα οχήματα κοινής ωφέλειας και τα φορτηγά το ποσοστό των οχημάτων με πλήρη ηλεκτρική μπαταρία αναμένεται να είναι σημαντικά χαμηλότερο από ό,τι για τα επιβατικά αυτοκίνητα. Τα υπόλοιπα οχήματα αναμένεται να βασίζονται σε καύσιμα. Ενώ η υποδομή μεθανόλης για 10.000 σταθμούς ανεφοδιασμού θα κόστιζε περίπου 0,5 έως 2,0 δισεκατομμύρια δολάρια USD , το κόστος για μια υποδομή υδρογόνου για 10.000 σταθμούς ανεφοδιασμού θα ήταν περίπου 16 έως 1400



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

δισεκατομμύρια δολάρια με ισχυρή εξάρτηση από την απόδοση υδρογόνου του σταθμού ανεφοδιασμού υδρογόνου.

6.3 Μετατροπή ενέργειας:

Ενώ για τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται με μεθανόλη δεν υπάρχει σημαντικό πρόσθετο κόστος σε σύγκριση με τα οχήματα που τροφοδοτούνται με βενζίνη, το πρόσθετο κόστος για ένα επιβατικό αυτοκίνητο με κυψέλη καυσίμου μεθανόλης θα ήταν περίπου 600 έως 2400 USD σε σύγκριση με ένα επιβατικό αυτοκίνητο με κυψέλη καυσίμου υδρογόνου .(https://wikipedia.net/el/Methanol_economy)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

7. Το καύσιμο της μεθανόλης από την οικονομική πλευρά.

Υπάρχουν τρεις βασικά θέματα προς εξέταση του κόστους της μεθανόλης προς χρήση της ναυτιλίας :

1. επενδύσεις κεφαλαίων στα πλοία
2. η μετατροπή του κινητήρα
3. η νέα κατασκευή, η αποθήκευση και οι επενδύσεις ανεφοδιασμού καθώς και το κόστος του καυσίμου

Για να αποκτήσουμε μια ακριβή εικόνα του κόστους και των οφελών της μεθανόλης προς χρήση της ναυτιλίας , απαιτείται αξιολόγηση εκάστου πλοίου και του επιχειρησιακού του προφίλ.

Αυτό περιλαμβάνει τους εξής παράγοντες:

- χωρητικότητα φορτίου ή επιβατών,
- ποσοστό χρόνου στη θάλασσα,
- ποσοστό χρόνου σε ρυθμιζόμενες εκπομπές
- τομείς όπως τα ECA
- ευκολία μετασκευής
- διαθέσιμος χώρος για εγκατάσταση νέων δεξαμενών καυσίμων
- εξοπλισμός μείωσης των εκπομπών

7.1 Επένδυση σκάφους και μηχανής

Το κόστος μετατροπής ενός πλοίου από καύσιμο diesel σε διπλό καύσιμο μεθανόλης/diesel έχει εκτιμηθεί σε 250-350 €/kW για μεγάλες μηχανές (10-25 MW). Αυτό μπορεί να συγκριθεί με τη μετατροπή σε καύσιμο LNG, η οποία είναι της τάξης των 1.000 €/kW.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Το πραγματικό κόστος για την εγκατάσταση δεξαμενών καυσίμου και για την προμήθεια εξαρτάται από τη διάταξη του κάθε πλοίου. Στο οχηματαγωγό ferry ro-rah παράδειγμα, ήταν δυνατή η εγκατάσταση των δεξαμενών μεθανόλης στις δεξαμενές έρματος, χωρίς να καταλαμβάνεται χώρος από το φορτίο. Για την εγκατάσταση δεξαμενών υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) είναι συχνά απαραίτητο να μειωθεί η χωρητικότητα του φορτίου.

Όπως σε κάθε έργο μετασκευής, επένδυση στο πρώτο έργο μιας μετασκευής είναι σημαντικά υψηλότερη από τις ακόλουθες μετασκευές σε άλλα πλοία. Για παράδειγμα εκτιμάται ότι το κόστος ενός δεύτερου έργου μετασκευής μπορεί να είναι περίπου 30% έως 40% χαμηλότερο από το πρώτο (Stefenson, 2015)

Μέχρι στιγμής, τα πλοία μεθανόλης κινούνται από μετατρεπόμενους ναυτικούς κινητήρες diesel. Οι ήδη μετατρεπέντες κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν με τα ίδια ή και υψηλότερα επίπεδα απόδοσης στη μεθανόλη παρά σε HFO (Heavy Fuel Oil), (ωστόσο δεν είναι βελτιστοποιημένα για την πρόωση μεθανόλης).

Το κόστος κατασκευής ενός νέου πλοίου με κινητήρα που κάνει χρήση σαν καύσιμο μεθανόλη θα είναι αρκετά παρόμοιο με εκείνο ενός παραδοσιακού πλοίου που χρησιμοποιεί HFO. Για παράδειγμα, υπάρχουν εγκαταστάσεις θέρμανσης καυσίμων και διαχωριστών πετρελαίου που δεν απαιτούνται όταν χρησιμοποιείται μεθανόλη, η οποία είναι ένα καθαρό καύσιμο που αντλείται εύκολα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Ramne, 2015).

Ο χρόνος εκτός λειτουργίας κατά τη μετατροπή του καυσίμου μπορεί να έχει σημασία. Σε γενικές γραμμές, ο χρόνος για μετατροπή σε LNG αναμένεται να είναι μεγαλύτερος από ό,τι για τη μεθανόλη. Ο χρόνος για τη μετατροπή μιας μηχανής του πλοίου Stena Germanica σε καύσιμο μεθανόλη, ήταν δύο εβδομάδες. Μετά την εγκατάσταση των δεξαμενών καυσίμου και του συστήματος διανομής καυσίμου, μπορούν να μετατραπούν επιπροσθέτως οι κινητήρες του σκάφους μετά την επανεκκίνηση του. (Stefenson, 2015) (Chryssakis, 2015)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

7.2 Κατασκευή ενός δεξαμενόπλοιου με ισχύ μηχανών 10 MW

Για την κατασκευή ενός πλοίου που χρησιμοποιεί 2 μηχανές 10 MW (MAN) αυτά είναι τα εκτιμώμενα κόστη :

- ■ Engine costs: € 825,000
- ■ Work on engine: € 300,000
- ■ Fuel supply system: € 600,000
- ■ Fuel tanks: € 500,000
- ■ Piping etc: € 500,000.

Αυτό αντιστοιχεί σε συνολικό ποσό των € 272,5 /kW

7.3 Μικρότερα πλοία

Υπάρχει πολύ μικρή εμπειρία σχετικά με τη μετατροπή σε μικρότερα σκάφη, όπως σκάφη ακτοφυλακής ή πιλοτικά σκάφη. Ωστόσο, η Σουηδική Ναυτιλιακή Διοίκηση σχεδιάζει να δοκιμάσει και να αναπτύξει την τεχνολογία σε πιλοτικό σκάφος.

Πρόκειται για ένα έργο επίδειξης που θα βασίζεται σε υπάρχοντες κινητήρες αλλά περιλαμβάνει μετατροπή ενός τύπου κινητήρα που δεν έχει μετατραπεί πριν.

7.4 Υποδομή

Το κόστος υποδομής καυσίμων αποτελείται από εγκαταστάσεις για διανομή και αποθήκευση σε μεγάλα τερματικά, μεταφορά σε μικρότερους τερματικούς σταθμούς και εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καυσίμων στα λιμάνια. Η υποδομή εφοδιασμού μεθανόλης υπάρχει ήδη, καθώς η μεθανόλη είναι διαθέσιμη σε πολλά λιμάνια σε όλο τον κόσμο. Το στοιχείο που λείπει είναι το τελευταίο βήμα ανεφοδιασμού από



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

βυτιοφόρο ή πλοίο εφοδιασμού . Αυτό σημαίνει ότι ένας πλοιοκτήτης μπορεί να ξεκινήσει τον ανεφοδιασμό ενός πλοίου μεθανόλης σε μια μικρή εγκατάσταση που μπορεί να κατασκευαστεί με μέτριο κόστος. Ανεφοδιασμός από φορηγίδα ή φορηγό εκτελείται για καύσιμο diesel σήμερα και μεγάλο μέρος της ίδιας τεχνολογίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεθανόλη, χρησιμοποιώντας εγκαταστάσεις και ρουτίνες ασφαλείας που χρησιμοποιούνται ήδη στη χημική βιομηχανία. Το κόστος εγκατάστασης μιας μικρής μονάδας ανεφοδιασμού μεθανόλης εκτιμάται σε περίπου 400.000 € (Stefenson, 2015). Μία υπάρχουσα φορηγίδα μπορεί να μετατραπεί σε πλοίο εφοδιασμού για μεθανόλη με κόστος περίπου 1.500.000 €. Για δεξαμενή μεθανόλης 20.000 m³ και τις εγκαταστάσεις για φόρτωση της δεξαμενής από δεξαμενόπλοιο και εκφόρτωσή της για ένα πλοίο αποθήκης, το κόστος είναι περίπου 5.000.000 ευρώ. (Stefenson, 2015). Τα τερματικά LNG μπορούν επίσης να βρεθούν σε πολλά μέρη του κόσμου, αν και υπάρχουν μεγάλες περιοχές, όπως τις ευρωπαϊκές SECA, όπου υπάρχουν λίγα τερματικά.

Η κατασκευή τερματικών σταθμών LNG είναι αργή, αν και η Ευρωπαϊκή Ένωση σχεδιάζει ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια. Σε σύγκριση με την μεθανόλη, το αρχικό κόστος υποδομής των τερματικών LNG είναι γενικά υψηλότερο.

Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή των τερματικών σταθμών LNG , τα τερματικά θα εξυπηρετήσουν μεγάλο αριθμό χρηστών στη βιομηχανία , τις υποδομές, καθώς και στη ναυτιλία.

Επενδύσεις σε τερματικό σταθμό υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) , όπως αυτός που κατασκευάστηκε στο Nynäshamn της Σουηδίας, ανέρχεται σε περίπου 50 εκατ. ευρώ.

Όταν θα κατασκευαστούν τα τερματικά αυτά θα εξυπηρετούν μια ποικιλία πελατών, με τη ναυτιλία να είναι ένας των μικρότερων χρηστών. Οι επενδύσεις σε τερματικούς σταθμούς LNG δεν καθορίζεται αποκλειστικά από την ανάγκη για καύσιμα μεταφοράς αλλά είναι μια διαδικασία μεγάλης κλίμακας που καθοδηγείται από την περιφερειακή ενεργειακή πολιτική.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Όταν υπάρχουν διαθέσιμα τερματικά για καύσιμα στο λιμάνι, εκεί υπάρχουν μερικές διαφορές στο κόστος υποδομής:

- Η μεθανόλη μπορεί εύκολα να μεταφερθεί με φορτηγά σε ένα πλοίο ή σε μερικά πλοία. Όταν ο αριθμός των χρηστών μεγαλώσει, μια δεξαμενοφορηγίδα μπορεί να μετατραπεί με σχετικά χαμηλό κόστος 1,5 εκατ. €
- Το LNG μπορεί επίσης να μεταφερθεί με φορτηγά σε μικρή κλίμακα. Η επένδυση σε δεξαμενοφορηγίδα είναι πολύ μεγαλύτερη, περίπου στα 30 εκατ. ευρώ (Stefenson, 2015)

