

Μελέτη σκοπιμότητας για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην ακτοπλοΐα

Δημητριάδης Αλέξανδρος-Ιορδάνης

**Επιβλέπων καθηγητής
Δημήτριος Ίψάκης**

Χανιά, Σεπτέμβριος 2021

Περίληψη

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως κύριο σκοπό την επισκόπηση των συμβατικών αλλά κυρίως των εναλλακτικών καυσίμων της ναυτιλίας. Ειδικότερα, ολοένα και περισσότερα εναλλακτικά καύσιμα βρίσκονται στο προσκήνιο και αναπτύσσονται ταχέως κατά τα στάδια της έρευνας. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι υπεύθυνη για πάνω από το 85% του παγκόσμιου εμπορίου, ενώ ταυτόχρονα καταναλώνει το 2% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης ετησίως, συνεισφέροντας περίπου στο 3% των παγκόσμιων εκπομπών ρύπων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί κανείς να αντιληφθεί πως πρόκειται για μια από τις αποδοτικότερες ενεργειακά βιομηχανίες αλλά συνάμα και ιδιαίτερα επιβαρής στο περιβάλλον.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO), έχει θεσπίσει πως μέχρι το 2050 οι εκπομπές ρύπων του κλάδου πρέπει να έχουν μειωθεί κατά 50% σε σχέση με το έτος βάσης 2008. Ήδη, από την 1/1/2020 έχει τεθεί σε ισχύ ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο (sulphur cap) το 0.5% για τα ναυτιλιακά καύσιμα. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι έχουν προταθεί διάφορες λύσεις, εκ των οποίων μερικές είναι: η μείωση ταχύτητας πλεύσης (slow steaming), η τοποθέτηση καταλυτών (scrubbers) και η χρήση ορυκτών καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO, MDO). Βέβαια, οι μακροπρόθεσμες μελέτες συμφωνούν στο ότι για να επιτευχθούν οι στόχοι του IMO, η ναυτιλία θα πρέπει να στραφεί σε νέα καύσιμα μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άρα ρύπων.

Στα πλαίσια αυτά, η Διπλωματική Εργασία θα προσπαθήσει να κάνει μια επισκόπηση της τωρινής κατάστασης του ναυτιλιακού κλάδου αλλά και της συνεισφοράς του στο εμπόριο και την οικονομία, με έμφαση στον κλάδο της ακτοπλοΐας. Στη συνέχεια, θα γίνει μια επισκόπηση τόσο των τωρινών όσο και των υπό ανάπτυξη (ερευνητικών δραστηριοτήτων) ναυτιλιακών καυσίμων (υδρογόνο, μεθανόλη, βιοκαύσιμα κτλ). Έπειτα, θα γίνει μεταξύ τους σύγκριση σε τομείς όπως η θερμική απόδοση, η ασφάλεια και το δίκτυο διανομής. Τέλος, μια προκαταρκτική και συγκριτική μελέτη μεταξύ των προκρινόμενων καυσίμων και των επιδράσεων αυτών σε σχέση με την παρούσα κατάσταση λειτουργίας του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ της ANEK LINES (case study), θα δείξει τι εμπόδια αλλά και τι οφέλη μπορεί να προκύψουν, με την παραδοχή πως οι κινητήρες θα λειτουργούν στην ίδια βάση για τα επιλεγμένα καύσιμα (στροφές, θερμικός βαθμός απόδοσης, κατανάλωση, σταθερή τιμή καυσίμου με το 2^ο τρίμηνο του 2021).

Λέξεις κλειδιά: ναυτιλία, εναλλακτικά καύσιμα, ακτοπλοΐα, αέρια του θερμοκηπίου

Abstract

The main goal of this Diploma Thesis is to analyse both the already-used and the most prominent alternative marine fuels. More precisely, a significant number of alternative marine fuels is rising due to their rapid development. According to recent studies, the maritime industry is accountable for more than 85% of the world's trade. In parallel, it consumes 2% of the world's energy demand, adding 3% to the overall Greenhouse Gas (GHG) emissions. Based on these numbers, it can be said that the industry is one of the most energy advanced and efficient industries, but in parallel particularly harmful for the environment.

It has been legislated by the International Maritime Organisation (IMO) that, until 2050 the air emissions of the industry must have been reduced by 50% compared to 2008. Since early 2020, the so-called Sulphur cap has been activated, which dictates that sulphur-based emissions should be reduced to 0.5%. In order to achieve the IMO goals various pathways have been developed, of which the most common are: speed reduction (slow steaming), scrubbers' installation and Low Sulphur Fuel Oils (LSFO). Nevertheless, the long-term studies agree that in order to achieve the IMO goals, the industry should move towards new alternative fuels, emitting lower or zero harmful gases.

Based on these facts, this Thesis will make an effort to provide a critical overview of the current state of the maritime field and its contribution to the world's trade and economy, emphasising on the coastal shipping. Further on, a review of the already used and developing fuels (hydrogen, methanol, biofuels etc) will be made. Afterwards, a comparison will be conducted in sectors like the Lower Heating Values of each fuel, the safety and bunkering availability. Finally, a preliminary comparison (based on technical and economic details) will be performed for the most suitable fuels and their effects on the operations of the Ro-Ro Passenger ship "ELYROS" operated by ANEK LINES. The obstacles as well as the benefits of the potential alteration will be demonstrated, given the assumption that the engines for the chosen fuels will operate in the same similarly to the conventional (rpm, thermal efficiency rate, fuel consumption, same prices as the 2nd trimester of 2021).

Key Words: maritime industry, alternative fuels, coastal shipping, greenhouse gases

Ευχαριστίες

Με το πέρας αυτής της διπλωματικής ολοκληρώνεται ένας πολύ όμορφος κύκλος έξι ετών της ζωής μου. Αυτό το ιδιαίτερο κλείσιμο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον Επίκουρο καθηγητή κ. Δημήτριο Ιψάκη, τον οποίο και ευχαριστώ εκ βαθέων για την στήριξη, την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου όλους αυτούς τους μήνες. Η συνεργασία μας ήταν κάτι παραπάνω από άψογη, παρόλη την δυσχερή κατάσταση που προκάλεσε η πανδημία. Ωστόσο, θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους του καθηγητές που μου ξεδίπλωσαν αυτό το ταξίδι, τα χρόνια των φοιτητικών μου σπουδών. Ο καθένας ξεχωριστά, άλλοι λιγότερο άλλοι περισσότερο έβαλαν το λιθαράκι τους στην πορεία μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, αλλά και στις επιλογές μου για την μετέπειτα ζωή.

Παρόλα αυτά, σε κανένα ταξίδι ειδικά τόσο μεγάλο δεν είσαι μόνος. Έχεις συνοδοιπόρους, ταξιδευτές που μαζί προχωράτε προς την Ιθάκη. Σ' αυτό το ταξίδι γνώρισα αμέτρητο κόσμο, άτομα που με σημάδεψαν, που με ενέπνευσαν και με βοήθησαν στο να κάνω αυτό το ταξίδι το καλύτερο της ζωής μου. Οπότε σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δημήτρη και την Μαρινίκη για όλη την βοήθεια που απλόχερα μου έδωσαν, στα εύκολα και προπαντός στα δύσκολα. Τον Γιάννη, τον Χρήστο, τον Σταύρο, την Έμμα, τον Δημήτρη και τον Αντώνη που μου έδειξαν τι σημαίνει να νιώθω ότι έχω άτομα να στηριχτώ ακόμα και αν δεν τα βλέπω κάθε μέρα και ήταν εκεί όποτε τα χρειάστηκα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να δώσω και σε ένα ιδιαίτερο άτομο που άλλαξε όλα μου τα φοιτητικά χρόνια και μέσα από αυτό γνώρισα καλύτερα τον εαυτό μου, την Άννα. Ότι και να πω είναι απλά λίγο, σ' ευχαριστώ για όλα. Τελειώνοντας, δεν θα ήμουν εδώ και δεν θα έγραφα ούτε μια λέξη απ' όλα αυτά εάν δεν ήταν οι γονείς μου Χρήστος και Μαρία, να με στηρίζουν από την πρώτη μέρα που έφυγα από το σπίτι το 2015, έως την πρώτη μέρα που γύρισα στο σπίτι το 2021. Το ευχαριστώ για τις θυσίες τους είναι πραγματικά μικρό.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	2
Abstract	3
Ευχαριστίες.....	4
Κεφάλαιο 1 ^ο : Επισκόπηση του ναυτιλιακού κλάδου	7
1.1 Ο ρόλος της ναυτιλίας στο παγκόσμιο εμπόριο.....	7
1.1.1 Γενικά μεγέθη	7
1.1.2 Οικονομικά μεγέθη	9
1.2 Ο ρόλος της ναυτιλίας στις μεταφορές και την αναψυχή	11
1.3 Ο ρόλος της ναυτιλίας στην Ελλάδα	14
1.3.1 Γενικά μεγέθη ελληνόκτητου στόλου	15
1.3.2 Οικονομικά μεγέθη	18
1.4 Συμπεράσματα	20
Κεφάλαιο 2 ^ο : Περιβάλλον και Ναυτιλία	22
2.1 Αέριοι ρύποι και εκπομπές στη ναυτιλία.....	22
2.2 Περιβαλλοντικοί στόχοι	30
2.3 Τεχνολογίες και πρακτικές μείωσης των αέριων ρύπων	31
2.3.1 Πλυντηρίδες καυσίμων (Scrubbers).....	31
2.3.2 Slow steaming.....	37
2.4 Η ανάγκη για νέα καύσιμα	40
Κεφάλαιο 3 ^ο : Εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία	41
3.1 Επισκόπηση των ήδη χρησιμοποιημένων καυσίμων	41
3.1.1 Heavy Fuel Oil (HFO)	41
3.1.2 Marine Gas Oil (MGO).....	45
3.1.3 Liquified Natural Gas (LNG)	46
3.2 Επισκόπηση των υπό ανάπτυξη καυσίμων – εναλλακτικών	50
3.2.1 Υδρογόνο (H ₂).....	50
3.2.2 Αμμωνία (NH ₃)	55
3.2.3 Μεθανόλη (CH ₃ OH)	59
3.2.4 Βιοκαύσιμα (Biofuels).....	64
3.2.5 Υγραέριο (Liquified Petroleum Gas – LPG)	69
Κεφάλαιο 4 ^ο : Η περίπτωση του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ.....	75
4.1 Προκρινόμενα καύσιμα για την ακτοπλοΐα	75
4.2 Πλοιοκτήτρια εταιρεία “ANEK LINES”	85
4.3 Το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ	85
4.4 Ανάλυση μέσου δρομολογίου	86
4.5 Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου	88

4.6 Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων	90
4.7 Υπολογισμός κόστους	92
4.8 Συμπεράσματα	94
Κεφάλαιο 5 ^ο : Αποτίμηση και συμπεράσματα	95
5.1 Σύνοψη της διπλωματικής.....	95
5.2 Συζήτηση και μελλοντικά βήματα	96
Βιβλιογραφία	98

Κεφάλαιο 1^ο: Επισκόπηση του ναυτιλιακού κλάδου

1.1 Ο ρόλος της ναυτιλίας στο παγκόσμιο εμπόριο

1.1.1 Γενικά μεγέθη

«Χωρίς την Διεθνή Ναυτιλία, ο μισός πλανήτης θα είχε παγώσει και ο άλλος μισός θα ήταν χωρίς τροφή», είχε πει χαρακτηριστικά ο τέως Γενικός Γραμματέας του Διεθνή Οργανισμού Ναυτιλίας, Ευθύμιος Μητρόπουλος. Η ναυτιλία έχει πολλάκις χαρακτηριστεί ως η ατμομηχανή του παγκόσμιου εμπορίου και όχι αδίκως. Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού (7,9 δις άνθρωποι για το 2021) αλλά και της παγκοσμιοποίησης, το εμπόριο δια θαλάσσης έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη πολλών κρατών και όχι μόνο. Πιο συγκεκριμένα, πάνω από το 85-90% του παγκόσμιου εμπορίου διακινείται μέσω θαλασσίων οδών. Έτσι, δεν είναι υπερβολή να ειπωθεί πως αν σταματήσει το εμπόριο δια θαλάσσης να λειτουργεί, το ίδιο θα συμβεί και στην παγκόσμια οικονομία και τον κόσμο όπως τον γνωρίζουμε.

Έχει εκτιμηθεί πως πάνω από 85.000 πλοία ανά την υφήλιο συμβάλλουν στο εμπόριο και της μεταφορές, κάνοντας δυνατή την χρήση πληθώρας προϊόντων και αγαθών. Με άλλα λόγια χωρίς την ναυτιλία είτε θα χρειαζόταν μήνες μέχρι ένα προϊόν να έρθει στον τελικό καταναλωτή ή απλώς θα ήταν ανέφικτο να φτάσει στο προορισμό του. Η ναυτιλία όντας μια σύνθετη βιομηχανία, είναι φυσικό να «εξυπηρετείται» από διαφορών ειδών πλοία, που επιτελούν τους παραπάνω σκοπούς ανάλογα με την χρήση τους. Οι πιο βασικές κατηγορίες πλοίων είναι οι εξής:

- Μεταφοράς πετρελαίου (Oil tankers)
- Μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG tankers)
- Μεταφοράς διάφορων χημικών ουσιών (Chemical tankers)
- Μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulk carriers)
- Μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container ships)
- Μεταφοράς επιβατών
 - Κρουαζιερόπλοια (Cruise ships)
 - Ακτοπλοϊκά (Ro-Ro / Passenger ships)
- Μεταφοράς αυτοκινήτων (Roll on – Roll off)

- Υποστήριξης (Tug boats)

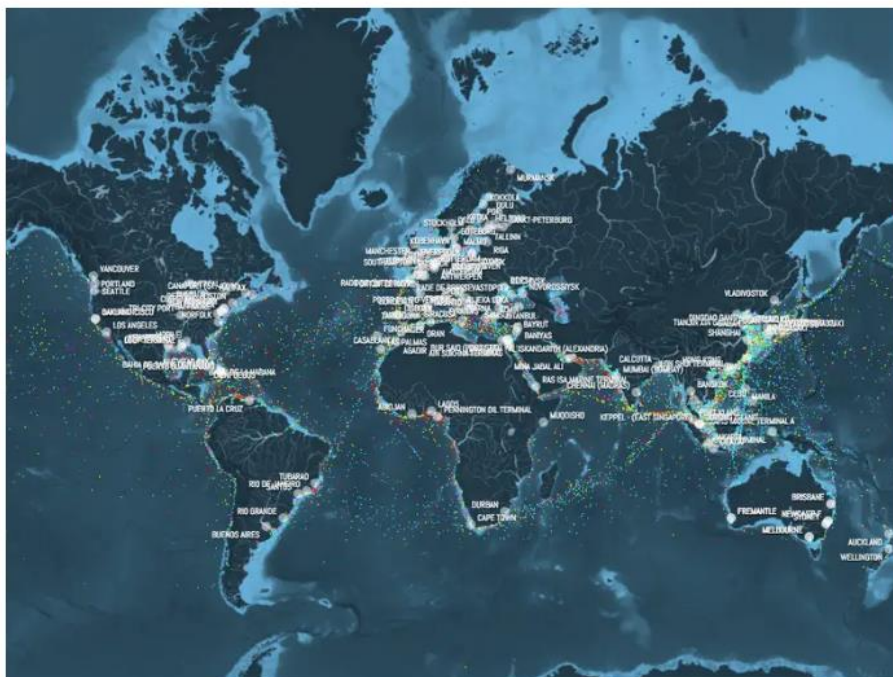
Σύμφωνα με το Διεθνές Ναυτικό Επιμελητήριο [1], πάνω από 150 χώρες διαθέτουν έστω και ένα πλοίο εγγεγραμμένο στο νηολόγιο τους καταδεικνύοντας έτσι την σημασία της ναυτιλίας για κάθε κράτος. Για μια τόσο μεγάλη βιομηχανία δεν φαντάζει παράξενο και το γεγονός πως απασχολεί 1.647.500 εκατομμύρια ναυτικούς σε διάφορα πόστα.



Εικόνα 1.1: Η πορεία κάθε πλοίου ανά τον κόσμο για το 2012, σύμφωνα με τις καταγραφές μέσω του συστήματος AIS (πηγή: www.shipmap.org)

Ο ρόλος των λιμανιών

Οι εγκαταστάσεις των λιμένων προσφέρουν διαφόρων ειδών υπηρεσίες (ανεφοδιασμού καυσίμων, τροφών και ειδών πρώτης ανάγκης, καθαρισμού κ.α.) στα πλοία που ελλιμενίζονται με βάση τις ανάγκες και τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι, όσο αλλάζει το παγκόσμιο εμπορικό μείγμα, τόσο αλλάζει η φύση και το είδος των λιμανιών. Με βάση αυτό το σκεπτικό αξίζει να σημειωθεί πως οι διαχειρίστριες εταιρείες ή/και τα κράτη που ελέγχουν λιμένες, έχουν αναπτύξει ένα αξιόλογο χαρτοφυλάκιο περιουσιακών στοιχείων, αλλά και συνεργειών με εταιρείες τεχνολογίας για την αναμόρφωση της εμπειρίας και των υπηρεσιών του ελλιμενισμού. Τέτοια παραδείγματα είναι το λιμάνι της Βαρκελώνης, που θα γίνει το 1^ο στην Ευρώπη που θα στηρίζει τις εργασίες και την ηλεκτρονική ασφάλεια του στην τεχνολογία 5G [2]. Επίσης, ο Οργανισμός Λιμένα Πειραιώς σε συνεργασία με την Vodafone, δημιούργησε ένα κλειστό δίκτυο για την διαχείριση του εμπορικού κομματιού του λιμένα, μετατρέποντας τον έτσι σε «ψηφιακό» τερματικό [3].



Εικόνα 1.2: Τα πιο σημαντικά λιμάνια ανά τον κόσμο για το 2012 (πηγή: www.shipmap.org)

Όπως γίνεται αντιληπτό, η παγκόσμια κυκλοφορία πλοίων είναι τεράστια και περίπλοκη, αλλά όπως μπορεί να φανεί και παρακάτω ακολουθεί κάποια μοτίβα. Αυτά τα μοτίβα αποτυπώνουν τις συνήθειες διαδρομές που ακολουθούν τα πλοία. Μεγάλης σημασίας χαρακτηρίζονται και τα λιμάνια-κόμβοι, τα οποία είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Σύμφωνα με την παραπάνω φωτογραφία, τα περισσότερα απαντώνται στην Ευρώπη, Ανατολική Αμερική, Κίνα-Ιαπωνία. Ωστόσο, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, πολλές από τις χώρες που φιλοξενούν μεγάλο αριθμό πολυσύχναστων λιμανιών διέπονται από αυστηρούς κανόνες για τις εκπομπές αέριων ρύπων, άρα και χρήσης ανάλογων καυσίμων, για την μείωση τους και κατ' επέκταση την βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

1.1.2 Οικονομικά μεγέθη

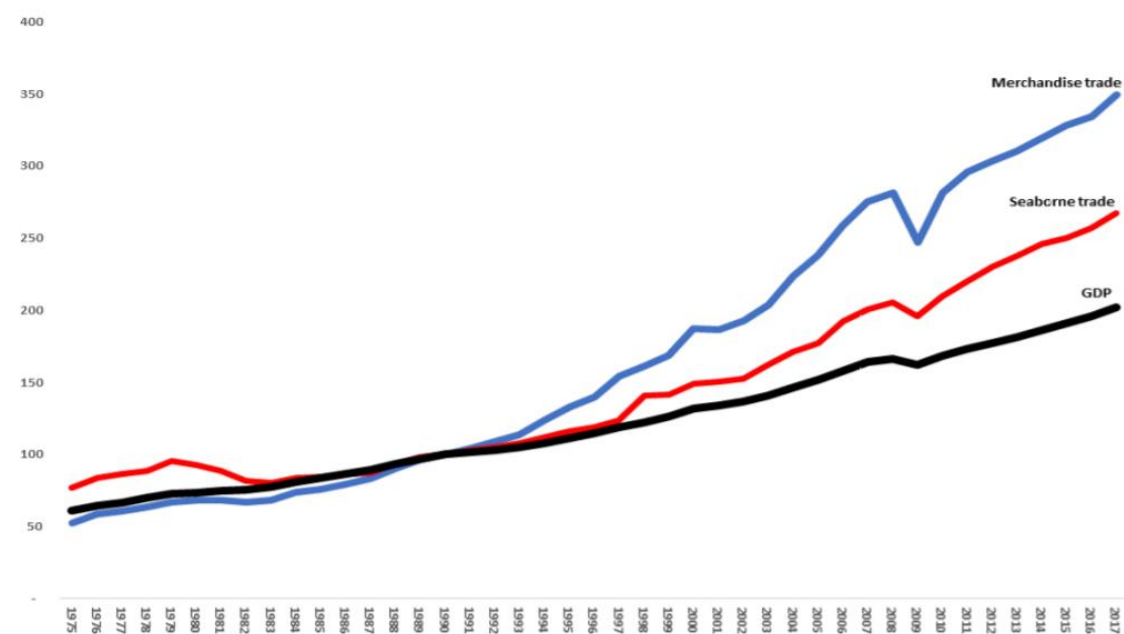
Σύμφωνα με το Διεθνές Ναυτικό Επιμελητήριο [4], για το έτος 2019 η ναυτιλία ήταν υπεύθυνη για συναλλαγές και εμπόριο ύψους 14 τρις δολαρίων ΗΠΑ. Αυτό το ποσό προήλθε από την «μετακίνηση» 11 δις τόνων αγαθών, όπως περίπου 2 δις τόνων αργού πετρελαίου, 1 δις τόνου ορυκτού σιδήρου και 350 εκ. τόνων σιτηρών. Από άποψη εμπορευματοκιβωτίων (TEUs), για το 2017 έχει υπολογιστεί πως διακινήθηκαν 148 εκ. TEUs ή αλλιώς 1.8 δις τόνων αγαθών [5].

