



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

**“ ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ ”**

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Βασίλειος Αντωνιάδης
ΜΝΣΝΔ 20007

Επιβλέπων:

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Θ. Ζάννης (Αναπλ. Καθηγητής ΣΝΔ)

Πειραιάς

Μάρτιος 2022



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία”

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.



*“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία”*

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Αναπληρωτής Καθηγητής Δρ. Θ. Ζάννης

ΜΕΛΟΣ Β΄: Αναπληρωτής Καθηγητής Δρ. Ι. Κατσάνης

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Αναπληρωτής Καθηγητής Δρ. Ε. Παριώτης



*“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική 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 για όλη τη βοήθεια και
την καθοδήγησή του κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Θα ήθελα ακόμη να
ευχαριστήσω τον κο Ευθύμιο Παριώτη και κο Ιωάννη Κατσάνη, αναπληρωτές καθηγητές
του τομέα και της ΣΝΔ ,για τη στήριξη και αρωγή τους στη συγκεκριμένη εργασία.
Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου για την γενικότερη στήριξη τους. ”*



*“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνική και περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία. Η μεθανόλη είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο με πολύ μικρό ποσοστό σε άνθρακα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις κύριες και στις βοηθητικές μηχανές των πλοίων με στόχο την σημαντική μείωση του αποτυπώματος τους σε άνθρακα. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκαν, με βάση δεδομένα της βιβλιογραφίας, οι μέθοδοι παραγωγής ορυκτής μεθανόλης και βιο-μεθανόλης και καταγράφηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μεθόδου. Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της μεθανόλης και αυτές συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες ιδιότητες άλλων συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων της ναυτιλίας. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν πειραματικά και θεωρητικά αποτελέσματα από την βιβλιογραφία τα οποία αφορούσαν τις λειτουργικές επιδόσεις και τις εκπομπές ρύπων από ναυτικούς κινητήρες με μεθανόλη με στόχο κυρίως την εκτίμηση των επιπτώσεων της μεθανόλης στο περιβάλλον. Τέλος παρουσιάστηκε από τεχνικής άποψης το παράδειγμα μετατροπής ενός επιβατηγού/οχηματαγωγού πλοίου για λειτουργία των κυρίων και βοηθητικών μηχανών με μεθανόλη. Το βασικό συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι μεθανόλη παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που την καθιστούν ένα αρκετά υποσχόμενο εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να συνεισφέρει στην περιστολή του αποτυπώματος άνθρακα των πλοίων.

ABSTRACT

The main objective of the present thesis is the technical and environmental assessment of the methanol as alternative fuel for shipping. Methanol is an alternative fuel with small percentage of carbon in its molecule and thus, it can be used in main and auxiliary engines to significantly reduce the carbon footprint of various types of vessels. In the context of the present study, various production methods of fossil methanol and bio-methanol are reviewed and critically evaluated to assess the individual characteristics and the advantages and disadvantages of each method. The chemical and physical properties of methanol were examined, and they were compared with pertinent properties of other conventional and alternative marine fuels. Following this analysis, experimental and theoretical results obtained from the literature, and they involved the impact of methanol on the performance characteristics and on emitted pollutants of marine methanol engines are thoroughly evaluated to assess the repercussions of methanol on the operational capacity and quality of marine engines and to assess the relative impact of methanol on the environment. The analysis of the results of the present study showed that methanol is a promising alternative marine fuel that can offer significant reduction of the carbon footprint of various types of vessels contributing thus to the realization of IMO greenhouse emission reduction initiatives.

Λέξεις – Κλειδιά

Μεθανόλη, εναλλακτικά καύσιμα, εκπομπές ρύπων, ναυτικοί κινητήρες.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	7
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ 10	
1.1 ΆΛΛΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΘΕΣΠΙΣΤΗΚΑΝ ΑΡΓΟΤΕΡΑ: ...	12
2 Η ΜΕΘΑΝΟΛΗ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ	12
3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ	13
3.1 ΠΑΛΑΙΑ ΜΕΘΟΔΟΣ	13
3.2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ	14
3.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΥΚΤΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ.....	14
3.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....	14
3.2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ	15
3.2.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ	16
3.2.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	17
3.3 ΒΙΟΜΕΘΑΝΟΛΗ	17
4 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ.....	19
4.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	19
4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ	20
4.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	20
4.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	21
5 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ	21
6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	21
7 ΜΕΘΑΝΟΛΗ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ στη ναυτιλία	26
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	28
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29



ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες μεθανόλης, φυσικού αερίου, και ντίζελ [Πηγή: Haraldson,2014]	19
Πίνακας 2. Βασικά χαρακτηριστικά του 2-X ναυτικού κινητήρα διπλού καυσίμου (μεθανόλης/ντίζελ) LGI ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σε πειραματικές μετρήσεις με EGR και γαλάκτωμα μεθανόλης/νερού (Laurson, 2017)	24

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ιστορική αναδρομή του EEDI μέσα από τις MEPC [«Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων», Κολάκη Αθηνά, Χίος 2016,Πηγή (35)]	11
Εικόνα 2. Παλαιά Μέθοδος Παραγωγής Μεθανόλης [Πηγή (36)]	13
Εικόνα 3. Ο ουδέτερος κύκλος του άνθρακα [Πηγή (36)]	15
Εικόνα 4. Αεριοποιητής [Πηγή (37)]	16

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Baseline-Target EEDI value για διαφορετικές κατηγορίες και μεγέθη πλοίων [«Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων», Κολάκη Αθηνά, Χίος 2016,Πηγή (35)]	12
--	----

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. (a) Anthropogenic carbon cycle for methanol production and (b) Schematic view of the CO ₂ chemical conversion processes to methanol. Figures were reproduced using data obtained from (Al-Saydeh and Javid Zaidi,2018) [(α) Κύκλος του Άνθρακα σχετικά με την Παραγωγή της Μεθανόλης. (β)Τρόποι μετατροπής CO ₂ σε Μεθανόλη]	18
Σχήμα 2. Οπτικοποιημένο όραμα για παραγωγή μεθανόλης στο μέλλον και σύστημα διανομή της. Το σχήμα αναπαρήχθη χρησιμοποιώντας δεδομένα από την πηγή: Gebart et al.,2014.	18
Σχήμα 3. Μεταβολή της (α) ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και (β) των εκπομπών NO _x με το φορτίο κινητήρα. Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα για ένα 2-X ναυτικό κινητήρα αυτανάφλεξης με μεθανόλη (4S50ME-T-9.5-LGI) για λειτουργία αυτού με πετρέλαιο (μαύρη καμπύλη), ως μηχανή διπλού καυσίμου (μπλέ καμπύλη), με πετρέλαιο και EGR (κόκκινη καμπύλη) και ως μηχανή διπλού καυσίμου με EGR (πράσινη καμπύλη). Τα σχήματα αναπαρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Laurson,2017)	24
Σχήμα 4. Μεταβολή των μετρημένων εκπομπών NO _x με το ποσοστό νερού στην μεθανόλη. Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα στο 25%, 50%, 75% και 100% του πλήρους φορτίου για ένα 2-X ναυτικό κινητήρα διπλού καυσίμου με μεθανόλη (LGI) (MAN 4S50ME-T-9.5-LGI). Τα αποτελέσματα του σχήματος αναπαρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Laurson,2017)	24
Σχήμα 5. Μεταβολή των μετρημένων τιμών (α) θερμοκρασίας καυσαερίου πριν τον στρόβιλο της υπερπλήρωσης, (β) της αιθάλης (FSN) και (γ) των εκπομπών NO _x με την μέση πραγματική πίεση. Παρουσιάζονται πειραματικές τιμές για τον κινητήρα Wartsila Sulzer ZA40S-MD χρησιμοποιώντας HFO, LFO και μεθανόλη υπό συνθήκες μεικτής καύσης. Θεωρούνται δυο περιπτώσεις έγχυσης μεθανόλης: 450 bar και 600 bars. Τα	



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

σχήματα αναπαρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Stojcevski,2016).....	26
Σχήμα 6. Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κύκλου ζωής για τις εκπομπές CO ₂ , SO _x , NO _x και PM του HFO (1% θείο), MGO (0.1% θείο), LNG και μεθανόλης από φυσικό αέριο και μεθανόλης από βιομάζα. Το σχήμα αναπαρήχθη χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Lewenhaupt,2017).....	27



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ), επιδεικνύοντας υψηλή περιβαλλοντική συνείδηση, έχει αναλάβει συγκεκριμένες πρωτοβουλίες για τη μείωση της συμβολής της ναυτιλίας στο παγκόσμιο πρόβλημα της ρύπανσης. Συγκεκριμένα, ο ΙΜΟ, έχοντας αναγνωρίσει τις σοβαρές επιζήμιες επιπτώσεις των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) και σωματιδίων που προκαλούνται από τη ναυτιλία, εξέδωσε το λεγόμενο «Παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου 2020», σύμφωνα με το οποίο από την 1η Ιανουαρίου 2020 το παγκόσμιο όριο θείου καυσίμου θα περιοριστεί σε 0,5% (ΙΜΟ, 2019). Επίσης, σύμφωνα με την αρχική στρατηγική του ΙΜΟ (ΜΕΡC.72 (304)) οι συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να μειωθούν τουλάχιστον κατά 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 2008 και τουλάχιστον κατά 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008 (ΙΜΟ, 2018).

Σύμφωνα με το ΜΕΡC.72 (304), η υλοποίηση των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του ΙΜΟ βασίζεται σε βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μέτρα (ΙΜΟ, 2018). Ένα από τα πιο πολλά υποσχόμενα βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα μέτρα μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι η χρήση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών άνθρακα (ΙΜΟ, 2018). Σε περίπτωση που αυτά τα εναλλακτικά καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα ή χωρίς άνθρακα είναι επίσης χωρίς θείο, το παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου του ΙΜΟ 2020 μπορεί επίσης να επιτευχθεί αποτελεσματικά (ΙΜΟ, 2018; ΙΜΟ, 2019).

Ένα από τα πιο πολλά υποσχόμενα εναλλακτικά καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και χωρίς θείο για τη ναυτιλία είναι η μεθανόλη. Η μεθανόλη έχει πολλά πλεονεκτήματα ως ναυτιλιακό καύσιμο, αλλά η χρήση της στη ναυτιλία αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις (Andersson και Salazar, 2015).

Ήδη δημοσιευμένες μελέτες (Laurson, 2017; ΜΑΝ, 2018) έχουν δείξει τα ευεργετικά αποτελέσματα της χρήσης μεθανόλης στην απόδοση του κινητήρα διπλού καυσίμου με ανάφλεξη με συμπίεση (CΙ) στη θάλασσα και στις εκπομπές ΝΟ_x. Επίσης, η τεχνολογία των ναυτικών τετράχρονων (4-S) κινητήρων διπλού καυσίμου (ντίζελ/μεθανόλη) και ο ευεργετικός αντίκτυπος της καύσης μεθανόλης στη θερμοκρασία των καυσαερίων, των εκπομπών αιθάλης και τις εκπομπές ΝΟ_x έχουν αποδειχθεί σε αρκετές παρουσιάσεις που δημοσιεύθηκαν στο διαδίκτυο από την Wartsila (Haraldson,2014; Haraldson,2015; Portin, 2015; Salonen,2016; Stojceviski,2016; Wuebben,2014).