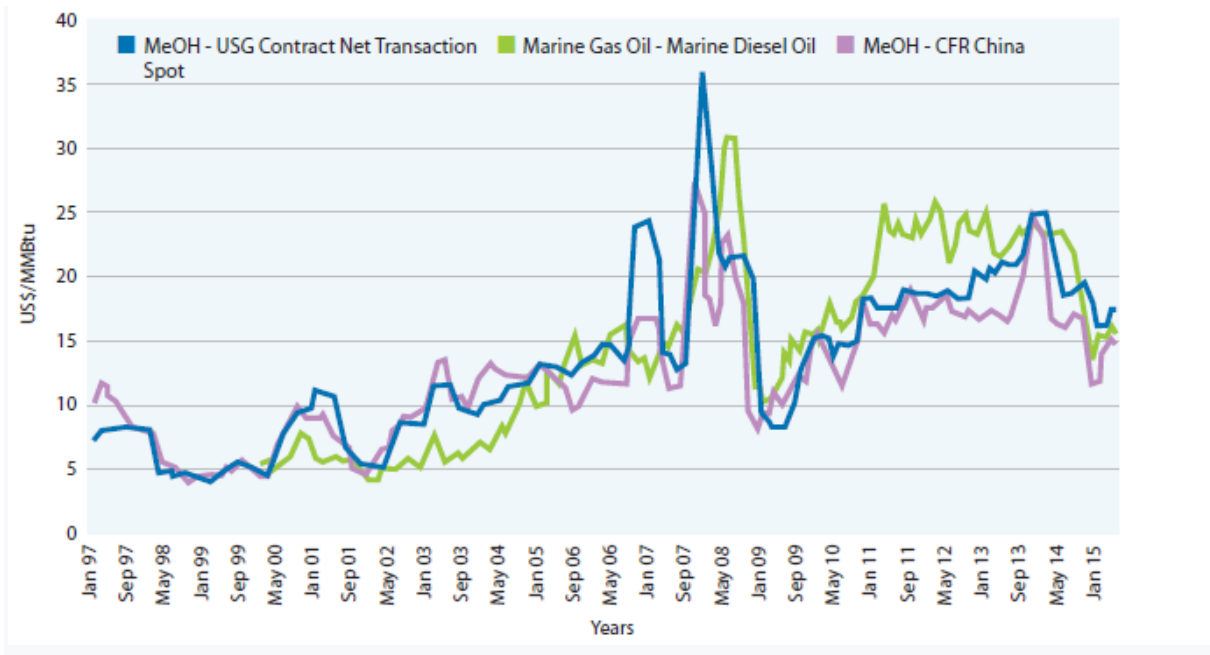
7.5 Κόστος καυσίμων

Το κόστος των καυσίμων είναι το πιο σημαντικό στοιχείο του λειτουργικού κόστους(OPEX). Το εκτιμώμενο κόστος συντήρησης είναι το ίδιο ή ακόμη χαμηλότερο για τη μεθανόλη από ό,τι για τα παραδοσιακά καύσιμα. (Haraldsson, 2015). Το κόστος καυσίμων αποτελεί το 50% ή περισσότερο του λειτουργικού κόστους ενός πλοίου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 για το μεγαλύτερο μέρος της τελευταίας πενταετίας το ναυτιλιακό diesel ήταν περισσότερο ακριβό από τη μεθανόλη. Σε συνθήκες σχετικά χαμηλών τιμών πετρελαίου, οι τιμές του ναυτιλιακού πετρελαίου diesel έχουν πέσει γρήγορα, καταργώντας το πλεονέκτημα τιμής της μεθανόλης. Η εξαίρεση σε αυτή την τάση είναι η Κίνα, όπου η μεθανόλη παραμένει το πιο ανταγωνιστικό από πλευράς κόστους καύσιμο από τα δύο (Mmsa, 2015)



“Αντωνιάδης Απόστολος”

“Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία”



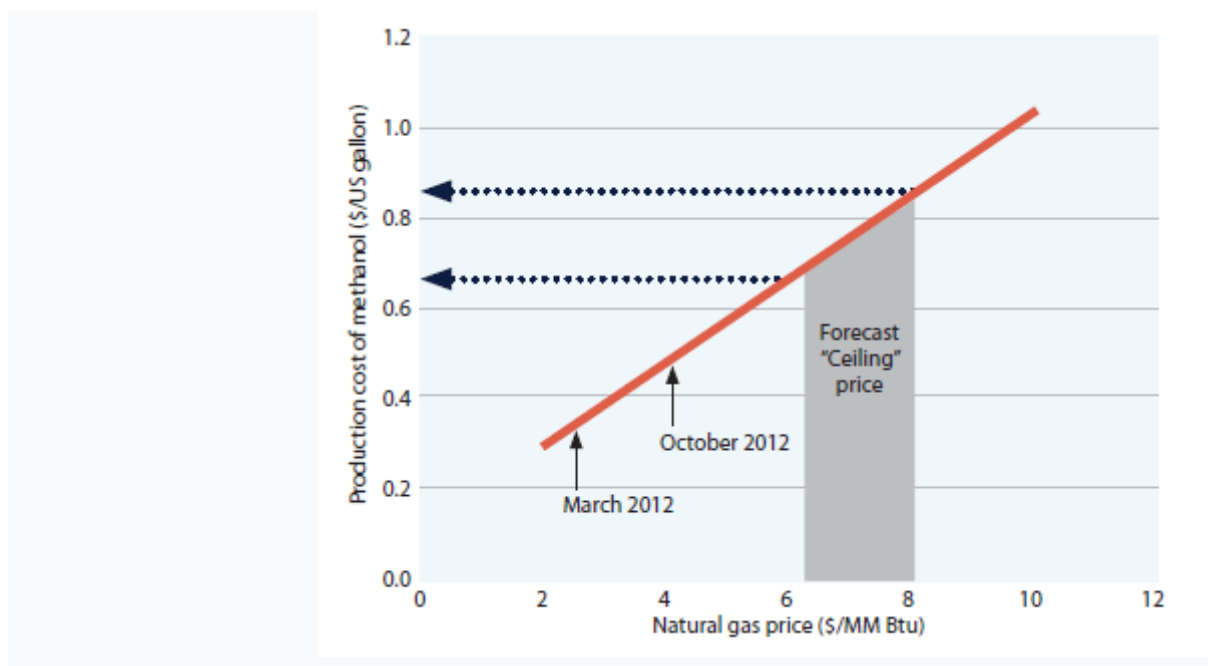
Σχήμα 3 Τιμές ΜΕΟΗ και ΜΓΟ(\$/ΜΜΒΤU)(Πηγή: ΜΜSΑ, 2015)

Ο Rao (2015) αξιολόγησε το κόστος παραγωγής της μεθανόλης ως συνάρτηση των τιμών του φυσικού αερίου (βλ. Σχήμα 4). Ο Rao αρχικά υπολόγισε το κόστος σε βάση γαλόνιου. Σε αυτήν την έκθεση τα γαλόνια έχουν μετατραπεί στο ενεργειακό τους ισοδύναμο και εκφράζεται σε ΜΜΒtu. Για παράδειγμα, σε τιμή φυσικού αερίου 3 \$/ΜΜΒtu, το κόστος παραγωγής της μεθανόλης είναι περίπου \$5/ΜΜΒtu. (Rao, 2015)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’



Σχήμα 4 Κόστος της ΜΕΟΗ σε σύγκριση με το φυσικό αέριο (Πηγή: RTI International)

Η προσθήκη ενός περιθωρίου κέρδους οδηγεί σε ένα τελικό κόστος περίπου \$6/MMBtu, αυτό μπορεί να συγκριθεί με τις τιμές που παρέχονται στο Σχήμα 4.

Αν ληφθούν υπόψη τα κόστη διανομής κατά μήκος της αλυσίδας της αξίας του καυσίμου, τότε το συνολικό κόστος της μεθανόλης θα είναι ίσο ή χαμηλότερο από αυτό του LNG επειδή τα κόστη διανομής της μεθανόλης είναι χαμηλότερα (Fagerlund, 2013).

Μια μετατροπή ενός μεγάλου πλοίου σε μεθανόλη, που χρησιμοποιεί καύσιμο diesel με κατανάλωση μικρότερη της 10.000 m³ /έτος, θα επιτύχει απόσβεση σε 3-5 χρόνια με τιμές μεθανόλης \$ (ή €) 100-200 χαμηλότερες ανά τόνο ισοδύναμου καυσίμου MGO.

7.6 Συμπεράσματα

- Η μεθανόλη είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση από την άποψη του απαιτούμενου κόστους υποδομής, και αποθήκευσης της ως καύσιμο και ως προς τον ανεφοδιασμό με αυτήν.
- Τα κόστη για την μετατροπή χρήσης της μεθανόλης είναι ανταγωνιστικά.



“Αντωνιάδης Απόστολος”

“Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία”

- Το κόστος μεθανόλης ως καύσιμο για χρήση στην ναυτιλία είναι χαμηλότερο από το ισοδύναμο κόστος για χρήση του LNG στη ναυτιλία. Επίσης είναι καύσιμο συμβατό με τους κανονισμούς μείωσης SOx και NOx.
- Η μεθανόλη είναι επίσης ανταγωνιστική σε σύγκριση με τα μέτρα μείωσης εκπομπών, όπως τα scrubbers και τους καταλύτες, καθώς τα τελευταία προσθέτουν και στο λειτουργικό κόστος.

Ως καύσιμο, η μεθανόλη το 2010 ήταν ανταγωνιστική ως προς το κόστος αλλά σήμερα βρίσκεται σε μειονεκτική θέση σε σύγκριση με το χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO). Σημειώθηκε πτώση της τιμής του MGO σαν αποτέλεσμα της μείωσης του πετρελαίου παγκοσμίως. Την εποχή εκείνη οι τιμές του πετρελαίου ήταν στο χαμηλότερο επίπεδο από την κρίση του 2008. Όταν η τιμή του πετρελαίου θα αυξηθεί, είναι αναμφισβήτητο ότι τα παράγωγα του όπως το MGO θα αυξηθούν. Με δεδομένο αυτό το γεγονός, είναι λογικό να αντισταθμίσουμε την τιμή των καυσίμων και τους κινδύνους που συνεπάγεται η αστάθεια των τιμών τους και να χρησιμοποιήσουμε σε ορισμένα πλοία εναλλακτικά καύσιμα όπως η μεθανόλη. Η λύση κινητήρα διπλού καυσίμου θα επιτρέψει τη χρήση MGO καθώς και μεθανόλης, δίνοντας τη δυνατότητα στο πλοίο για εναλλαγή μεταξύ καυσίμων για να λειτουργήσει οικονομικά παραμένοντας σε συμμόρφωση. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα η προσφορά μεθανόλης αυξάνεται σε βασικές αγορές, όπως οι ΗΠΑ. Υπάρχουν ήδη στοιχεία ότι οι τιμές της μεθανόλης πέφτουν: μεταξύ Ιουλίου και Αυγούστου 2015. Οι τιμές της μεθανόλης μειώθηκαν κατά 11,4% στις ΗΠΑ και 12,5% στην Κίνα (Platts, 2015). Σύμφωνα με στοιχεία από την Methanex στη Βόρεια Αμερική, οι τιμές της μεθανόλης έχουν μειωθεί κατά 30% τους 12 μήνες που προηγήθηκαν (Νοέμβριος 2015) (Methanex, 2015)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