Αυτές οι ποσότητες αγαθών δεν θα ήταν εφικτό να μεταφερθούν με άλλα μέσα (αεροπορικών, σιδηροδρομικών, φορτηγά). Επιπρόσθετα, λόγω της οικονομίας κλίμακας που χαρακτηρίζει το εμπόριο δια θαλάσσης, καθίσταται ο φθηνότερος τρόπος μεταφοράς ανά τόνου αγαθού. Πιο συγκεκριμένα ένα ποτήρι καφέ των 2.5€ περικλείει το κόστος των 0.30 λεπτών

του ευρώ για την μεταφορά των συστατικών του, ενώ ένα μπουκάλι κρασί των 5€ περικλείει 0.20€ ή ένα παπούτσι των 100€ περικλείει 5€.

Στο κομμάτι της εργασίας, όπως αναφέρθηκε και στη προηγούμενη παράγραφο, η ναυτιλιακή βιομηχανία απασχολεί πάνω από 1.6 εκ. ναυτικούς εκ των οποίων οι 774.000 είναι αξιωματικοί και οι 873.500 κατώτερα πληρώματα (μάγειρες, ναύτες κ.α.). Οι κύριες χώρες προέλευσης των ναυτικών είναι οι Φιλιππίνες, ακολουθούμενες από την Κίνα, την Ινδονησία, την Ρωσία και την Ουκρανία [1].

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν την σημασία της ναυτιλίας στην καθημερινότητα μας. Η πορεία του εμπορίου δια θαλάσσης, καθίσταται αναπόφευκτα και δείκτης της οικονομικής αλλά και της ανάπτυξης του βιοτικού επιπέδου παγκοσμίως. Όπως μπορεί να φανεί και από το παρακάτω διάγραμμα, το παγκόσμιο ΑΕΠ είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την γιγάντωση του θαλάσσιου εμπορίου. Βέβαια, δεν είναι μόνο το εμπόριο ο καταλύτης στην ανάπτυξη του ΑΕΠ μια χώρας. Σημαντικό ρόλο παίζει ευρύτερος ναυτιλιακός χώρος (προμηθευτές, συνεργεία, ναυπηγεία κ.α.) ο οποίος συνεισφέρει μέσω φόρων αλλά και θέσεων εργασίας, όπως θα αναλυθεί και σε επόμενες παραγράφους.



Εικόνα 1.3: Διαχρονική εξέλιξη ΑΕΠ – εμπορίου (πηγή: Review of Maritime Transport)

1.2 Ο ρόλος της ναυτιλίας στις μεταφορές και την αναψυχή

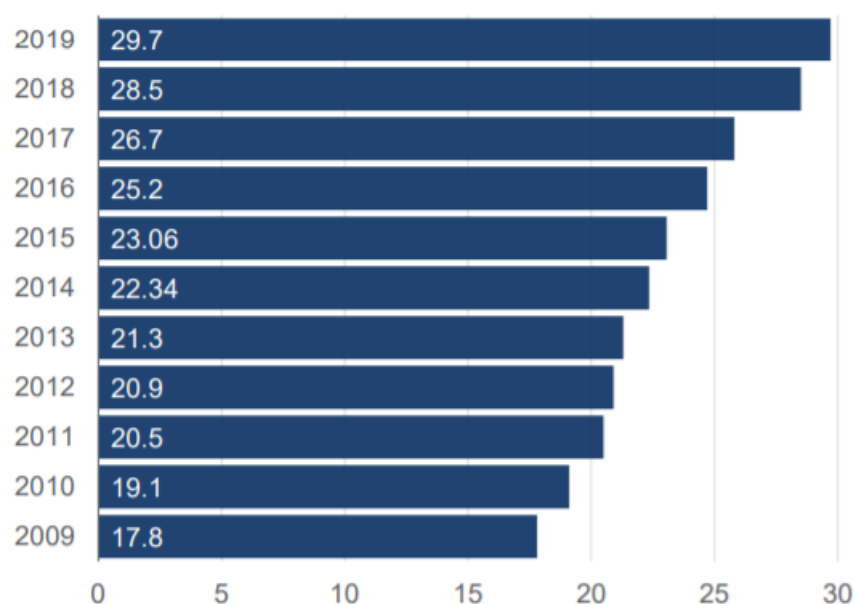
Παρούσα κατάσταση

Η βιομηχανία της κρουαζιέρας έχει ένα αρκετά ιδιαίτερο ανάγλυφο. Χαρακτηρίζεται από ένα μείγμα πελατών που αναζητούν από την χλιδή και την απόλυτη ηρεμία κατά την διάρκεια του ταξιδιού, έως επιβάτες που επιζητούν την έντονη νυχτερινή ζωή, την πληθώρα δραστηριοτήτων και την ανακάλυψη νέων ιδιαίτερων προορισμών. Έτσι, για να ανταπεξέλθει σ' αυτό το ιδιαίτερο μείγμα αναγκών, η βιομηχανία της κρουαζιέρας έχει αναπτύξει καινοτόμα και τεχνολογικά εξελιγμένα κρουαζιερόπλοια.

Συνολικά το έτος 2021 επιχειρούν 323 κρουαζιερόπλοια παγκοσμίως, ενώ αναμένεται να παραδοθούν μέσα στην ίδια χρονιά άλλα 20 νεότευκτα πλοία. Για την καλύτερη κατανόηση της πολυπλοκότητας και του μεγέθους ενός κρουαζιερόπλοιου, αρκεί να ειπωθεί πως τα πλέον μεγαθήρια του κλάδου είναι ικανά να μεταφέρουν έως και 6.000 επιβάτες και 3.500 προσωπικό, ενώ κατά μέσο όρο ένα κρουαζιερόπλοιο μεταφέρει περίπου 2.500 επιβάτες και 1.000 άτομα πλήρωμα. Πρόκειται ουσιαστικά για ολόκληρες πόλεις, οι οποίες καλούνται να κινούνται αυτόνομα, αλλά και να παράγουν τον δικό τους ηλεκτρισμό και νερό, να διαχειρίζονται τεράστιες ποσότητες λυμάτων και να σιτίζουν χιλιάδες κόσμου καθημερινά. Αυτό, όπως είναι φυσικό προκαλεί την ανάγκη για τεράστια ποσά ενέργειας και άρα καυσίμων, τα οποία έως τώρα επιβάρυναν άρδην τον ατμοσφαιρικό αέρα των πόλεων που προσέγγιζαν και άρα των πολιτών που έμεναν στις γύρω περιοχές.

Οικονομικό επίπεδο

Ο κλάδος της ναυτιλίας είναι ένας ποικιλόμορφος κλάδος που δεν χαρακτηρίζεται μόνο από το εμπόριο. Ένα σημαντικό κομμάτι του είναι και οι μεταφορές-αναψυχή, κάτι γνώριμο για την Ελλάδα η οποία βασίζεται οικονομικά σε μεγάλο ποσοστό από τον τουρισμό. Σε γενικότερο πλαίσιο, έχει παρατηρηθεί πως η βιομηχανία της κρουαζιέρας έχει γνωρίσει ραγδαία αύξηση. Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Εταιρειών Κρουαζιέρας (Cruise Lines International Association – CLIA) [6], ο κλάδος έχει γνωρίσει αύξηση της τάξης του 5.4%, την δεκαετία 2009-2019. Σε απόλυτους αριθμούς αυτό μεταφράζεται σε αύξηση από 17.8 εκ. επιβάτες το 2009, σε περίπου 30 εκ. το 2019. Επίσης, οι προβλέψεις έδειχναν πως για το έτος 2020 (προ COVID-19) οι επιβάτες κρουαζιέρας θα ανέρχονταν σε 32 εκ. παγκοσμίως.



Διάγραμμα 1.1: Η επιβατική κίνηση μέσω κρουαζιέρας την δεκαετία 2009-2019 (πηγή: CLIA)

Για το έτος 2019 έχει υπολογιστεί πως ο κλάδος της κρουαζιέρας έχει συμβάλει περί τα 154 δις δολάρια ΗΠΑ στην παγκόσμια οικονομία. Παράλληλα έχει εκτιμηθεί πως προσφέρει 1.166.000 θέσεις εργασίας δαπανήσει περισσότερα από 50 δις δολάρια σε μισθούς για το προσωπικό [6].

Μετά-COVID-19 προβλέψεις

Οι προβλέψεις δείχνουν πως στα μετά-covid χρόνια, ο κλάδος της κρουαζιέρας θα γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πολύς κόσμος που δεν θα έχει ταξιδέψει σχεδόν για δύο χρόνια, θα θελήσει να επιλέξει το μέσο της κρουαζιέρας ως εναλλακτική, καθώς προσφέρει μια ολοκληρωμένη εμπειρία. Επίσης, το ηλικιακό κοινό θα μεταβεί προς την γενιά των millennials κατά περίπου 30%. Το συγκεκριμένο κοινό έχει αποδειχθεί ότι ενδιαφέρεται περισσότερο στην «δημιουργία εμπειριών», απ' ό,τι στην αγορά αντικειμένων [7]. Έτσι, κρίνεται αρκετά πρόσφορο το έδαφος για την προσέλκυση νέων στον χώρο της κρουαζιέρας, μέσω οικονομικά ανταγωνιστικών πακέτων.

Στο κομμάτι των νεότευκτων πλοίων αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν περισσότερα από 270 πλοία υπό κατασκευή. Τα περισσότερα εκ των προαναφερθέντων θα διαθέτουν τεχνολογίες αιχμής, με το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquified Nitrogen Gas – LNG) να διαδραματίζει καίριο ρόλο. Ήδη τα βιβλία παραγγελιών καταδεικνύουν πως τα νεότευκτα πλοία θα καταναλώνουν σε ποσοστό 49% LNG ή θα φέρουν συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (Exhaust Gas Cleaning Systems – EGCS), σε ποσοστά 96% [6]. Από το 2015 έχει έρθει σε υπηρεσία το πρώτο πλοίο που χρησιμοποιεί ως βοηθητικό καύσιμο το LNG, ενώ το 2020 κατελκύστηκε το πρώτο πλοίο που θα χρησιμοποιεί καθαρά ως καύσιμο πρόωσης το LNG. Τα

δύο πλοία ανήκουν στην AIDA Cruises και ναυπηγήθηκαν από τα ναυπηγεία Meyer Werft στην Φινλανδία.



Εικόνα 1.4: Το AIDA Sol της AIDA Cruises (πηγή: www.cruisemapper.com)



Εικόνα 1.5: AIDnova της AIDA Cruises, το πρώτο πλοίο παγκοσμίως που χρησιμοποιεί ως κύριο καύσιμο το LNG (πηγή: www.taveller.com.au)

1.3 Ο ρόλος της ναυτιλίας στην Ελλάδα

Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην λεκάνη της Μεσογείου και γειτονεύει χερσαία με την Αλβανία, την Βόρεια Μακεδονία, την Βουλγαρία και την Τουρκία. Βρέχεται από το Αιγαίο, το Ιόνιο, το Κρητικό και το Λιβυκό Πέλαγος, τα οποία χαρακτηρίζονται από πληθώρα νησιών, νησίδων και βραχονησίδων. Πιο συγκεκριμένα το μήκος της Ελληνικής ακτογραμμής ανέρχεται στα 13.676 χιλιόμετρα, και στα ελληνικά χωρικά ύδατα απαντώνται περί τα 2.500 νησιά, εκ των οποίων μόνο τα 165 είναι κατοικημένα και εξ' αυτών στα 115 υπάρχει ακτοπλοϊκή συγκοινωνία [8].



Εικόνα 1.6: Ελληνικά νησιωτικά συμπλέγματα (πηγή: [Wikipedia](#))

Όπως γίνεται αντιληπτό η σύνδεση της ηπειρωτικής χώρας με το εκάστοτε νησί γίνεται με δύο τρόπους, δια θαλάσσης ή/και εναέρια. Από αυτό εξαιρείται μόνο η νήσος Λευκάδα και η νήσος Εύβοια, καθώς συνδέονται με την Στερεά Ελλάδα μέσω γέφυρας.

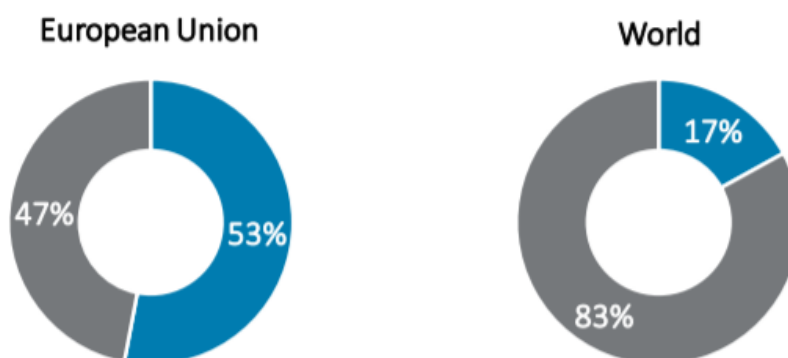
Έτσι, ο κλάδος της ακτοπλοΐας έρχεται να καλύψει την ανάγκη για διασύνδεση των νησιών με την ηπειρωτική Ελλάδα. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να αποσαφηνιστούν οι δύο διαφορετικές έννοιες που περικλείονται υπό τον όρο ακτοπλοΐα, καθώς θα βοηθήσει και στην μετέπειτα ανάλυση. Ο μεν πρώτος όρος αναφέρεται στην *ακτοπλοϊκή ναυτιλία* (coastal navigation) και ο δε δεύτερος στην παράκτια συγκοινωνία, περισσότερο γνωστή ως *ακτοπλοϊκή συγκοινωνία* [9]. Η κύρια διαφορά τους έγκειται στο ότι η ακτοπλοϊκή

συγκοινωνία αναφέρεται κυρίως σε διασύνδεση εγγείων λιμένων και άρα κοντινών αποστάσεων. Η μελέτη σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία, θα επικεντρωθεί στην ακτοπλοϊκή ναυτιλία και κατ' επέκταση σε μεγαλύτερης κλίμακας δεδομένα.

1.3.1 Γενικά μεγέθη ελληνόκτητου στόλου

Η ιστορία της Ελλάδας είναι συνυφασμένη με την θάλασσα και την ναυτιλία. Υπάρχουν αναφορές για εμπόριο δια θαλάσσης μεταξύ της τότε αρχαίας Ελλάδας και γειτονικών χωρών. Ιδιαίτερα όμως τα τελευταία 75 χρόνια, δηλαδή την περίοδο μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η ναυτιλία στην Ελλάδα έχει γνωρίσει μια αλματώδη άνοδο, έχοντας στο ιστορικό της πολλούς και διεθνούς φήμης εφοπλιστές. Το ανάγλυφο του ελληνικού εφοπλισμού χαρακτηρίζεται από εφοπλιστές που ήταν παλαιότερα καπετάνιοι και πλέον διαθέτουν τα δικά τους πλοία ή απλό κόσμο που στράφηκε στην ναυτιλία και κατάφερε να χτίσει την δικιά του επιχείρηση. Ουσιαστικά, δεν πρόκειται για μεγάλες πολυεθνικές με εξωτερικούς managers, αλλά από πλοιοκτήτες που ασκούν οι ίδιοι την διαχείριση και την διεύθυνση των επιχειρήσεων τους.

Σύμφωνα με την έρευνα της συμβουλευτικής εταιρείας Deloitte [10], ο ελληνικών συμφερόντων στόλος προσφέρει πάνω από το 53% της Ευρωπαϊκής χωρητικότητας και πάνω από το 17% της παγκόσμιας χωρητικότητας. Αυτά τα ποσοστά αποτυπώνονται σε πάνω από 4.500 πλοία τα οποία είναι υπό ελληνική ιδιοκτησία. Επίσης, άξιο αναφοράς είναι πως ελληνική σημαία -ως σημαία νηολογίου- είναι η 2^η πιο προτιμητέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (μετά την Μάλτα) και 9^η παγκοσμίως.

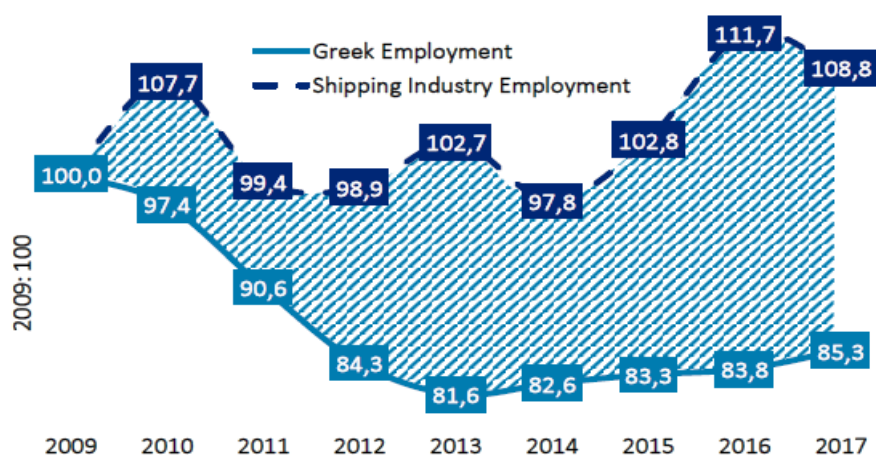


Διάγραμμα 1.2: Σύγκριση προσφερόμενης χωρητικότητας Ελλάδας σε σχέση με την Ευρώπη - Παγκοσμίως (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)

Πίνακας 1.1.: Ιδιοκτησία πλοίων ανά χώρα (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)

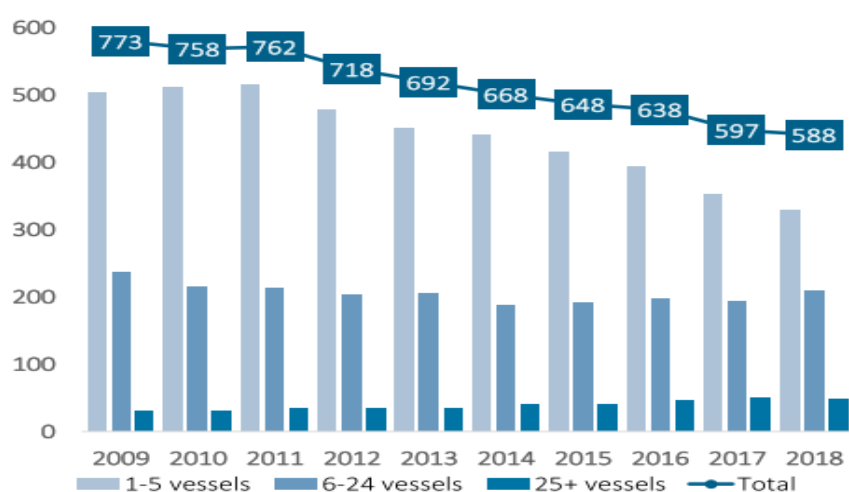
Vessels		
Rank (dwt)	Country of ownership	# Vessels
1	Greece 	4,536
2	Japan	3,822
3	China	6,125
4	Singapore	2,727
5	Hong Kong, China	1,628
6	Germany	2,672
7	Republic of Korea	1,647
8	Norway	2,038
9	United States	1,975
10	Bermuda	532

Ο όγκος του ελληνόκτητου στόλου όπως αναμενόταν, συνεισφέρει τα μέγιστα και στην εθνική οικονομία διαγράφοντας μια αρκετά ενδιαφέρουσα πορεία στα ποσοστά εργασίας, σε σχέση με τους υπόλοιπους κλάδους στην Ελλάδα. Αρκεί να αναφερθεί πως από το 2009 (την χρονία την οποία ξεκίνησε η οικονομική κρίση) έως το 2017, τα ποσοστά πλήρωσης των προσφερόμενων θέσεων έπεσαν κάτω της ζήτησης μόνο 3 φορές, με διαφορές της τάξης του 0,6% έως και 2,2%. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα οι ζητούντες εργασία στον ναυτιλιακό κλάδο μπορούσαν να απορροφηθούν άμεσα σε κάποια από τις προσφερόμενες θέσεις. Στον αντίποδα, το σύνολο των προσφερόμενων θέσεων στην επικράτεια γνώρισε πλήρωση σε ποσοστά μεγαλύτερα του 15%, ιδιαίτερα από το έτος 2012 και μετά όπως μπορεί να φανεί στο παρακάτω διάγραμμα, συνεισφέροντας έτσι στο μείγμα της ανεργίας. Αυτό καταδεικνύει την συμβολή του ελληνικού ναυτιλιακού κλάδου στην ελληνική κοινωνία και κατ' επέκταση οικονομία, ακόμη και σε καιρούς οικονομικής δυσχέρειας και ανεργίας. Επίσης, άξια αναφοράς είναι και πως ο ελληνικός ναυτιλιακός χώρος, όντας μέλος της παγκόσμιας αγοράς επέλεξε αρκετούς Έλληνες για την κάλυψη των αναγκών του.