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία (Fagerlund, 2014; Lewenhaupt, 2017; Stefenson, 2014) είναι η περιγραφή των τεχνικών επιπτώσεων και του κόστους κεφαλαίου της μετασκευής συμβατικών πλοίων προκειμένου οι κύριοι και βοηθητικοί κινητήρες τους να λειτουργούν με μεθανόλη με πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα. αυτό της Stena Germanica. Αρκετά ενδιαφέρουσες δημοσιευμένες μελέτες (Chatterton,2018; Freudendahl,2014; Moirangthem.2016; Remley,2014; Surya Prakash and Olah,2014) συνέκριναν τη σύνθεση και τις χημικές και φυσικές ιδιότητες της μεθανόλης με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά άλλων εναλλακτικών θαλάσσιων καυσίμων αποκαλύπτοντας τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθανόλης σε αντίθεση με άλλα ναυτιλιακά καύσιμα. Η παγκόσμια διαθεσιμότητα, οι βασικές ιδιότητες και το κόστος παραγωγής τόσο της ορυκτής μεθανόλης όσο και της βιομεθανόλης έχουν αποδειχθεί σε λεπτομερείς μελέτες, οι οποίες ανέλυσαν τις διάφορες μεθόδους παραγωγής ορυκτών μεθανόλης και βιομεθανόλης (Al-Saydeh and Javid Zaidi, 2018; Gebart et al., 2014· Ramme, 2014· Stenhede, 2014). Λεπτομερείς μελέτες ανασκόπησης έχουν εξετάσει (Andersson and Salazar, 2015; Dierickx et al.,



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

2018; Laselle and Abusdal, 2016) τη διαδικασία παραγωγής μεθανόλης από την ανάλυση της διαθέσιμης υποδομής, της παγκόσμιας διαθεσιμότητας, των βασικών ιδιοτήτων και των έργων μεθανόλης σε σχέση με Αποστολή. Οι Verhelst et al. (2019) δημοσίευσε μια εκτενή ανασκόπηση της μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου, όπου αναλύθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθανόλης και η επιρροή της στους κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Από την ενδελεχή εξέταση της βιβλιογραφίας υπάρχει έλλειψη πρόσφατων ενοποιημένων πληροφοριών σχετικά με τις προοπτικές της μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων με έμφαση στην επίδραση της στα χαρακτηριστικά απόδοσης των δίχρονων και των τετράχρονων ναυτικών κινητήρων και στις εκπομπές ρύπων και στη συμμόρφωσή τους με τα όρια του IMO για τις εκπομπές SOx και τα αντίστοιχα όρια του IMO για τις εκπομπές NOx. Για το λόγο αυτό, κύριος στόχος της παρούσας μελέτης είναι η συγκριτική και η κριτική αξιολόγηση των υφιστάμενων πρόσφατων πληροφοριών σχετικά με την εφαρμογή της μεθανόλης στη ναυτιλία με έμφαση στα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της. Το αποτέλεσμα της προτεινόμενης μελέτης θα είναι ο ορισμός του πλαισίου βάσει του οποίου η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στη ναυτιλία ως εναλλακτικό καύσιμο με χαμηλές εκπομπές άνθρακα και θείου.

Λέξεις-κλειδιά: Μεθανόλη, παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου για το 2020, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Ο IMO έχει θεσπίσει κάποια μέτρα (δείκτες) για τη μείωση εκπομπών αυτών των αερίων:

- Τεχνικά μέτρα (Technical measures)-EEDI:Energy Efficiency Design Index, Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού

$$EEDI = \frac{\text{Ship CO}_2 \text{ emissions}}{\text{Performed Work}} \quad (1)$$

Ορίζεται ως το πηλίκο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της κύριας και των βοηθητικών μηχανών σε συγκεκριμένη ισχύ ενός πλοίου, προς το όφελος στη κοινωνία. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου, τις επιδόσεις του κινητήρα σε συνδυασμό με την καμπύλη της ταχύτητας του. Σκοπός του δείκτη είναι ο καθορισμός της ελάχιστης απόδοσης των νέων πλοίων και πλέον από το 2013 είναι υποχρεωτικό να καθορίζεται για κάθε νέο πλοίο συμφώνως διαταγών.Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε g-CO₂/ton*mile που εκπέμπονται από ένα πλοίο και πρέπει να είναι μικρότερος από μια ορισμένη τιμή (required EEDI) που εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου , την χωρητικότητα ή το deadweight του πλοίου.

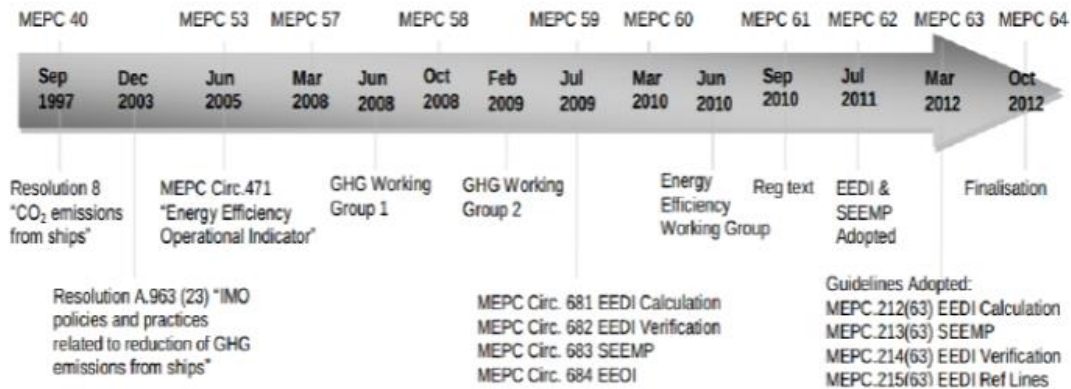
$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI}$$

. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1) φαίνεται η ιστορική εξέλιξη του EEDI μέσα από τις MEPC συμφώνα με την βιβλιογραφία (Πηγή (35)).



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”



Εικόνα 1. Ιστορική αναδρομή του EEDI μέσα από τις MEPC [«Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων», Κολάκη Αθηνά, Χίος 2016, Πηγή (35)]

- Λειτουργικά μέτρα (Operational measures) : - αφορά όλα τα πλοία
- SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan Σχέδιο Ενεργειακής Διαχείρισης Πλοίων (είναι παράγοντας που επηρεάζει τους δείκτες ενεργειακής απόδοσης). Το SEEMP είναι αρμόδιο για την παρακολούθηση του πλοίου και ευρύτερα του στόλου μιας εταιρείας, ώστε να ενθαρρύνει τον πλοιοκτήτη να εξετάσει νέες τεχνολογίες και πρακτικές που θα οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση της απόδοσης του πλοίου. Το SEEMP είναι υποχρεωτικό από το 2013 και μετά, και για τα νέα και για τα υπάρχοντα πλοία χωρητικότητας άνω των 400 GT, ανεξαρτήτως σημαίας. Η εφαρμογή των τεχνολογιών και των πρακτικών που προσφέρει το SEEMP οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO₂. Το SEEMP δεν είναι εγκεκριμένο από κράτη σημαίας ή αναγνωρισμένος οργανισμός αλλά μαζί με το EEDI αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση ώστε ένα πλοίο να αποκτήσει το IEEC (Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας). Το SEEMP πρέπει να προετοιμαστεί για κάθε πλοίο ξεχωριστά και ενώ βασίζεται σε μια τυπική-γενική μορφή πρέπει να προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά μεμονωμένων εταιρειών και πλοίων.
- EEOI: Energy Efficiency Operational Index (EEOI) - Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης. Ο συγκεκριμένος δείκτης καθορίζει τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε δεδομένη χρονική περίοδο ανά μονάδα εσόδων ανά τόνο-μίλια. Ορίζεται ως:

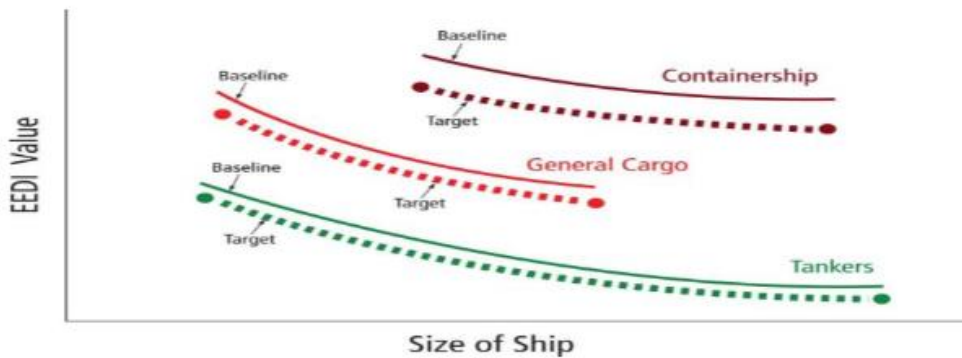
$$EEOI = \frac{\text{mass of CO}_2 \text{ emitted (μάζα CO}_2 \text{ που εκπεμπεται)}}{\text{unit of transport work (μεταφερόμενο έργο)}} \quad (2)$$

Εξαρτάται από τη σχεδιαστική απόδοση του πλοίου, την ποσότητα του μεταφερόμενου φορτίου ανά μονάδα χρόνου και τις διακυμάνσεις της ταχύτητας.



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”



Διάγραμμα 1. Baseline-Target EEDI value για διαφορετικές κατηγορίες και μεγέθη πλοίων [«Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων», Κολάκη Αθηνά, Χίος 2016, Πηγή (35)]

1.1 ΆΛΛΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΘΕΣΠΙΣΤΗΚΑΝ ΑΡΓΟΤΕΡΑ:

- EEXI: Energy Efficiency Design Index. Δείχνει σε κάθε πλοίο την ενεργειακή του απόδοση, σε σύγκριση με την γραμμή βάσης και εκφράζεται σε ποσοστό έναντι του υφιστάμενου δείκτη (Energy Efficiency Design Index-EEDI). Ισχύει για κάθε πλοίο άνω των 400 GT σύμφωνα με το παράρτημα της MARPOL Annex VI.
- CII: Carbon Intensity Indicator: Ετήσιος δείκτης έντασης λειτουργικού άνθρακα. Ισχύει για πλοία άνω των 5000GT, και καθορίζει τον ετήσιο συντελεστή μείωσης που απαιτείται, για την διασφάλιση συνεχούς βελτίωσης της λειτουργίας έναντι του άνθρακα του πλοίου.

Αξίζει να παρατεθεί ένα χρονικό με τις κινήσεις-μέτρα-στόχοι του IMO στην προσπάθεια μείωσης εκπομπών των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

- Το 2013, το SEEMP καθίσταται υποχρεωτικό για όλα τα πλοία, οι κανονισμοί δηλαδή του IMO εφαρμόζονται πλέον για πάνω από το 90 % του παγκόσμιου στόλου.
- Το 2015, ο δείκτης EEDI απαιτεί τα νέα πλοία να συμμορφώνονται με συμφωνημένους στόχους της αποδοτικότητας.
- Το 2020, απαίτηση θεωρείται τα νέα πλοία να βελτιώσουν την αποδοτικότητα τους κατά 10% με απώτερο στόχο τη μείωση των εκπομπών του CO_2 κατά 20% ανά tn/km.
- Το 2025, προβλέπεται τα νέα πλοία να έχουν βελτιώσει την αποδοτικότητα τους κατά 20%.
- Το 2030, προβλέπεται τα νέα πλοία να έχουν βελτιώσει την αποδοτικότητα τους κατά 30%.
- Το 2050, με τα μέτρα αυτά ο IMO στοχεύει στην κατά 50% μείωση των εκπομπών του CO_2 ανά tn/km.

2 Η ΜΕΘΑΝΟΛΗ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθανόλης είναι ότι υπάρχει ήδη μεγάλης κλίμακας παραγωγική ικανότητα και υποδομή. Η μεθανόλη είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα χημικά σε όλο τον κόσμο με 70 εκατομμύρια μετρικούς τόνους (MT) που παράγονται το 2015 και παγκόσμια παραγωγική ικανότητα περίπου 110 εκατομμυρίων MT (Verhelst et al., 2019). Μία από τις χρήσεις της είναι η υποστήριξη της πετροχημικής βιομηχανίας και ως εκ τούτου, η μεθανόλη είναι ένα από τα πιο



ευρέως διακινούμενα χημικά σε όλο τον κόσμο, και δεδομένου ότι είναι επίσης καύσιμο η αποστολή της σε μεγάλο όγκο οδηγεί στην ανάπτυξη κινητήρων πλοίων για τη χρήση της (Verhelst et al., 2019). 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».