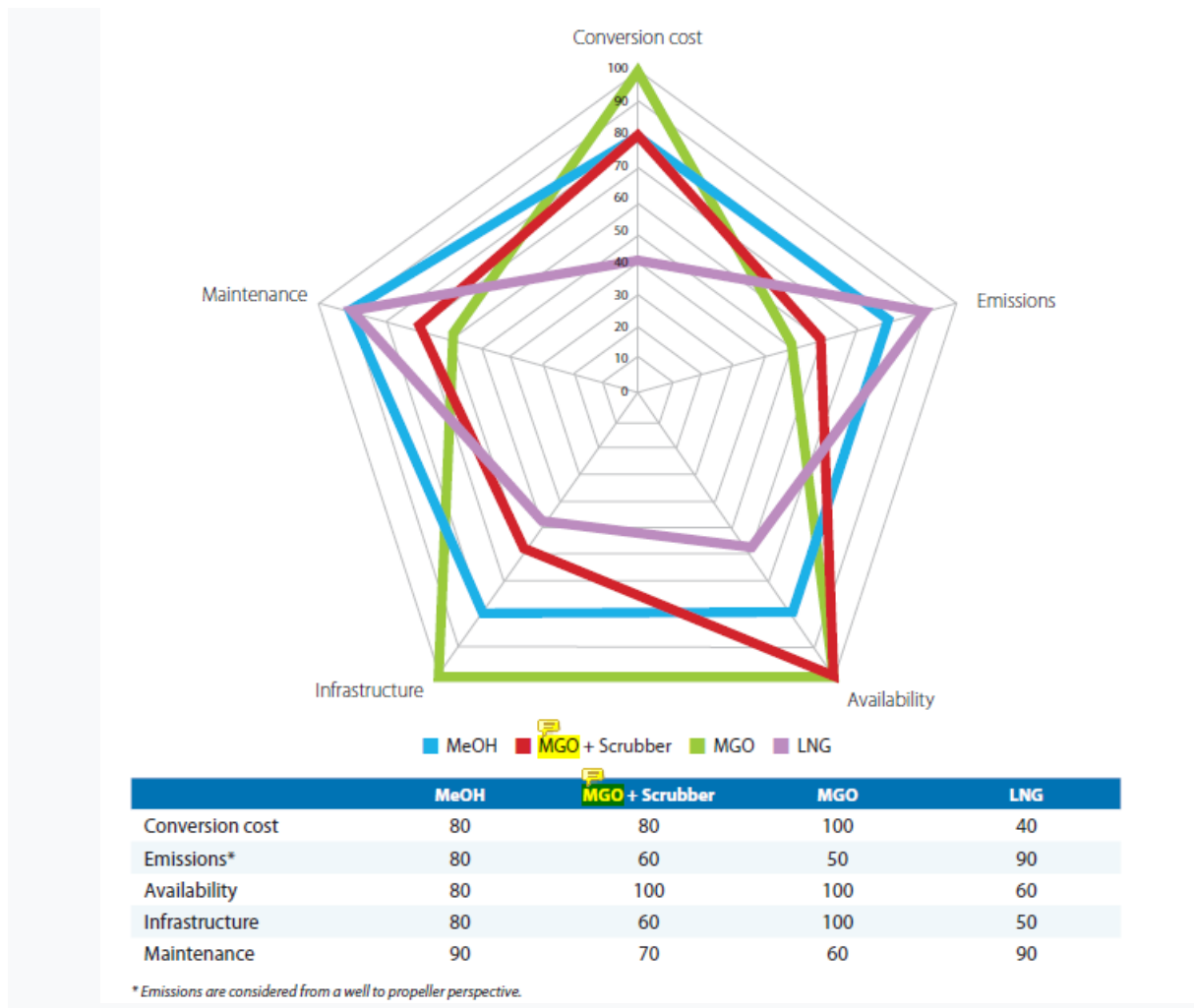
Πίνακας 2 Εκτίμηση της παγκόσμιας προσφοράς της ΜΕΟΗ (Πηγή: IHS, 2015)

REGION	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
North America	1,353	1,160	1,885	2,330	3,110	4,250	6,158	9,108	14,268
South America	11,113	11,603	11,113	11,163	10,915	10,915	10,915	11,636	11,636
West Europe	3,075	2,975	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075
Central Europe	400	805	400	400	400	400	400	400	400
CIS & Baltic States	4,180	4,070	4,160	4,160	4,370	4,820	4,870	5,050	7,230
Middle East	16,114	15,464	16,114	16,114	16,114	16,194	16,194	16,194	16,194
Africa	3,005	2,060	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320
Indian Subcontinent	502	502	502	597	667	667	832	832	832
Northeast Asia	37,875	33,389	43,169	50,489	57,034	61,234	66,209	66,759	66,759
Southeast Asia	5,180	4,930	5,505	6,047	6,530	6,530	6,530	6,530	6,530
WORLD	82,797	76,958	89,243	97,695	105,535	111,405	118,503	122,904	130,244



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’



Σχήμα 5 Ιδιότητες διαφόρων καυσίμων (Πηγή: methanol_institute_report_2015)

Συνεπώς η ανταγωνιστική τιμή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή καυσίμου, ωστόσο υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να επιλεγθεί ένα καύσιμο που είναι βιώσιμο μακροπρόθεσμα. Στο παραπάνω σχήμα συνοψίζονται ορισμένες από τις ιδιότητες για το MGO, HFO με scrubber, μεθανόλη και LNG. (Andersson, 2015)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

8. Προβλήματα και προτεινόμενες λύσεις της χρήσης της μεθανόλης

8.1 Η πολιτική πλευρά του θέματος

Υπάρχει γενική έλλειψη ευαισθητοποίησης μεταξύ των υπευθύνων χάραξης πολιτικής σχετικά με τις δυνατότητες της μεθανόλης ως καυσίμου που δύναται να χρησιμοποιηθεί στην ναυτιλία σαν ναυτιλιακό καύσιμο.

8.1.1 Προβλήματα

- Η τρέχουσα πολιτική δεν θεωρεί τη μεθανόλη ως πιθανό ναυτιλιακό καύσιμο.
- Η έρευνα για εναλλακτικά καύσιμα για τη ναυτιλία τείνουν να επικεντρώνονται στο LNG.
- Δεν υπάρχουν κανονισμοί και δεν έχουν προσαρμοστεί πλήρως στις ιδιότητες της μεθανόλης.

8.1.2 Προτεινόμενες λύσεις

- Η μεθανόλη είναι ένα καύσιμο που πληροί τα κριτήρια των εκπομπών θείου SECA . (Οι νέοι κανονισμοί που εφαρμόζονται στις περιοχές ελέγχου εκπομπών θείου (SECA) απαιτούν συστηματική μείωση των εκπομπών θείου από 1,5 % σε 1,0 %.) (https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-720105601_EL.html?redirect). Κατά την καύση τους, η μεθανόλη και η αιθανόλη παράγουν χαμηλή ποσότητα μικροσωματιδίων πολύ χαμηλότερη ποσότητα νιτρικών οξειδίων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα και δεν εκπέμπουν θείο. (Βώσσου, Ιανουάριος 2019)
- Διεθνείς κανονισμοί για το ανεφοδιασμό και τον ασφαλή χειρισμό θα πρέπει να περιλαμβάνουν την μεθανόλη ως ένα καύσιμο χαμηλού σημείου ανάφλεξης.
- Οι εθνικοί ρυθμιστικοί φορείς θα μπορούσαν να προβούν σε δοκιμές και έργα επίδειξης σχετικά με τη χρήση μεθανόλης σε μικρότερα πλοία ή σε εσωτερικούς πλόες . Στους εσωτερικούς πλόες , η μεθανόλη είναι μια εναλλακτική λύση στο diesel καύσιμο, όπως ως Euro V ή Euro VI diesel , και παράγει χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων και NOx.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

8.2 Η τεχνική πλευρά του θέματος

- Από τεχνική άποψη, η μεθανόλη έχει δείξει σταθερή απόδοση τόσο σε εργαστηριακές όσο και σε δοκιμές πεδίου. Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη θαλάσσιων κινητήρων με καύση μεθανόλης και βελτιστοποιημένων σε επίπεδο βιομηχανικής παραγωγής και εξοπλισμού θα έδιδε μια ώθηση στην βιομηχανία.

8.2.1 Προβλήματα

- Η εμπειρία μας σε μεγάλης κλίμακας αποδοχή της μεθανόλης περιορίζεται δυστυχώς μόνο στη μετατροπή του Stena Germanica (ro-pax ferry, 24 MW).
- Ορισμένες ναυτιλιακές εταιρείες έχουν εκφράσει ανησυχίες για την ασφάλεια σχετικά με το επίπεδο τοξικότητας της μεθανόλης.

8.2.2 Προτεινόμενες λύσεις

- Περισσότερα έργα επίδειξης πλήρους κλίμακας, όπως π.χ η μετατροπή του Stena Germanica, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της τεχνολογίας και τη μείωση του κινδύνου τεχνολογίας στα μάτια των επενδυτών.
- Πιο αποδοτικοί κινητήρες και άλλος εξοπλισμός βελτιστοποιημένος για μεθανόλη είναι επί του παρόντος υπό ανάπτυξη
- Υπάρχει άφθονη εμπειρία στον χειρισμό της μεθανόλης με ασφάλεια.
- Η μεθανόλη είναι βιοδιασπώμενη, γεγονός που την καθιστά καύσιμο με χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Είναι εφικτή η παραγωγή μεθανόλης από 100% ανανεώσιμες πηγές.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

8.3 Η εμπορική πλευρά του θέματος

8.3.1 Προβλήματα

- Η εμπειρία μας σε μεγάλης κλίμακας αποδοχή της μεθανόλης περιορίζεται δυστυχώς στη μετατροπή του Stena Germanica (ro-pax ferry, 24 MW).
- Ορισμένες ναυτιλιακές εταιρείες έχουν εκφράσει ανησυχίες για την ασφάλεια σχετικά με το επίπεδο τοξικότητας της μεθανόλης.
- Από εμπορικής άποψης το κόστος είναι επί του παρόντος το μεγαλύτερο εμπόδιο για την ευρέως διαδεδομένη υιοθέτηση της μεθανόλης. Αφού και τα δύο καύσιμα συμμορφώνονται με τους κανονισμούς SECA, η μεθανόλη πρέπει να είναι φθηνότερο καύσιμο από το MGO σε μια ενεργειακά ισοδύναμη βάση για την επίτευξη της ευρείας υιοθέτησης της και να το καταστήσουν πιο ανταγωνιστικό καύσιμο.
- Αυξημένη προσφορά μεθανόλης σε βασικές αγορές, όπως οι ΗΠΑ, θα πρέπει να συμβάλει στη μείωση του κόστους της μεθανόλης και να το καταστήσουν πιο ανταγωνιστικό στην αγορά ναυτιλιακών καυσίμων .
- Ένα άλλο εμπόδιο είναι η σχετική έλλειψη γνώσης από ναυτιλιακές εταιρείες.

Εφόσον η τιμή της μεθανόλης όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ενέργεια υπερβαίνει αυτή της χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο του MGO, κανονισμοί μόνο για χαμηλές εκπομπές θείου παρέχουν ανεπαρκή κίνητρα για την ενθάρρυνση της ευρείας υιοθέτησης της ναυτιλιακής μεθανόλης..

- Στη ναυτιλιακή βιομηχανία αρέσει να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο της αστάθειας της τιμής του καυσίμου.
- Αν και η διαθεσιμότητα μεθανόλης είναι καλή, υπάρχει επί του παρόντος συγκεκριμένη αγορά για τη μεθανόλη ως ναυτιλιακό καύσιμο. Υπό το πρίσμα αυτό, η βιομηχανία μεθανόλης πρέπει να στοχεύει στην αύξηση της ευαισθητοποίησης μέσω εκστρατειών μάρκετινγκ που στοχεύουν ειδικά στη ναυτιλιακή βιομηχανία.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

8.3.2 Προτεινόμενες λύσεις

- Η διαθεσιμότητα μεθανόλης είναι γενικά πολύ καλή. Είναι διαθέσιμο ως χημικό και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία σε πολλά μέρη σε όλο τον κόσμο.
- Η δημιουργία υποδομής ανεφοδιασμού θα μειώνει τα εμπόδια στην υιοθέτηση από τη ναυτιλιακή βιομηχανία.
- Εάν υπάρχουν ισχυροί κανονισμοί για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εφαρμόζονται, η μεθανόλη είναι ένα δυναμικό εναλλακτικό καύσιμο. Στη συνέχεια θα ανταγωνιστεί με άλλες εναλλακτικές λύσεις όπως το βιοντίζελ και το υγροποιημένο βιοαέριο (LBG). Σε αυτή την περίπτωση, η μεθανόλη έχει τη δυνατότητα να παράγεται με ανταγωνιστικό κόστος



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

9. Διάφορες οπτικές γωνίες εξέτασης της μεθανόλης ως καύσιμο

Οι οπτικές γωνίες εξέτασης της μεθανόλης για την επένδυση κεφαλαίου της πρόωσης με κινητήρα που χρησιμοποιεί σαν καύσιμο μεθανόλη είναι δύο :

- Του πλοιοκτήτη
- Του παραγωγού μεθανόλης.