Διάγραμμα 1.3: Σύγκριση των ποσοστών εργασίας στην Ελλάδα μεταξύ ναυτιλίας – γενικότερης βιομηχανίας (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)

Ωστόσο, η οικονομική κρίση δεν άφησε αλώβητο και το ελληνικό ναυτιλιακό οικοσύστημα. Συνεχίζοντας την ανάλυση μπορεί να δει κανείς την μείωση του αριθμού των ναυτιλιακών επιχειρήσεων οι οποίες δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία. Πιο συγκεκριμένα, έχοντας ως έτος βάσης το 2009 με 773 ενεργές ναυτιλιακές επιχειρήσεις, μπορεί να παρατηρηθεί μια μείωση της τάξης του 24% έως το 2018, φτάνοντας τις 588 [10]. Δηλαδή, μια στις τέσσερις περίπου ναυτιλιακές εταιρείες έκλεισε μέσα στην κρίση. Επιπρόσθετα, τη χρονική περίοδο που συγγράφεται η παρούσα διπλωματική εργασία, μετρούνται πάνω από 30 ακτοπλοϊκές εταιρείες στην Ελλάδα, συνδένοντας την ηπειρωτική με την νησιωτική Ελλάδα αλλά και την Ιταλία μέσω των λιμένων της Πάτρας και της Ηγουμενίτσας.



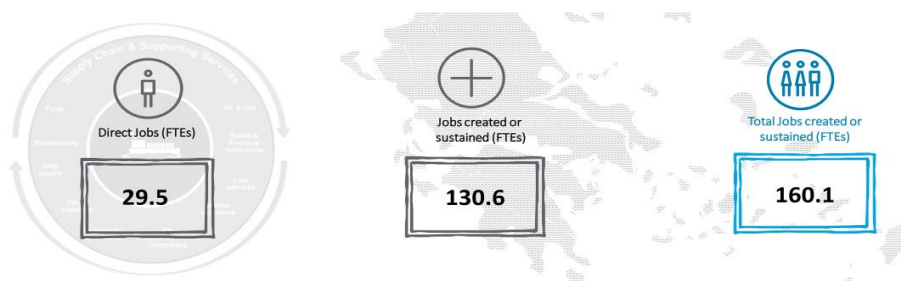
Διάγραμμα 1.4: Διαχρονική μεταβολή των ελληνικών ναυτιλιακών επιχειρήσεων (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)

Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγεται επίσης το συμπέρασμα, πως πολλές μικρές ναυτιλιακές επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνταν με 1 έως 5 πλοία δεν άντεξαν και έκλεισαν. Στον αντίποδα ο αριθμός των «μεγάλων» του κλάδου, δηλαδή οι επιχειρήσεις με παραπάνω από 25 πλοία, όχι μόνο δεν μειώθηκαν αλλά αυξήθηκαν. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε την αδυναμία εύρεσης οικονομικών πόρων ή/και ναύλων και κατ' επέκταση την έλλειψη εμπιστοσύνης προς τις μικρές επιχειρήσεις, είτε την επιθετική πολιτική των μεγαλύτερων εταιρειών ως προς το κομμάτι της εξαγοράς των μικρότερων εταιρειών ή ως προς την απόκτηση μέρους του στόλου τους.

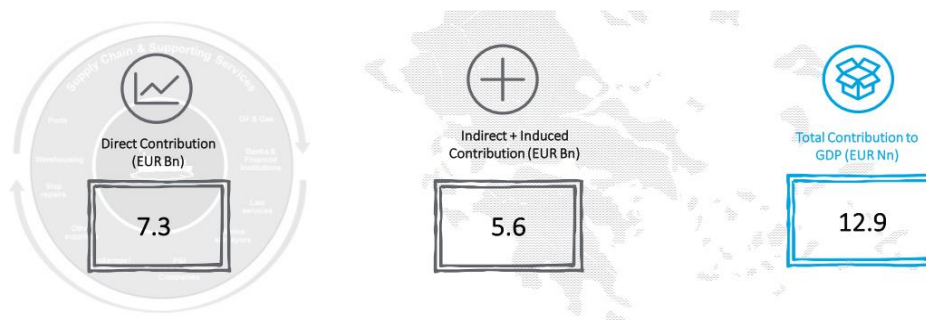
1.3.2 Οικονομικά μεγέθη

Γενικός κλάδος ελληνικής ναυτιλίας

Όπως έχει περιγραφεί και στην προηγούμενη παράγραφο η ελληνική ναυτιλιακή βιομηχανία αποτελεί πυλώνα στήριξης της ελληνικής οικονομίας και κοινωνίας. Σύμφωνα με την έρευνας της Deloitte αλλά και της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών [8][10], η ναυτιλία συνεισφέρει σε ποσοστά άνω του 6% του ΑΕΠ της χώρας, δηλαδή περί τα 11 με 12 δις ευρώ ετησίως (7,3 δις άμεσα από την ναυτιλία και 5,6 δις έμμεσα). Παράλληλα, άμεσα προσφέρει 29.500 θέσεις εργασίας και έμμεσα 130.600, μέσω επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον ευρύτερη ναυτιλιακό κλάδο ή αλληλοεπιδρούν με την ναυτιλία. Αθροιστικά, είναι υπεύθυνη για το 3% των εργαζομένων της χώρας, όπως μπορεί να φανεί και από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.7: Προσφερόμενες θέσεις εργασίας μέσω της ναυτιλίας στην Ελλάδα για το 2020 (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)



Εικόνα 1.8: Συμβολή της ναυτιλίας στο ΑΕΠ της Ελλάδας για το 2020 (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)

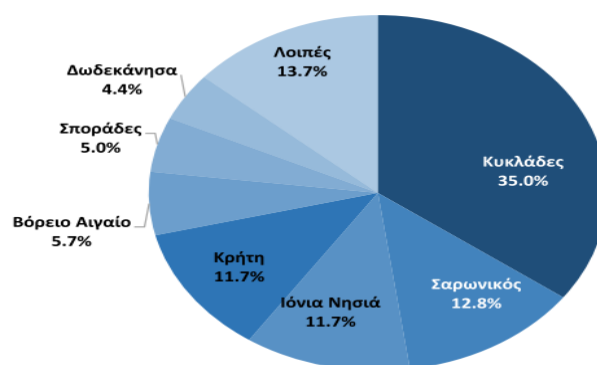
Κλάδος ελληνικής ακτοπλοΐας

Σύμφωνα με τις τελευταίες μελέτες (2020) του Ιδρύματος Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών (IOBE), ο κλάδος της επιβατηγού ναυτιλίας συνεισφέρει¹ περί τα €13,6 δις ή 7,4% του ΑΕΠ της χώρας, ενώ πιο συγκεκριμένα η συνολική επίδραση από την εξυπηρέτηση της ζήτησης για ακτοπλοϊκές μεταφορές στις γραμμές εσωτερικού, εκτιμάται στα €2 δις. Επιπλέον, η συνολική συνεισφορά του κλάδου ανέρχεται σε 332.000 θέσεις εργασίας ή το 8,5% της συνολικής απασχόλησης ανά την επικράτεια. Οι άμεσες θέσεις εργασίας για την κάλυψη των ακτοπλοϊκών συνδέσεων ανέρχονται σε 33,500. Επίσης, η ακτοπλοΐα συνεισφέρει, μέσω φόρων, στα δημόσια έσοδα περίπου €3 δις [11][12].

Πίνακας 1.2: Συμβολή της επιβατηγού ναυτιλίας στην ελληνική οικονομία (πηγή: IOBE)²

	Μεταφορικό έργο	Ευρύτερες επιδράσεις από τουρισμό και παραγωγή στα νησιά	Ευρύτερες επιδράσεις από το εξαγωγικό εμπόριο	Σύνολο
ΑΕΠ (δισ €)	2,0	10,1	1,5	13,6
Απασχόληση (χιλ.)	33,5	256,8	41,3	331,6
Φορολογικά έσοδα (εκ. €)	728	1.887	343	2.957

Έχει παρατηρηθεί πως για την επταετία 2010-2016, το 1/3 της επιβατικής κίνησης στην ακτοπλοΐα αφορά την σύνδεση των Κυκλάδων, ακολουθούμενη από την κίνηση των επιβατών του Σαρωνικού. Έπονται η Κρήτη και τα Ιόνια νησιά με το ίδιο ποσοστό συμμετοχής. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως η συνολική κίνηση είχε μειωθεί την περίοδο 2010-2016. Για παράδειγμα το 2010 στην Κρήτη ταξίδεψαν 2,65 εκ. επιβάτες, ενώ το 2016 μόνο 1,86 εκ., μια μείωση της τάξης του 29,7%. Αντίστοιχη μείωση παρατηρείται και στις γραμμές του Σαρωνικού, από 14,8% το 2010, σε 12,8% το 2016.



Διάγραμμα 1.4: Κατανομή των επιβατών της ελληνικής ακτοπλοΐας το 2016 (πηγή: IOBE)

¹ Περιλαμβάνει: α) την άμεση επίδραση από τη δραστηριότητα του κλάδου, β) την έμμεση επίδραση από τις παραγωγικές διασυνδέσεις με άλλους κλάδους της οικονομίας που συμμετέχουν στην αλυσίδα εφοδιασμού της επιβατηγού ναυτιλίας και γ) την προκαλούμενη επίδραση από την μεταβολή της καταναλωτικής δαπάνης των εργαζομένων που συμμετέχουν άμεσα ή έμμεσα στην παραγωγική διαδικασία του κλάδου.

² Σημειώνεται πως τα παραπάνω μεγέθη είναι διαφορετικά από αυτά των προηγούμενων παραγράφων.

Σύμφωνα με τον Σύνδεσμο Εταιρειών Επιβατηγού Ναυτιλίας την τριετία 2017-2019 (δεν συμπεριλαμβάνεται το 2020 λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών λόγω του COVID-19), παρατηρείται μια σταθερή αύξηση στον αριθμό των διακινούμενων επιβατών με τα πλοία της ακτοπλοΐας. Αυτή η διαφορά είναι της τάξης του 6% και σε απόλυτους αριθμούς μεταφράζεται σε 1.259.088 αύξηση από το 2017 έως το 2019, όπως μπορεί να φανεί και παρακάτω.

Πίνακας 1.3: Εξέλιξη των επιβατών της ελληνικής ακτοπλοΐας την περίοδο 2017-2019 (πηγή: www.seen.org.gr)

ΑΚΤΟΠΛΟΪΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	2017	2018	2019
ΑΡΓΟΣΑΡΩΝΙΚΟΣ	2.308.707	2.461.766	2.437.938
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	9.770	33.295	54.874
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΚΡΗΤΗ	1.815.637	1.847.595	1.981.814
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΚΡΗΤΗ - ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	132.784	165.173	171.088
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	733.056	755.088	800.407
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΔΥΤΙΚΕΣ ΚΥΚΛΑΔΕΣ	675.567	849.311	847.704
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΚΥΚΛΑΔΕΣ	2.515.229	2.547.164	3.153.328
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΜΥΚΟΝΟΣ - ΤΗΝΟΣ - ΣΑΜΟΣ	1.164.654	1.179.519	1.099.416
ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΧΙΟΣ - ΜΥΤΙΛΗΝΗ	584.604	518.967	503.898
ΠΑΤΡΑ - ΑΚΑΡΝΑΝΙΑ - ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ	378.991	527.591	518.982
ΡΑΦΗΝΑ - ΕΥΒΟΙΑ - ΑΝ. ΚΥΚΛΑΔΕΣ	2.299.888	2.661.573	2.494.719
ΒΟΛΟΣ - Β. ΣΠΟΡΑΔΕΣ - ΚΥΜΗ	833.641	824.572	850.238
ΚΥΛΛΗΝΗ - ΠΟΡΟΣ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ	589.550	480.926	547.231
ΖΑΚΥΝΘΟΣ - ΚΥΛΛΗΝΗ	1.030.643	1.094.006	1.094.006
ΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	2.485.899	2.515.417	2.262.331
ΣΥΝΟΛΟ	17.558.620	18.461.963	18.817.708

1.4 Συμπεράσματα

Η ναυτιλία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης κοινωνίας. Το εμπόριο αλλά και πολλές από τις μεταφορές στηρίζονται σ' αυτό και μάλιστα σε πολλές των περιπτώσεων θα ήταν ανέφικτος ένας διαφορετικός τρόπος (αεροπορικών, σιδηροδρομικών κλπ.). Η συνεισφορά της ναυτιλίας δεν περικλείει μόνο το οικονομικό κομμάτι, αλλά επεκτείνεται και στο ίδιο το βιοτικό επίπεδο, παίζοντας καθοριστικό ρόλο και στην ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων και όχι μόνο χωρών. Αυτό γίνεται είτε μέσω μεταφοράς αγαθών, είτε μέσω μεταφοράς ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α.).

Η Ελλάδα, όντας η χώρα που ελέγχει το μεγαλύτερο στόλο παγκοσμίως, φτάνοντας σε ποσοστά του 17% και έχοντας ένα έντονα νησιωτικό ανάγλυφο, δεν θα μπορούσε να μην

εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ναυτιλία. Έχοντας, ως κύρια πύλη εισόδου εμπορευματοκιβωτίων το Λιμάνι του Πειραιά (4^ο στην Ευρώπη για το 2020) και δεκάδες άλλα για την διακίνηση επιβατών, διαδραματίζει ένα καίριο ρόλο στην περιφερειακή ανάπτυξη της περιοχής. Επιπρόσθετα, ο υποστηρικτικός ρόλος της επιβατηγού ναυτιλίας στην εθνική οικονομία φαίνεται και από το γεγονός πως το 82% των προϊόντων που διακινήθηκαν από και προς τα νησιά έγινε δια θαλάσσης [12]. Ωστόσο, ο κλάδος έχει να αντιμετωπίσει αρκετές δυσκολίες. Οι κυριότερες είναι, η ανάκαμψη στην μετά-covid εποχή, η γήρανση του στόλου που πλέον φτάνει κατά μέσο όρο τα 20 έτη και τέλος η συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς στόχους για τους ρύπους, που έχει νομοθετήσει ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (ΙΜΟ).

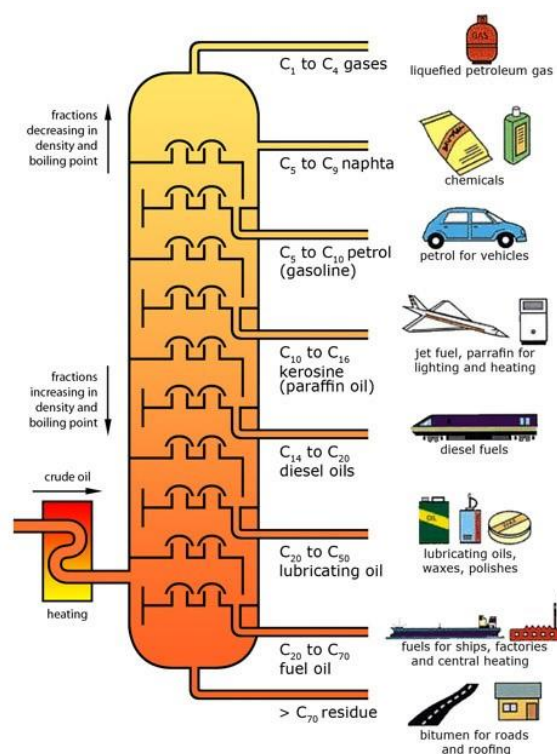
Επίσης, οι λιμένες παρόλο που μπορεί να χαρακτηριστούν ως “πηγή” πλούτου για μια περιοχή/ χώρα, δεν θα ήταν παράλογο να χαρακτηριστούν και ως “πηγή” ρύπων. Το 2011, οι εκπομπές στους λιμένες υπολογίστηκαν σε 18 εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), 0.4 εκ. τόνους οξειδίων του αζώτου (NO_x), 0.2 εκ. τόνους οξειδίων του θείου (SO_x) and 0.03 εκ. τόνους αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) (αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μικρομέτρων), οι οποίοι κυρίως προέρχονται από πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Οι περισσότεροι από αυτούς τους ρύπους εκτιμάται πως θα αυξηθούν έως και 4 φορές έως το 2050, εάν δεν παρθούν άμεσα και δραστικά μέτρα με στόχο την μείωση τους, ειδικά σε περιοχές της Ασίας και της Αφρικής. Καθώς το μέγεθος της ναυτιλιακής βιομηχανίας δεν μπορεί να παραμείνει στάσιμο ή να μειωθεί λόγω της αύξησης των οικονομικών/ εμπορικών αναγκών, θαρραλέα βήματα χρειάζεται να γίνουν προς την κατεύθυνση της βελτίωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ναυτιλίας. Ένας από τους τρόπους βελτίωσης του παραπάνω προβλήματος είναι κι η υιοθέτηση νέων “οικολογικότερων” καυσίμων, τα οποία θα παρουσιαστούν στην συνέχεια της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2^ο: Περιβάλλον και Ναυτιλία

2.1 Αέριοι ρύποι και εκπομπές στη ναυτιλία

Ο κλάδος της ναυτιλίας μεταφέρει πάνω από το 85% του παγκόσμιου εμπορίου, με έναν στόλο που αριθμεί πάνω από 85.000 ποντοπόρα πλοία (>1.000 κ.ο.χ.) και παράλληλα συνεισφέρει περίπου στο 2,89% των αέριων ρύπων [13], όντας η “ατμομηχανή” της παγκόσμιας οικονομίας. Ωστόσο, ο “καιρός του ατμού” για την ναυτιλία έχει παρέλθει εδώ και χρόνια και πλέον κάθε άλλο παρά επιτακτική είναι η βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ναυτιλίας. Χρειάζεται να αναπτυχθεί ακόμη περαιτέρω η ενεργειακή της θέση και να μειώσει το μερίδιο της ως βιομηχανία στις εκπομπές αέριων ρύπων, ώστε να εκπληρωθούν οι στόχοι του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO) για μια “πράσινη” και “ελεύθερη” από άνθρακα βιομηχανία έως το 2100.

Για να λειτουργήσει η ναυτιλιακή βιομηχανία παγκοσμίως, απαιτούνται τεράστια ποσά ενέργειας που αγγίζουν τα 12 EJ, ικανά να ηλεκτροδοτήσουν την πόλη της Νέας Υόρκης για 60 χρόνια [14]. Η ενέργεια αυτή προερχόταν -τουλάχιστον μέχρι πρόσφατα- εξ ολοκλήρου από συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Για δεκαετίες το κύριο καύσιμο για την πρόωση των πλοίων παγκοσμίως, ήταν το βαρύ πετρέλαιο ή αλλιώς μαζούτ (Heavy Fuel Oil – HFO). Το HFO, αποτελεί μια πολύ καλή θερμιδικά πηγή, η οποία μπορεί να προσφέρει μεγάλα ποσά ενέργειας ώστε να κινηθούν τα πλοία. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα παχύρευστο υγρό, το οποίο είναι το πιο χαμηλό κλάσμα της διύλισης του αργού πετρελαίου πριν από την στερεά του μορφή, την πίσσα. Γι’ αυτό το λόγο, έχει πολλές προσμείξεις και ακαθαρσίες, ενώ παράλληλα είναι πλούσιο σε θειώδη και αζωτούχα μόρια. Τα τελευταία με την σειρά τους, όταν περνούν στην διαδικασία της καύσης σε μία εμβολοφόρα ναυτική Μ.Ε.Κ., εκλύουν μεγάλα ποσά αέριων ρύπων, επιβλαβών τόσο για την υγεία όσο και για το περιβάλλον. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα γίνει εκτενείς αναφορά στους τύπους των αέριων ρύπων, ενώ σε επόμενο θα αναλυθεί περαιτέρω το βαρύ πετρέλαιο (HFO) ως ναυτιλιακό καύσιμο.