3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ

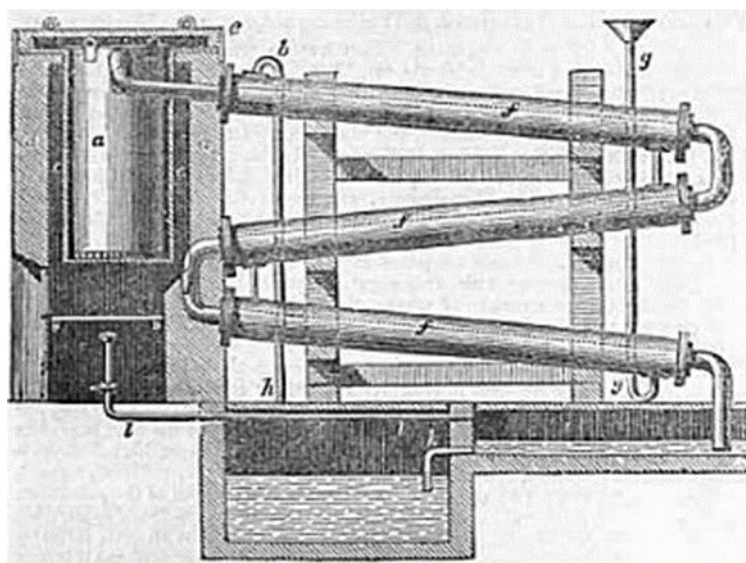
Οι πέντε χώρες που παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες μεθανόλης είναι η Κίνα, η Σαουδική Αραβία, το Τρινιντάντ και Τομπάγκο, το Ιράν και η Ρωσία. Η παγκόσμια ζήτηση για μεθανόλη αυξάνεται με αξιόλογους ρυθμούς 5,5% περίπου το χρόνο και υπολογίζεται ότι το 2027 θα φτάσει τους 135 εκατ. τόνους.

Μέχρι στιγμής παράγεται κυρίως από

- φυσικό αέριο
- γαιάνθρακα
- βιομάζα
- ανανεώσιμους υδρογονάνθρακες
- και άλλες πηγές και ήδη υπάρχουν τεχνολογίες που μπορούν να παράγουν μεθανόλη από διάφορους ρύπους, μειώνοντας τις εκπομπές CO₂.

3.1 ΠΑΛΑΙΑ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η παλαιά μέθοδος παραγωγής μεθανόλης γινόταν με ξηρά απόσταξη ξύλων. Ποσότητες ξύλων μαζεύονταν σε αποστακτήρες με θέρμανση στους 205-260°C (καύση ξύλων). Το απόσταγμα συλλεγόταν σε δεξαμενές, όπου η πίσσα αφηνόταν να κατακαθίσει. Το υπερκείμενο υγρό (πυροξυλικό οξύ) ήταν ένα σκούρο καφεκόκκινο υγρό, με καυστική οσμή καμένου ξύλου. Ακολουθούσαν διαδοχικές κλασματικές αποστάξεις για να παραχθεί μεθανόλη σε ποσοστό 82%. Η παραγωγή μεθανόλης με τη μέθοδο αυτή γινόταν σε πολύ μεγάλη κλίμακα για εκείνη την εποχή (7.500 τόνοι σε ένα χρόνο). Εκείνη την εποχή, η χρήση της μεθανόλης ήταν για θέρμανση, μαγείρεμα και φωτισμό, κι όχι ακόμα για καύσιμο όπως σήμερα.



Εικόνα 2. Παλαιά Μέθοδος Παραγωγής Μεθανόλης [Πηγή (36)]



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία”

3.2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ

3.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΥΚΤΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ

Η παραγωγή μεθανόλης έχει αναλυθεί σε μια πρόσφατη ολοκληρωμένη μελέτη ανασκόπησης (Verhelst et al., 2019), όπου εξηγήθηκε πώς η τρέχουσα παραγωγή περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια. Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την παραγωγή αερίου σύνθεσης (σύνθεση), το οποίο είναι ένα μείγμα CO, H₂ και CO₂. Η πιο κοινή παραγωγή αερίου σύνθεσης βασίζεται στην αναμόρφωση φυσικού αερίου, αλλά μπορεί επίσης να ληφθεί από άλλα υλικά με βάση τον άνθρακα, είτε ορυκτά είτε ανανεώσιμα (Verhelst et al., 2019). Σε βιομηχανική κλίμακα, η μεθανόλη παράγεται κυρίως από φυσικό αέριο με αναμόρφωση του αερίου με ατμό και στη συνέχεια μετατροπή και απόσταξη του προκύπτοντος μείγματος συνθετικών αερίων για τη δημιουργία καθαρής μεθανόλης (Moirangthem, 2016). Η προκύπτουσα μεθανόλη είναι διαυγής, υγρή, οργανική χημική ουσία που είναι υδατοδιαλυτή και εύκολα βιοαποδομήσιμη. Στην περίπτωση της παραγωγής μεθανόλης από φυσικό αέριο, χρησιμοποιείται συνήθως ένας συνδυασμός αναμόρφωσης ατμού και μερικής οξειδωσης, με απόδοση ενεργειακής μετατροπής έως και 70% περίπου (Moirangthem, 2016). Αυτό αντιστοιχεί στην παραγωγή εκπομπών CO₂ περίπου 24 kg καυσίμου CO₂/GJ και 68,8 kg καυσίμου CO₂/GJ για τη χρήση ορυκτών μεθανόλης, με αποτέλεσμα συνολικά 92,8 kg καυσίμου CO₂/GJ, που είναι κοντά στο αντίστοιχο CO₂ που προκαλείται από το ντίζελ εκπομπές (Moirangthem, 2016). Η μεθανόλη που παράγεται από την αεριοποίηση του άνθρακα βασίζεται σε φτηνούς, ευρέως διαθέσιμους πόρους, αλλά το αποτύπωμα άνθρακα της είναι σχεδόν διπλάσιο από το φυσικό αέριο σε 182-190 kg καυσίμου CO₂/GJ (Moirangthem, 2016).

3.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Για την παραγωγή της μεθανόλης χρησιμοποιείται ως πηγή άνθρακα το φυσικό αέριο. Σε αυτή τη περίπτωση η μεθανόλη καλείται «ορυκτή μεθανόλη».

Η παραγωγή μεθανόλης μέσω φυσικού αερίου γίνεται ως εξής:

1. Καθαρισμός της τροφοδοσίας

Απαιτείται ο καθαρισμός του φυσικού αερίου και συγκεκριμένα η αφαίρεση του θείου (S). Αυτό γίνεται μέσω της υδρογονοαποθείωσης. Γίνεται προσθήκη υδρογόνου το οποίο προκαλεί διάσπαση του δεσμού μεταξύ άνθρακα και θείου.

Επιτυγχάνεται με τη παρουσία κοβαλτίου μολυβδενίου (CoMo) ή νικελίου μολυβδενίου (NiMo) και παράγεται υδρόθειο H₂S το οποίο απορροφάται από το οξείδιο του ψευδαργύρου ZnO

2. Δημιουργία syngas

Γίνεται με τη μέθοδο μετατροπής του συνθετικού αερίου (syngas) ενός μίγματος κυρίως υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα (με μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα), σε μεθανόλη. Το Syngas παρασκευάζεται με διαβίβαση υδρατμών και αέρα πάνω από πυρακτωμένο γαιάνθρακα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή να μετατραπεί σε βιοκαύσιμο. Στα υλικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή άνθρακα περιλαμβάνονται κοινά οικιακά απορρίμματα.

Η δημιουργία syngas γίνεται με τους εξής τρόπους:



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
 “ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
 μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

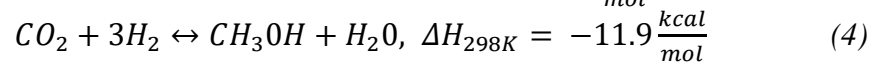
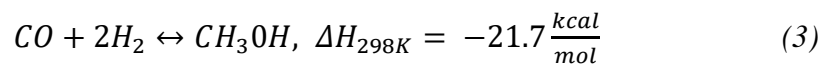
- Αναμόρφωση με Ατμό
- Μερική Οξείδωση
- Αυτόθερμη Αναμόρφωση
- Ξηρή Αναμόρφωση
- Συνδυαστική Αναμόρφωση

Για την παραγωγή του syngas πρέπει να ισχύει ο λόγος: $\frac{H_2}{CO}=2$,

Διαφορετικά, θα υπάρχει περίσσεια ή ελλειμματική ποσότητα υδρογόνου H_2

3. Σύνθεση της μεθανόλης

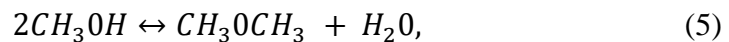
Ακολουθεί η σύνθεση της μεθανόλης από syngas, η οποία επιτυγχάνεται με τη παρουσία καταλύτη με βάση το χαλκό Cu. Πραγματοποιούνται οι κάτωθι αντιδράσεις:



4. Καθαρισμός της μεθανόλης

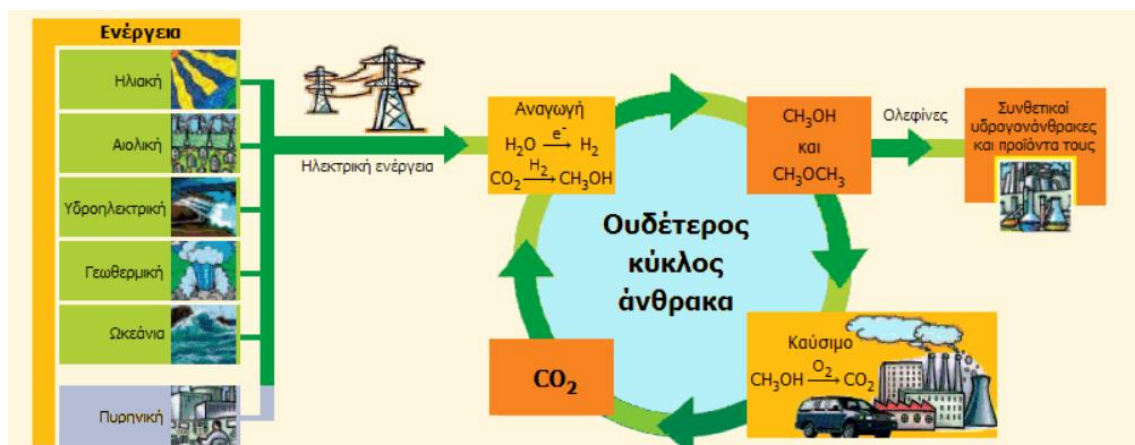
Μετά τη σύνθεση της η μεθανόλη χαρακτηρίζεται ως ακάθαρτη. Για να γίνει εκμεταλλεύσιμη πρέπει να καθαριστεί, να περάσει από αποστακτικές στήλες.

Στην πρώτη στήλη γίνεται η απομάκρυνση των ρύπων ενώ στη δεύτερη αποβάλλεται το νερό με μορφή ατμών. Τέλος, η μεθανόλη συμπιέζεται και επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Χαρακτηριστική αντίδραση καθαρισμού της μεθανόλης είναι η εξής:



3.2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

Βιομάζα θεωρείται η ύλη που έχει είτε άμεση είτε έμμεση οργανική προέλευση. Πηγές βιομάζας αποτελούν προϊόντα που προέρχονται από τη γεωργία, τη κτηνοτροφία, τη δασοκομία, τις υδατοκαλλιέργειες και τα αστικά απόβλητα.