Πρώτον, υπολογίζεται η τιμή της μεθανόλης που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία μιας ευνοϊκής περιόδου απόσβεσης για την επένδυση κεφαλαίου με χρήση μεθανόλης σαν καύσιμο των μηχανών πρόωσης .

Στη συνέχεια, η απαραίτητη τιμή της μεθανόλης από την πλευρά του πλοιοκτήτη συγκρίνεται με τις εκτιμήσεις του κόστους παραγωγής μεθανόλης.

Ο χρόνος απόσβεσης για τη λειτουργία ενός πλοίου που χρησιμοποιεί σαν καύσιμο μεθανόλη σε ECA θα εξαρτηθεί από το πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για επιλογή της πρόωσης με μεθανόλη και τις πιθανές εξοικονομήσεις/έξτρα κόστος σε περίπτωση που η μεθανόλη είναι φθηνότερη ή ακριβότερη από τις υπάρχουσες εναλλακτικές λύσεις. Σε ένα ECA, το τυπικό καύσιμο για σύγκριση με τη μεθανόλη θα είναι το MGO (Marine Gas Oil), ωστόσο ο πλοιοκτήτης μπορεί επίσης να εξετάσει το ενδεχόμενο χρήσης HFO(Heavy Fuel Oil) με σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (scrubber). Τα Scrubbers έχουν ένα συγκεκριμένο κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας, αλλά επιτρέπουν στον πλοιοκτήτη να λειτουργεί με σχετικά φθινό HFO σε ECA. Επομένως, μια εκτίμηση του χρόνου απόσβεσης για ένα πλοίο που χρησιμοποιεί scrubber υπολογίζεται επίσης σαν εναλλακτική λύση.

Το LNG μπορεί επίσης να είναι μια εναλλακτική λύση. Το LNG έχει υψηλό κόστος κεφαλαίου, αλλά μπορεί να είναι φθινότερο καύσιμο από το MGO και κάπως φθινότερο από το HFO. Ωστόσο, σε αυτή τη μελέτη, το κόστος της εναλλακτικής λύσης του LNG δεν μοντελοποιείται. Το πρόσθετο κόστος κεφαλαίου που απαιτείται για την πρόωση μεθανόλης βασίζεται στο κόστος των ειδών που παρουσιάζονται στους κάτωθι πίνακες:



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

- Ο Πίνακας 1 Πίνακας 3 παρέχει τη σύνοψη της τεχνολογικής ετοιμότητας ανεφοδιασμού με ΜΕΟΗ
- Ο Πίνακας 4 παρέχει τη σύνοψη της τεχνολογικής ετοιμότητας για αποθήκευση της ΜΕΟΗ
- Ο Πίνακας 5 παρέχει τη σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για τον χειρισμό και τις διαδικασίες ΡΡΙΝ την κύρια μηχανή
- Ο Πίνακας 6 παρέχει τη σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για καύση της κύριας μηχανής
- Ο Πίνακας 7 παρέχει τη σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για τον χειρισμό και τις διαδικασίες ΜΕΤΑ την κύρια μηχανή

Πίνακας 3 Σύνοψη της τεχνολογικής ετοιμότητας ανεφοδιασμού της ΜΕΟΗ(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

System component	Technology readiness	Remarks
Mechanical ventilation	Mature	Dependent on location of bunkering station
Coamings fitted	Mature	
Control from safe location	Mature	
Pipes self-drained, arranged for inerting and gas freeing	Mature	
System for cargo and fuel segregation	Mature	Dependent on the ship type, relevant for chemical tankers
Transfer coupling shall automatically close at disconnect	Mature	
Monitoring and control systems	Mature	
Drip trays	Mature	Below all possible leakage points



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Πίνακας 4 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για αποθήκευση της ΜΕΟΗ(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

System component	Technology readiness	Remarks
Inlet and outlet piping	Mature	
Level indicators	Mature	
Arrangement for interting and gas freeing, by nitrogen installation	Mature	
Remotely operated shut-off valves and control system	Mature	
Filtering of Methanol	Mature	Especially for chemical tankers with Methanol fuel service tank
Drip trays	Mature	Below all possible leakage points
Fire detection – IR CCTV	Relatively new, but used in other industries.	This is due to methanol fire being invisible
Fixed foam fire extinguishing system	Mature	For fuel tanks on weather deck



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Πίνακας 5 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για τον χειρισμό και τις διαδικασίες ΠΙΠΙΝ την κύρια μηχανή(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

System component	Technology readiness	Remarks
Double walled piping and corresponding ventilation of annular space.	Mature	Used for LNG as fuel systems
Liquid and vapour detection	Mature	
Remotely operated valves	Mature	
Filtering system	Mature	
Supply pump	Mature	
Circulation circuit	Mature	Keep supply higher than the fuel consumption
Double block and bleed valve configuration	Mature	
Arrangement for interting ang gas freeing, by nitrogen installation	Mature	For drainage and purging of the Methanol lines
Temperature and pressure control system	Mature	
Temperature regulation system	Mature	
Ventilation system of rooms containing equipment	Mature	
Drip trays	Mature	Below all possible leakage points.

Πίνακας 6 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για καύση της κύριας μηχανής(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

System component	Technology readiness	Remarks
Double-walled fuel pressure lines	Mature	All Methanol fuel lines to the main engine
Additional LFL engine monitoring systems	Relatively new application, ref. /21/	Detect LFL ignition controlling automatic shutdown
Additional sealings	Mature	Avoid leakage to the engine room.
Additional methanol fuel injection system	Relatively new application, built on a mature concept, ref. /21/	Relevant for dual fuel system
Combined sealing and cooling oil system to the injection valve	Relatively new application, ref. /21/	Due to the non-lubricant effects of methanol
Liquid and vapour detection	Mature	
Purge return system	Relatively new application, ref. /21/	Purging and inerting of Methanol in the main engine
Fire detection to engine room – IR CCTV	Relatively new, but used in other industries.	This is due to methanol fire being invisible



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακας 7 Σύνοψη της τεχν.ετοιμότητας για τον χειρισμό και τις διαδικασίες META την κύρια μηχανή(Πηγή: Edmund Hughes ,Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

System component	Technology readiness	Remarks
Double block and bleed valve configuration for the Nitrogen injection	Mature	Configuration needed to avoid methanol vapour back to the nitrogen system
Remotely operated shut-off valves and control system	Mature	
Manual valves	Mature	
Liquid and vapour detection		
Double walled-piping	Mature	

Το κόστος των ειδών προσδιορίζεται για δύο περιπτώσεις:

- ♣ Νεόκτιστο σκάφος
- ♣ Μετασκευή υφιστάμενου σκάφους

Το κόστος κεφαλαίου που υπολογίστηκε είναι σχετικό για ένα πλοίο ro-ro με εγκατεστημένη ισχύ κύριας μηχανής 24 000 kW και χωρητικότητα δεξαμενής για 3 ημέρες ‘θαλάσσιου πλου’. Υπάρχουν, όπως συζητήθηκε παραπάνω, ορισμένες διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τύπων πλοίων, αλλά αυτή η εκτίμηση είναι μια χονδροειδής εκτίμηση που χρησιμοποιείται για να δείξει πώς το πρόσθετο κόστος κεφαλαίου αλληλεπιδρά με την τιμή του καυσίμου για τον προσδιορισμό της απόσβεσης για ένα πλοίο που λειτουργεί με μεθανόλη. Το κόστος για τα απαραίτητα πρόσθετα εξαρτήματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο βασίζεται σε συζήτηση με τον κλάδο και αντιπροσωπεύει τα τρέχοντα συστήματα. Το πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για μια νέα κατασκευή με σύστημα καυσίμου μεθανόλης παρουσιάζεται στον Πίνακας 8 , ενώ η περίπτωση μετασκευής παρουσιάζεται στον Πίνακας 9



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Πίνακας 8 Πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για μια νέα κατασκευή με σύστημα καυσίμου ΜΕΟΗ(Πηγή: Edmund Hughes, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Table 5-6 Approximate additional cost for a newbuild with the total methanol fuel system

System component	Cost (Million USD)
Engine and equipment costs	5.5
Storage of methanol	0.1
Total costs for a newbuild	5.6

Πίνακας 9 Πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για μία νέα κατασκευή(Πηγή: Edmund Hughes ,Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Table 5-7 Approximate additional cost for retrofit with the methanol fuel system

System component	Cost (Million USD)
Engine costs	3.5
Other equipment	3.5
Additional shipyard costs	3.5
Total costs for retrofit	10.5

Στη συνέχεια, τα κόστη αυτά χρησιμοποιούνται ως στοιχεία για τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης της δυνατότητας χρήσης μεθανόλης ως καυσίμου.

Για σύγκριση, ένα scrubber SO_x για παρόμοια συνολική εγκατεστημένη ισχύ θεωρείται ότι κοστίζει 6 Μ USD σε μια μετασκευή, με αυτό το κόστος να μειώνεται κατά 50% για μια νέα κατασκευή.

Το επίπρόσθετο κόστος μιας δεξαμενής μεθανόλης που χρησιμοποιούν σαν καύσιμο του σκεύους πρόωσης σε μια νέα κατασκευή είναι περίπου το μισό από το κόστος μιας δεξαμενής που τοποθετείται εκ των υστέρων κυρίως λόγω του γεγονότος ότι η δεξαμενή στην περίπτωση μιας νέας κατασκευής είναι ενσωματωμένη στον σχεδιασμό του σκάφους από την αρχή και η τοποθέτηση στο σκάφος δεν θα συνιστά επιπλέον κόστος για τον πλοιοκτήτη.

Για μια μετασκευή σε υπάρχον σκεύος , υποθέτουμε ότι μια ξεχωριστή δεξαμενή μεθανόλης δεν είναι ενσωματωμένη στο υπάρχον σκάφος και ότι αυτό θα αποτελέσει πρόσθετο κόστος.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Εκτός από το κόστος της δεξαμενής, μια νέα κατασκευή είναι λιγότερο δαπανηρή για να λειτουργεί με μεθανόλη, επειδή είναι ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας διπλού καυσίμου αντί της μετασκευής για την προσαρμογή ενός κινητήρα.

Αυτά τα πρόσθετα κεφαλαιουχικά κόστη χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης ενός συστήματος καυσίμου μεθανόλης σε σύγκριση με την εναλλαγή καυσίμων (με χρήση MGO) ή την εγκατάσταση scrubber (με χρήση HFO) για την αντιμετώπιση των κανονισμών και των περιβαλλοντικών απαιτήσεων στα ECA.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

10. Χρόνος απόσβεσης

Οι υπολογισμοί για τον χρόνο απόσβεσης βασίζονται σε μια υπόθεση του χρονικού διαστήματος που δαπανήθηκε στη περιοχή ECA ως μέρος του συνολικού χρόνου πλεύσης και της αντίστοιχης κατανάλωσης καυσίμου. Όσο περισσότερα καύσιμα καταναλώνει το πλοίο στη περιοχή ECA τόσο μεγαλύτερη είναι η ευκαιρία να εξοικονομηθούν χρήματα αγοράζοντας φθηνότερα καύσιμα.

Ο χρόνος απόσβεσης υπολογίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για την ανάκτηση του αρχικού κόστους κεφαλαίου της πιθανής εξοικονόμησης κόστους καυσίμου, με βάση τα ποικίλα ποσοστά χρονικής παραμονής στη περιοχή ECA και τις διαφορές διαφόρων τιμών της μεθανόλης σε σύγκριση με το MGO. Το κόστος των καυσίμων υπολογίζεται για 15 χρόνια μετά την αρχική επένδυση κεφαλαίου και εφαρμόζεται προεξοφλητικό επιτόκιο 8%.