Εικόνα 2.1: Βαθμίδες διύλισης αργού πετρελαίου και αντίστοιχη χρήση αυτών
(πηγή: www.forumautomation.com)

Αέριοι ρύποι οξειδίων του θείου (SO_x)

Η δημιουργία οξειδίων του θείου οφείλεται στην ένωση ατόμων θείου (S) και οξυγόνου (O), έχοντας ως κύρια μορφή το διοξείδιο του θείου (SO₂). Το πρόβλημα της εκπομπής μεγάλων και επιβλαβών εκπομπών οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως στο χρησιμοποιούμενο καύσιμο (HFO), υπάρχουν προσμείξεις ατόμων θείου σε σχετικά μεγάλες ποσότητες. Όσο πιο «χαμηλό» είναι το κλάσμα που απομαστεύεται από την διύλιση του αργού πετρελαίου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η σύσταση των θειωδών σωματιδίων και όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, το HFO βρίσκεται προτελευταίο.

Η μεγάλη έκθεση σε οξείδια του θείου, μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, καρδιακή ανεπάρκεια και ακόμη και πρόωρο θάνατο. Παράλληλα, συνεισφέρει στην δημιουργία όξινης βροχής αλλά και στην καταστροφή της γεωργίας, λόγω των βαρέων μετάλλων που φέρει [15][16].

Σύμφωνα με τον IMO (3rd IMO GHG Study 2014), η διεθνής ναυτιλία συνείσφερε στις εκπομπές SO_x κατά 10,6 εκ. τόνους ή αλλιώς στο 12% των ανθρωπογενών εκπομπών οξειδίων του θείου [16]. Έτσι, οι συγκεκριμένες εκπομπές έχουν μπει στο «στόχαστρο» του IMO, οποίος μετά την 70^η συνεδρίαση της Ειδικής Επιτροπής για την Προστασία του Περιβάλλοντος (MEPC 70), δεσμεύτηκε να μειώσει της εκπομπές θειωδών αερίων (SO_x) από το 3.5% m/m στο 0.5% m/m, έως την 1/1/2020.

Αέριοι ρύποι οξειδίων του αζώτου (NOx)

Η δημιουργία οξειδίων του αζώτου οφείλεται στην ένωση ατόμων αζώτου (N) και οξυγόνου (O), με επικρατέστερες ενώσεις να είναι αυτές του μονοξειδίου του αζώτου (NO) και του διοξειδίου του αζώτου (NO₂). Η δημιουργία και εκπομπή τους οφείλεται κυρίως στην αντίδραση των παραπάνω στοιχείων υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία (21% Οξυγόνο – 78% Άζωτο), κάτι το οποίο λαμβάνει χώρα στις Μ.Ε.Κ. των πλοίων. Συμπληρωματικοί παράγοντες μπορεί να είναι [17]:

- ❖ Υψηλό φορτίο μηχανής
- ❖ Δυσανάλογη ποσότητα οξυγόνου-αζώτου στον θάλαμο καύσης
- ❖ Κακή ποιότητα καυσίμου
- ❖ Υψηλή θερμοκρασία κυλίνδρου και άρα θαλάμου καύσης, λόγω κακής αφαίρεσης θερμότητας

Όπως και οι ρύποι τύπου SOx, έτσι και οι ρύποι τύπου NOx επιβαρύνουν την ανθρώπινη υγεία, όταν υπάρχει παρατεταμένη έκθεση σε αυτούς. Πιο συγκεκριμένα, έκθεση σε ποσά της τάξης 0,06-0,1 ppm (particles per million) NO₂ για δύο χρόνια, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα [18]. Επιπρόσθετα, μεγάλες ποσότητες NOx μπορούν εξίσου να επηρεάσουν αρνητικά το περιβάλλον, δημιουργώντας υπερφόρτωση του νερού με θρεπτικά συστατικά, οδηγώντας έτσι στο φαινόμενο το ευτροφισμού. Το τελευταίο φαινόμενο μπορεί να διαταράξει την λεπτή ισορροπία των οικοσυστημάτων [15].

Σύμφωνα με τον IMO (3rd IMO GHG Study 2014), η διεθνής ναυτιλία συνείσφερε στις εκπομπές NOx κατά 18,6 εκ. τόνους ή αλλιώς στο 13% των ανθρωπογενών εκπομπών οξειδίων του αζώτου [16]. Για την μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου, ο IMO έχει θεσπίσει το έγγραφο “NOx Technical Code 2008”, το οποίο βάζει όρια στα εκλυόμενα ποσά NOx ανάλογα με την τις στροφές στις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα στο Εδάφιο III (TIER III), υπό το Παράρτημα VI (MARPOL Annex VI) περιγράφεται πως για [18]:

- ❖ Λιγότερες από 130 rpm, πρέπει να εκλύονται έως 3.4 gNOx/KWh
- ❖ 130<n<2000 rpm, πρέπει να εκλύονται $9 \cdot n - 0.2$ gNOx/KWh
- ❖ Περισσότερες από 2000 rpm, πρέπει να εκλύονται έως 2 gNOx/KWh

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο υπάρχει και από μόνο του στην ατμόσφαιρά της Γης. Παράλληλα, συγκαταλέγεται στα κύρια αέρια του θερμοκηπίου, για το οποίο γίνονται συντονισμένες προσπάθειες παγκοσμίως ώστε να μειωθεί η εκπομπή του. Μερικοί από τους φυσικούς τρόπους έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα είναι, από την ίδια την αναπνοή ή την αποσύνθεση οργανικών υλικών. Στο κομμάτι της ναυτιλίας, κατά

κύριο λόγω παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (υδρογονανθράκων), για την πρόωση και την παραγωγή ενέργειας των πλοίων.

Σύμφωνα με τον IMO [19] (4th IMO GHG Study 2020), η διεθνής ναυτιλία συνεισφέρει στις εκπομπές CO₂, για το 2018, περί τους 1,056 εκ. τόνους, γνωρίζοντας μια αύξηση της τάξης του 9,3% από το 2012 όπου είχε απελευθερώσει 962 εκ. τόνους. Αξίζει να σημειωθεί, πως στην ίδια έρευνα [19], το διοξείδιο του άνθρακα είναι ο κυρίαρχος τύπος εκπομπών στο «μείγμα» των εκλυόμενων επιβλαβών αερίων από την ναυτιλία, κατέχοντας ποσοστό 98%. Σε παγκόσμια κλίμακα, η ναυτιλία είναι υπεύθυνη για το 2,2% περίπου των συνολικών εκπομπών CO₂.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως, τα εκλυόμενα ποσά CO₂ στο μέλλον δεν μπορούν να προβλεφθούν επακριβώς, καθώς είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την παγκόσμια ζήτηση αγαθών και άρα την αύξηση της ανάγκης για θαλάσσιο εμπόριο. Ο IMO για να ελέγξει και να μειώσει τις εκπομπές CO₂, έχει θεσπίσει τον ενεργειακό δείκτη (EEDI – Energy Efficiency Design Index). Αυτός ο δείκτης θα καταδεικνύει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός νεότευκτου πλοίου ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά ταξίδι. Πιο συγκεκριμένα ο σύντομος τύπος υπολογισμού του δείκτη EEDI είναι [20]:

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{Transport \text{ work}} = \frac{Power * SFC * CO_2 \text{ Emission Factor}}{Deadweight * Speed}$$

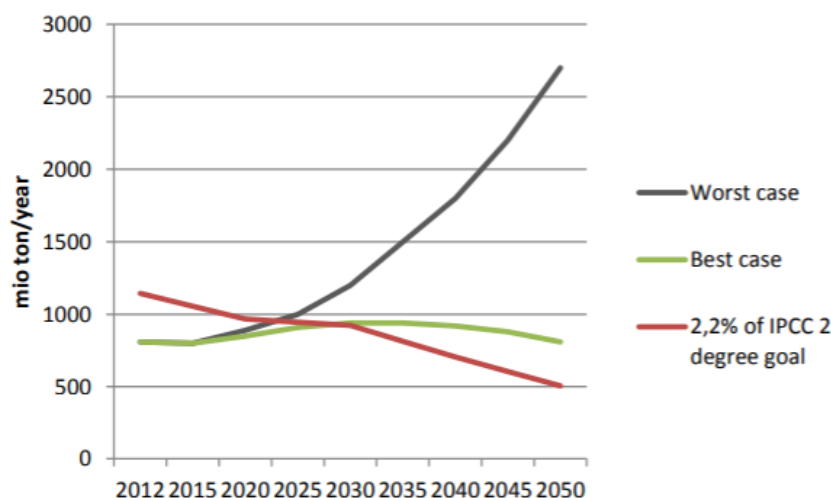
Όπου,

- Power = Ονομαστική ιπποδύναμη της μηχανής (kW)
- SFC = Κατανάλωση εκάστοτε καυσίμου
- CO₂ Emission Factor = Συντελεστής εκπομπής CO₂ (εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου)
- Deadweight (DWT) = Βάρος του πλοίου
- Speed = Ταχύτητα πλεύσης

Ικανοποιητικές τιμές του δείκτη θεωρούνται με βάση το βάρος του πλοίου (DWT). Ξεκινώντας για πλοία από 15.000DWT, δείκτης θα πρέπει να είναι >30%, φτάνοντας τιμές μεγαλύτερες του 50% για πλοία μεγαλύτερα από 200.000DWT.

Ο IMO έχει εξετάσει δυο σενάρια (καλό και κακό) για την εξέλιξη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψιν και την υιοθέτηση του δείκτη EEDI. Στο πρώτο σενάριο, η ζήτηση για το εμπόριο δια θαλάσσης αυξάνεται ραγδαία σε ορίζοντα τριαντακονταετίας και δεν υπάρχει σημαντική αποστροφή από τα ορυκτά καύσιμα. Εκεί, οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται εκθετικά. Στο δεύτερο σενάριο υπάρχει λελογισμένη αύξηση του θαλάσσιου εμπορίου και παράλληλα προωθούνται εναλλακτικά καύσιμα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Ωστόσο, σε κανένα από τα δυο σενάρια δεν οι εκπομπές CO₂ δεν συναντούν τα όρια που πρέπει, ώστε να εκπληρωθεί ο στόχος για την μέγιστη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασία κατά 2 °C, όπως έχει συμφωνηθεί από την Διακρατική Συνέργεια για την Κλιματική Αλλαγή (Inter

governmental Panel on Climate Change - IPCC) και μπορεί να φανεί στο παρακάτω διάγραμμα [21].



Διάγραμμα 2.1: Προβλέψεις του IMO για τις εκπομπές CO₂ έως το 2050 (πηγή: 3rd IMO GHG Study 2014)

Εκπομπές αιρούμενων σωματιδίων (Particulate Matters – PM)

Τα αιρούμενα σωματίδια αποτελούνται από ένα μείγμα στοιχείων και σταγονιδίων, συμπεριλαμβάνοντας οργανικές ύλες, μέταλλα, οξέα και σκόνες, τα οποία εναποτίθενται στον αέρα. Το μέγεθος, η χημική σύσταση και το σχήμα τους ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση και σύστασή τους. Επειδή ακριβώς τα PMs διαφέρουν σε μέγεθος και επικινδυνότητα, έχει οριστεί πως σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm θα αναφέρονται ως PM₁₀, ενώ σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2.5μm θα αναφέρονται ως PM_{2.5}.

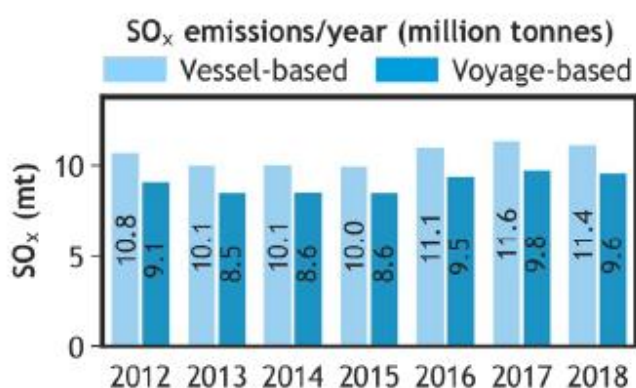
Η έκθεση σε PMs έχει συνδεθεί σε ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων υγείας όπως αναπνευστικών προβλημάτων, καρκίνου των πνευμόνων, καρδιαγγειακής ανεπάρκειας ακόμα και πρόωγου θανάτου [22]. Ανάλογα με το μέγεθός τους αλλάζει και η επικινδυνότητά τους. Σύμφωνα με έρευνες, τα σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 5-10 μm εισπνέονται από τον άνθρωπο, αλλά κατακρατούνται από το ρινικό σύστημα. Αυτά που έχουν διάμετρο μικρότερη από 5μm μπορούν να εισέλθουν με την εισπνοή στους πνεύμονες, φράζοντας σταδιακά τις αναπνευστικές διόδους. Τα ακόμα μικρότερα σωματίδια διαμέτρου 1-2 μm φράζουν τις αναπνευστικές κυψελίδες δημιουργώντας αναπνευστικά προβλήματα [15].

Παρόλο που η ναυτιλιακή βιομηχανία θεωρείται μια από τις ενεργειακά αποδοτικότερες, χαρακτηρίζεται και ως κύρια πηγή εκπομπών αιρούμενων σωματιδίων. Αυτό, έρχεται σε άμεση σύνδεση με την χρήση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HFO). Πρόσφατες έρευνες καταδεικνύουν πως τα ποντοπόρα πλοία εκλύουν περί τους 0,9 εκ. τόνους αιωρούμενων σωματιδίων, συνεισφέροντας σε ποσοστά 20-28% στις εκπομπές PM από τις μεταφορές παγκοσμίως [22]. Πολλές φορές οι εκπομπές SO_x συνδέονται με τις εκπομπές PM, λόγω της

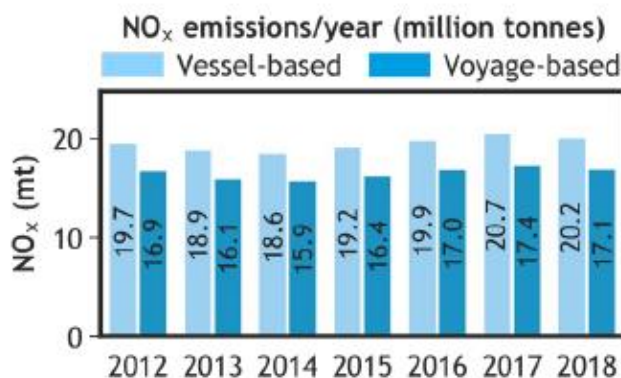
συνεισφοράς του θείου που υπάρχει στο καύσιμο HFO. Παράλληλα, οι κύριοι λόγοι εκπομπής PM είναι παρόμοιοι με εκείνοι των οξειδίων του θείου. Τέλος, μια σημαντική ουσία που περιλαμβάνεται στα αιωρούμενα σωματίδια είναι ο επονομαζόμενος Μαύρος Άνθρακας (Black Carbon – BC). Η συγκεκριμένη ουσία απορροφά σε μεγάλες ποσότητες την ηλιακή ακτινοβολία, και μειώνει την ανακλαστικότητα του χιονιού, συνεισφέροντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη, το λιώσιμο των πάγων και στην αύξηση της τρύπας του όζοντος [16].

Σύνοψη

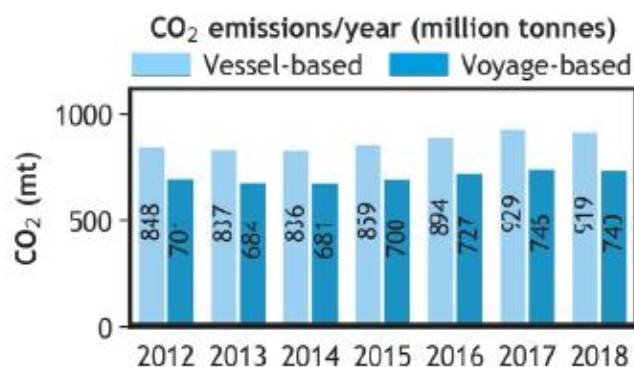
Οι εκτιμήσεις για τις εκπομπές αέριων ρύπων για κάθε τύπο ρύπου, είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο εγχείρημα το οποίο δεν προσφέρει μια αντιπροσωπευτική εικόνα της κατάστασης, αλλά δε δεν παύει να είναι μια σχετική εκτίμηση. Αυτό γίνεται, καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία χαρακτηρίζεται από μεγάλη πολυπλοκότητα όπως, διαφορετικούς τύπους κινητήρων, συγκεκριμένοι κανόνες εκπομπών ρύπων ανά γεωγραφική περιοχή και φυσικά έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό πλοίων. Ωστόσο, στην 4^η Έκθεση του IMO [19] για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτυπώνονται με αρκετή ακρίβεια οι εκλυόμενες ποσότητες των προαναφερθέντων ρύπων.



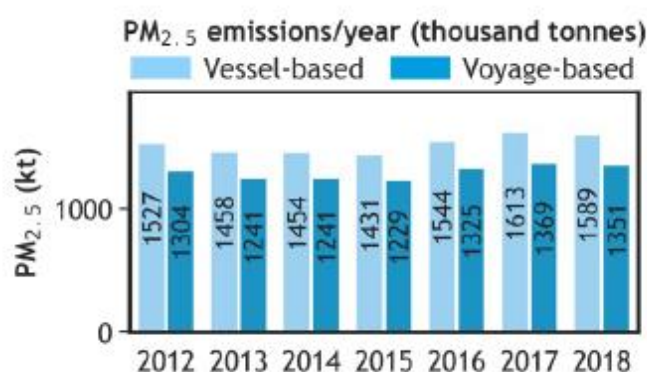
Διάγραμμα 2.2: Εκπομπές SO_x για την εξαετία (2012-2018) (πηγή: 4th IMO GHG Study 2020)



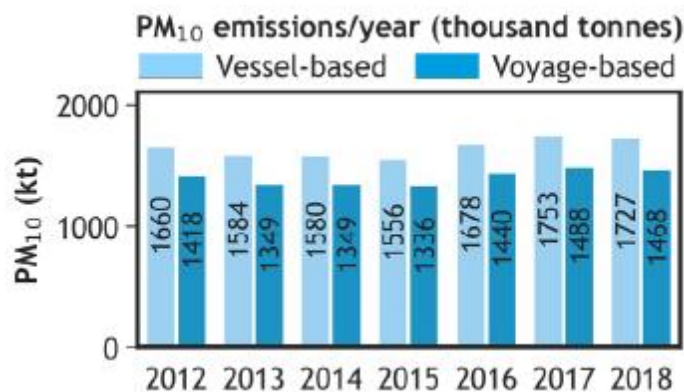
Διάγραμμα 2.3: Εκπομπές NO_x για την εξαετία (2012-2018) (πηγή: 4th IMO GHG Study 2020)



Διάγραμμα 2.4: Εκπομπές CO₂ για την εξαιτία (2012-2018) (πηγή: 4th IMO GHG Study 2020)



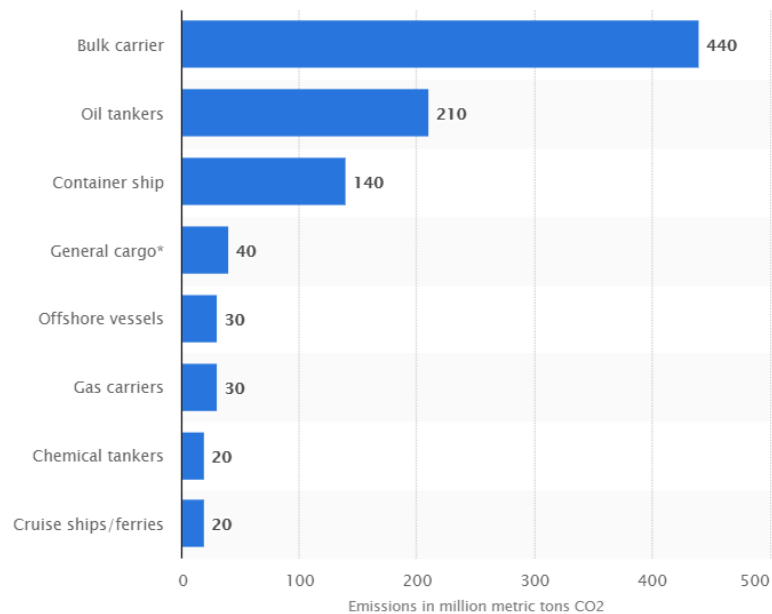
Διάγραμμα 2.5: Εκπομπές PM_{2.5} για την εξαιτία (2012-2018) (πηγή: 4th IMO GHG Study 2020)



Διάγραμμα 2.6: Εκπομπές PM₁₀ για την εξαιτία (2012-2018) (πηγή: 4th IMO GHG Study 2020)

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τα παραπάνω διαγράμματα υπάρχει μια σχετική σταθερή ποσότητα εκπεμπόμενων ρύπων ανά κατηγορία. Ωστόσο, παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην έκλυση διοξειδίου του άνθρακα αλλά και οξειδίων του θείου. Το συγκεκριμένο φαινόμενο μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση του παγκόσμιου στόλου λόγω της αύξησης της ζήτησης αγαθών, και άρα της αύξησης της ζήτησης ορυκτών καυσίμων για την πρόωση των πλοίων. Παράλληλα, μπορεί να διαπιστωθεί κι εξέλιξη της τεχνολογίας των κινητήρων, η αύξηση

της αποδοτικότητας των πλοίων (σχεδίαση και μέγεθος), αλλά και της ποιότητας των καυσίμων αυτά τα χρόνια, καθώς θα περίμενε κανείς πως με την αύξηση του αριθμού των πλοίων θα αυξάνονταν και οι αέριες εκπομπές, κάτι το οποίο δεν αποτυπώνεται στα παραπάνω διαγράμματα.