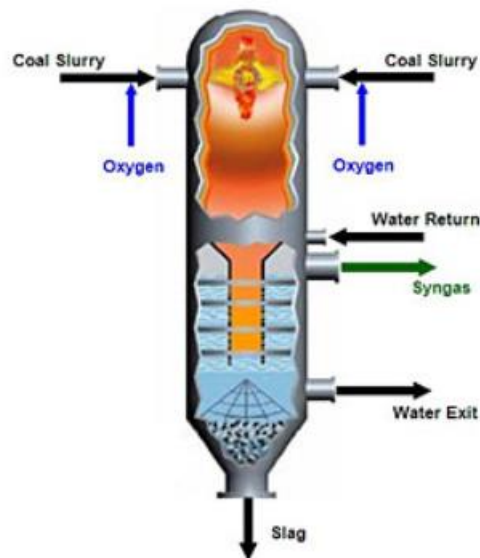


Εικόνα 3. Ο ουδέτερος κύκλος του άνθρακα [Πηγή (36)]

Πλεονέκτημα της βιομάζας θεωρείται ο ουδέτερος κύκλος του άνθρακα. Το διοξείδιο που παράγεται από την καύση είναι το ίδιο με εκείνο που καταναλώνεται κατά τη φωτοσύνθεση με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα. Η παραγωγή της μεθανόλης μέσω της βιομάζας γίνεται ως εξής:



- 1) Επεξεργασία Βιομάζας
Μειώνεται η υγρασία και η βιομάζα αποκτά ομοιόμορφο σχήμα αφού πρώτα ξηρανθεί
- 2) Αεριοποίηση
Αρχικά, η επεξεργασμένη βιομάζα υφίσταται πυρόλυση. Σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλά επίπεδα οξυγόνου παράγεται αέριο που αποτελείται από μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, νερό και πτητικό υπόλειμμα. Ακόμη, μικρό ποσοστό της αρχικής βιομάζας που βρίσκεται σε στερεή μορφή (ξυλάνθρακας) οδηγεί με την εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών σε δημιουργία μονοξειδίου του άνθρακα.
- 3) Καθαρισμός προϊόντος
Ακολουθεί ο καθαρισμός του syngas (έχει μικρότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και μικρή συγκέντρωση θείου σε σχέση με αντίστοιχο syngas από γαιάνθρακα)



Εικόνα 4. Αεριοποιητής [Πηγή (37)]

3.2.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ

Συναντάται σε χώρες που διαθέτουν μεγάλες πηγές πρώτης ύλης όπως η Κίνα. Γίνεται με τα εξής στάδια:

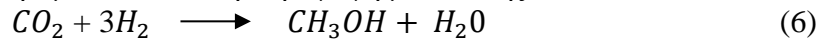
- 1) Αεριοποίηση
Διαδικασία παραγωγής του syngas. Γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις κι χρησιμοποιούνται καταλύτες. Γίνεται αεριοποίηση με οξυγόνο/αέρα, νερό και διοξείδιο του άνθρακα
- 2) Καθαρισμός syngas
Απαιτείται καθαρισμός του syngas από ακαθαρσίες. Γίνεται με διαδικασία στην οποία χρησιμοποιείται μεθανόλη σε χαμηλές θερμοκρασίες ως διαλύτης και διαχωρίζει τους ρύπους από το υπόλοιπο syngas.
- 3) Σύνθεση και Παραγωγή Μεθανόλης, η οποία επιτυγχάνεται όπως και στην παραγωγή μεθανόλης μέσω φυσικού αερίου



3.2.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

3.2.5.1 ΥΔΡΟΓΟΝΩΣΗ ΤΟΥ CO₂

Στόχος της μεθόδου είναι η μείωση εκπομπών CO₂. Με τη παρουσία H₂ δεσμεύεται το CO₂ και χρησιμοποιείται στη παραγωγή μεθανόλης



Δεν εφαρμόζεται πολύ σαν μέθοδος γιατί η παραγωγή του υδρογόνου γίνεται από μη ανανεώσιμες πηγές, γεγονός που δεν ωφελεί το περιβάλλον. Είναι ακόμα εφικτή και συμφέρουσα ως προς το περιβάλλον η ηλεκτρόλυση με νερό, με την οποία παράγεται H₂, αλλά δεν είναι οικονομική.

3.2.5.2 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗ

Μετατρέπεται το μεθάνιο κατευθείαν σε μεθανόλη χωρίς να μεσολαβεί το στάδιο της παραγωγής του syngas. Είναι λιγότερα τα έξοδα της εγκατάστασης της διεργασίας καθώς και τα έξοδα που απαιτούνται για την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας η οποία σε αυτή τη περίπτωση είναι λιγότερη σε σύγκριση με τη περίπτωση παραγωγής του syngas. Είναι λοιπόν οικονομική διαδικασία. Παράγεται ,όμως , πέρα από μεθανόλη και αδρανή προϊόντα καύσης:(CO₂ και νερό). Για αυτό το λόγο , συμπερασματικά , δεν χρησιμοποιείται τακτικά σαν διαδικασία.

3.3 ΒΙΟΜΕΘΑΝΟΛΗ

Η μεθανόλη ονομάζεται κοινώς «αλκοόλη ξύλου» επειδή η πρώτη μεθανόλη παρήχθη από απόσταξη ξύλου. Σήμερα η μεθανόλη που παράγεται από ανανεώσιμους υδρογονάνθρακες και υδατάνθρακες παράγεται συνήθως από τη διαδικασία της πυρόλυσης (Lundgren and Wachsmann, 2014). Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη θέρμανση της πρώτης ύλης μέχρι τους 500°C περίπου σε ατμόσφαιρα χωρίς οξυγόνο. Αυτό θα προκαλέσει και άλλους υδρογονάνθρακες να εξατμιστούν δημιουργώντας ένα συνθετικό αέριο. Αυτό το αέριο σύνθεσης έχει συνήθως χαμηλότερη ποιότητα από αυτό που παράγεται από ορυκτά καύσιμα και για το λόγο αυτό, θα χρειαστεί επεξεργασία πριν μετατραπεί σε καθαρή μεθανόλη (Lundgren and Wachsmann, 2014). Οι εκτιμήσεις των εκπομπών CO₂ από την παραγωγή βιομεθανόλης δείχνουν ότι για ειδικές περιπτώσεις, όπως σε μεγάλες ανακαινίσεις εργοστασίων χημικού χαρτοπολτού και χαρτιού σε χώρες με χαμηλές εκπομπές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η Φινλανδία, η Σουηδία, η Πορτογαλία και η Ισπανία, είναι δυνατή η παραγωγή μεθανόλη με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα (Moirangthem, 2016).

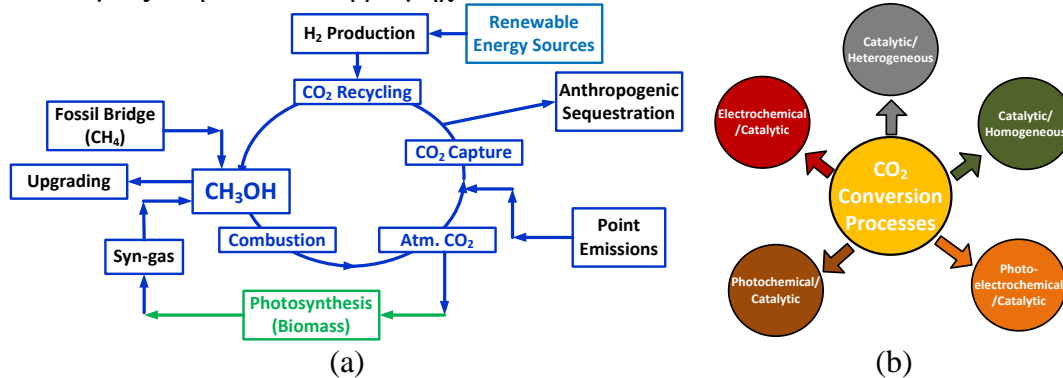
Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι η ικανότητα παραγωγής βιομεθανόλης από CO₂ που παράγεται και δεσμεύεται από την καύση, η οποία είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα κυκλικής οικονομίας όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 1(α). Σύμφωνα με το Σχήμα 1(α), το CO₂ που προκαλείται από την καύση ή το βιομηχανικά παραγόμενο, το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, μπορεί να δεσμευτεί χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες (απορρόφηση, προσρόφηση κ.λπ.) και στη συνέχεια μπορεί να αντιδράσει με το H₂ για να δώσει ξανά μεθανόλη. Η φιλικότητα προς το περιβάλλον αυτής της κυκλικής διαδικασίας μπορεί να προωθηθεί σε περίπτωση που ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Σχήμα 1(β) φαίνονται οι πέντε διαθέσιμες επί του παρόντος διαδικασίες χημικής μετατροπής CO₂ σε μεθανόλη (Al-Saydeh and Javaid Zaidi, 2018). Μια αρκετά ενδιαφέρουσα ιδέα είναι η χρήση του δεσμευμένου CO₂ από τη ναυτιλία για την παραγωγή μεθανόλης. Συγκεκριμένα, η DNV/GL έχει προτείνει την επί του σκάφους εγκατάσταση μονάδας απορρόφησης χημικών για το διαχωρισμό του CO₂ από τα καυσάερα και στη συνέχεια τη συμπίεση και αποθήκευση του δεσμευμένου CO₂



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

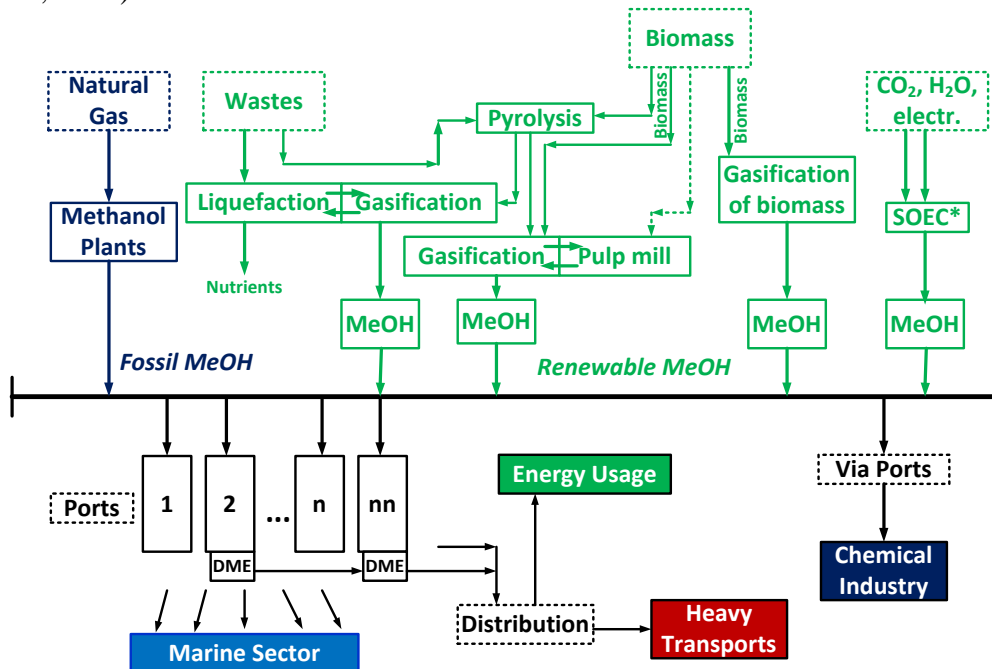
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

προκειμένου να απορριφθεί στις λιμενικές αποθηκευτικές εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με την προτεινόμενη τεχνολογία DNV/GL, μια ποσότητα 70.000 τόνων CO₂/έτος μπορεί να δεσμευτεί από τις εγκαταστάσεις παραγωγής CO₂ ενός VLCC με αποτέλεσμα τη μείωση του CO₂ κατά 65%. Ως εκ τούτου, το CO₂ που δεσμεύεται από τη ναυτιλία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ξηρά μέσω κυρίως ετερογενούς κατάλυσης ή ακόμη και άλλων μεθόδων μετατροπής σε μεθανόλη με αποτέλεσμα την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στη ναυτιλιακή βιομηχανία.



Σχήμα 1. (α) Anthropogenic carbon cycle for methanol production and (β) Schematic view of the CO₂ chemical conversion processes to methanol. Figures were reproduced using data obtained from (Al-Saydeh and Javaid Zaidi,2018) [(α) Κύκλος του Άνθρακα σχετικά με την Παραγωγή της Μεθανόλης. (β) Τρόποι μετατροπής CO₂ σε Μεθανόλη]

Τέλος, στο σχήμα 2 απεικονίζεται σχηματικά το όραμα των μελλοντικών τεχνολογιών παραγωγής μεθανόλης, συμπεριλαμβανομένης της συμβατικής παραγωγής ορυκτών μεθανόλης από φυσικό αέριο, της παραγωγής βιομεθανόλης από απόβλητα μέσω υδροποίησης και αεριοποίησης, της παραγωγής βιομεθανόλης από βιομάζα μέσω αεριοποίησης και την παραγωγή βιομεθανόλης όπως αναφέρεται από το CO₂ (Gebart et al., 2014).