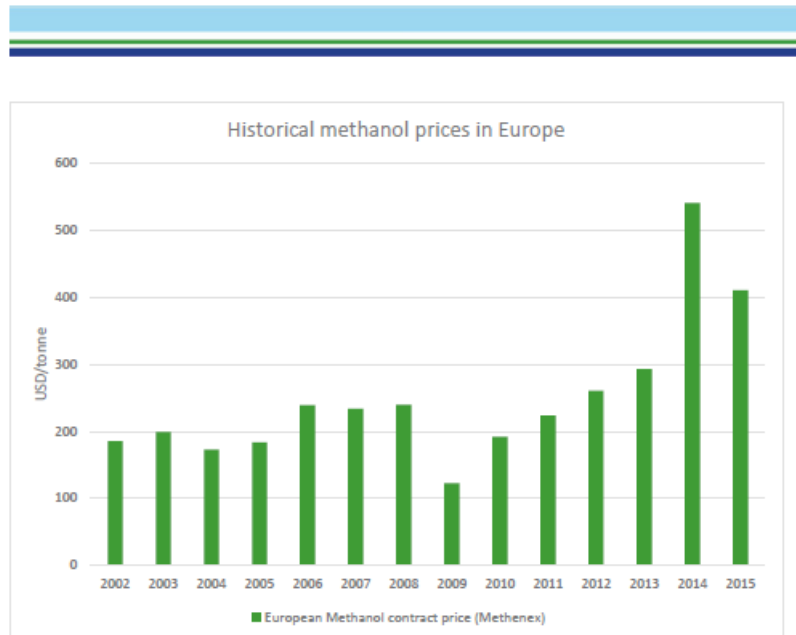
Δύο σενάρια τιμών MGO χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του χρόνου απόσβεσης για ένα σύστημα καυσίμου μεθανόλης έναντι της αλλαγής καυσίμου σε MGO. Το σενάριο υψηλής τιμής προϋποθέτει τιμή κοντά σε αυτές των τιμών MGO του Ρότερνταμ στα μέσα του 2014 (865 USD/τόνο). Το σενάριο χαμηλής τιμής προϋποθέτει τιμή MGO κοντά σε αυτές των τιμών MGO του Ρότερνταμ στα μέσα του 2015 (450 USD/τόνο). Ως σύγκριση εκτελείται επίσης ένας υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης της επιλογής HFO με ένα scrubber έναντι εναλλαγής καυσίμων σε MGO.

Προκειμένου να καθοριστεί εάν οι τιμές μεθανόλης που απαιτούνται για την επίτευξη μιας ορισμένης περιόδου απόσβεσης είναι λογικές, συγκρίνουμε την απαραίτητη τιμή μεθανόλης με τις ιστορικές τιμές μεθανόλης όπως φαίνονται σε παρακάτω σχήμα. (DNVGL, 2020)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’



Εικόνα 4 Ιστορικές τιμές της μεθανόλης στην Ευρώπη(Πηγή: Edmund Hughes, *Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility* ,DNV GL Maritime,2016)

Ο χρόνος απόσβεσης της μεθανόλης σε σύγκριση με το MGO παρουσιάζεται ως συνάρτηση της τιμής της μεθανόλης ως ποσοστό της τιμής του MGO ανά μονάδα ενέργειας. Ο χρόνος απόσβεσης παρουσιάζεται με μια έγχρωμη κωδικοποίηση για να παρασταθεί πόσο ελκυστική είναι η περίοδος απόσβεσης για έναν πλοιοκτήτη, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Colour Code	Description
Red	The payback time of methanol compared to fuel switch is greater than 15 years
Orange	The payback time of methanol compared to fuel switch is 10-15 years
Yellow	The payback time of methanol compared to fuel switch is 7-10 years
Light Green	The payback time of methanol compared to fuel switch is 3-7 years
Dark Green	The payback time of methanol compared to fuel switch is less than 3 years

Εικόνα 5 Η κωδικοποίηση των χρωμάτων ανάλογα με τον χρόνο απόσβεσης (Πηγή: Edmund Hughes *Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility* ,DNV GL Maritime,2016)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Η περίπτωση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 10, αντιπροσωπεύει την περίοδο απόσβεσης ενός νέου πλοίου ναυπήγησης που λειτουργεί με μεθανόλη με το σενάριο χαμηλής τιμής MGO. Αυτή η τιμή MGO αντιπροσωπεύει την τρέχουσα τιμή αγοράς MGO. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με ένα σενάριο χαμηλής τιμής MGO, ο χρόνος απόσβεσης της μεθανόλης είναι σχετικά υψηλός. Για παράδειγμα, εάν το πλοίο ξοδεύει το 100% του χρόνου στο ECA και η τιμή της μεθανόλης είναι 75% του MGO (σε ενεργειακή βάση), ο χρόνος απόσβεσης είναι 6,8 χρόνια.

Πίνακας 10 Η ευαισθητοποίηση της τιμής μιας νέας κατασκευής με σενάριο χαμηλών τιμών MGO(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Tonnes HFO equivalents consumed in ECA		1000	3000	4900	7400	9900
Time spent in ECA		10 %	30 %	50 %	75 %	100 %
		Payback of scrubber compared to MGO				
		7.4	5.9	4.7	3.4	2.4
		Payback of methanol compared to MGO				
Methanol price USD/tonne	Methanol price as percentage of MGO (per unit energy)					
85	40 %	5.1	4.4	3.7	3.0	2.5
95	45 %	5.7	4.9	4.2	3.3	2.7
106	50 %	6.5	5.6	4.7	3.8	3.0
116	55 %	7.6	6.4	5.4	4.3	3.4
127	60 %	9.2	7.6	6.4	5.0	3.9
138	65 %	11.1	9.1	7.5	5.9	4.5
148	70 %	13.4	10.8	8.9	6.9	5.4
159	75 %	15.7	13.8	11.1	8.6	6.8

Η περίπτωση που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα, αντιπροσωπεύει την περίοδο απόσβεσης μιας νέας κατασκευής που λειτουργεί με μεθανόλη με το σενάριο υψηλής τιμής MGO. Αυτή η τιμή MGO αντιπροσωπεύει την τιμή αγοράς MGO από τα μέσα του 2014, πριν



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

από την πτώση της τιμής του πετρελαίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με ένα σενάριο υψηλής τιμής MGO, ο χρόνος απόσβεσης της μεθανόλης είναι σχετικά χαμηλός. Η ανταγωνιστική τιμή μεθανόλης που απαιτείται για να επιτευχθεί χρόνος απόσβεσης χαμηλότερος από αυτόν της εγκατάστασης scrubbers είναι ρεαλιστική σε αυτή την περίπτωση, στα 204 USD ανά τόνο. Αυτό δείχνει ότι η μεθανόλη είναι μια ελκυστική επιλογή από την άποψη της τιμής.

Πίνακας 11 Η ευαισθητοποίηση της τιμής μιας νέας κατασκευής με σενάριο υψηλών τιμών MGO(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Tonnes MGO equivalents consumed in ECA		1000	3000	4900	7400	9900
Time spent in ECA		10 %	30 %	50 %	75 %	100 %
Methanol price USD/tonne	Methanol price as percentage of MGO (per unit energy)	Payback of scrubber compared to MGO				
		5.9	4.6	3.2	2.1	1.5
		Payback of methanol compared to MGO				
163	40 %	2.3	1.9	1.7	1.4	1.2
183	45 %	2.8	2.3	1.9	1.6	1.4
204	50 %	3.5	2.7	2.2	1.8	1.5
224	55 %	4.3	3.3	2.6	2.0	1.7
244	60 %	5.0	4.2	3.2	2.4	1.9
265	65 %	6.0	4.9	4.0	2.8	2.2
285	70 %	7.6	6.1	4.9	3.6	2.6
305	75 %	8.8	7.1	5.7	4.3	3.2

Η περίπτωση που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα , αντιπροσωπεύει την περίοδο απόσβεσης ενός σκάφους που έχει μετασκευαστεί για να λειτουργεί με μεθανόλη με σενάριο χαμηλής τιμής MGO. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με ένα σενάριο χαμηλής τιμής MGO ο χρόνος απόσβεσης της μεθανόλης είναι υψηλός. Η ανταγωνιστική τιμή μεθανόλης που απαιτείται για να επιτευχθεί χρόνος απόσβεσης χαμηλότερος από εκείνον της εγκατάστασης



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

scrubbers είναι σε αυτή την περίπτωση εξωπραγματικά χαμηλή στα 85 USD ανά τόνο. Αυτό δείχνει επομένως ότι η μεθανόλη δεν είναι πλέον ελκυστική επιλογή από την άποψη της τιμής.

Πίνακας 12 Η Ευαισθητοποίηση της τιμής μετασκευής με το σενάριο χαμηλών τιμών MGO(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Tonnes MGO equivalents consumed in ECA		1000	3000	4900	7400	9900
Time spent in ECA		10%	30%	50%	75%	100%
Methanol price USD/tonne		Payback of scrubber compared to MGO				
		12.8	10.5	8.7	6.8	5.4
Methanol price as percentage of MGO (per unit energy)		Payback of methanol compared to MGO				
		8.9	7.9	7.1	6.1	5.3
85	40 %	10.2	9.0	8.0	6.8	5.9
95	45 %	12.0	10.5	9.2	7.8	6.6
106	50 %	14.6	12.5	10.8	9.0	7.5
116	55 %			13.1	10.7	8.8
127	60 %				13.2	10.6
138	65 %					13.5
148	70 %					
159	75 %					

Η υπόθεση που παρουσιάστηκε στον παρακάτω πίνακα αντιπροσωπεύει την περίοδο απόσβεσης ενός σκάφους που έχει μετασκευαστεί για να λειτουργεί με μεθανόλη με υψηλό σενάριο τιμής MGO. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με ένα σενάριο υψηλής τιμής MGO, ο χρόνος απόσβεσης της μεθανόλης είναι σχετικά χαμηλός. Η ανταγωνιστική τιμή μεθανόλης που απαιτείται για να επιτευχθεί χρόνος απόσβεσης χαμηλότερος από την εγκατάσταση scrubbers είναι σε αυτήν την περίπτωση ρεαλιστική στα 204 USD ανά τόνο. Αυτό δείχνει ότι η μεθανόλη είναι μια ελκυστική επιλογή από οικονομική άποψη.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Πίνακας 13 Ευαισθητοποίηση της τιμής μετασκευής με το σενάριο υψηλών τιμών MGO(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Tonnes MGO equivalents consumed in ECA		1000	3000	4900	7400	9900
Time spent in ECA		10%	30%	50%	75%	100%
		Payback of scrubber compared to MGO				
		8.7	7.1	5.7	4.3	3.2
Methanol price as percentage of MGO (per unit energy)		Payback of methanol compared to MGO				
Methanol price (USD/tonne)						
163	40 %	4.6	4.0	3.4	2.9	2.5
183	45 %	5.1	4.5	3.9	3.2	2.8
204	50 %	5.8	5.1	4.4	3.7	3.1
224	55 %	6.7	5.8	5.1	4.2	3.5
244	60 %	8.0	6.9	5.9	4.9	3.9
265	65 %	9.8	8.3	7.1	5.7	4.6
285	70 %	12.9	10.7	8.8	7.0	5.5
305	75 %		13.4	11.0	8.7	6.9

Στις περιπτώσεις με χαμηλή τιμή MGO σύμφωνα με την τρέχουσα αγορά, η τιμή μεθανόλης που απαιτείται για να επιτευχθεί χρόνος απόσβεσης χαμηλότερος από αυτόν της εγκατάστασης scrubbers είναι 85 USD ανά τόνο τόσο στην περίπτωση νέας κατασκευής όσο και εκ των υστέρων. Αυτή η τιμή είναι πολύ χαμηλή σε σύγκριση με τις ιστορικές τιμές της μεθανόλης για να θεωρηθεί λογική. Η μεθανόλη ως καύσιμο δεν είναι επομένως μια οικονομικά ελκυστική επιλογή σε δεδομένες χαμηλές τιμές MGO. Δεδομένου του σεναρίου υψηλής τιμής MGO, οι τιμές μεθανόλης που είναι απαραίτητες για να επιτευχθεί χρόνος απόσβεσης χαμηλότερος από αυτόν της εγκατάστασης scrubbers είναι 204 USD ανά τόνο για μια νέα κατασκευή ή μετασκευή. Αυτή η τιμή της μεθανόλης έχει εμφανιστεί στο παρελθόν και είναι αναμενόμενη, καθιστώντας τη μεθανόλη μια πιο ελκυστική από οικονομική άποψη επιλογή. Το αποτέλεσμα εξαρτάται επίσης από τον χρόνο που δαπανάται στο ECA, και εάν αυτός ο χρόνος πλησιάζει το 100%, η μεθανόλη ως καύσιμο παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από την περίπτωση μετασκευής σε συνδυασμό με την χαμηλή τιμή του MGO.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