Διάγραμμα 2.7: Εκπομπές CO₂ για το 2020, ανάλογα με τον τύπο του κάθε πλοίου
(πηγή: www.statista.com)

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως ο κυρίαρχος τύπος πλοίου στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα είναι τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίων (Bulk carriers), απελευθερώνοντας 440 Mt CO₂, ακολουθούμενα από τα πλοία μεταφοράς αργού πετρελαίου που απελευθέρωσαν 210 Mt CO₂. Τα κρουαζιερόπλοια/ επιβατικά πλοία, είναι τελευταία στην λίστα όντας υπεύθυνα μόλις για 20 Mt CO₂. Το τελευταίο κρίνεται λογικό, καθώς ο αριθμός των κρουαζιερόπλοιων (~320) και ο αριθμός των επιβατικών πλοίων, δεν συγκρίνεται με αυτό για τη μεταφορά χύδην φορτίων/ αργού πετρελαίου/ εμπορευματοκιβωτίων. Επιπλέον, τα κρουαζιερόπλοια/ επιβατικά επειδή προσεγγίζουν συχνά λιμένες και δραστηριοποιούνται κατά βάση σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών αέριων ρύπων (ECAs), υποχρεούνται να χρησιμοποιούν ελαφρά καύσιμα (VLSFO), περιεκτικότητας >0,1% θείου, μειώνοντας ακόμα παραπάνω τις εκπομπές τους.

2.2 Περιβαλλοντικοί στόχοι

Ιστορική αναδρομή

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (UNO), έχει θεσπίσει ένα ξεχωριστό σώμα υπό την “ομπρέλα” του ώστε να νομοθετεί, να εκδίδει οδηγίες -τεχνικής, οικονομικής, περιβαλλοντικής φύσης κ.α.- [23] και γενικότερα να θεσπίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα λειτουργεί ο κλάδος της ναυτιλίας παγκοσμίως. Το συγκεκριμένο σώμα είναι ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO), ο οποίος συστάθηκε στις 17 Μαρτίου 1948. Σε αυτό το πλαίσιο, ήδη από την 17^η Φεβρουαρίου 1973 έχει θεσπιστεί η σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα πλοία, γνωστή και ως International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). Έως το 2018, 156 χώρες είχαν προσυπογράψει την συμμετοχή τους στην σύμβαση, αντικατοπτρίζοντας έτσι το 99.42% του παγκόσμιου στόλου.

Η σύμβαση έχει ανανεωθεί έως το 2005 έξι φορές, προσθέτοντας κάθε φορά και ένα νέο Παράρτημα, το οποίο καθορίζει το πλαίσιο στο οποίο θα πρέπει να λειτουργεί ένα πλοίο σε ότι αφορά την προστασία του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα το Παράρτημα (Annex) VI, το οποίο τέθηκε σε ισχύ από το 2005, θεσπίζει τα όρια σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (SO_x, NO_x, CO₂, PM) από την λειτουργία των πλοίων [24].

Ισχύον πλαίσιο λειτουργίας

Υπάρχουν κάποιες ημερομηνίες - “ορόσημα”, οι οποίες καταδεικνύουν τον δρόμο της επίτευξης των στόχων που θέτει η σύμβαση MARPOL. Αρχικά, το 2015 υπογράφηκε η Συμφωνία του Παρισιού [25], στην οποία 195 χώρες μέλη των Ηνωμένων Εθνών συμφωνούν στην από κοινού προσπάθεια να διατηρηθεί και στην συνέχεια να υπάρξει μείωση της σχετικής αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη στο 2%, σε σχέση με τις περιόδους πριν την βιομηχανική επανάσταση. Ωστόσο, σε εκείνη την συνεδρίαση δεν συμπεριλήφθηκε ρητώς ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να λειτουργήσει στο μέλλον η ναυτιλία, ώστε να συνεισφέρει στην εκπλήρωση αυτών των στόχων. Έτσι, το 2018 [13], η 74^η συνεδρίαση της Επιτροπής του IMO για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος (MEPC 74) θεσπίζει τους μακροπρόθεσμους στόχους του για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από την ναυτιλία. Έως το 2050 η Στρατηγική του IMO ορίζει πως έχοντας ως έτος βάσης το 2008, οι εκπομπές αερίων ρύπων θα πρέπει να έχουν μειωθεί κατά 50% τουλάχιστον. Επιπρόσθετα, η μέση πυκνότητα (intensity) των ρύπων άνθρακα (CO₂ ανά τόνο-μίλι) θα πρέπει να μειωθεί κατά 40% έως το 2030, και κατά 70% έως το 2050 [13].

Ο πιο πρόσφατος κανονισμός που τέθηκε σε ισχύ, είναι η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (sulphur cap). Έτσι, οι εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) από την 1/1/2020 έχουν ως ανώτατο όριο το 0.5%, από το 3.5% που ίσχυε έως την 31/12/2019. Οι λεπτομέρειες της πετρέλευσης (Bunker Delivery Notes), όπως και η χημική ανάλυση των

καυσίμων θα πρέπει να φυλάσσονται τόσο στο πλοίο, όσο και στο αρχείο των διαχειριστριών εταιρειών και να επιδεικνύονται σε πιθανό έλεγχο. Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στην τήρηση του παραπάνω μέτρου/ στόχου διαδραματίζουν και τα λιμάνια, τα οποία είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των εκπομπών και της ποιότητας των καυσίμων που πλέουν στα χωρικά τους ύδατα, ως μέρους της γνωστής διαδικασίας ελέγχου Port State Control (PSC) [26].

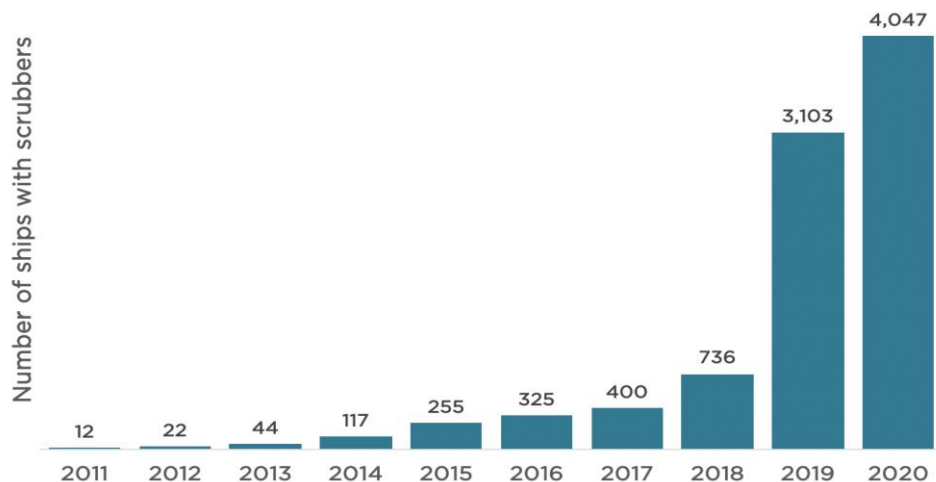
Να σημειωθεί πως υπάρχουν κράτη όπως η Αμερική, η Κίνα κ.α., ακόμη και η Ευρωπαϊκή Ένωση, που μονομερώς έχουν θεσπίσει τις λεγόμενες περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών αερίων (γνωστές και ως Emission Control Areas - ECAs). Σε αυτές τις περιοχές το όριο της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο είναι ακόμα χαμηλότερο, φτάνοντας το 0.1%.

2.3 Τεχνολογίες και πρακτικές μείωσης των αέριων ρύπων

Προτού αναλυθούν οι υπάρχουσες τεχνολογίες και πρακτικές μείωσης των αέριων ρύπων πρέπει να αναφερθούν τα παρακάτω. Σ' αυτό το κεφάλαιο δεν θα συμπεριληφθούν τα εναλλακτικά καύσιμα που ήδη χρησιμοποιούνται όπως το LNG ή το MGO, καθώς θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας. Οι κινητήρες διπλού καυσίμου επίσης θα παρουσιαστούν συνοπτικά στο επόμενο κεφάλαιο, μαζί με την χρήση του LNG ως εναλλακτικού καυσίμου.

2.3.1 Πλυντηρίδες καυσίμων (Scrubbers)

Οι νέοι κανονισμοί του IMO ωθούν τους πλοιοκτήτες και τις διαχειρίστριες εταιρείες να χρησιμοποιούν καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (low sulphur) από την 1/1/2020 ή να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν τα παλαιά καύσιμα αυξημένης περιεκτικότητας σε θείο, χρησιμοποιώντας όμως συσκευές δέσμευσης των αερίων ρύπων, τα λεγόμενα scrubbers. Οι πλυντηρίδες καυσίμων αφαιρούν από τα καυσάερια σημαντικές ποσότητες ρύπων SO_x, NO_x και PM. Σύμφωνα με τον Νορβηγικό νηογνώμονα DNV GL, για το 2020 η δυνατότητα εγκατάστασης (retrofit) των εν λόγω συστημάτων κυμαίνονταν στα 1.000 με 1.500 πλοία, ενώ συνολικά είχαν εγκατασταθεί έως τότε σε περίπου 4.000 πλοία, δηλαδή περίπου το 5-6% το παγκόσμιου στόλου. Αυτό συνεπάγεται πως εάν διατηρηθεί σταθερός ο ρυθμός εγκατάστασης των συγκεκριμένων συστημάτων, η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία θα αποποιηθεί τα βαρέα καύσιμα (HFO), κάνοντας έτσι τα χαμηλά σε θείο καύσιμα (LSFO) τα κυρίαρχα της αγοράς [27].



Διάγραμμα 2.8: Διαχρονική πορεία εγκατάστασης πλυντηρίδων παγκοσμίως
(πηγή: DNV GL, 2020)

Σύμφωνα με τον Παπαντωνίου (2019) [23], τα scrubbers ανήκουν σε μία ευρεία ομάδα συσκευών ελέγχου της αέριας ρύπανσης, που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση σωματιδίων (PM) και/ή αέριων ρύπων (με διαλυτοποίηση ή απορρόφηση). Στην ουσία “ξεπλένουν” τα καυσαέρια από το επικίνδυνο SO₂ σε ποσοστό 90%-95%, ενώ παράλληλα μειώνουν τα αιωρούμενα σωματίδια κατά 80%-85%. Αποτελεί ισοδύναμο μέτρο της αλλαγής από καύσιμο περιεκτικότητας 3,5% κ.β. σε 0,1% κ.β. σε θείο. Επιγραμματικά, η διαδικασία του καθαρισμού (scrubbing) αποτελείται από:

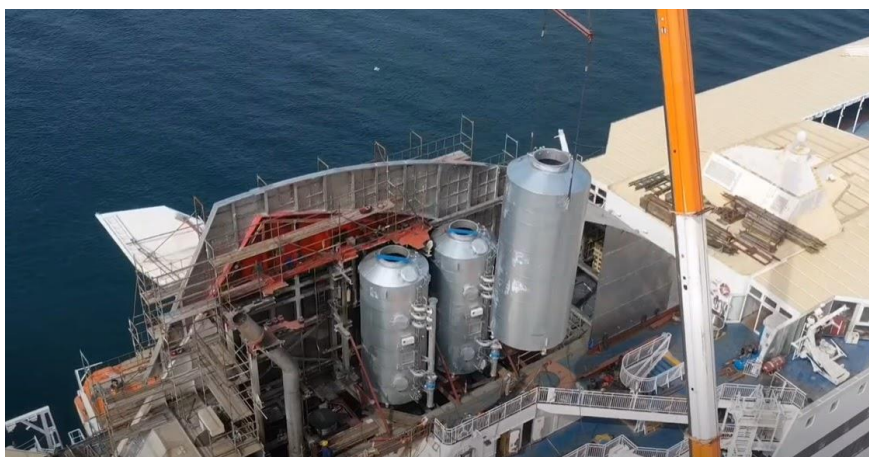
1. Το θάλαμο ανάμιξης
2. Τη μονάδα επεξεργασία νερού
3. Τη μονάδα συλλογής ιλύος (λάσπης)

Στο θάλαμο ανάμιξης κατευθύνονται τα καυσαέρια από τον κινητήρα και αναμειγνύονται με το νερό του κυκλώματος. Οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί έχουν ως αποτέλεσμα τα οξείδια του θείου, προερχόμενα από τα καυσαέρια, να μετατρέπονται σε θειικό οξύ. Για λόγους πρακτικότητας και συντήρησης, ο θάλαμος ανάμιξης βρίσκεται σε υψηλά διαμερίσματα του πλοίου, γύρω από την καπνοδόχο.

Η μονάδα επεξεργασίας νερού διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της πλυντηρίδας. Χρησιμοποιούνται μηχανικοί τρόποι διαχωρισμού των στερεών συστατικών από τα υγρά, όπως ο φυγοκεντρικός διαχωριστής. Τα στερεά συστατικά που απομακρύνονται, οδηγούνται στην μονάδα συλλογής ιλύος. Στην τελευταία μονάδα, η λάσπη συγκρατείται και απομακρύνεται από το νερό, ώστε να μπορεί εύκολα να απορριφθεί σε χώρους παραλαβής απορριμμάτων στη στεριά.

Στην παρούσα χρονική περίοδο, υπάρχουν τρεις τύποι διαφορετικών scrubbers και όλοι οι τύποι απαιτούν ειδική εγκατάσταση εντός του πλοίου (retrofit), εάν δεν πρόκειται για νεότευκτο πλοίο. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει ήδη, στη μελέτη ναυπήγησης του πλοίου, η πρόβλεψη για τοποθέτηση πλυντηρίδων. Οι διαφορετικοί τύποι scrubbers είναι:

- Υγρού τύπου
 - Ανοιχτού κύκλου
 - Κλειστού κύκλου
- Υβριδικού τύπου
- Ξηρού τύπου



Εικόνα 2.2: Εγκατάσταση scrubbers στο πλοίο “Superfast XI” της Superfast Ferries
(πηγή: Ελληνική Ακτοπλοΐα 2020)

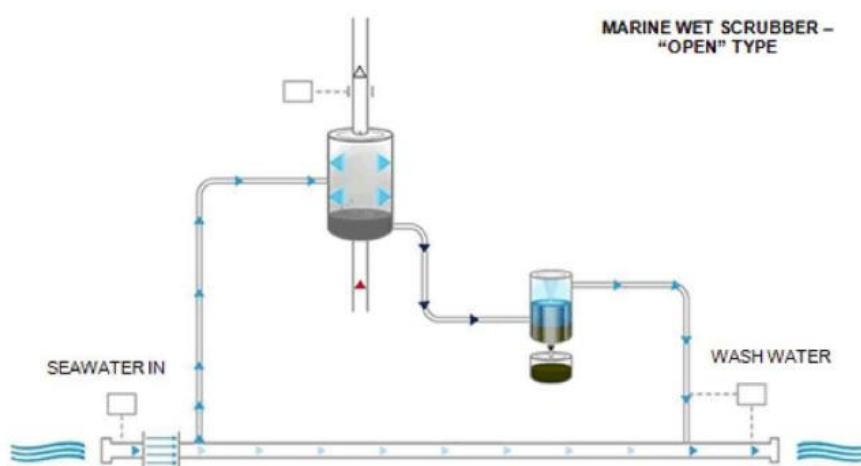
Πλυντηρίδες υγρού τύπου – ανοιχτού κύκλου

Οι πλυντηρίδες υγρού τύπου – ανοιχτού κύκλου, χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για την αποθιοποίηση των καυσαερίων της κύριας μηχανής ή των καζανιών. Αρχικά, θαλασσινό νερό αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές εντός του πλοίου. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια μπορούν να έρθουν σε επαφή με το θαλασσινό νερό, μέσω δύο τρόπων. Είτε με άμεσο ψεκάσμο στον θάλαμο ροής καυσαερίων, είτε κατευθύνοντας τα καυσαέρια μέσα σε υδατόλουτρο. Εκεί το διοξείδιο του θείου (SO_2) διαλύεται στο νερό, και οξειδώνεται σε θειικό άλας, αυξάνοντας την οξύτητα του νερού. Έπειτα, το νερό περνά τυγχάνει ειδικής επεξεργασίας, ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά συστατικά (άλατα κατά βάση) και να αυξηθεί το pH, ώστε να απορριφθεί και πάλι στη θάλασσα.

Κατά μέσο όρο, μια τέτοια διάταξη χρησιμοποιεί $45\text{m}^3/\text{MWh}$ νερού για να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μια Μ.Ε.Κ. απόδοσης 10MWh μπορεί να χρειαστεί ακόμα και 10.800 τόνους θαλασσινού νερού ημερησίως. Μερικά θετικά και αρνητικά στοιχεία του συγκεκριμένου τύπου, μπορούν να συνοψιστούν στον παρακάτω πίνακα [23][28].

Πίνακας 2.1: Σύνοψη θετικών-αρνητικών στοιχείων πλυντηρίδων ανοιχτού κύκλου

Θετικά	Αρνητικά
Μικρή ύπαρξη κινούμενων μερών Εύκολος σχεδιασμός και εγκατάσταση στο πλοίο	Η ψύξη των καυσαερίων Η αποτελεσματικότητα του συστήματος, εξαρτάται από την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού
Πέραν του ελέγχου της δεξαμενής ανάμειξης, δεν απαιτείται συχνή συντήρηση	Δεν είναι εγγυημένη η χρήση του συστήματος σε διάφορα μέρη του κόσμου, λόγω του 2
Δεν απαιτείται αποθήκευση των χρησιμοποιούμενου νερού/ λυμάτων	Απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού για μεγάλη αποτελεσματικότητα και άρα αυξημένες ανάγκες σε δαπανώμενη ενέργεια
	Στις ζώνες ECA, χρειάζεται η καύση καλύτερης ποιότητας καυσίμου, λόγω αποτελεσματικότητας



Διάγραμμα 2.9: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος καθαρισμού καυσαερίων ανοιχτού κύκλου (πηγή: EGSA 2010)

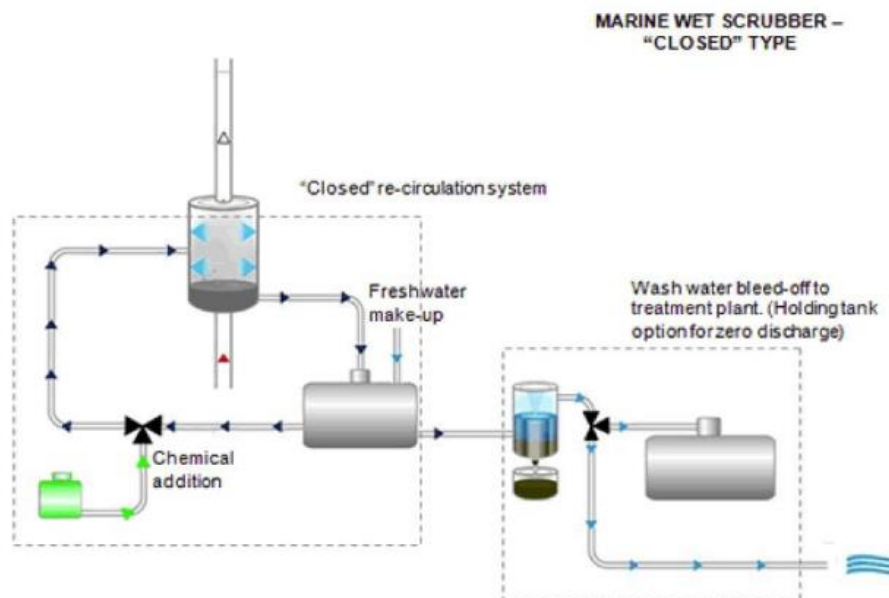
Πλυντηρίδες υγρού τύπου – κλειστού κύκλου

Η βασική ιδέα στις πλυντηρίδες κλειστού κύκλου, μοιάζει αρκετά με αυτή του ανοιχτού τύπου. Η διαφορά έγκειται στο ότι, εδώ χρησιμοποιείται γλυκό νερό και καυστική σόδα για τον καθαρισμό των καυσαερίων και τα βλαβερή οξείδια του θείου μετατρέπονται σε θειικά άλατα. Το νερό μετά την χρήση του, καθοδηγείται σε ειδικές δεξαμενές για αφαίρεση αιωρούμενων σωματιδίων και έπειτα ιλύος (λάσπης), ώστε η τελευταία να απορριφθεί καταλλήλως στη στεριά. Το γλυκό νερό μπορεί είτε να αποθηκευτεί σε δεξαμενές, είτε να παραχθεί εντός το πλοίου με την χρήση κατάλληλων συστημάτων.