Σχήμα 2. Οπτικοποιημένο όραμα για παραγωγή μεθανόλης στο μέλλον και σύστημα διανομή της. Το σχήμα αναπαρήχθη χρησιμοποιώντας δεδομένα από την πηγή: Gebart et al.,2014.



4 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ

4.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η χρήση της μεθανόλης στη ναυτιλία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χημική της σύνθεση και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητές της. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι χημικές και φυσικές της ιδιότητες σε σύγκριση με το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο.

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες μεθανόλης, φυσικού αερίου, και ντίζελ [Πηγή: Haraldson,2014]

Καύσιμο	Μεθανόλη	Φυσικό αέριο	Ντίζελ
Πυκνότητα (kg/l)	0.79	0,44 (ως ΥΦΑ)	0.85
Σημείο βρασμού(°C)	65	- 162	150 – 370
Σημείο ανάφλεξης(°C)	11	- 188	Ελάχιστο 60
Θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης(°C)	464	540	240
Ιξώδες (cSt στα 20°C)	~ 0,6	Να	~ 13,5
Οκτάνια RON/MON	109/89	120/120	-
Αριθμός κετανίου (-)	3	-	45 – 55
LHV (MJ/kg)	20	50	42
Όρια ευφλεκτότητας (Vol%)	7 – 36	5 – 15	1 - 6
Ταχύτητα φλόγας (cm/s)	52	37	37
Θερμότητα εξάτμισης (kJ/kg)	1178	Να	233
Στοιχομετρικό AFR	6.45	17.2	14.7
Θερμοκρασία αιδοβατικής φλόγας(°C)	1910	1950	2100

Σύμφωνα με τη στοιχειακή σύνθεση της μεθανόλης (CH₃OH), η αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα είναι υψηλότερη από αυτή της βενζίνης (περίπου ισοοκτάνιο) και ίση με αυτή του μεθανίου. Έτσι, κατά τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ σε ειδική ενεργειακή βάση, η μεθανόλη οδηγεί σε 7% χαμηλότερες ειδικές εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με τη βενζίνη. Φυσικά, αυτό προϋποθέτει παρόμοια θερμική απόδοση πέδησης (BTE), ενώ η μεθανόλη επιτρέπει σημαντικά αυξημένες αποδόσεις (άρα μειώνει περαιτέρω τις συγκεκριμένες εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία) (Verhelst et al., 2019). Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, που ανέρχεται στο μισό της μοριακής μάζας της μεθανόλης, έχει σημαντικές επιπτώσεις στις ιδιότητες της μεθανόλης. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο της μεθανόλης οδηγεί σε χαμηλή στοιχομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου (AFR), η οποία είναι 62,5% χαμηλότερη σε σύγκριση με αυτή του φυσικού αερίου και 56% χαμηλότερη σε σύγκριση με αυτή του πετρελαίου ντίζελ σύμφωνα με τον Πίνακα 2 (Verhelst et al. , 2019, Haraldson, 2014). Οι δεσμοί υδρογόνου εξηγούν διάφορα χαρακτηριστικά της μεθανόλης: υψηλή λανθάνουσα θερμότητα, άπειρη αναμειξιμότητα με το νερό, χαμηλές πιέσεις ατμών, κ.λπ. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της ομάδας OH είναι ότι καθιστά τη φάση της μεθανόλης ξεχωριστή στους υδρογονάνθρακες, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του νερού. το καθιστά μη ιδανικά μείγματα (Verhelst et al., 2019). Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο της μεθανόλης προφανώς μειώνει το ενεργειακό της περιεχόμενο όπως αναφέρθηκε. Το ογκομετρικό ενεργειακό περιεχόμενο είναι σημαντικό για το σχεδιασμό του συστήματος έγχυσης καυσίμου και την αποθήκευση καυσίμου. Η υψηλότερη πυκνότητα της μεθανόλης αντισταθμίζεται περισσότερο από μια τιμή θέρμανσης μικρότερη από το μισό αυτής του ντίζελ, επομένως το ογκομετρικό ενεργειακό περιεχόμενο είναι το μισό από το ντίζελ και κατά συνέπεια οι διάρκειες έγχυσης πρέπει να είναι σχεδόν διπλάσιες για να εισαχθεί η ίδια ενέργεια στον



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

κινητήρα. απαιτώντας έτσι κατάλληλα μπεκ Αυτό σημαίνει επίσης ότι χρειάζονται μεγαλύτερες δεξαμενές καυσίμου για παρόμοια χιλιόμετρα (Verhelst et al., 2019). Η πολικότητα της μεθανόλης προκαλεί επίσης χαμηλή τάση ατμών. Αυτή η χαμηλότερη πτητικότητα, σε συνδυασμό με ένα υψηλότερο χαμηλότερο όριο αναφλεξιμότητας στον αέρα, οδηγεί σε πιο δύσκολη εκκίνηση του κινητήρα με ψυχρή εκκίνηση (Verhelst et al., 2019). Ο δεσμός υδρογόνου που προκύπτει από την πολική φύση της μεθανόλης οδηγεί επίσης σε υψηλή θερμότητα εξάτμισης. Όταν εισάγεται μεθανόλη στη θύρα εισαγωγής του κινητήρα, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν στο σχεδιασμό του κινητήρα (Verhelst et al., 2019). Η χαμηλότερη θερμοκρασία που προκύπτει από την εξάτμιση της μεθανόλης (είτε στο λιμάνι είτε στο θάλαμο καύσης), οδηγεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε όλο τον κύκλο του κινητήρα, κάτι που είναι ευεργετικό για την αντοχή του κινητήρα και τις μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης. Επιπλέον, η θερμοκρασία αδιαβατικής φλόγας της καύσης μεθανόλης-αέρα είναι η χαμηλότερη από όλα τα καύσιμα στον Πίνακα 2. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αναμένονται χαμηλότερες απώλειες θερμότητας τοιχώματος (ωφελώντας την απόδοση του κινητήρα), καθώς και χαμηλότερες εκπομπές NOx. Το αποτέλεσμα ψύξης οδηγεί επίσης σε αυξημένες πυκνότητες αέρα εισαγωγής, αυξάνοντας την ογκομετρική απόδοση. Αυτό αντισταθμίζει το χαμηλότερο ογκομετρικό ενεργειακό περιεχόμενο ενός μείγματος μεθανόλης-αέρα, βελτιώνοντας την πυκνότητα ισχύος του κινητήρα (Verhelst et al., 2019).

Η μεθανόλη έχει σχετικά χαμηλό σημείο ανάφλεξης, είναι τοξική όταν συναντά το δέρμα ή όταν εισπνέεται ή καταπίνεται και ο ατμός της είναι πιο πυκνός από τον αέρα (Moirangthem, 2016). Η ανάλυση κινδύνου και ασφάλειας στο έργο SPIRETH (2014) συνέβαλε στην ανάπτυξη κανόνων της εταιρείας νηολόγησης πλοίων για τη μεθανόλη ως καύσιμο πλοίων. Η εργασία συνέβαλε επίσης στο προσχέδιο κώδικα IGF και κανόνες τάξης του IMO (έργο SPIRETH, 2014). Τον Ιούλιο του 2013, η DNV δημοσίευσε κανόνες για τη χρήση υγρών καυσίμων χαμηλού σημείου ανάφλεξης (LFL), όπως η μεθανόλη, ως καύσιμο καυσίμου (Moirangthem, 2016). Το Εγχειρίδιο Ασφαλούς Χειρισμού Μεθανόλης 2013 έχει επίσης παρασχεθεί από το Ινστιτούτο Μεθανόλης (Moirangthem, 2016). Στις 17 Σεπτεμβρίου 2018, η Επιτροπή CCC 5 του IMO ολοκλήρωσε τις ενδιάμεσες κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια των πλοίων που χρησιμοποιούν αλκοόλες ως καύσιμα και η επίσημη έγκριση από την Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας του IMO (MSC) αναμένεται το 2020.

4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ

4.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Συμβάλλει στη μείωση εκπομπών του CO₂ ,στις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) και σωματιδίων, καθώς και στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x)
- Μπορεί να παραχθεί από κάθε οργανική ύλη μέσω του συνθετικού αερίου. Δεν απαιτούνται καλλιέργειες.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας
- Μπορεί να αναμιχθεί με βενζίνη και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων. Η ανάμιξη αυτή μάλιστα μεγαλώνει την ισχύ των κινητήρων, γι' αυτό και τα καύσιμα των αγωνιστικών αυτοκινήτων βασίζονται στη μεθανόλη. Μπορεί να αναμιχθεί γενικότερα με συμβατικά καύσιμα.
- Είναι ένα σχετικά πτητικό και εύφλεκτο υλικό (λιγότερο από τη βενζίνη) και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά, σε μεγάλες ποσότητες



*“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”*

- Ως πρώτη ύλη μπορεί να αντικαταστήσει το πετρέλαιο στη χημική βιομηχανία, για την παραγωγή συνθετικών υλικών (πλαστικών).
- Θεωρείται ασφαλές χημικό προϊόν.
- Έχει υψηλή ταχύτητα και ευκολία ανεφοδιασμού.
- Είναι διαθέσιμη σε πολλά λιμάνια παγκοσμίως

4.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Στα μειονεκτήματα της μεθανόλης περιλαμβάνονται :

- Ως καύσιμο κίνησης μειώνει την αυτονομία του αυτοκινήτου στο μισό περίπου από την αυτονομία που δίνει η βενζίνη.
- Διαβρώνει τα μέταλλα και διάφορα συνθετικά υλικά, όπως οι φλάντζες, λόγω του ελαφρά όξινου υδρογόνου που εμπεριέχει.
- Έχει χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από το μαζούτ, γεγονός που απαιτεί μεγαλύτερες δεξαμενές αποθήκευσης ή και συχνότερους ανεφοδιασμούς δεξαμενών.
- Έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης. Αυτό συνεπάγεται κίνδυνο πυρκαγιάς. Είναι τοξική όταν συναντά το δέρμα ή όταν εισπνέεται ή απορροφάται και ο ατμός της είναι πυκνότερος από τον αέρα.

5 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

Η μεθανόλη συχνά μεταφέρεται και αποθηκεύεται επί των πλοίων. Υπάρχουν γενικές οδηγίες και κατευθύνσεις για την αποθήκευση και μεταφορά μεθανόλης καθώς και για τους τρόπους πλήρωσης των δεξαμενών της. Μερικοί από αυτούς είναι:

- Σε αντίθεση με το πετρέλαιο, η μεθανόλη μπορεί να μεταφέρεται σε δεξαμενές διπλού πυθμένα επειδή δεν θεωρείται επιβλαβές για το περιβάλλον.
- Οι δεξαμενές αποθήκευσης μεθανόλης πρέπει να αδρανοποιούνται, σε αντίθεση με τις συμβατικές δεξαμενές καυσίμου πετρελαίου. Μπορεί να χρησιμοποιείται σύστημα παροχής αζώτου το οποίο συμβάλλει στην αδρανοποίηση της δεξαμενής καυσίμων και για τον καθαρισμό του συστήματος μεθανόλης.
- Μπορεί η δεξαμενή καυσίμων (μεθανόλης) να είναι μια ανεξάρτητη δεξαμενή μεταφοράς καυσίμων. Σε τέτοια περίπτωση, βρίσκεται στο κατάστρωμα, βεβαίως οι καιρικές συνθήκες είναι απρόβλεπτες, επομένως είναι εξοπλισμένη με ένα σύστημα για πρόσθετη ασφάλεια. Η πλήρωση της δεξαμενής γίνεται από βυτιοφόρο όχημα.
- Η τροφοδοσία μεθανόλης μπορεί να γίνει από φορητές δεξαμενές ή με ένα σύστημα γεννήτριας, το οποίο είναι πιο ωφέλιμο και πρακτικό.