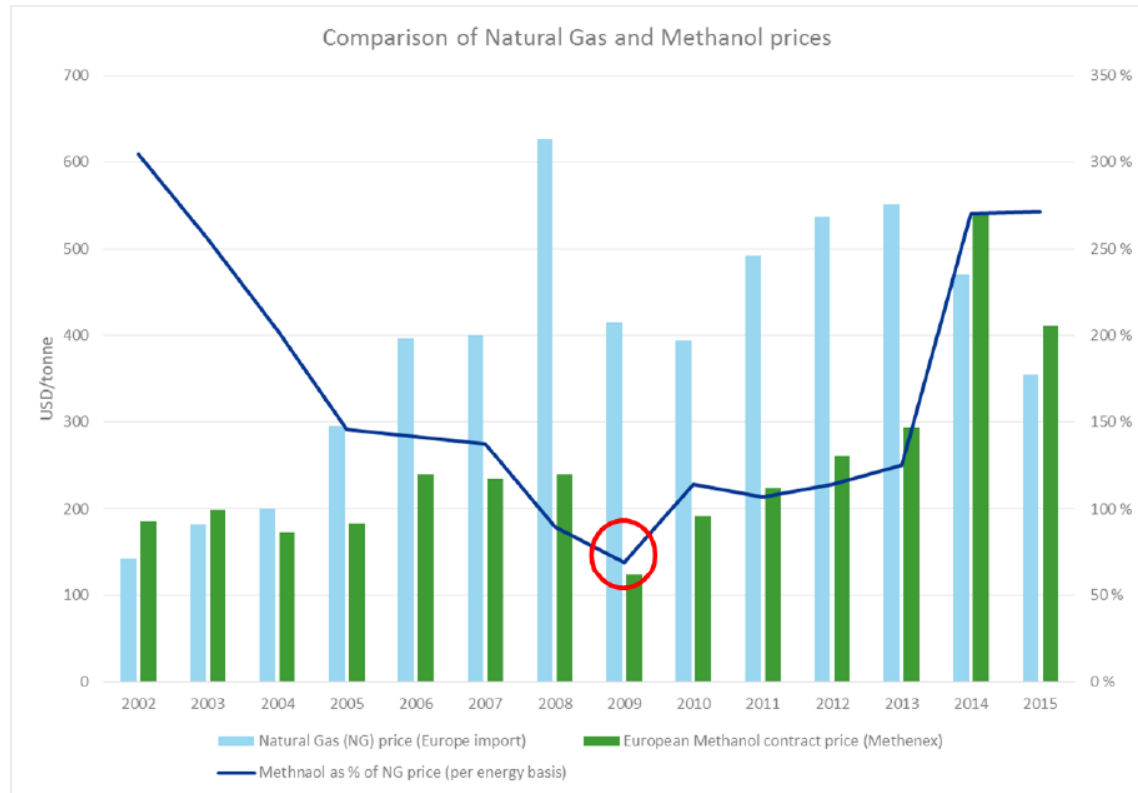
Οι τέσσερις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στην προηγούμενη ενότητα δείχνουν τις τιμές της μεθανόλης σε σύγκριση με το MGO που θα ήταν απαραίτητο προκειμένου η μεθανόλη να είναι ένας οικονομικά βιώσιμος εναλλακτικός τρόπος ικανοποίησης των απαιτήσεων του ECA . Αυτή είναι η τιμή που φαίνεται από τη σκοπιά του πλοιοκτήτη με βάση το πρόσθετο κόστος κεφαλαίου του συστήματος καυσίμου μεθανόλης και το κόστος άλλων εναλλακτικών καυσίμων πλοίων, αλλά είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πώς οι τιμές μεθανόλης που υπολογίζονται στην προηγούμενη ενότητα σχετίζονται με τις πραγματικές τιμές της μεθανόλης που μπορεί να αναμένονται στην αγορά.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια σύγκριση της ιστορικής ευρωπαϊκής τιμής φυσικού αερίου και της ιστορικής ευρωπαϊκής τιμής μεθανόλης.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’



Σχήμα 6 Σύγκριση τιμών φυσικού αερίου και μεθανόλης(Πηγή: Edmund Hughes Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility ,DNV GL Maritime,2016)

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ των δύο τιμών είναι σημαντική, καθώς το φυσικό αέριο είναι η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής μεθανόλης. Από αυτή τη σύγκριση προκύπτει μια ελάχιστη τιμή πώλησης της μεθανόλης.

Η μπλε γραμμή στο σχήμα δείχνει τη μεθανόλη ως ποσοστό της τιμής του φυσικού αερίου ανά βάση ενέργειας. Στο σχήμα φαίνεται ότι η τιμή της μεθανόλης δεν ακολουθεί ιστορικά την τιμή του φυσικού αερίου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεθανόλης είναι μερικές φορές μια μορφή φυσικού αερίου, ένα υποπροϊόν της παραγωγής πετρελαίου το οποίο διαφορετικά θα αναφλεγόταν στο πεδίο.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Η τιμή της πρώτης ύλης επομένως δεν συνδέεται άμεσα με την κανονική τιμή του φυσικού αερίου για τους καταναλωτές. Επιπλέον, η μεθανόλη είναι εμπόρευμα που συχνά μεταφέρεται. Η μεθανόλη που πωλείται στην Ευρώπη μπορεί να βασίζεται σε φυσικό αέριο που προέρχεται από διάφορα μέρη του κόσμου.

Ωστόσο, εάν η μεθανόλη γίνει ένα ευρέως διαδεδομένο ναυτιλιακό καύσιμο, η υψηλότερη ζήτηση μεθανόλης θα μπορούσε να συνδέσει την τιμή της πιο στενά με την τιμή του φυσικού αερίου, επειδή το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεθανόλης θα παράγεται από αέριο αγωγών. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή της μεθανόλης θα εξαρτάται περισσότερο από την ονομαστική τιμή του φυσικού αερίου. Επομένως, δεδομένης της μέγιστης ενεργειακής απόδοσης 70 % για την πρώτη ύλη φυσικού αερίου, όταν η μεθανόλη παράγεται από φυσικό αέριο και για μία τιμή φυσικού αερίου για παράδειγμα το 2015 (355 USD/τόνο), η ελάχιστη τιμή πώλησης της μεθανόλης είναι περίπου 216 USD/τόνο.

Αυτή η τιμή πώλησης μεθανόλης σε σύγκριση με τις τιμές που προέκυψαν στο κεφάλαιο 9 δείχνει ότι η μεθανόλη ως καύσιμο δεν αποτελεί εναλλακτική λύση στην περίπτωση του σεναρίου χαμηλής τιμής MGO. Ωστόσο, στο σενάριο με υψηλή τιμή MGO, η μεθανόλη με τιμή 216 USD/τόνο θα μπορούσε να είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το εν λόγω πλοίο δαπανά σημαντικό χρόνο στην ECA. (Hughes, 2016)

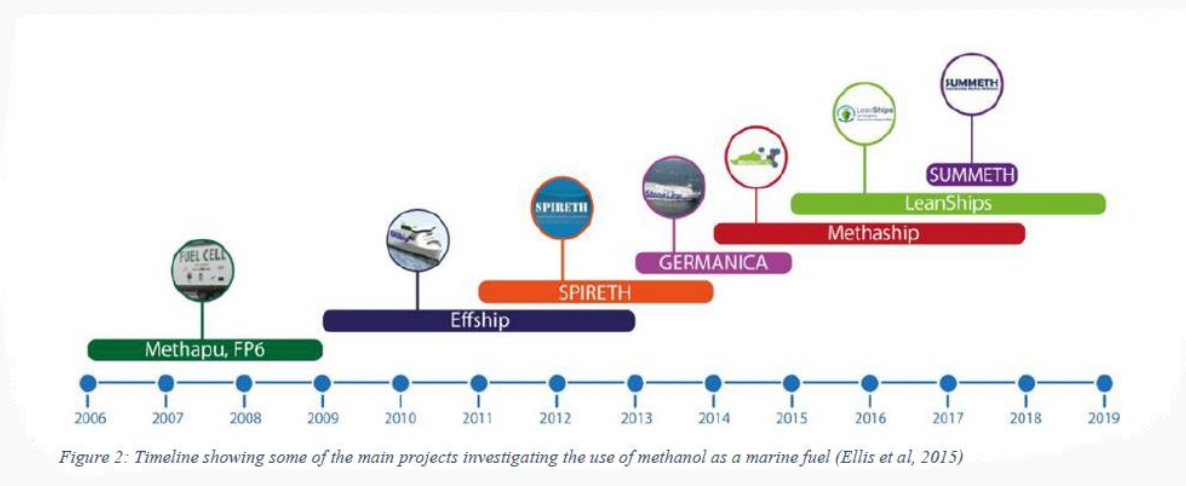


‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

11. Το χρονοδιάγραμμα με έργα που πραγματοποιήθηκαν με χρήση της μεθανόλης

Η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων στη ναυτιλία έχει τύχει της προσοχής της ναυτιλιακής κοινότητας τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καθώς και τις απαιτήσεις για μειωμένες εκπομπές σε οξείδια του θείου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια σειρά από έργα που σκοπό έχουν τη διερεύνηση της χρήσης της μεθανόλης την περασμένη δεκαετία. Το παρακάτω σχήμα δίνει ένα χρονοδιάγραμμα που δείχνει τα κύρια έργα.



Σχήμα 7 Χρονοδιάγραμμα που δείχνει μερικά από τα κύρια έργα που διερευνούν τη χρήση της μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων (Ellis J., Tanneberger K, Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. Report prepared for the European Maritime Safety Agency (EMSA), 2015)

Το Metharu είχε τον γενικό στόχο να αξιολογήσει τη χρήση της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) και της μεθανόλης ως μέσο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το έργο Metharu ήταν το πρώτο έργο στο οποίο η μεθανόλη δοκιμάστηκε ως καύσιμο σε πλοίο και κατά την εκτέλεση αυτού του έργου εφαρμόστηκαν διαφορετικοί κανόνες επιχειρησιακής ασφάλειας που ισχύουν για άλλες εγκαταστάσεις καθώς και αναπτύχθηκαν έργα που χρησιμοποιούν τη μεθανόλη ως ναυτιλιακό καύσιμο (Tronstad et al., 2017).



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Το έργο *Effship* , κατέληξε στο συμπέρασμα με βάση τις μελέτες και τις εργαστηριακές δοκιμές ότι η μεθανόλη δίνει τη δυνατότητα μετατροπής υφιστάμενων σκαφών με αυτή ως καύσιμο. Περαιτέρω έργα όπως το *Spireth* μπόρεσαν να οδηγήσουν σε ευρεία χρήση της μεθανόλης σαν μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο.

Η *Effship* συνέβαλε στο προσχέδιο του Κώδικα IGF του IMO, τον Διεθνή Κώδικα Ασφάλειας για πλοία που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης, όπως η μεθανόλη.

Το *Spireth* δημιουργήθηκε ως παρακλάδι του έργου *Effship*. Τα κύρια πορίσματα του έργου ήταν ότι είναι εφικτή η μετατροπή των πλοίων ώστε να λειτουργούν με καύσιμα με βάση τη μεθανόλη και ότι αυτά τα καύσιμα αποτελούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για τη μείωση των εκπομπών. Επιπλέον, σχεδιάστηκαν ρυθμίσεις για την αποθήκευση, τη διανομή και το χειρισμό μεθανόλης, αξιολογήθηκαν από άποψη ασφάλειας και κινδύνου και εγκαταστάθηκαν στο *Stena Scanrail*.