Στα scrubbers κλειστού κύκλου απαιτείται σχεδόν η μισή ποσότητα νερού για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Αυτό οδηγεί σε ροή λυμάτων της τάξης των 0,1-0,3m³/MWh, γεγονός που δημιουργεί μικρότερο όγκο αποβλήτων. Μερικά θετικά και αρνητικά στοιχεία του συγκεκριμένου τύπου, μπορούν να συνοψιστούν στον παρακάτω πίνακα [23][28].

Πίνακας 2.2: Σύνοψη θετικών-αρνητικών στοιχείων πλυντηρίδων κλειστού κύκλου

Θετικά	Αρνητικά
Είναι ανεξάρτητο του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί	Είναι απαραίτητη η χρήση δεξαμενών αποθήκευσης των λυμάτων προς απόρριψη, αλλά και αποθήκευσης του γλυκού νερού/καυστικής σόδας
Λιγότερη ψύξη των καυσαερίων	Ειδική καταλυτική λειτουργία χρειάζεται να γίνει πριν την χρήση των scrubbers
Δεν απαιτείται συχνή συντήρηση	Η εγκατάσταση του συστήματος είναι περίπλοκη, ειδικά σε πλοίου με Μ.Ε.Κ. διπλού καυσίμου



Διάγραμμα 2.10: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος καθαρισμού καυσαερίων κλειστού κύκλου (πηγή: EGSA 2010)

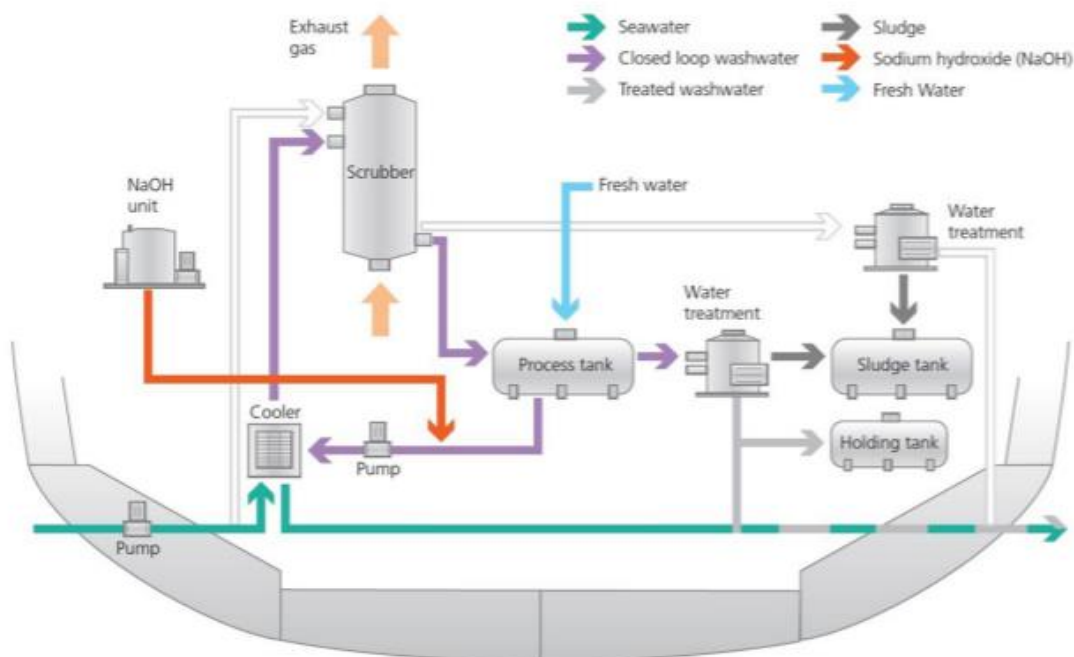
Πλυντηρίδες υβριδικού τύπου

Οι πλυντηρίδες υβριδικού τύπου ουσιαστικά υιοθετούν χαρακτηριστικά λειτουργίας των δυο ανωτέρω συστημάτων και ανάλογα με την εκάστοτε ανάγκη, έχουν την δυνατότητα να εναλλάσσουν την λειτουργία τους. Το κυριότερο πλεονέκτημά τους είναι πως μπορούν να είναι αποτελεσματικά, ανεξαρτήτως της αλκαλικότητας του θαλασσινού νερού από το οποίο εξαρτώνται τα scrubbers ανοιχτού τύπου (μειωμένη αποτελεσματικότητα σε νερά με χαμηλή αλκαλικότητα). Συνδυάζοντας τα παραπάνω, η χρήση υβριδικών scrubbers επιτρέπει την λειτουργία τους σε ανοιχτού τύπου σε ταξίδια «ανοιχτής» θαλάσσης και την εναλλαγή τους σε κλειστού τύπου όταν διέρχονται από περιοχές ECA.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Aalborg, 2010), το μεγαλύτερο scrubber υβριδικού τύπου εγκαταστάθηκε στην ντίζελ Μ.Ε.Κ. ισχύος 21MW τον 5/2010 στο πλοίο “Tor Ficaria” και έχει λειτουργήσει για πάνω από 1.000 ώρες. Μερικά θετικά και αρνητικά στοιχεία του συγκεκριμένου τύπου, μπορούν να συνοψιστούν στον παρακάτω πίνακα [23][28].

Πίνακας 2.3: Σύνοψη θετικών-αρνητικών στοιχείων πλυντηρίδων κλειστού κύκλου

Θετικά	Αρνητικά
Αξιόπιστο τόσο σε σύντομα όσο και διαρκείας ταξίδια	Η εγκατάσταση τους είναι περίπλοκη και απαιτεί αρκετό χώρο εντός του πλοίου
Ελεύθερη διέλευση από ζώνες ECA	Χρειάζονται ειδικοί χώροι και δεξαμενές για την αποθήκευση των χημικών και πρόσθετων
Μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φθηνό HFO, για όλες τους τις λειτουργίες	Η εγκατάσταση του συστήματος είναι ακριβή και χρονοβόρα



Διάγραμμα 2.11: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος καθαρισμού καυσαερίων υβριδικού τύπου (πηγή: Maran Tankers, 2017)

Πλυντηρίδες Ξηρού τύπου

Σ' αυτή τη κατηγορία πλυντηρίδων δεν χρησιμοποιείται νερό για τον καθαρισμό των καυσαερίων, όπως εννοείται κι από τον τίτλο τους. Σ' αυτή τη περίπτωση γίνεται χρήση στερεών συστατικών για την συλλογή των οξειδίων του θείου από τα καυσαέρια. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά άσβεστος στερεής μορφής αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές. Ύστερα, τα καυσαέρια εισέρχονται και περνούν μέσα από διαδοχικά στρώμα ύλης όπως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), μονοξείδιο του ασβεστίου (CaO) ή ένυδρη άσβεστος (Ca(OH)_2) και στη συνέχεια τα οξείδια του θείου απορροφώνται και δημιουργούν το λεγόμενο γύψο (CaSO_4). Το κύριο θετικό στοιχείο σε σχέση με τα scrubbers υγρού τύπου είναι πως, δεν παράγονται υγρά λύματα που είτε απορρίπτονται στη θάλασσα, είτε χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία. Οι στήλες γύψου που δημιουργούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην στεριά από τσιμεντοβιομηχανίες ή ακόμα και ως λίπασμα.

Από τεχνικής απόψεως, επιτυγχάνουν αποτελεσματικότητα της τάξης 90-97% στην αφαίρεση SOx και μπορούν να διαχειριστούν ροή καυσαερίων της τάξης των 50-500.000 m³/h. Μερικά θετικά και αρνητικά στοιχεία του συγκεκριμένου τύπου, μπορούν να συνοψιστούν στον παρακάτω πίνακα [23][28].

Πίνακας 2.4: Σύνοψη θετικών-αρνητικών στοιχείων πλυντηρίδων ξηρού τύπου

Θετικά	Αρνητικά
Αποτελεσματική αφαίρεση SOx & NOx	Χρειάζεται αρκετός χώρος για την φύλαξη των αντιδρώντων
Δεν δημιουργούνται υγρά λύματα που χρειάζονται επεξεργασία	Χρειάζονται να υπάρχει απόθεμα αντιδρώντων για ώρες έκτακτης ανάγκης
Οι στήλες γύψου μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταπωληθούν	Η αγορά των αντιδρώντων μπορεί να είναι αρκετά ακριβή

Οι κανονισμοί του IMO, δεν καθορίζουν τον τύπο του scrubber προς εγκατάσταση, ωστόσο υπάρχει μεγάλη διχογνωμία για την χρήση τους και ιδίως του ανοιχτού κύκλου, λόγω της απόρριψης των λυμάτων στην θάλασσα. Πλέον, πολλά κράτη και λιμένες έχουν απαγορεύσει την χρήση πλυντηρίδων ανοιχτού τύπου στο χώρο ευθύνης τους. Αντ' αυτού το πλοίο υποχρεούται να λειτουργεί με καύσιμο πολύ χαμηλής πυκνότητας σε θείο (VLSFO), ενώ στην περίπτωση που το πλοίο είναι εξοπλισμένο με υβριδικό σύστημα καθαρισμού, θα πρέπει να λειτουργεί ως κλειστού κύκλου.

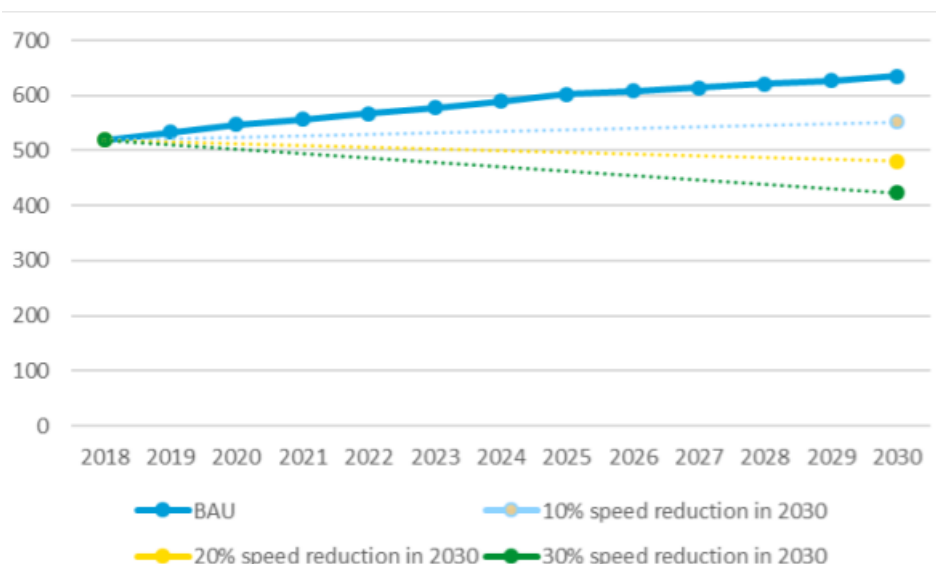
Όπως είναι προφανές, η επιλογή του κατάλληλου συστήματος είναι μια περίπλοκη και πολυπαραγοντική εξίσωση. Οι διαχειρίστριες εταιρείες έχουν να λάβουν υπόψη το κόστος μελέτης και εγκατάστασης, τα συνήθη δρομολόγια του πλοίου (π.χ. συχνή διέλευση σε ζώνες ECA ή/και χαμηλή αλκαλικότητα νερού όπως στη Βαλτική Θάλασσα) καθώς επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα, την απόδοση της μηχανής και των καζανιών αλλά και τον διαθέσιμο χώρο εντός του πλοίου για την εγκατάσταση των εκάστοτε εξαρτημάτων. Όλα τα παραπάνω θέτουν υπό το πρίσμα του σκεπτικισμού την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, αλλά και την βιωσιμότητα τους ως λύση που θα οδηγήσει στην επίτευξη των στόχων του IMO, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενες παραγράφους.

2.3.2 Slow steaming

Ένα δεύτερο «όπλο» στη φαρέτρα των εταιρειών, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι το IMO και να υπάρχει ικανοποιητική τιμή του δείκτη EEDI, είναι η μειωμένη ταχύτητα πλεύσης ή αλλιώς slow steaming. Η ναυτιλιακή βιομηχανία, έχοντας χτυπηθεί βαριά από το «ράλι» των τιμών του πετρελαίου την περίοδο 2002-2008, έχει οικειοποιηθεί την χρήση μειωμένης ταχύτητας και έχει αναπτύξει κάποια αντανάκλαστικά ως προς την χρήση της. Ωστόσο, από όταν δημοσιεύθηκαν οι στόχοι του IMO για την μείωση του εκπομπών αέριων ρύπων, αρχής

γενομένης από την 1/1/2020 (sulphur cap), η πρακτική του slow steaming επανήλθε στο προσκήνιο.

Μελέτες έχουν δείξει πως τα αποτελέσματα και η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης πρακτικής, είναι εντυπωσιακά. Για παράδειγμα, για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μια μείωση της τάξης του 3% στην ταχύτητα πλεύσης, μπορεί να αποφέρει έως και 10% εξοικονόμηση καυσίμου και άρα χρημάτων. Στις περιπτώσεις δε που ακολουθείται η προσέγγιση της λεγόμενης πολύ χαμηλής ταχύτητας πλεύσης (extra slow steaming), τα οφέλη μπορούν να φτάσουν και έως 20% σε εξοικονόμηση χρημάτων και 43% σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ουσιαστικά, μειωμένη ταχύτητα συνεπάγεται άμεση μείωση και στις εκπομπές CO₂ [29]. Μια μελέτη του CE Delft το 20178 [30], καταδεικνύει πως μια προοδευτική υιοθέτηση της συγκεκριμένης πρακτικής μπορεί να επιφέρει αξιοσημείωτα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 2.12: Προβλέψεις για την μείωση των εκπομπών CO₂ με μείωση της ταχύτητας πλεύσης (πηγή: [30])

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει την επίδραση που μπορεί να έχει η μείωση της ταχύτητας πλεύσης. Πιο συγκεκριμένα, για ποσοστά μείωσης της τάξης του 10%, 20% και 30%, μπορεί να επιτευχθεί μείωση, έως το 2030, της τάξης των 990 Mt, 1.830 Mt και 2.510 Mt CO₂ αντιστοίχως.

Στο οικονομικό σκέλος, σύμφωνα με την ίδια μελέτη «το αντίκτυπο της μειωμένης ταχύτητας πλεύσης είναι ήπιο». Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε το κόστος μεταφοράς δυο προϊόντων από την Ολλανδία στην Αργεντινή (λαδερά κέικ από την Ολλανδία και παγωμένο βόειο κρέας από την Αργεντινή), μειώνοντας την ταχύτητα πλεύσης 10%, 20% και 30%. Έλαβαν υπόψη τους επιτόκιο της τάξης του 10% και επιπλέον έξοδα ασφάλισης και ρήτρες (2% του συνολικού ποσού ασφάλισης για κάθε επιπλέον μέρα ταξιδιού). Στις δύο περιπτώσεις, το

αντίκτυπο στην εθνική οικονομία είχε εύρος 0,08-0,31% και 0,06-0,23% για τα δύο προϊόντα αντίστοιχα.

Εμπόδια στην υιοθέτηση του slow steaming

Όπως κάθε λύση σε ένα πρόβλημα, έτσι και χρήση μειωμένης ταχύτητας τυγχάνει κάποιων αρνητικών σημείων τα οποία καθιστούν την άμεση υιοθέτηση της ως αντικείμενο συζήτησης. Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί πως ενώ ο δείκτης EEDI, «προέρχεται» από την Επιτροπή MEPC, ο δείκτης της Ελάχιστης Ασφαλούς Ταχύτητας Πλεύσης (Minimum Propulsion Power – MPP), “προέρχεται” από μια διαφορετική Επιτροπή του IMO, εκείνη της Ασφάλειας για την Ναυσιπλοΐα (Maritime Safety Committee – MSC). Το πρόβλημα έγκειται στο ότι οι δύο αυτές Επιτροπές δεν έχουν συνεργαστεί για την θέσπιση των σωστών ορίων ταχύτητας, ώστε να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ αποτελεσματικότητας (μείωσης εκπομπών/ κόστους) και ασφάλειας. Έτσι, υπάρχει διαφωνία μεταξύ των κανονισμών, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κίνδυνο απώλειας του ελέγχου του πλοίου σε ακραίες καιρικές συνθήκες, έως και σε τραυματισμούς ναυτικών. Ιδιαίτερα τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίων και αργού πετρελαίου, έχουν σχεδιαστεί έχοντας (συνήθως) μέγιστη ταχύτητα πλεύσης τους 16-18 κόμβους. Οπότε μια μείωση στους 10-12 κόμβους, μπορεί να προκαλέσει δυσκολία στις μανούβρες του πλοίου, αλλά και στον γενικότερο έλεγχό του. [21]

Ένα ακόμη θέμα προς εξέταση είναι, η έγκαιρη κάλυψη των μεταφορικών αναγκών. Όπως γίνεται αντιληπτό, η μείωση της ταχύτητας πλεύσης συνεπάγεται αύξηση του χρόνου άφιξης ενός πλοίου στον προορισμό του και άρα αύξηση του χρόνου παράδοσης των αγαθών που μεταφέρει. Αυτό, μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στην εφοδιαστική αλυσίδα διαφόρων κλάδων, όπως έλλειψη προϊόντων. Μια λύση θα ήταν η βελτιστοποίηση των διαδρομών των πλοίων, ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος ταξιδιού στην θάλασσα. Ενώ μια πιο «δύσκολη» προσέγγιση θα ήταν η ναυπήγηση περισσότερων πλοίων προς κάλυψη των ολοένα και αυξανόμενων αναγκών.

2.4 Η ανάγκη για νέα καύσιμα

Η ναυτιλία, όντας υπεύθυνη για πάνω από το 85% του παγκόσμιου εμπορίου και μόλις για το 2.89% των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συγκαταλέγεται ως μια από τις αποδοτικότερες βιομηχανίες παγκοσμίως. Η Τρίτη Έρευνα του IMO (2014) για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την Διεθνή Ναυτιλία, καταδεικνύει πως η συνεισφορά του κλάδου στις ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ κυμαίνεται στο 2.2%, και οι προβλέψεις δείχνουν πως μπορεί να αυξηθεί κατά 50% έως και 250% έως το 2050. Σύμφωνα με την Τέταρτη Έρευνα του IMO (2020) [13], οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία έχουν αυξηθεί κατά 9,6% από το 2012 έως το 2018. Σε απόλυτους αριθμούς αυτό μεταφράζεται σε μετάβαση από 962 σε 1.056 εκατομμύρια τόνους. Αυτή η αύξηση αναμένεται να συνεχιστεί έως και το 2030, καθώς η ωρίμανση των μέτρων που θεσπίζονται απαιτεί αρκετό χρόνο ώστε να αποδώσει τα αναμενόμενα.

Ωστόσο, έχοντας το βλέμμα στο 2050, χρονιά που έχει θεσπιστεί από τον IMO ως ορόσημο για μείωση στο 50% των συνολικών αερίων ρύπων από την ναυτιλία, δεν μπορεί κανείς να εφησυχάσει. Οι τωρινές τεχνολογίες μείωσης των ρύπων είναι απλά ένα πρώτο βήμα στην απανθρακοποίηση της βιομηχανίας. Τα scrubbers προσφέρουν μια μεσοπρόθεσμη λύση, βρίσκοντας ωστόσο αρκετούς σκεπτικιστικές απέναντί τους. Τα κύρια επιχειρήματα εναντίων τους μπορεί να είναι το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και η απαγόρευση χρήσης κυκλωμάτων ανοιχτού τύπου σε ζώνες ECA. Στον αντίποδα, η χρήση μειωμένης ταχύτητας μπορεί να αποφέρει κέρδη τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά. Ωστόσο, δεν μπορεί επ' ουδενί να χαρακτηριστεί ως μια λύση που θα οδηγήσει στην επίτευξη των στόχων του IMO [30].