6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η μεθανόλη ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε ναυτικούς κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα (SI) όσο και σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση (CI). Συγκεκριμένα, η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κινητήρες SI λόγω της υψηλής αντοχής της σε αυτανάφλεξη και της υψηλής θερμότητας εξάτμισης. Η μεθανόλη μπορεί επίσης να καεί σε κινητήρες CI σε λειτουργία διπλού καυσίμου, πράγμα που σημαίνει ότι μια πιλοτική ποσότητα καυσίμου υψηλής αντιδραστικότητας όπως το ντίζελ χρησιμοποιείται ως πηγή ανάφλεξης και στη συνέχεια η μεθανόλη χαμηλής αντιδραστικότητας καίγεται στη φλόγα που παράγεται από το πιλοτικό ντίζελ. Η μετασκευή των υφιστάμενων κινητήρων CI προκειμένου να μπορούν να λειτουργούν



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

με μεθανόλη είναι τεχνικά πιο περίπλοκη σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τροποποιήσεις υφιστάμενων κινητήρων SI για λειτουργία μεθανόλης. Μεγάλοι κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων εσωτερικής καύσης, όπως η MAN και η Wartsila, έχουν αναπτύξει δίχρονους και τετράχρονους κινητήρες αυτανάφλεξης διπλού καυσίμου (ντίζελ/μεθανόλη) με ενθαρρυντικά λειτουργικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά.

Συγκεκριμένα, η MAN έχει αναπτύξει 2-X ναυτικούς κινητήρες μεθανόλης διπλού καυσίμου και για τον χαρακτηρισμό τους η MAN χρησιμοποίησε το ακρωνύμιο «LGI» (Liquid Gas Injection) (MAN,2018). Η λειτουργική αρχή των κινητήρων MAN LGI είναι σαν αυτή των αντίστοιχων κινητήρων MAN LNG. Συγκεκριμένα, ο θάλαμος καύσης των κινητήρων MAN μεθανόλης LGI είναι εξοπλισμένος με δύο μπεκ: Ένα πιλοτικό μπεκ για έγχυση ντίζελ και ένα κύριο μπεκ για έγχυση μεθανόλης. Μια πιλοτική ποσότητα λαδιού ντίζελ μέγιστης 5% από 10% έως 100% του πλήρους φορτίου εγχέεται σε υψηλή πίεση μέσω του πιλοτικού μπεκ. Αμέσως μετά την πιλοτική έγχυση ντίζελ, η υγρή μεθανόλη εγχέεται σε υψηλή πίεση 550 bar και μετά την εξάτμισή της, καίγεται μέσα στη φλόγα που εξαπλώνεται από το ντίζελ υπό ελεγχόμενες από τη διάχυση συνθήκες («Λειτουργία κύκλου ντίζελ»). Ο κύριος εγχυτήρας που χρησιμοποιείται για την έγχυση υγρής μεθανόλης ονομάζεται «Booster Fuel Injection Valve – BFIV» της MAN (MAN, 2018) και υδραυλικό υγρό από εξωτερική βαλβίδα ελέγχου στα 300 bars χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης μεθανόλης στα 550 bars. Η μεθανόλη παρέχεται στο BFIV μέσω μιας βαλβίδας καυσίμου σε πίεση 8 bar (MAN, 2018). Σύμφωνα με τη MAN (Laurson, 2017; MAN, 2018), οι κινητήρες LGI μεθανόλης παρουσιάζουν υψηλό πραγματικό βαθμό απόδοσης (κοντά στο 50%), που είναι κοντά σε αυτόν των 2-X κινητήρων διπλού καυσίμου LNG MAN. Επίσης, οι 2-X κινητήρες MAN LGI παρουσιάζουν υψηλή ευελιξία καυσίμου και υψηλή αξιοπιστία, όπως οι κινητήρες diesel MAN 2-S. Σε προκαταρκτικές δοκιμές κινητήρα που πραγματοποιήθηκαν από τη MAN (Laurson, 2017; MAN, 2018) αποδείχθηκε ότι δεν υπάρχει ανάγκη μείωσης της ισχύος λόγω κρουστικής καύσης και παρατηρήθηκε αμελητέα διαφυγή καυσίμου και αμετάβλητη απόκριση φορτίου. Η MAN χρησιμοποιεί σχεδιασμό διπλού τοιχώματος για όλα τα εξαρτήματά της μεθανόλης και οι διαρροές παρακολουθούνται και συλλέγονται σε φράγμα διπλού τοιχώματος και επομένως είναι πολύ ευκολότερος ο χειρισμός της μεθανόλης από το LNG (MAN, 2018).

Εξαιρετικής σημασίας είναι η εξέταση και η αξιολόγηση των δοκιμών κινητήρα που εκτελούνται από τη MAN (Laurson,2017; MAN,2018) σε έναν 2-X κινητήρα LGI, συγκεκριμένα τον 4S50ME-T-9.5-LGI, λαμβάνοντας υπόψη τη συμβατική λειτουργία ντίζελ (DI) και LGI μεθανόλη/ντίζελ λειτουργία και υιοθέτηση δύο τεχνολογιών μείωσης των NOx: Ανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR) και προσθήκη νερού. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κινητήρα 4S50ME-T-9.5-LGI που χρησιμοποιείται σε αυτά τα πειράματα δίνονται στον Πίνακα 3. Στο Σχήμα 3(α) φαίνονται πειραματικά αποτελέσματα για σχετική ειδική κατανάλωση καυσίμου ($\Delta SFOC$) σε τέσσερα φορτία κινητήρα (δηλ. 25% , 50%, 75% και 100%) για λειτουργία DI, LGI, DI+EGR και LGI+EGR. Όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 3(α), η χρήση μεθανόλης σε 2-X κινητήρα διπλού καυσίμου MAN οδηγεί σε σημαντική μείωση του SFOC σε όλα τα εξεταζόμενα φορτία κινητήρα σε σύγκριση με τη λειτουργία άμεσης έγχυσης πετρελαίου DI (Laurson, 2017). Επίσης, κατά τη σύγκριση των δύο περιπτώσεων EGR: DI+EGR και LGI+EGR, αποκαλύπτεται ότι η χρήση του EGR σε λειτουργία LGI οδηγεί σε σημαντική μείωση του SFOC σε σύγκριση με το DI+EGR. Ως εκ τούτου, η χρήση μεθανόλης σε κινητήρες MAN LGI με ή χωρίς EGR οδηγεί σε σοβαρή βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα σε σύγκριση με τη λειτουργία του με πετρέλαιο ντίζελ. Στο



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

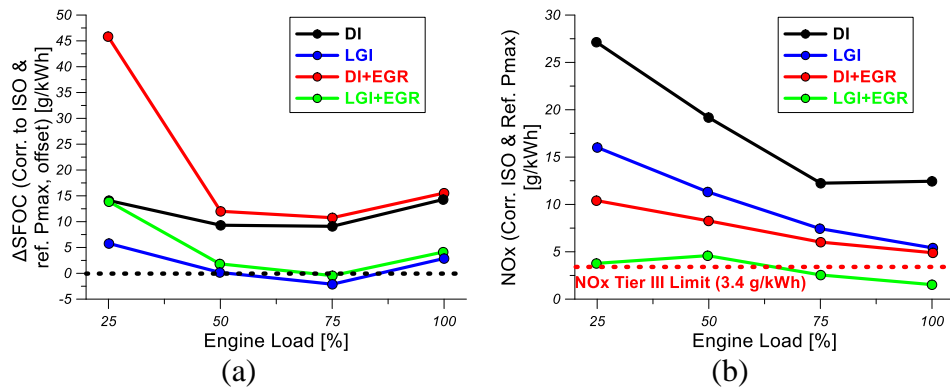
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

σχήμα 3(β) φαίνονται πειραματικά αποτελέσματα για εκπομπές NO_x σε τέσσερα φορτία κινητήρα (δηλαδή 25%, 50%, 75% και 100%) για λειτουργία DI, LGI, DI+EGR και LGI+EGR (Laurssen, 2017). Η μετάβαση από τη λειτουργία DI στη λειτουργία LGI έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση των εκπομπών NO_x, η οποία κυμαίνεται από 39,2% σε 75% φορτίο έως 56,6% σε φορτίο 100%. Επίσης, η λειτουργία LGI+EGR έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση των εκπομπών NO_x σε σύγκριση με τη λειτουργία DI+EGR, η οποία κυμαίνεται από 44,4% σε φορτίο 50% έως 68,8% σε φορτίο 100%. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι υπό τη λειτουργία LGI+EGR ο εξεταζόμενος 2-X κινητήρας διπλού καυσίμου MAN είναι πλήρως συμβατός με τα πιο αυστηρά πρότυπα IMO NO_x Tier III σε όλα τα εξεταζόμενα φορτία κινητήρα (Laurssen, 2017). Τέλος, στο Σχήμα 4 φαίνεται η διακύμανση των μετρούμενων εκπομπών NO_x του κινητήρα 4S50ME-T-9.5-LGI με περιεκτικότητα σε νερό σε γαλάκτωμα μεθανόλης σε φορτίο 25%, 50%, 75% και 100%. Όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 4, οι εκπομπές NO_x μειώνονται σχεδόν γραμμικά με την περιεκτικότητα σε νερό σε όλα τα φορτία εκτός από το 100% κυρίως λόγω της ανάλογης μείωσης των θερμοκρασιών καύσης στον κύλινδρο με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό. Το πιο σημαντικό εύρημα που προκύπτει από το Σχήμα 4 είναι ότι σε φορτίο 50% και 75% και για περιεκτικότητα σε νερό υψηλότερη από 30% σε μεθανόλη, ο εξεταζόμενος 2-X κινητήρας MAN LGI εκπέμπει χαμηλότερες τιμές NO_x σε σύγκριση με το αντίστοιχο όριο IMO NO_x Tier III και Έτσι, για αυτές τις συνθήκες λειτουργίας ο εξεταζόμενος 2-X κινητήρας LGI είναι πλήρως συμβατός με τα πιο αυστηρά πρότυπα IMO NO_x. Σε 100% φορτίο η καύση μεθανόλης με περιεκτικότητα σε νερό μεγαλύτερη από 3% δεν ήταν δυνατή καθώς στο μέγιστο φορτίο η απόκριση του συστήματος έγχυσης καυσίμου στις απαιτήσεις έγχυσης νερού/μεθανόλης είναι περιορισμένη.