Κατά τη διάρκεια του έργου *Spireth*, η *Stena Line* αποφάσισε τη πλήρη μετατροπή για πώση μεθανόλης του *Stena Germanica*, ενός μεγάλου πορθμείου *RoPax* που λειτουργεί μεταξύ Γκέτεμποργκ και Κιέλου. Οι τέσσερις κύριες μηχανές του σκάφους, οι δκύλινδροι *Wärtsilä-Sulzer Z40S*, η κάθε μία μηχανή με ισχύ εξόδου 6 MW , μετατράπηκαν με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές . Το έργο ονομάστηκε «Πιλοτική Μεθανόλη» .Κατά τη μετατροπή του *Stena Germanica*, που διήρκεσε λιγότερο από δύο μήνες, έγιναν τροποποιήσεις στη γραμμή ανεφοδιασμού, τις δεξαμενές, το αντλιοστάσιο, τις αντλίες, τις σωληνώσεις και το σύστημα αυτοματισμού. Όσον αφορά το κόστος κεφαλαίου, η μετατροπή υποστηρίχθηκε ότι ήταν σχετικά απλή, περίπου 350 €/kW, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα *common rail* με πίεση ψεκασμού μεθανόλης περιορισμένη στα 650 bar και διπλούς άμεσους ψεκαστήρες καυσίμου και ένα νέο σύστημα ελέγχου κινητήρα. Οι υπάρχουσες δεξαμενές καυσίμων και μέρος των δεξαμενών έρματος μετατράπηκαν σε δεξαμενές μεθανόλης, χωρίς να καταστεί δυνατή η απώλεια εμπορικού χώρου. Όσον αφορά τη συντήρηση, αναμένεται ότι η απόδοση και η διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων θα είναι παρόμοια ή καλύτερη . Το κόστος αναμένεται να είναι περίπου 30% έως 40% χαμηλότερο για ένα δεύτερο έργο μετασκευής .

Το πρόγραμμα *Methaship*, ένα τριετές έργο που ξεκίνησε το 2014 και συντονίζεται από τον *Meyer Werft*, αναπτύσσει σχέδια για μια κρουαζιέρα και ένα πλοίο *RoPax*.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

Ένα άλλο βασικό έργο, που δεν αναφέρεται στο χρονοδιάγραμμα, είναι η μετατροπή των κινητήρων MAN σε λειτουργία διπλού καυσίμου και τα οποία είναι εγκατεστημένα σε επτά νέας κατασκευής δεξαμενόπλοια μεθανόλης που κατασκευάστηκαν για τη Methanex και τέθηκαν σε λειτουργία το 2016. Οι εν λόγω κινητήρες είναι δίχρονοι κινητήρες ME-LGI 10 MW χαμηλής ταχύτητας που προσφέρουν μια λύση διπλού καυσίμου για υγρά καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης όπως είναι η μεθανόλη. Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν μείωση των εκπομπών NOx κατά περίπου 30% (Mayer S., 2016)

Ως εκ τούτου, η LeanShips επέλεξε να αναπτύξει μια λύση μετατροπής ενός κινητήρα diesel για καύση μεθανόλης διατηρώντας παράλληλα 100% την ικανότητα λειτουργίας με καύσιμο ντίζελ, καθώς αυτό θα είναι πιο ελκυστικό για τους χειριστές σκαφών. Με αυτόν τον τρόπο το λειτουργικό κόστος και οι εκπομπές ρύπων μπορούν να μειωθούν και σε μεταγενέστερο στάδιο μπορούν να αποδειχθούν κινητήρες αποκλειστικής μεθανόλης που εκμεταλλεύονται πλήρως τις μοναδικές ιδιότητες της μεθανόλης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Πρόσφατα έργα επέδειξαν τη μετατροπή ενός δίχρονου κινητήρα χαμηλής ταχύτητας (κινητήρες MAN στα δεξαμενόπλοια Methanex) και ενός τετράχρονου κινητήρα μεσαίας ταχύτητας (κινητήρας Wärtsilä στη Stena Germanica), αλλά υπάρχει περιορισμένος αριθμός με την εν λόγω εφαρμογή σε μικρότερους τετράχρονους κινητήρες υψηλής ταχύτητας.

Στο έργο LeanShips, η εστίαση είναι στη μετατροπή ενός Volvo Penta D7, ενός ναυτικού κινητήρα υψηλής ταχύτητας. Ο κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ 265 ίππων στις 2300 σ.α.λ., έχει έξι κυλίνδρους, όγκο σάρωσης 7,15 λίτρα και αναλογία συμπίεσης 17,6:1. Αυτός επιλέχθηκε καθώς είναι ο ευκολότερος τρόπος μετατροπής κινητήρα σε λειτουργία διπλού καυσίμου .

Οι κύριοι στόχοι του έργου είναι :

- η μετατροπή του κινητήρα σε λειτουργία διπλού καυσίμου
- η χαρτογράφηση των επιδόσεων του κινητήρα
- η απόδοση
- οι εκπομπές μέσω ενός λεπτομερούς προγράμματος δοκιμών κινητήρα
- η χρήση σε ένα δεύτερο στάδιο των δεδομένων που λαμβάνονται σε μια αξιολόγηση του κύκλου ζωής για δύο πιλοτικά πλοία μελέτης.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

Η μετατροπή θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προσφερθεί ως εκ των υστέρων λύση. (EllisJ, 2015)

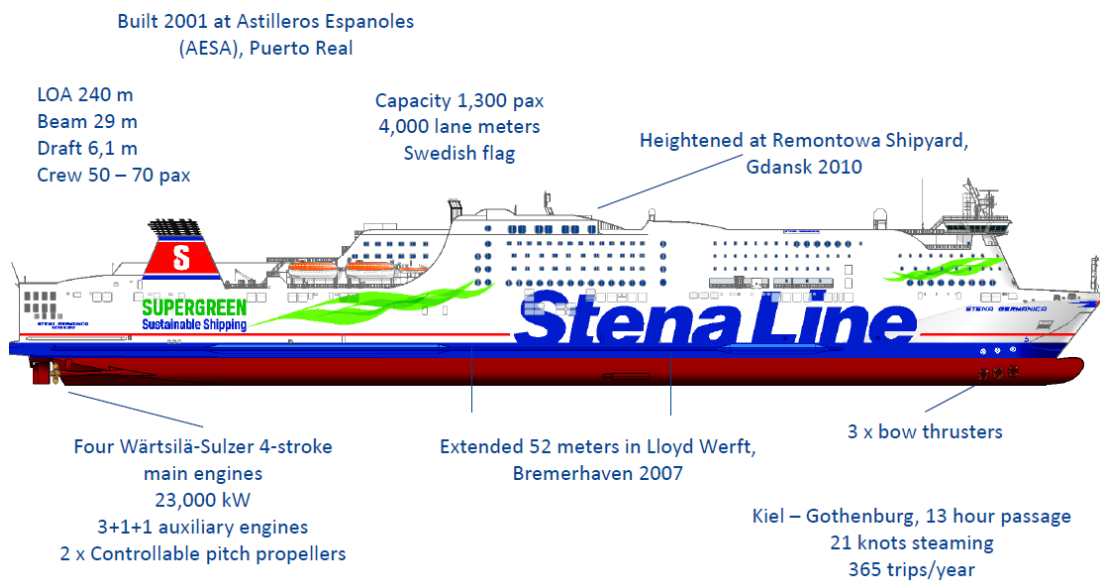


‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

12. Το έργο μετατροπής ενός πλοίου που λειτουργεί με καύσιμο την μεθανόλη

Pilot vessel - Stena Germanica



Εικόνα 6 Τα χαρακτηριστικά του Stena Germanica(Πηγή: Erik Lewenhaupt Stena Line, *Methanol as an alternative fuel in shipping*, 2017)

12.1 Χαρακτηριστικά

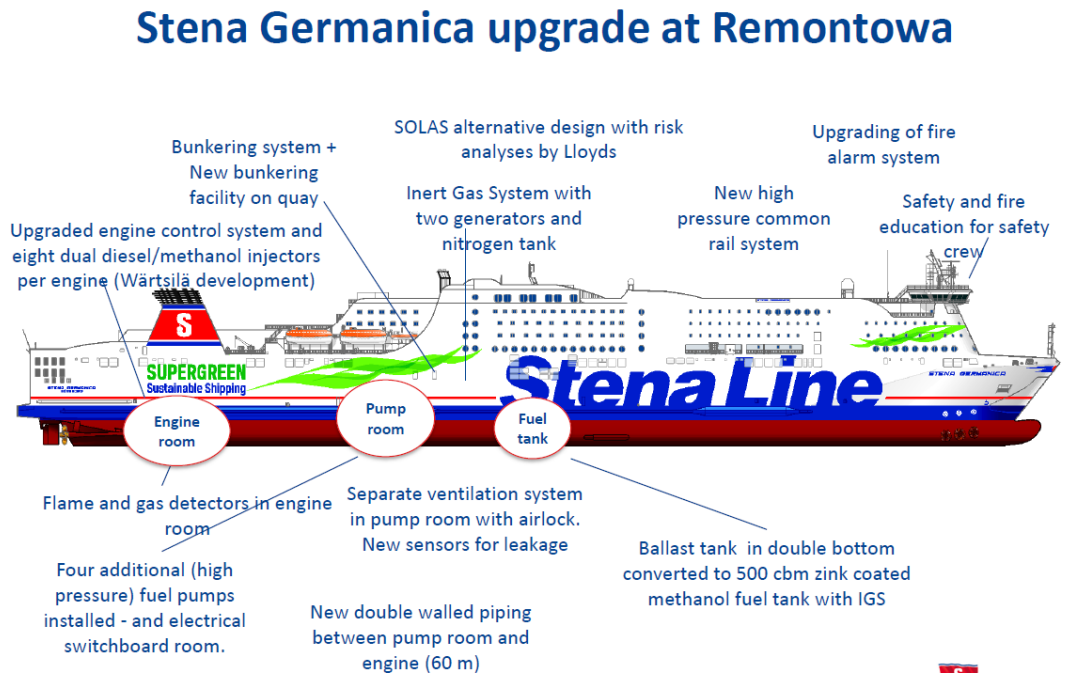
- Μετασκευασμένο σε Ναυπηγείο Remontowa , Γκντανσκ 2010
- Κατασκευασμένο 2001 στην Astilleros Espanoles (AES), Πουέρτο Ρεάλ
- Τέσσερις κύριες μηχανές Wärtsilä Sulzer 23.000 kW
- 5 βοηθητικοί κινητήρες
- 2 x Έλικες μεταβαλλόμενου βήματος
- Επιμήκυνση 52 μέτρων στο Lloyd Werft, Bremerhaven 2007
- Χωρητικότητα 1.300 άτομα



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

- 4000 μέτρα λωρίδα φόρτωσης τροχοφόρων
- Σουηδική σημαία
- LOA 240 m
- Beam 29 m
- Draft 6,1 m
- Πλήρωμα 50-70 άτομα



Εικόνα 7 Έργα μετασκευής του Stena Germanica(Πηγή :Erik Lewenhaupt Stena Line, Methanol as an alternative fuel in shipping, 2017)



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

12.2 Εργασίες μετατροπής

- Νέο σύστημα ανεφοδιασμού και νέες ανεφοδιαστικές εγκαταστάσεις στην προβλήτα
- Εναλλακτικός σχεδιασμός SOLAS με κίνδυνο αναλύσης του Lloyds
- Ξεχωριστό σύστημα εξαερισμού σε αντλιοστάσιο με airlock.
- Νέοι αισθητήρες για διαρροές
- Τέσσερις επιπλέον (υψηλής πίεσης) αντλίες καυσίμου εγκατεστημένες και χώρος ηλεκτρολογικών πινάκων διανομής.
- Αναβαθμισμένο σύστημα ελέγχου κινητήρα και οκτώ διπλά μπεκ ντίζελ/μεθανόλης ανά κινητήρα (ανάπτυξη Wärtsilä)
- Νέες σωληνώσεις διπλού τοιχώματος μεταξύ αντλιοστασίου και κινητήρα (60 m)
- Δεξαμενή ballast μετατράπηκε σε δεξαμενή καυσίμου μεθανόλης με IGS και ψευδάργυρο 500 cbm
- Νέο υψηλής πίεσης σύστημα common rail
- Αναβάθμιση συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς
- Εκπαίδευση σε θέματα πυρασφάλειας για το πλήρωμα.