Έτσι λοιπόν, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για την ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών μηδενικών εκπομπών και βιώσιμου κόστους, ώστε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες των 12EJ (ή αλλιώς 3.3PWh) της ναυτιλίας ετησίως [14]. Ειδικά, για τον χώρο της Ελλάδας που χαρακτηρίζεται από ένα έντονο νησιωτικό ανάγλυφο και όντας τα χωρικά της ύδατα ζώνη ελεγχόμενων εκπομπών (ECA), η σπουδαιότητα αυτών των εξελίξεων είναι ακόμη μεγαλύτερη για την πορεία των ναυτιλιακών επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται.

Κεφάλαιο 3^ο: Εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία

3.1 Επισκόπηση των ήδη χρησιμοποιημένων καυσίμων

Ο κλάδος της ναυτιλίας αποτελεί την ραχοκοκαλιά της παγκόσμιας οικονομίας, και παράλληλα τον πιο οικονομικό τρόπο μεταφοράς εμπορευμάτων. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ενεργειακές ανάγκες της ναυτιλίας αγγίζουν τα 12 Εξαjoules, ποσότητα ικανή να ηλεκτροδοτήσει μια πόλη 8.5 εκ. κατοίκων όπως η Νέα Υόρκη, για 60 χρόνια. Η έως τώρα πηγή ενέργειας για την ναυτιλία ήταν το λεγόμενο βαρύ καύσιμο ή αλλιώς μαζούτ. Ωστόσο, οι στόχοι του IMO για το περιβάλλον και τους ρύπους και τις αέριες εκπομπές, όπως περιγράφηκαν στο τελευταίο κεφάλαιο, δεν αφήνουν πολλά περιθώρια για συνέχιση της χρήσης του HFO. Το βαρύ πετρέλαιο ή αλλιώς Heavy Fuel Oil, παραμένει ακόμη και σήμερα το κυρίαρχο καύσιμο της ναυτιλίας, ικανοποιώντας πάνω από το 80% της ζήτησης της βιομηχανίας.

Ωστόσο, λόγω του ορίου στις εκπομπές θείου από τον IMO, η χρήση του HFO έχει μειωθεί περίπου στο 7% σε αναλογία με τα υπόλοιπα καύσιμα (3% σε απόλυτους αριθμούς), ενώ καύσιμα όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και πετρέλαιο ναυτικής χρήσης (MGO) έχουν γνωρίσει σχετική αύξηση 6 και 0,9% αντίστοιχα (51% και 26% αντίστοιχα σε απόλυτους αριθμούς). Έτσι, στις επόμενες παραγράφους θα γίνει προσπάθεια να αποσαφηνιστεί η παρούσα κατάσταση ως προς τα ναυτιλιακά καύσιμα, καθώς και να αποτυπωθεί η ανάπτυξη που γίνεται στην εύρεση νέων καυσίμων, μειωμένων ή και μηδενικών ρύπων.

3.1.1 Heavy Fuel Oil (HFO)

Παραγωγή HFO

Το βαρύ πετρέλαιο ή κοινώς μαζούτ παράγεται από τα υπολείμματα της διύλισης το αργού πετρελαίου και άρα αποτελεί προϊόν χημικής διεργασίας. Έως το 1970, η συγκέντρωση του μαζούτ βασιζόταν στα μη απεσταγμένα υπολείμματα/ ιζήματα, που προέρχονταν από την ατμοσφαιρική απόσταξη του αργού πετρελαίου, καθώς το συγκεκριμένο κλάσμα της απόσταξης δεν έβραζε πάνω από την συνήθη τιμή των 560-600 °C (1050-1100 °F). Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται και πιο σύνθετες τεχνικές απόσταξης, όπως η απόσταξη εν κενώ για την απομάστευση και «ελαφρύτερων» κλασμάτων που παγιδευόντουσαν με την πρώτη τεχνική. Αυτή η βελτίωση στις τεχνικές απόσταξης, οδήγησε στην παραγωγή μικρότερων ποσοτήτων και χαμηλότερης ποιότητας HFO, το οποίο πρακτικά σημαίνει μεγαλύτερη συγκέντρωση ποσοτήτων θείου [1].



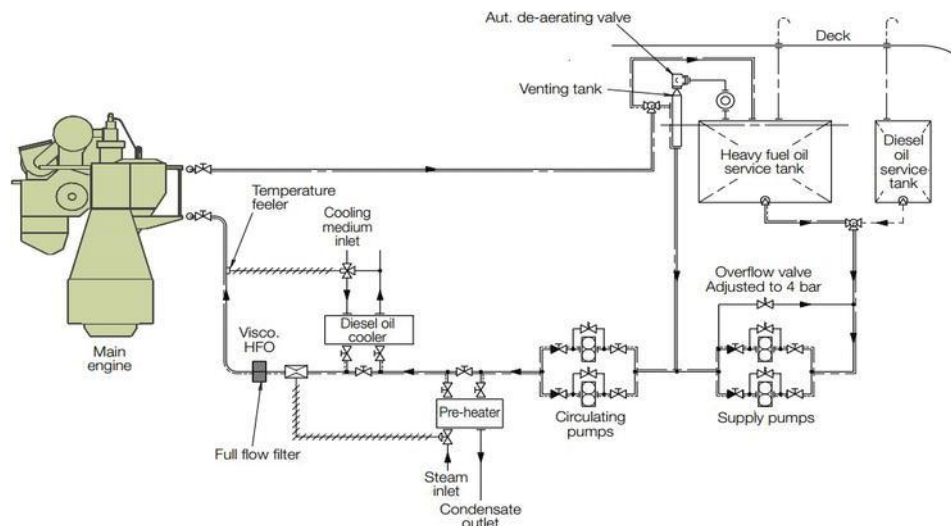
Εικόνα 3.1: Βαρύ πετρέλαιο – μαζούτ (HFO)

Χρήση HFO

Το βαρύ πετρέλαιο είναι ένα παχύρευστο υγρό με μεγάλο ιξώδες, το οποίο βρίσκεται σε μια κατάσταση πριν γίνει πίσσα. Ένα ακόμη αποτέλεσμα της καλύτερης απόσταξης του αργού είναι πως για να βελτιωθεί η ποιότητα και να χαρακτηριστεί το καύσιμο ως HFO, χρειάζεται να γίνει προσθήκη παραγώγων χαμηλότερου σημείου βρασμού. Το τελευταίο αυξάνει εν μέρη την πολυπλοκότητα στον χειρισμό του καυσίμου, αλλά διατηρεί σε χαμηλά επίπεδα την τιμή του καυσίμου.

Η ισχύς ενός ναυτικού κινητήρα ντίζελ μπορεί να ξεκινά από τα 0,25 MW, για μικρούς και γρήγορους κινητήρες και να φτάνει τα 100 MW, για μεγάλους αργόστροφους κινητήρες. Συνήθως οι τετράχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε μικρά και μεσαίου μεγέθους πλοία και συχνά χρησιμοποιούν και ελαφρύ ναυτικό πετρέλαιο (MGO), ενώ οι δίχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερου μεγέθους πλοία που δεν απαιτούν μεγάλες ταχύτητες πλεύσης. Το βασικό πλεονέκτημα στη χρήση του HFO ως καύσιμο σε μεγάλα πλοία, είναι το μεγάλο εύρος ισχύος στο οποίο μπορούν να δουλέψουν οι Μ.Ε.Κ. όπως και η θερμική του απόδοση. Έτσι, οι αργόστροφοι κινητήρες μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τον στροφαλοφόρο άξονα της προπέλας και άρα να μειώσουν τα μηχανικά μέρη, καθώς δεν χρειάζονται μειωτήρα και κατά συνέπεια να μειώσουν τα κόστη επισκευών [2].

Το συγκεκριμένο καύσιμο αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές (fuel tanks) εντός του πλοίου. Υπάρχουν διάφοροι τύπου δεξαμενών, αλλά το πιο σύνηθες είναι να διατρέχουν όλο το πλοίο, χωρισμένες σε τμήμα και ασφαλισμένες με στεγανά και βαλβίδες. Ωστόσο, έχοντας μεγάλο ιξώδες, παρουσιάζεται μια σχετική δυσκολία στην χρήση του η οποία έχει να κάνει με τη θερμοκρασία χρήσης του. Πιο συγκεκριμένα, το HFO έχει πολύ χαμηλή ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης (flash point), η οποία είναι στους 60 °C. Έτσι, απαιτείται η σωστή προετοιμασία του, η οποία περιλαμβάνει την προθέρμανσή του προσδίδοντάς του θερμότητα της τάξης των 40,9 MJ/kg σε ειδικά καζάνια (boilers) στους περίπου 140 °C, πριν την είσοδό του στον θάλαμο καύσης εντός της μηχανής [1].

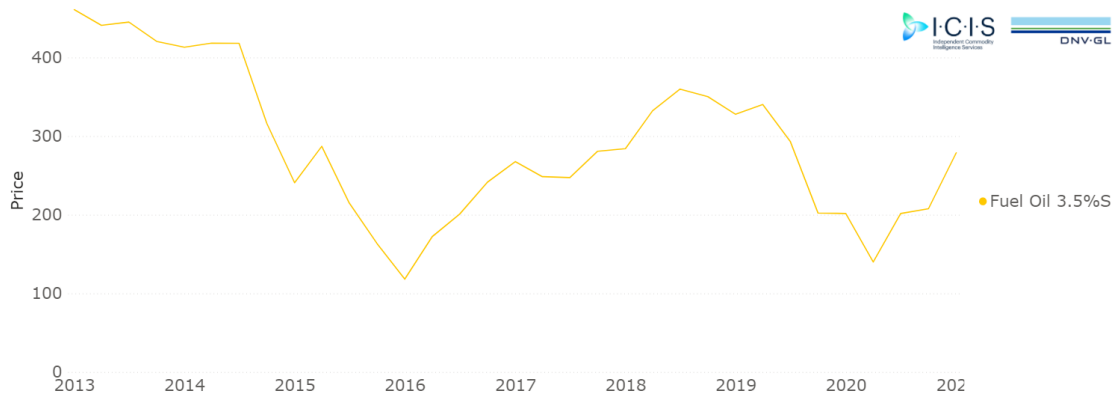


Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα ροής του πετρελαίου από τις δεξαμενές αποθήκευσης έως τον κινητήρα

Περιβαλλοντικά και οικονομικά δεδομένα για το HFO

Λόγω της διαδικασίας παραγωγής του το HFO αποτελεί ένα από τα πιο επιβλαβή καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα στις βιομηχανίες και ιδιαίτερα στις μεταφορές. Καθώς χαρακτηρίζεται από μεγάλο ιξώδες, η καύση του χρήζει ειδικής μεταχείρισης και περαιτέρω δαπάνη ενέργειας αλλά και εκπομπών ρύπων [3]. Πιο συγκεκριμένα, το σύνηθες για το μαζούτ είναι να περιέχει 3,5% θείο m/m, καθώς και διάφορες άλλες προσμίξεις και αρωματικές ύλες όπως περιεγράφηκαν στο 2^ο κεφάλαιο, οδηγώντας στην έκλυση μεγάλων ποσοτήτων επιβλαβών αέριων ρύπων. Ωστόσο, υπάρχουν και μερικά ελαφρύτερα κλάσματα στην ίδια κατηγορία με το μαζούτ, τα οποία περιέχουν 2-2,5% m/m θείο αλλά δεν περιορίζουν το πρόβλημα των αέριων εκπομπών.

Το βαρύ πετρέλαιο (HFO), όντας το κύριο ναυτιλιακό καύσιμο εδώ και δεκαετίες αλλά και λόγω της χαμηλής του ποιότητας, αποτελεί την πιο οικονομικά συμφέρουσα εναλλακτική. Οι τιμές του μπορεί να μεταβάλλονται μεταξύ των 120 και 450 €/Mt, γνωρίζοντας την χαμηλότερη τιμή το 2016 και την υψηλότερη το 2013 αντίστοιχα. Ενδιαφέρον παρατηρείται και στην πορεία της τιμής του HFO από το 2018, καθώς ήταν η χρονιά που ο IMO θέσπισε την Στρατηγική του για τις εκπομπές αέριων ρύπων. Όπως μπορεί να φανεί και από το παρακάτω διάγραμμα, η τιμή του βαρύ πετρελαίου ακολουθεί μια σταθερά φθίνουσα πορεία, με αποκορύφωμα το 2020, όπου και τέθηκε σε ισχύ το λεγόμενο sulphur cap. Την τελευταία χρονιά, παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην τιμή του καυσίμου, η οποία μπορεί να αποδοθεί σε δύο λόγους. Αφενός, στην ανάκαμψη της αγοράς στην μετά COVID εποχή, καθώς επανεκκινεί το παγκόσμιο εμπόριο και υπάρχει αυξημένη ζήτηση σε ναυτιλιακό καύσιμο. Αφετέρου, στην τοποθέτηση αρκετών πλυντηρίδων πλέον σε πλοία, κάτι το οποίο βοηθάει τη χρήση του HFO ως καύσιμο. Αυτή τη στιγμή η αναλογία τιμής ανά τόνο, βρίσκεται περίπου στα 280€/Mt.



Διάγραμμα 3.2: Διαχρονική διακύμανση της τιμής του HFO (πηγή: ICIS – DNV GL)

Ελαφρύτερα παράγωγα του HFO

Όπως έχει περιγραφεί, το βαρύ ναυτικό πετρέλαιο είναι προϊόν της διύλισης του αργού πετρελαίου. Ανάλογα με το πόσο ελαφρύ είναι το κλάσμα και άρα το τελικό προϊόν, καταλήγει και για την ανάλογη χρήση. Οι εταιρείες παραγωγής καυσίμων, έχοντας κατά νου τους στόχους του IMO για αποθιοποίηση της ναυτιλίας, έχουν αρχίσει να μεγαλώνουν την παραγωγή «ελαφρύτερων» καυσίμων, όπως χαρακτηρίζονται από την σύμβαση MARPOL τα οποία είναι:

- Χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Low-Sulphur Fuel Oil – LSFO), με μέγιστη περιεκτικότητα θείου 1,0%
- Πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Very-Low Sulphur Fuel Oil – VLSFO), με μέγιστη περιεκτικότητα θείου 0,5%
- Πάρα πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Ultra-Low Sulphur Fuel Oil – ULSFO), με μέγιστη περιεκτικότητα θείου 0,1%

Εδώ γίνεται αντιληπτό πως για πλοία που προσεγγίζουν ζώνες ελεγχόμενων εκπομπών (ECA) και δεν χρησιμοποιούν scrubbers, η χρήση καυσίμων ULSFO είναι μονόδρομος. Ωστόσο, η αποθιοποίηση του πετρελαίου επιφέρει και ένα απρόβλεπτο πρόβλημα για τις ναυτικές Μ.Ε.Κ. Το βαρύ πετρέλαιο, λόγω του αυξημένου ιξώδους του λειτουργούσε και ως λιπαντικό για τις αντλίες έγχυσης του καυσίμου στον κύλινδρο. Με την μετάβαση σε καύσιμα χαμηλού θείου, αυτή η ποιότητα λίπανσης μειώθηκε δραστικά προκαλώντας πολλά προβλήματα στην ομαλή πλεύση των πλοίων. Πιο σύνθετο πρόβλημα είναι την ξαφνική διακοπή λειτουργίας του κινητήρα, λόγω ανεπαρκούς εφοδιασμού με καύσιμο, καθώς τα κινούμενα μέρη της αντλίας και του συστήματος έγχυσης δεν είχαν την απαραίτητη λίπανση. Παράλληλα, δεν υπήρχε και η κατάλληλη ενημέρωση από τους προμηθευτές των καυσίμων και τους κατασκευαστές των κινητήρων, ώστε να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα προσθέτοντας επιπλέον λιπαντικές ουσίες. Αποτέλεσμα αυτού ήταν πολλά πλοία να βρίσκονται μεσοπέλαγα χωρίς ισχύ, πράγμα άκρως επικίνδυνο.

Προβλέψεις για την χρήση του

Σύμφωνα με τον Αγγλικό νηογνώμονα Lloyd's Register, από το 2040 τα εναλλακτικά καύσιμα θα πρέπει να αποκτήσουν μια μεγάλη μερίδα στην χρήση που θα είχε έως τότε το HFO, προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, οι προβλέψεις δεν είναι ευοίωνες καθώς στις ίδιες μελέτες, έως το 2030 το μαζούτ θα ικανοποιεί το 47-66% των ενεργειακών αναγκών της ναυτιλίας [3].

3.1.2 Marine Gas Oil (MGO)

Βασικά χαρακτηριστικά MGO

Τα Marine Gas Oils, είναι μια οικογένεια πετρελαιοειδών που αποτελούνται αποκλειστικά από αποστάγματα. Τα αποστάγματα είναι τα υπολείμματα της διύλισης του αργού πετρελαίου, τα οποία αεριοποιούνται κατά την διάρκεια της απόσταξης, και τελικά συνήθως υγροποιούνται. Το MGO, είναι παρόμοια χημική ουσία και καύσιμο με το HFO αλλά έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και δεν χρειάζεται να προθερμαθεί πριν την είσοδό του στον κινητήρα. Ως ουσία είναι διαφανής και γι' αυτό συνηθίζεται να αναμιγνύεται με κάποια χρωστική ουσία, ώστε να αποφεύγεται η παράνομη πώληση χαμηλότερης ποιότητας καυσίμου. Στο κομμάτι της κατώτερης θερμογόνου δύναμης, το MGO παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το HFO, προσφέροντας 43 MJ/kg μόλις 2 MJ/kg περισσότερα από το βαρύ πετρέλαιο.

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά δεδομένα

Οι περιβαλλοντικοί στόχοι του IMO, ήταν αυτοί που ώθησαν στην υιοθέτηση του MGO ως ναυτιλιακό καύσιμο. Το γεγονός ότι προέρχεται από τα αέρια κλάσματα του πετρελαίου, το καθιστά καύσιμο χαμηλό σε θείο και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ζώνες ECA της Αμερικής και Ευρώπης, όπου το όριο είναι 0,1% περιεκτικότητα σε θείο για το MGO, και στην Κίνας που είναι 0,3% [4]. Ωστόσο, η συνήθης περιεκτικότητα θείου στο MGO κυμαίνεται από 0,1 έως 1,5% m/m καυσίμου. Επίσης, υπάρχει και το Low Sulphur Marine Gas Oil (LSMGO) το οποίο περιέχει λιγότερο από 0,1% θείο.

Έτσι, λόγω της συγγένειας του με το HFO, το εν λόγω καύσιμο έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται κατά κόρον από την 1/1/2020 και μετά, απ' όταν δηλαδή και τέθηκε το όριο στις εκπομπές θείου από τον IMO. Το MGO μπορεί να καταναλωθεί τόσο σε δίχρονες όσο και σε τετράχρονες ναυτικές Μ.Ε.Κ., ωστόσο κυρίως χρησιμοποιείται σε μεσόστροφες ή πολύστροφες τετράχρονες μηχανές [2]. Παράλληλα, λόγω της σύστασης του, εκλύει λιγότερες ποσότητες CO₂ και αιωρούμενων σωματιδίων, συμβάλλοντας έτσι όχι μόνο στη μείωση των εκπομπών SO_x. Στο κομμάτι των εκπομπών NO_x, τα επίπεδα παραμένουν περίπου τα ίδια καθώς δεν υπάρχει κάποια ουσιαστική αλλαγή στις ποσότητες αζώτου στο καύσιμο.

Οι τιμές του MGO είναι σχετικά αυξημένες σε σχέση με το HFO, κάτι που κρίνεται λογικό καθώς αποτελεί ελαφρύτερο κλάσμα από το βαρύ πετρέλαιο και πολλές φορές χρειάζεται περαιτέρω αποθιοποίηση και άρα κόστος. Η τιμή του MGO παρουσιάζει πολύ παρόμοιες τάσεις και αυξομειώσεις με το HFO, λόγω του ότι είναι εγγενές καύσιμο όπως μπορεί να φανεί και στο παρακάτω διάγραμμα. Η μεγαλύτερη τιμή που είχε φτάσει το MGO ήταν στα περίπου 700€/Mt τον Οκτώβριο του 2018, με την μικρότερη να έρχεται λίγους μήνες αργότερα τον Ιανουάριο του 2019 στα 480€/Mt. Κατά την περίοδο της πανδημίας, η τιμή του μειώθηκε δραματικά φτάνοντας ακόμα και τα 300€/Mt, ενώ πλέον έχει ανακάμψει στα περίπου 460€/Mt, τιμή σχεδόν υποδιπλάσια από το HFO.