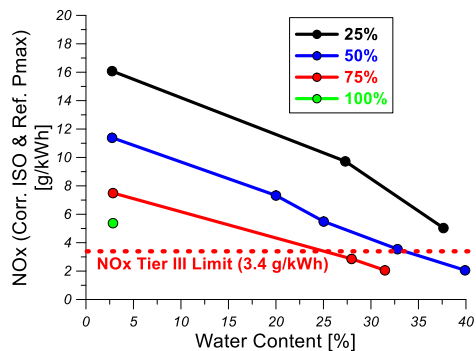


Πίνακας 2. Βασικά χαρακτηριστικά του 2-X ναυτικού κινητήρα διπλού καυσίμου (μεθανόλης/ντίζελ) LGI ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σε πειραματικές μετρήσεις με EGR και γαλάκτωμα μεθανόλης/νερού (Laursen, 2017)

Κινητήρας	4S50ME-T-9.5-LGI
Μέγιστη συνεχής ισχύ	7120 kW@117 rpm
Μέση ενδεικνύμενη πίεση	21 bars
Διάμετρος κυλίνδρου	0.5 m
Διαδρομή εμβόλου	2.214 m
Αριθμός κυλίνδρων	4
Καύσιμα	Ντίζελ και μεθανόλη



Σχήμα 3. Μεταβολή της (α) ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και (β) των εκπομπών NOx με το φορτίο κινητήρα. Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα για ένα 2-X ναυτικό κινητήρα αυτανάφλεξης με μεθανόλη (4S50ME-T-9.5-LGI) για λειτουργία αυτού με πετρέλαιο (μαύρη καμπύλη), ως μηχανή διπλού καυσίμου (μπλέ καμπύλη), με πετρέλαιο και EGR (κόκκινη καμπύλη) και ως μηχανή διπλού καυσίμου με EGR (πράσινη καμπύλη). Τα σχήματα αναπαρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Laursen,2017)



Σχήμα 4. Μεταβολή των μετρημένων εκπομπών NOx με το ποσοστό νερού στην μεθανόλη. Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα στο 25%, 50%, 75% και 100% του πλήρους φορτίου για ένα 2-X ναυτικό κινητήρα διπλού καυσίμου με μεθανόλη (LGI) (MAN 4S50ME-T-9.5-LGI). Τα αποτελέσματα του σχήματος αναπαρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Laursen,2017)

Στον τομέα των 4-X ναυτικών κινητήρων, έχουν αναπτυχθεί από την Wartsila κινητήρες 4-X μεσόστροφοι κινητήρες διπλού καυσίμου (ντίζελ/μεθανόλη). Σε αυτόν τον τύπο κινητήρων, ένας εγχυτήρας χρησιμοποιείται για την έγχυση τόσο του πιλοτικού ντίζελ όσο και της μεθανόλης μέσω ξεχωριστών ακροφυσίων. Το πιλοτικό ντίζελ εγχέεται μέσω ενός ακροφυσίου μπεκ ψεκασμού με πίεση στα 1300 bars. Η μεθανόλη εγχέεται μετά από έγχυση ντίζελ συνήθως από τρία ακροφύσια έγχυσης με πίεση που κυμαίνεται από 450 έως 600 bar. Ο εγχυτήρας Wartsila είναι επίσης εξοπλισμένος με ένα κύκλωμα ελέγχου λαδιού σε πίεση 370 bar για το χειρισμό της



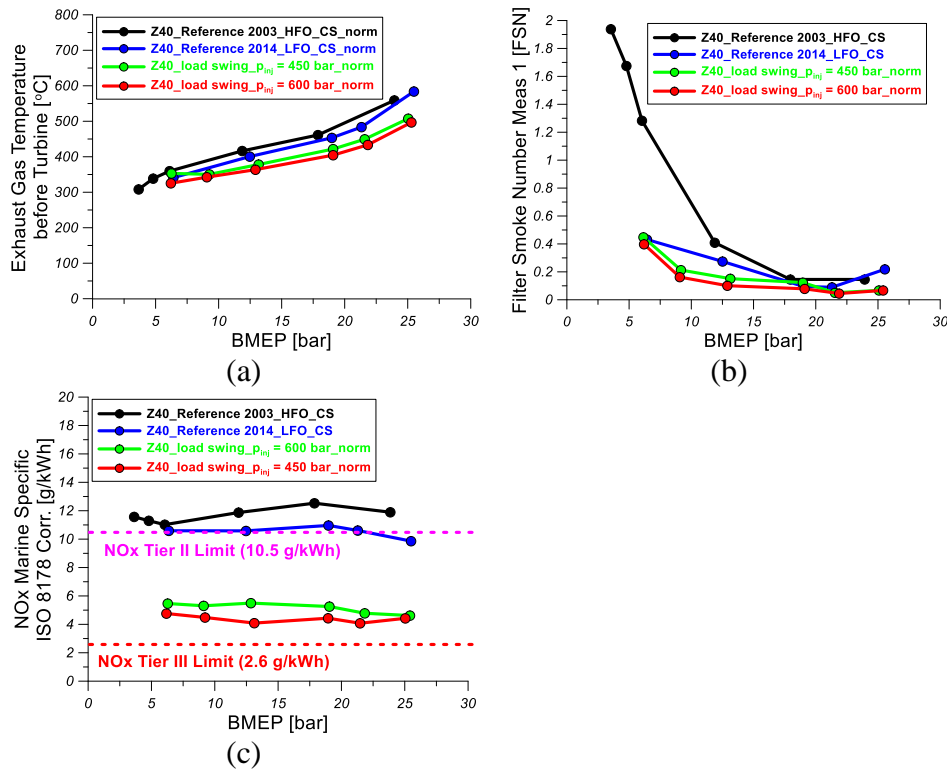
“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

διαδικασίας έγχυσης μεθανόλης, ενώ το λάδι σφράγισης στα 700 bar χρησιμοποιείται σε επιφάνειες στεγανοποίησης μεθανόλης και γύρω από τις βελόνες του μπεκ μεθανόλης (Salonen, 2016). Αρκετά ενδιαφέροντα είναι τα ευρήματα μιας πειραματικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε σε κινητήρα Wartsila Sulzer ZA40S-MD μεθανόλης/ντίζελ 4-S λαμβάνοντας υπόψη τη λειτουργία του με HFO, με LFO και με μεθανόλη/LFO στα 450 bars και σε 600 bars έγχυση μεθανόλης. Στο Σχήμα 5(α) φαίνεται η διακύμανση της μετρούμενης θερμοκρασίας καυσαερίων πριν από τον στρόβιλο με μέση ενεργή πίεση πέδησης (BMEP) για τις τέσσερις περιπτώσεις λειτουργίας (δηλαδή HFO, LFO, MD@450bar, MD@600bar). Όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 5(α), η καύση της μεθανόλης έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων πριν από τον στρόβιλο και, επομένως, σε μείωση των θερμοκρασιών αερίου στον κύλινδρο πιθανότατα λόγω της ψυκτικής επίδρασης της μεθανόλης, η οποία προκαλείται από την υψηλότερη θερμότητά της εξάτμισης σε σύγκριση με αυτό του πετρελαίου ντίζελ. Σύμφωνα με το σχήμα 5(β), η καύση μεθανόλης σε έναν θαλάσσιο κινητήρα διπλού καυσίμου 4-S οδηγεί σε σημαντική μείωση του καπνού των καυσαερίων σε σύγκριση κυρίως με τη λειτουργία HFO σε χαμηλά φορτία. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί εδώ ότι στην περίπτωση έγχυσης μεθανόλης 600 bars και για τιμές BMEP υψηλότερες από 20 bar, ο καπνός των καυσαερίων είναι σχεδόν μηδενικός, πράγμα που σημαίνει ότι η χρήση μεθανόλης υψηλής πίεσης ψεκασμού σε κινητήρες θαλάσσης διπλού καυσίμου 4-S μπορεί να οδηγήσει σε σχεδόν λειτουργία χωρίς καπνό. Τέλος, όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 5(γ), η καύση μεθανόλης στον κινητήρα διπλού καυσίμου Wartsila Sulzer 4-S οδηγεί σε δραστική μείωση των εκπομπών NO_x, κάτι που είναι πιο εμφανές στην περίπτωση της πίεσης έγχυσης μεθανόλης 600 bar. Σύμφωνα επίσης με το σχήμα 5(γ), και στις δύο περιπτώσεις έγχυσης μεθανόλης, οι μετρούμενες τιμές NO_x ήταν σημαντικά χαμηλότερες σε σύγκριση με το όριο NO_x Tier II, αλλά δυστυχώς, είναι ελαφρώς υψηλότερες σε σύγκριση με το αντίστοιχο όριο NO_x Tier III. Η συμμόρφωση με το όριο της Βαθμίδας III μπορεί να επιτευχθεί εάν υιοθετηθεί μια τεχνολογία μείωσης των NO_x, όπως η καύση EGR ή γαλακτώματος νερού.



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”



Σχήμα 5. Μεταβολή των μετρημένων τιμών (α) θερμοκρασίας καυσαερίου πριν τον στρόβιλο της υπερπλήρωσης, (β) της αιθάλης (FSN) και (γ) των εκπομπών NOx με την μέση πραγματική πίεση. Παρουσιάζονται πειραματικές τιμές για τον κινητήρα Wartsila Sulzer ZA40S-MD χρησιμοποιώντας HFO, LFO και μεθανόλη υπό συνθήκες μεικτής καύσης. Θεωρούνται δυο περιπτώσεις έγχυσης μεθανόλης: 450 bar και 600 bars. Τα σχήματα αναπαρήχθησαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Stojcevski,2016)

7 ΜΕΘΑΝΟΛΗ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΑΙΑ

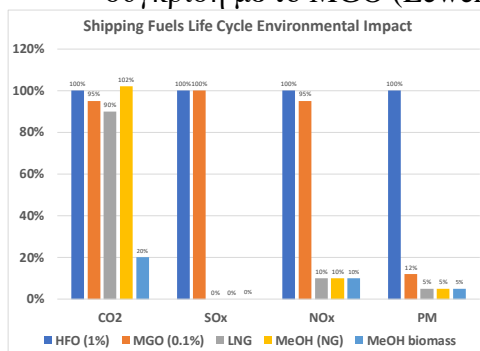
Η μεθανόλη είναι απείρως αναμιξιμη στο νερό και έτσι, τα διπλά κύττα των υπάρχοντων σκαφών μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να ταιριάζουν στην αποθήκευση της (Verhelst et al., 2019). Το διπλό κύτος είναι απαραίτητο για τα πλοία που μεταφέρουν υδρογονάνθρακες, καθώς αυτά τα καύσιμα δεν αναμιγνύονται με νερό. Αντίθετα, η άπειρη αναμειξιμότητα της μεθανόλης σημαίνει ότι αυτά τα κενά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση της αλκοόλης επειδή με διάρρηξη της δεξαμενής το καύσιμο απλώς θα διαλυθεί. Οι Verhelst et al. (2019) ανέφερε ότι σε περίπτωση που υπάρξει διαρροή μεθανόλης, αυτή αραιώνεται τόσο γρήγορα που δεν επιτυγχάνονται ποτέ επικίνδυνες συγκεντρώσεις (Verhelst et al., 2019). Τα πιο αξιοσημείωτα έργα μετασκευής μεθανόλης είναι η μετατροπή επιβατηγού πορθμείου Stena Germanica 1500 και τα δεξαμενόπλοια μεθανόλης χωρητικότητας 50.000 DWT της Waterfront Shipping (Verhelst et al., 2019). Στην περίπτωση του Stena Germanica, οι 4-X μεσόστροφοι κινητήρες ντίζελ μετασκευάστηκαν από τη Wärtsilä με μπεκ που επιτρέπουν τον άμεσο ψεκασμό μεθανόλης και πιλοτικής ποσότητας καυσίμου (marine gasoil, MGO). Τα δεξαμενόπλοια Waterfront Shipping λειτουργούν με 2-X αργόστροφους κινητήρες MAN (Verhelst et al., 2019). Όλο και περισσότερα άλλα έργα επίδειξης ολοκληρώνονται ή ξεκινούν (π.χ. LeanShips, MethaShip, SUMMETH και GreenPilot), εστιάζοντας σε διάφορες πτυχές της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου, π.χ. ανεφοδιασμός καυσίμων, κινητήρες πλοίων υψηλής ταχύτητας, ασφάλεια, κόστος κύκλου ζωής και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Verhelst et al., 2019).



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

Σύμφωνα με τους Andersson and Salazar (2015) και Lewenhaupt (2017), τα κύρια βασικά πλεονεκτήματα της μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων είναι τα ακόλουθα:

- Η χρήση μεθανόλης στη ναυτιλία δημιουργεί ανεπαίσθητες εκπομπές SO_x και πολύ χαμηλές εκπομπές NO_x και έτσι, οι κινητήρες μεθανόλης μπορούν να συμμορφώνονται με τα πρότυπα παγκόσμιας τάπας θείου 2020 και τα πρότυπα NO_x Tier III. Όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 6, αν και το αποτύπωμα άνθρακα του κύκλου ζωής της ορυκτής μεθανόλης είναι υψηλότερο από το LNG και συγκρίσιμο με το HFO, το αποτύπωμα άνθρακα του κύκλου ζωής της βιομεθανόλης από βιομάζα είναι 80% χαμηλότερο σε σύγκριση με αυτό των HFO και 70 % χαμηλότερη από αυτή του LNG. Το αποτύπωμα SO_x κύκλου ζωής του LNG, της ορυκτής μεθανόλης και της βιομεθανόλης είναι μηδέν όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Επίσης, το LNG, η απολιθωμένη μεθανόλη και η βιομεθανόλη έχουν τις ίδιες τις εκπομπές NO_x του κύκλου ζωής, οι οποίες είναι 90% χαμηλότερες σε σύγκριση με το HFO και 85% χαμηλότερα σε σύγκριση με το MGO όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Τέλος, το LNG, η απολιθωμένη μεθανόλη και η βιομεθανόλη έχουν τις ίδιες εκπομπές PM στον κύκλο ζωής, οι οποίες είναι 95% χαμηλότερες σε σύγκριση με το HFO και 7% χαμηλότερες σε σύγκριση με το MGO (Lewenhaupt , 2017)..