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

13. Συμπεράσματα-Επίλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την οικονομική ανάλυση της χρήσης της μεθανόλης σε σχέση με τα άλλα ναυτιλιακά καύσιμα. Κατά την οικονομική ανάλυση αυτής προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα σχετικά με :

- 1.Τα κόστη μετασκευής και την απόδοση πλοίων που λειτουργούν με κινητήρες διπλού καυσίμου (diesel-μεθανόλης)
- 2.Την διακύμανση των τιμών της μεθανόλης σε σύγκριση με τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα
- 3.Τα κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης της μεθανόλης
4. Τα κόστη παραγωγής της μεθανόλης (ορυκτή και πράσινη μεθανόλη)
- 5.Τα κόστη υποδομής της μεθανόλης
- 6.Την συμμόρφωση της μεθανόλης με τους κανονισμούς μείωσης εκπομπών.

1. Το κόστος μετασκευής ενός πλοίου που χρησιμοποιεί 2 μηχανές 10 MW (MAN) είναι 2.725,000 ευρώ .

Το κύριο σημείο αναφοράς για το κόστος μετασκευής πλοίων είναι από τη μετατροπή του οχηματαγωγού πλοίου Stena ro-pax 24 MW Germanica. Το ειδικό κόστος μετατροπής ανήλθε σε 13 εκατ. ευρώ και το συνολικό κόστος του έργου ήταν 22 εκατ. ευρώ, το οποίο περιλαμβάνει μια δεξαμενή αποθήκευσης μεθανόλης στην ξηρά και την προσαρμογή μιας φορτηγίδας καυσίμων. Έχει εκτιμηθεί ότι το κόστος ενός δεύτερου έργου μετασκευής θα είναι πιο χαμηλό , σε ποσοστό περίπου 30% έως 40% του μετατροπής της Stena Germanica (Stefenson, 2015)

Η χρήση μεθανόλης σε υπάρχοντα πλοία έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος μετασκευής σε σύγκριση με το κόστος μετασκευής LNG. Συγκεκριμένα, το κόστος μετασκευής μεθανόλης κυμαίνεται από 25% έως 35% του αντίστοιχου κόστους μετασκευής LNG για κινητήρες 10 - 25 MW.

Οι σημερινοί κινητήρες έχουν καλή απόδοση και οι επερχόμενες τεχνολογίες θα βελτιώσουν περαιτέρω αυτή την απόδοση .Μέχρι στιγμής, τα πλοία μεθανόλης κινούνται με diesel μηχανές που έχουν τροποποιηθεί για να λειτουργούν τόσο με μεθανόλη όσο και με ναυτικό diesel. Και στους δύο τομείς και εργαστηριακές δοκιμές, οι μετατρεπόμενοι



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

κινητήρες μεθανόλης έχουν αποδώσει σε ισοδύναμα ή υψηλότερα επίπεδα από τους κινητήρες diesel.

Οι ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου μεθανόλης δεν απαιτούν μείωση της ισχύος και δείχνουν ομαλή απόκριση στο φορτίο και πλήρη πλεονασμό καυσίμου.

Οι ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου μεθανόλης δείχνουν ανώτερη απόδοση σε σύγκριση με τους κινητήρες diesel και η μεθανόλη έχει σχεδόν το ίδιο λειτουργικό αποτύπωμα άνθρακα με το LNG.

2. Οι τιμές της μεθανόλης παρουσιάζουν αρκετές διακυμάνσεις :

Τα τελευταία πέντε χρόνια, η μεθανόλη ήταν συνήθως λιγότερο ακριβή, σε ενεργειακή ισοδύναμη βάση, από ό,τι τα ανταγωνιστικά καύσιμα, όπως το ναυτιλιακό πετρέλαιο (MGO). Στις συνθήκες των χαμηλότερων τιμών του πετρελαίου, οι τιμές του MGO έχουν μειωθεί περισσότερο από τη μεθανόλη και συνεπώς το οικονομικό πλεονέκτημα της μεθανόλης έχει μειωθεί. Ωστόσο, η μεθανόλη παραμένει ανταγωνιστική σε βασικές ναυτιλιακές περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας. Στη Βόρεια Αμερική, οι τιμές της μεθανόλης έχουν μειωθεί κατά 30% τους τελευταίους δώδεκα μήνες (Methanex, 2015) Δεδομένου ότι οι κινητήρες μεθανόλης είναι διπλού καυσίμου, μια προσωρινή αλλαγή σε ναυτιλιακό ντίζελ είναι πάντα δυνατή σε χρονικές στιγμές που η μεθανόλη είναι ακριβότερη.

3. Το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης MEOH μπορεί να μειωθεί σημαντικά λόγω της τεχνογνωσίας που έχει συσσωρευτεί εδώ και πολλά χρόνια από την αποθήκευση και μεταφορά της MEOH με chemical tanker

Το κόστος αποθήκευσης της MEOH σε πλοία είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος αποθήκευσης άλλων εναλλακτικών καυσίμων όπως είναι το LNG, LPG και Υδρογόνο γιατί η MEOH σε θερμοκρασία δωματίου είναι σε υγρή μορφή. Οι ναυτιλιακές και χημικές βιομηχανίες έχουν μακρά ιστορία και άφθονη εμπειρία στο χειρισμό μεθανόλης με ασφάλεια. Η μεθανόλη έχει μεταφερθεί παγκοσμίως, έχει διακινηθεί και χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές για περισσότερο από 100 χρόνια. Από την άποψη της υγείας και της ασφάλειας, οι χημικές και ναυτιλιακές βιομηχανίες έχουν αναπτύξει διαδικασίες για τον ασφαλή χειρισμό της μεθανόλης και την μεταφορά της μεθανόλης ως χημικό προϊόν, τόσο σε βυτιοφόρα όσο και σε πλοία χύδην φορτίου. Για



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

παράδειγμα, η μεθανόλη ήταν το κυρίαρχο χύδην υγρό που διακινήθηκε στα φινλανδικά λιμάνια το 2008 και το 2009 και είναι γενικά ένα πολύ συνηθισμένο χημικό που μεταφέρεται στα λιμάνια γύρω από τη Βαλτική Θάλασσα (Hakkinen, 2012)

4. Το κόστος παραγωγής της μεθανόλης είναι είτε από ορυκτά καύσιμα (Fossil Methanol) , είτε από δέσμευση του CO₂ .Το κόστος παραγωγής της βιομεθανόλης (πράσινη) είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της ορυκτής μεθανόλης.

Το κόστος της πράσινης μεθανόλης θεωρείται προς το παρόν αρκετά υψηλό, ωστόσο οι νέες προοπτικές που ανοίγονται λόγω της ωρίμανσης της τεχνολογίας και της αύξησης της ζήτησης, μπορεί να ξεπεράσει αυτό το ζήτημα μέχρι το 2030 και να την καταστήσει ως μια βιώσιμη λύση.

Η μεθανόλη είναι άμεσα διαθέσιμη παγκοσμίως και κάθε έτος παράγονται παγκοσμίως πάνω από 70 εκατομμύρια τόνοι. Η κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή μεθανόλης είναι το φυσικό αέριο. Ωστόσο, η μεθανόλη θα μπορούσε να είναι 100% ανανεώσιμη, καθώς μπορεί να παραχθεί από μια ποικιλία ανανεώσιμων πρώτων υλών ή ως ηλεκτροκαύσιμο. Αυτό την καθιστά ιδανικό καύσιμο για την πορεία προς ένα βιώσιμο μέλλον στο οποίο η ναυτιλία θα τροφοδοτείται από 100% ανανεώσιμα καύσιμα.

5. Η τρέχουσα υποδομή διαμερισμάτων του πλοίου σε δεξαμενισμό χρειάζεται μόνο μικρές τροποποιήσεις για να χειριστεί τη μεθανόλη .Η μεθανόλη είναι παρόμοια με τα καύσιμα θαλάσσης, όπως τα βαρέα μαζούτ (HFO), επειδή είναι επίσης υγρό. Αυτό σημαίνει ότι η υπάρχουσα αποθήκευση, διανομή και οι υποδομές σε δεξαμενισμό μπορούν να χειριστούν τη μεθανόλη.

6. Η μεθανόλη συμμορφώνεται με όλο και περισσότερο αυστηρούς κανονισμούς μείωσης των εκπομπών .Το ναυτιλιακό καύσιμο της μεθανόλης δεν παράγει εκπομπές θείου και έχει πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Επομένως συμμορφώνεται με τις ισχύουσες διατάξεις μείωσης των εκπομπών όπως οι περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECAs) Οι συνολικές εκπομπές CO₂ από την παραγωγή της βιομεθανόλης είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές CO₂ της ορυκτής ΜΕΟΗ .



‘‘Αντωνιάδης Απόστολος’’

‘‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’’

14. Βιβλιογραφία

- Andersson K and Salazar C.M. (2015). *Methanol as a marine fuel report*. FCBI Energy, prepared for Methanol Institute.
- Chryssakis, C. (2015). *Personal communication*.
- Elias A. Yfantis et all, J. S. (2019). *Methanol as a Low-Carbon and Sulphur-Free Alternative Fuel for Shipping: Prospects and Challenges*.
- Ellis J., T. K. (2015). *Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. Report prepared for the European Maritime Safety Agency (EMSA)*.
- Fagerlund, P. R. (2013). *Effship Project: summary and conclusions*.
- Hakkinen, P. (2012). *Survey of transportation of liquid bulk chemicals in the Baltic Sea*. Centre for Maritime Studies.
- Haraldsson, C. (2015). *Methanol as fuel*. MOT-2030 Workshop, Lund University.
- Harmsen, J. N. (2020). *Green Maritime*.
<http://ainsworthenergy.com/products/drop-in-fuels>.
https://wikipedia.net/el/Methanol_economy.
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-7-2010-5601_EL.html?redirect. (χ.χ.).
- Hughes, E. (2016). *Methanol as marine fuel, Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility*. Maritime advisory, Environmental advisory.
- Irena and methanol Institute, I. O. (2021).
- Mayer S., S. J. (2016). *CIMAC Congress, Helsinki, Document Number 20160600407*.
- Methanol as a marine fuel report. FCBI Energy, p. f. (2015.). *Andersson K., Salazar C.M., .*
- Mmsa, M. M. (2015). <https://www.methanolmsa.com>.
- Platts. (2015). *US methanol falls to near-five-year low on sustained demand weakness*. Available: www.platts.com/latest-news/petrochemicals.
- Ramne. (2015). *Personal communication*.
- Rao, V. (2015). *Shale Oil and Gas: The Promise and the Peril*,. Revised and Updated Second Edition: RTI Press Publication No. BK-0012-1508.
- Stefenson, P. (2015). *Methanol as marine fuel*. Stena Teknik.
- Verhelst, S. T. (2019). *Methanol as a fuel for internal combustion engines, Progress in Energy and Combustion Science*, 70:43-88.



‘Αντωνιάδης Απόστολος’

‘Οικονομική Αξιολόγηση της Χρήσης Μεθανόλης ως Εναλλακτικού Καυσίμου σε Πλοία’

www.ship-technology.com/projects/stena-germanica-ropax-ferry.

Βώσσου, Δ. (Ιανουάριος 2019). *Ο νέος κανονισμός για την εκπομπή οξειδίων του SO₂ (Marpol AN.VI-2020) και η επίδραση στη βιωσιμότητα της ναυτιλίας*. Πειραιάς.

Methanex. (2015). *Methanex Monthly Average Regional Posted Contract Price History*.

Bilousov, Bulgakov & Savchuk (2020) *Modern Marine Internal Combustion Engines*

Tronstad T., Astrand H.H., Haugom G.P., Langfeldt L., (2017). *Study on the use of fuel cells in shipping*