Σχήμα 6. Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κύκλου ζωής για τις εκπομπές CO₂, SO_x, NO_x και PM του HFO (1% θείο), MGO (0.1% θείο), LNG και μεθανόλης από φυσικό αέριο και μεθανόλης από βιομάζα. Το σχήμα αναπαρήχθη χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παραπομπή (Lewenhaupt,2017)

- 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. Η υπάρχουσα υποδομή διανομής αποθήκευσης και ανεφοδιασμού θα μπορούσε να χειριστεί μεθανόλη με μικρές μόνο τροποποιήσεις (Andersson και Salazar, 2015).
- Το κόστος επένδυσης σε υποδομή μεθανόλης είναι χαμηλό σε σχέση με ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις όπως το LNG. Το κόστος εγκατάστασης μιας μικρής μονάδας ανεφοδιασμού μεθανόλης υπολογίζεται σε περίπου 400.000 € και ένα πλοίο ανεφοδιασμού μπορεί να μετατραπεί για 1,5 εκατ. €. Αντίθετα, το κόστος τερματικού σταθμού LNG είναι περίπου. € 50 εκατομμύρια και μια φορτηγίδα αποθήκης LNG € 30 εκατομμύρια (Andersson και Salazar, 2015).
- Οι τιμές της μεθανόλης παρουσιάζουν περιφερειακές διακυμάνσεις και υποδεικνύουν ενδεχόμενη μείωση σε παγκόσμιο επίπεδο σύντομα. Μεταξύ 2010-2015, η μεθανόλη ήταν λιγότερο ακριβή σε ενεργειακή βάση από ανταγωνιστικά καύσιμα όπως το MGO. Η επέκταση της ικανότητας παραγωγής



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

μεθανόλης σε βασικές αγορές όπως οι ΗΠΑ θα πρέπει να μειώσει την πίεση στο κόστος καθιστώντας τη μεθανόλη ακόμη πιο ανταγωνιστική από πλευράς κόστους (Andersson και Salazar, 2015).

- Η μεθανόλη είναι φορέας υδρογόνου και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου υψηλής απόδοσης. Επίσης, η ευρεία εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών καύσης, όπως οι κινητήρες αυτανάφλεξης με ελεγχόμενη χημική αντιδραστικότητα καυσίμου (Reactivity Controlled Compression Ignition Engines - RCCI) αναμένεται να βελτιώσει περαιτέρω τη λειτουργική και περιβαλλοντική απόδοση των ναυτικών κινητήρων μεθανόλης (Andersson and Salazar, 2015).
- Η μεθανόλη διανέμεται παγκοσμίως, διαχειρίζεται 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 (Andersson και Salazar, 2015).
- Η μεθανόλη διαλύεται εύκολα στο νερό και βιοδιασπάται γρήγορα καθώς οι περισσότεροι μικροοργανισμοί μπορούν να οξειδώσουν τη μεθανόλη. Ως εκ τούτου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μεγάλης διαρροής μεθανόλης θα ήταν πολύ χαμηλότερες από ό,τι από μια ισοδύναμη πετρελαιοκηλίδα (Andersson και Salazar, 2015).

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση της παρούσας μελέτης, συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων είναι τα ακόλουθα:

- Η μεθανόλη μπορεί να είναι άμεσα συμβατή με το παγκόσμιο όριο θείου στο καύσιμο που ισχύει από 1/1/2020 (Global Sulphur Cap 2020) του IMO χωρίς πρόσθετα μέτρα σε ναυτικούς κινητήρες.
- Η καύση μεθανόλης σε ναυτικούς κινητήρες μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργία χωρίς εκπομπές αιθάλης και σωματιδίων αιθάλης (πρακτικά μηδενικές εκπομπές PM).
- Η καύση μεθανόλης έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση των εκπομπών NOx και οι κινητήρες διπλού καυσίμου (μεθανόλης/πετρελαίου) μπορούν να συμμορφωθούν με τα πιο αυστηρά όρια NOx Tier III εάν χρησιμοποιείται EGR ή γαλάκτωμα νερού.
- Οι ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου μεθανόλης/πετρελαίου παρουσιάζουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με τους κινητήρες ντίζελ και η μεθανόλη έχει σχεδόν το ίδιο λειτουργικό αποτύπωμα άνθρακα με το LNG.
- Οι ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου μεθανόλης δεν απαιτούν μείωση ισχύος και παρουσιάζουν ομαλή απόκριση φορτίου και πλήρη εναλλαξιμότητα καυσίμου.
- Η μεθανόλη είναι άφθονη, διαθέσιμη παγκοσμίως, εύκολα αναμίξιμη στο νερό, βιοδιασπώμενη και μπορεί να είναι 100% ανανεώσιμη. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κύκλου ζωής της βιομεθανόλης είναι πιο «πράσινο» σε σύγκριση με το LNG.

Τα κύρια μειονεκτήματα της μεθανόλης ως καυσίμου πλοίων και οι πτυχές αντιμετώπισής τους είναι τα ακόλουθα:

- Η μεθανόλη έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης και είναι τοξικό καύσιμο. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι κανόνες για την αντιμετώπιση της αναφλεξιμότητας και της τοξικότητας της μεθανόλης και, υπάρχουν συγκεκριμένα μέτρα πυρασφάλειας



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,

“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

και ασφάλειας, τα οποία έχουν υιοθετηθεί από τη SOLAS και θα συμπεριληφθούν σύντομα στον αναθεωρημένο Κώδικα IGF του IMO.

- Η μεθανόλη έχει χαμηλότερη θερμογόνο ικανότητα σε σύγκριση με το LNG και το πετρέλαιο, οδηγώντας σε μειωμένη αυτονομία πλοίων στην περίπτωση που η χωρητικότητα των δεξαμενών καυσίμου δεν μεταβάλλεται. Ωστόσο, η πολύ μεγάλη αναμειξιμότητα της μεθανόλης σημαίνει ότι τα διπύθμενα των πλοίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευσή της. Επίσης, η χαμηλότερη θερμογόνο ικανότητα της μεθανόλης μπορεί εν μέρει να αντιμετωπιστεί από ειδικά σχεδιασμένους εγχυτήρες μεθανόλης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Yfantis E.A., Katsanis J.S., Pariotis E.G. and Zannis T.C., Methanol as a Low-Carbon and Sulphur Free Alternative Fuel for Shipping: Prospects and Challenges, Annual Conference of Marine Technology, Hellenic Institute of Marine Technology, 2019.
2. Al-Saydeh, S.A., Javaid Zaidi, S. (2018) Carbon dioxide conversion to methanol: Opportunities and fundamental challenges, InTechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.74779.
3. Andersson, K., Salazar, M-C. (2015) Methanol as a marine fuel report, Methanol Institute.
4. Chatterton, C. (2018) Methanol as an alternative fuel, Methanol Institute, Asian Sulphur Cap 2020, 24 – 25 October 2018.
5. Dierickx, J., Beyen, J., Block, R., Hamrouni, M., Huyskens, P., Meichelbock, C., Verhelst, S. (2018) Strategies for introducing methanol as an alternative fuel for shipping, Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018, Vienna, Austria.
6. Fagerlund, P. (2014) Methanol as a marine fuel, Symposium on Evolution of Marine Fuels, 21 July 2014, Los Angeles, USA.
7. Freudendahl, U.T. (2014) Compact state of the art methanol as a marine fuel, Goteborg, 8 May 2014.
8. Gebart, R., Landalv, I., Furusjo, E., Marke, B., Granberg, F. (2014) Bio-methanol from forest product industry by-products and residues, Promsus Conference, Gothenburg, Sweden, 8 May 2014.
9. Haraldson, L. (2014) Methanol as a marine fuel – Engine manufacturers’ perspective, Gothenburg, Sweden, 8 May 2014.
10. Haraldson, L. (2015) Methanol as marine fuel, 2015 CIMAC Norway, Oslo, 28 January 2015.
11. IMO, (2018) Annex 11, Resolution MEPC.304(72), Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships, 13 April 2018.
12. IMO, (2019) Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions.
13. Laselle, S., Abusdal, H. (2016) Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility, DNV-GL Report No. 2015-1197, Rev. 2, 20 January 2016.
14. Laursen, R-S. (2017) The 2-stroke ME-LGIM, The dual fuel engine designed for operation on Methanol, Methanol Vessel Fuel Blending, Washington, DC, 13 June 2017.
15. Lewenhaupt, E. (2017) Methanol as an alternative fuel in shipping, Maritimes Cluster Norddeutschland, Stena Line, 7 June 2017.



“Βασίλειος Αντωνιάδης”,
“ Τεχνική και Περιβαλλοντική αξιολόγηση της χρήσης
μεθανόλης ως εναλλακτικού καυσίμου σε πλοία ”

16. Lundgren, A., Wachsmann, A. (2014) The potential of methanol as a competitive marine fuel, Diploma thesis, Department of Shipping and Marine Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
17. MAN, (2018) Using methanol fuel in the MAN B&W ME-LGI series, MAN Diesel & Turbo.
18. Methanex, (2015) <https://www.methanex.com/sites/default/files/methanol-price/Mx-PriceSheet-2015-08-31.pdf>
19. Moirangthem, K. (2016) Alternative fuels for marine and inland waterways: An exploratory study, JRC Technical Report, edited by Baxter, D.
20. Portin, K. (2015) Wartsila gas engine development & methanol adaptation, Classnk Seminar, Singapore, 3 November 2015.
21. Ramme, B. (2014) Production of methanol sustainably – Summary and next step, Gothenburg, Sweden, 8 May 2014.
22. Remley, B. (2014) Alternative maritime fuels, University of Southern California, 21 July 2014.
23. Salonen, J. (2016) Methanol as a marine and power plant fuel, Wartsila.
24. SPIRETH, 2014. SPIRETH – End of Project Report - Activities and Outcomes of the SPIRETH (Alcohol (Spirits) and Ethers as Marine Fuel) Project.
25. Stefenson, P. (2014) The ship owners’ perspective, Stena.
26. Stenhede, T. (2014) Methanol production – Industrialization of Efficient and Sustainable Methods, Promsus Conference, Gothenburg, Sweden, 8 May 2014.
27. Stojcevski, T. (2016) Methanol as engine fuel: Challenges and opportunities, Wartsila, Maritime Day, 12 May 2016.
28. Surya Prakash, G.K., Olah, G.A. (2014) The promise of methanol, Symposium on Evolution of Maritime Fuels, Ship Speed and Operational Efficiency, University of Southern California, 21 July 2014.
29. Verhelst, S., Turner, J. WG, Sileghem, L., Vancoille, J. (2019) Methanol as a fuel for internal combustion engines, Progress in Energy and Combustion Science, 70:43-88.
30. Wuebben, P. (2014) Practical marine applications of renewable methanol, Symposium on Evolution of Maritime Fuels, Ship Speed and Operation Efficiency, USC Sea Grant Program, Loker HC Research Institute, 21 July 2014.
31. www.isalos.net/2019/12/oi-prooptikes-tis-methanolis-os-enallaktikou-kafsimou-gia-ta-ploia/
32. <https://energyexpress.gr/news/methanoli-enallaktiko-kaysimo-apo-anakyklosi-orykton-kai-rypon>
33. <https://www.methanex.com/sites/default/files/methanol-price/Mx-PriceSheet-2015-08-31.pdf>
34. <https://www.reporter.gr/Eidhseis/Naytilia/510532-Ereyna-H-methanolh-einai-to-%C2%ABkleidi%C2%BB-sthn-prasinh-naytilia>
35. «Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων», Κολάκη Αθηνά, Χίος 2016
36. http://195.134.76.37/chemicals/chem_methanol.htm
37. <https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/ecust>