Διάγραμμα 3.3: Διαχρονική εξέλιξη τιμών MGO-HFO (πηγή: www.hellenicshippingnews.com)

3.1.3 Liquified Natural Gas (LNG)

Βασικά χαρακτηριστικά Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Η βασική ουσία του LNG, είναι το μεθάνιο το οποίο αποτελεί έναν ορυκτό υδρογονάνθρακα -όπως και το πετρέλαιο- και αποτελείται από ένα μόριο άνθρακα και τέσσερα μόρια υδρογόνου, σχηματίζοντας τον χημικό τύπο CH₄. Μερικά από τα βασικά του χαρακτηριστικά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1: Βασικές ιδιότητες του μεθανίου

	Χημικός Τύπος	Κανονικές Συνθήκες	Σημείο βρασμού	Κρίσιμη θερμοκρασία	Θερμογόνος Δύναμη ³
Μεθάνιο	CH ₄	25 °C @1atm	-162 °C	-82,6 °C	49,3 MJ/ kg

³ Η θερμογόνος δύναμη είναι η κύρια ενεργειακή ιδιότητα ενός καυσίμου. Ορίζει την ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση της μοναδιαίας ποσότητας της ουσίας. Υπάρχουν η ανώτερη θερμογόνος (Hs) και η κατώτερη θερμογόνος (Hi) δύναμη. Η διαφορά μεταξύ της ανώτερης και της κατώτερης θερμογόνου δύναμης είναι η θερμότητα εξάτμισης του νερού (υδρατμών) που υπάρχει στα καυσαέρια. Για τους ενεργειακούς υπολογισμούς χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη.

Μεταχείριση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Η τεχνολογία που απαιτείται για την χρήση του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο είναι ήδη διαθέσιμη. Ήδη πολλά πλοία χρησιμοποιούν ως κύριο σύστημα πρόωσης το LNG και διάφοροι τύποι αποθήκευσης του έχουν αναπτυχθεί. Το σημείο ατμοποίησης του φυσικού αερίου είναι περίπου -162°C υπό πίεση 1 bar. Έτσι, για να μπορεί να αποθηκευτεί σε υγρή μορφή εντός του πλοίου, χρειάζεται να κρατείται συνεχώς σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μέσω της λεγόμενης κρυογονικής μεταχείρισης (cryogenic treatment). Τα τοιχώματα των δεξαμενών ψύχονται συνεχώς με υγρό άζωτο ώστε να κρατείται σταθερή η θερμοκρασία και βαλβίδες εκτόνωσης είναι διαθέσιμες ώστε να μειώσουν την πίεση που πιθανώς να δημιουργείται από την ατμοποίηση (Boil-off Gas – BoG) του καυσίμου.

Ωστόσο, η εγκατάσταση συστημάτων κρυογονικής αποτελεί μια εξαιρετικά πολύπλοκη και κοστοβόρα διαδικασία. Συνήθως συναντάται σε δύο περιπτώσεις. Είτε σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, όπου γίνεται μετασκευή του κινητήρα ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το φυσικό αέριο που ατμοποιείται (Boil-off Gas - BOG), είτε σε νεότευκτα πλοία που κατασκευάζονται από την αρχή με σκοπό την χρήση LNG ως καύσιμο πρόωσης [5].

Παραγωγή και Δίκτυο διανομής

Εάν και ακόμη δεν είναι τόσο εκτεταμένο το δίκτυο ανεφοδιασμού για LNG, διαρκώς βελτιώνεται και μάλιστα αναμένεται να γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη στα επόμενα χρόνια. Τη μερίδα του λέοντος στη μεταφορά του καυσίμου, καταλαμβάνουν οι οδικοί άξονες με τη χρήση φορτηγών και έπειτα μέσω τρένων. Μόνο το 2021 έγινε η πρώτη πετρέλευση από πλοίο σε πλοίο (Ship to Ship – STS), ωστόσο αυτή η πρακτική αναμένεται να αυξηθεί στο εγγύς μέλλον.



Εικόνα 3.2: Δίκτυο διανομής LNG στην Ευρώπη (πηγή: DNV GL)

Παράλληλα, όπως μπορεί να φανεί και στην παραπάνω εικόνα, το δίκτυο διανομής LNG στην Ευρώπη είναι αρκετά εκτεταμένο, και όπως είναι φυσικό επικεντρώνεται κυρίως στα λιμάνια της Ισπανίας, όπως το Αλχεθίρας και η Βαρκελώνη, στα λιμάνια της Ολλανδίας, όπως η Αμβέρσα και το Ρότερνταμ, και στις Σκανδιναβικές χώρες κυρίως λόγω των πολλών επιβατηγών πλοίων. Στην Ελλάδα έως τώρα υπάρχει μόνο ένας σταθμός ανεφοδιασμού που λειτουργεί στον Πειραιά (πράσινο χρώμα), ενώ στη Μεσόγειο υπάρχουν αρκετοί που είναι υπό κατασκευή ή συζητείται η κατασκευή τους (με μπλε και γκρι χρώμα).

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά δεδομένα

Λόγο του λόγου C/H μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα καύσιμο χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Σύμφωνα με μελέτες, μπορεί να εξαλείψει έως και 100% τις εκπομπές SOx, και να μειώσει έως και 90% τις εκπομπές NOx σε σχέση με το HFO. Ωστόσο, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα οι ίδιες μελέτες δείχνουν πως η μείωση δεν θα ξεπεράσει το 40%, κυρίως λόγω της λεγόμενης διαφυγής του μεθανίου (methane slip). Η διαφυγή προέρχεται από την τριβή και την κίνηση των μορίων του καυσίμου στις δεξαμενές, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην ατμοποίηση του υγρού καυσίμου και την διαφυγή του από τις δεξαμενές. Μάλιστα, εάν αυτή η διαφυγή είναι αρκετά μεγάλη, μπορεί να οδηγήσει και σε αύξηση των εκπομπών GHG σε σχέση με το HFO. Οι κατασκευαστές κινητήρων LNG αντιμετωπίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα με την αύξηση της πίεσης του συστήματος έγχυσης του καυσίμου στον κύλινδρο, αν και ακόμη δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μια εντελώς αξιόπιστη λύση. Τέλος, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μπορούσαν να μειωθούν περαιτέρω, εάν χρησιμοποιούταν μείγμα LNG με bio-LNG, δηλαδή φυσικό αέριο που προέρχεται από βιομάζα, καθώς το δεύτερο δεν εμπεριέχει άνθρακα και πρακτικά αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή [6].

Στο οικονομικό σκέλος, το LNG αποτελεί την πιο φθηνή υπάρχουσα εναλλακτική σχετικά με τα νέα καύσιμα της ναυτιλίας. Τα τελευταία χρόνια η τιμή του παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις έχοντας φτάσει το μέγιστο της στις αρχές του 2014, όπου πωλούταν περίπου 370€/Mt, έχοντας φτάσει στο ιστορικό χαμηλό των 75€/Mt το 2020 εν μέσω πανδημίας. Ωστόσο, αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι πως από τα μέσα του 2018 και έως το τέλος του 2020, η τιμή του LNG έφθινε σταθερά. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός πως το 2018 θεσπίστηκε η Στρατηγική του IMO για το περιβάλλον, και ουσιαστικά όλος ο ναυτιλιακός κλάδος επικεντρώθηκε στο πως θα μειώσει τους εκπεμπόμενους ρύπους. Έτσι, η παραγωγή του LNG αυξήθηκε κατακόρυφα, έχοντας και περισσότερα πλοία που καταναλώνουν το συγκεκριμένο καύσιμο και κατά συνέπεια έπεσε η τιμή του. Η τιμή του LNG για το 2021 διαμορφώνεται στα 250€/Mt.

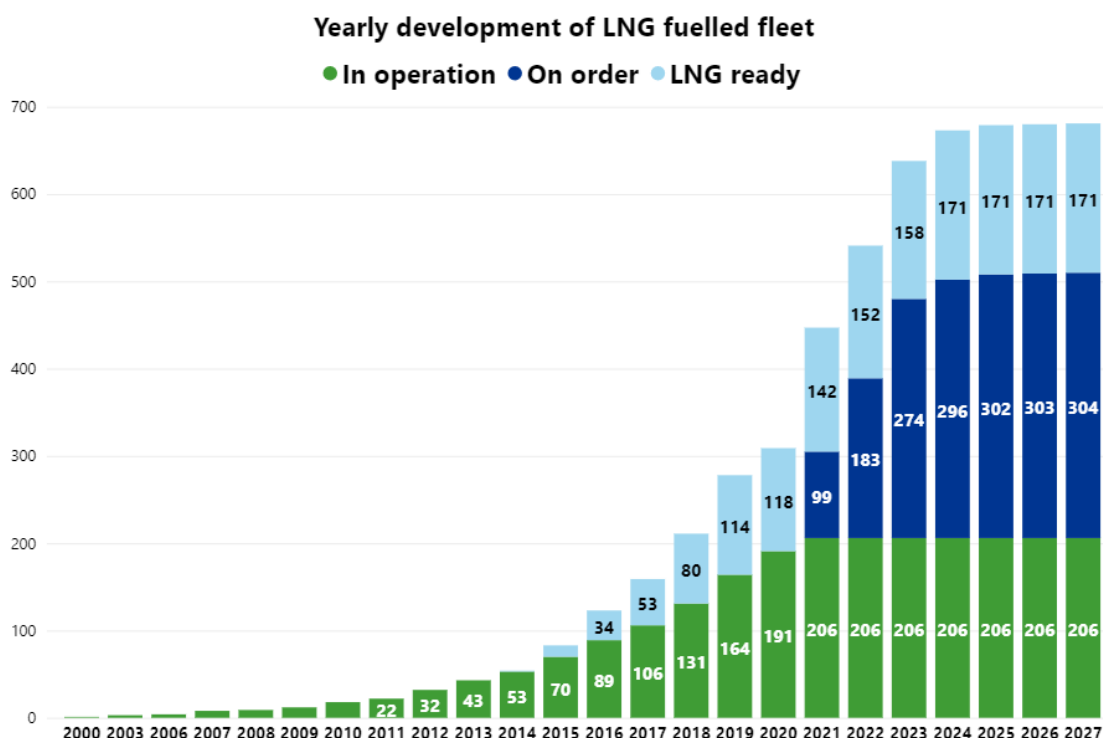


Διάγραμμα 3.4: Διαχρονική διακύμανση της τιμής του LNG (πηγή: ICIS – DNV GL)

3.1.3.1 Πλοία κατανάλωσης LNG

Οι μεγάλες δίχρονες Μ.Ε.Κ., που είναι πλέον εμπορικά διαθέσιμες μπορούν να καταναλώνουν LNG σε συνδυασμό με HFO/MDO μέσω της διαδικασίας καύσης διπλού καυσίμου. Δύο είναι τα κυρίαρχα ρεύματα προς το παρόν, ως προς την αρχή λειτουργίας των εν λόγω μηχανών. Το πρώτο αφορά την έγχυση του καυσίμου υπό χαμηλή πίεση χρησιμοποιώντας κύκλο Otto (αναπτύχθηκε από την WinGD στα μοντέλα κινητήρων X-DF), ενώ το δεύτερο την έγχυση καυσίμου υπό υψηλή πίεση χρησιμοποιώντας κύκλο Diesel (αναπτύχθηκε από την MAN στα μοντέλα κινητήρων ME-GI). Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ τους έχει να κάνει με την χρονική φάση έγχυσης του καυσίμου στον κύλινδρο. Στη πρώτη περίπτωση το αέριο εισέρχεται εντός του θαλάμου καύσης στα πρώτα στάδια της συμπίεσης, υπό πίεση περί τα 13 bar. Στη δεύτερη περίπτωση το αέριο εισέρχεται στον θάλαμο καύσης λίγο πριν την εκτόνωση του κύκλου, υπό πίεση περί τα 300 bar [7].

Μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2020, 191 πλοία που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο ήταν σε υπηρεσία, ενώ 118 ήταν έτοιμα προς χρήση μέσω μετασκευών. Για το 2021 αυτός ο αριθμός φτάνει τα 206 πλοία. Από το 2021 και μετά αρχίζει να μεγαλώνει ο αριθμός των παραγγελιών και να γιγαντώνεται το 2024, φτάνοντας τα περίπου 300 πλοία υπό ναυπήγηση στα βιβλία παραγγελιών των ναυπηγείων. Ωστόσο, σύμφωνα με τον DNV-GL, από το 2027 προβλέπεται να υπάρξει μια σταθεροποίηση των παραγγελιών πλοίων LNG. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εγγύτητα του 2030, χρονιά όπου ο IMO θέλει να έχει μειώσει κατά 40% τις εκπομπές CO₂ σε σχέση με το 2008 και άρα τότε θα αρχίσουν να προκρίνονται εναλλακτικά καύσιμα για την ναυτιλία, πέραν του LNG ώστε να μπορούν να λειτουργούν άφοβα έως το 2050.



Διάγραμμα 3.5: Κατάσταση και πρόβλεψη παραγγελιών πλοίων κατανάλωσης LNG (πηγή: DNV-GL)

3.2 Επισκόπηση των υπό ανάπτυξη καυσίμων – εναλλακτικών

3.2.1 Υδρογόνο (H₂)

Βασικά χαρακτηριστικά Υδρογόνου

Το υδρογόνο (H₂) αποτελεί ένα χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 1 και ατομικό βάρος 1.008 gr/mol καθιστώντας το, το πιο ελαφρύ στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Στην κανονικές συνθήκες είναι ένα άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό και εξαιρετικά εύφλεκτο αέριο. Αν και είναι από τα βασικά συστατικά του κόσμου μας και υπάρχει σε αφθονία γύρω μας, είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί ως καθαρή ουσία. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για την διάσπαση του από άλλες ενώσεις και την αποθήκευσή του.

Έτσι, το υδρογόνο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως πηγή ενέργειας, αλλά ως υψηλής ποιότητας ενεργειακός φορέας. Ωστόσο, έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από κάθε άλλο καύσιμο, 120,7 MJ/kg, τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή της συμβατικής βενζίνης. Επίσης, η καύση του υδρογόνου παράγει μόνο νερό και θερμότητα, ενώ με την ανάμειξή του με τον ατμοσφαιρικό αέρα -όπου περιέχει περίπου 79% άζωτο-, δημιουργεί οξείδια του αζώτου σε μικρές ποσότητες [8].

Πίνακας 3.2: Βασικές ιδιότητες του υδρογόνου

	Χημικός Τύπος	Κανονικές Συνθήκες	Σημείο βρασμού	Κρίσιμη θερμοκρασία	Θερμογόνος Δύναμη ⁴
Υδρογόνο	H ₂	25 °C @1atm	-252,87 °C	-240,19 °C	120,7 MJ/kg

Παραγωγή και διαφορετικοί τύποι υδρογόνου

Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από διάφορους διαθέσιμους πόρους, είτε λιγότερο είτε περισσότερο φιλικούς προς το περιβάλλον. Συνοπτικά, ανάλογα με την τεχνολογία παραγωγής του, υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από:

- Ορυκτά καύσιμα (μεθάνιο)
- Ανανεώσιμες Πηγές & Πυρηνική Ενέργεια (αξιοποίηση της βιομάζας, βιολογική παραγωγή)
- Ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρόλυση του νερού)

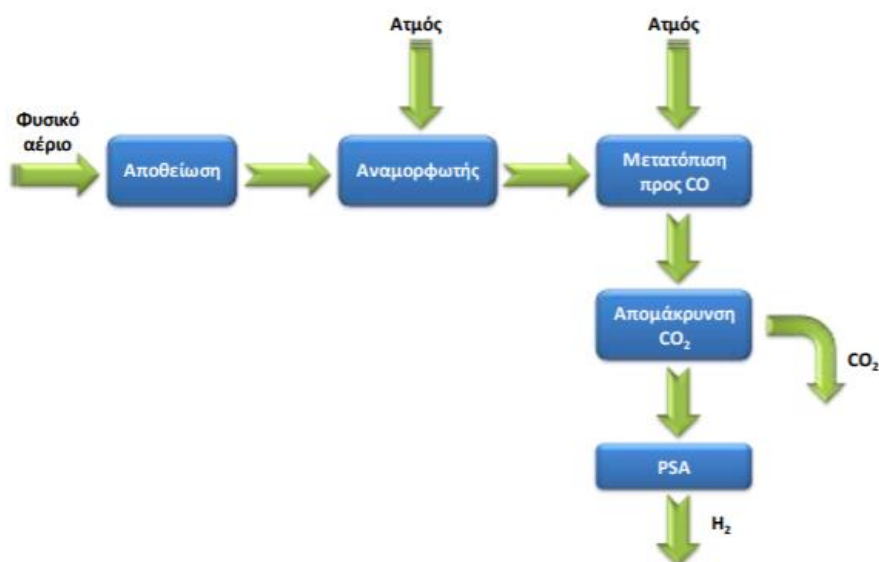
Υπάρχουν διάφοροι «τύποι» υδρογόνου, που χαρακτηρίζονται ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους και κατ' επέκταση την ποσότητα και ένταση του άνθρακα που εκλύεται από αυτή τη διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει το γκρι, το μπλε και το πράσινο υδρογόνο, τα χαρακτηριστικά των οποίων θα παραταθούν περιληπτικά παρακάτω. Ωστόσο, η παραγωγή υδρογόνου είναι μια εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί περίπου 275 Mtoe (εκ. τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) [7].

Το γκρι υδρογόνο έχει ως κύρια πηγή τα ορυκτά καύσιμα και παράγεται μέσω της διαδικασίας αναμόρφωσης του ατμού (steam reforming) του φυσικού αερίου (κυρίως μεθανίου). Περίπου το 95% των 70 εκ. τόνων ετήσιας παραγωγής υδρογόνου προέρχεται από τη συγκεκριμένη διαδικασία, εκλύοντας παράλληλα περίπου 800 εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Πιο προσεγγιστική αναλογία είναι πως για την παραγωγή 1 kg H₂, εκλύονται 9-10 kg CO₂. Αυτό το γεγονός, τοποθετεί το ανθρακικό αποτύπωμα της παραγωγής υδρογόνου, μεταξύ της παραγωγής φυσικού αερίου και κάρβουνου.

Το μπλε υδρογόνο έχει και αυτό ως κύρια πηγή τα ορυκτά καύσιμα και παράγεται μέσω της ίδιας διαδικασίας. Η κύρια διαφορά είναι πως σ' αυτή τη περίπτωση, τα εργοστάσια παραγωγής μπλε υδρογόνου είναι εξοπλισμένα με συστήματα απομάστευσης, χρήσης και αποθήκευσης του άνθρακα (CCUS systems). Ανάλογα με την τεχνολογία και το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιείται, τα εργοστάσια μπλε υδρογόνου μπορούν να απομαστεύσουν περίπου το

⁴ Η θερμογόνος δύναμη είναι η κύρια ενεργειακή ιδιότητα ενός καυσίμου. Ορίζει την ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση της μοναδιαίας ποσότητας της ουσίας. Υπάρχουν η ανώτερη θερμογόνος (H_u) και η κατώτερη θερμογόνος (H_i) δύναμη. Η διαφορά μεταξύ της ανώτερης και της κατώτερης θερμογόνου δύναμης είναι η θερμότητα εξάτμισης του νερού (υδρατμών) που υπάρχει στα καυσάεργα. Για τους ενεργειακούς υπολογισμούς χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη.

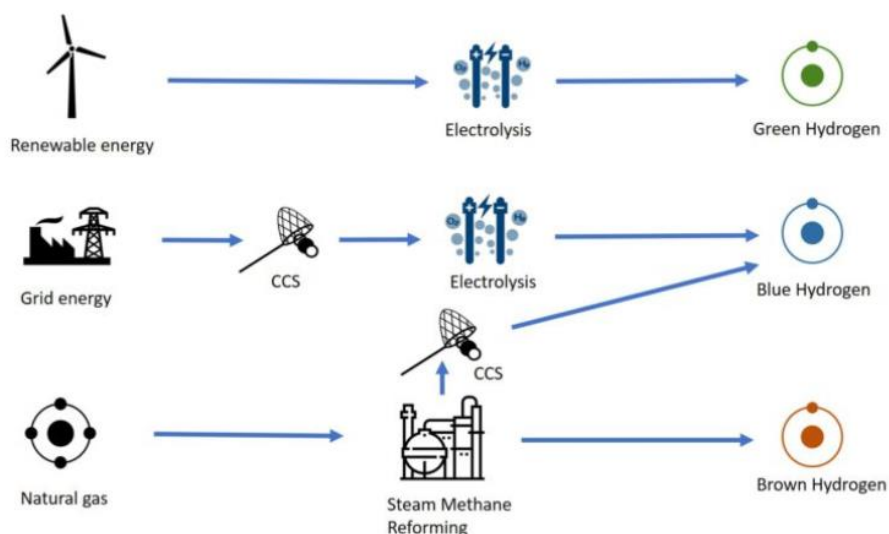
50-90% των εκπομπών CO₂. Προσεγγιστικά σ' αυτή τη περίπτωση η αναλογία ποσότητας υδρογόνου/ εκπομπών είναι για 1 kg παραγόμενου H₂, 2-5 kg CO₂. Ένα παράδειγμα τέτοιου εργοστασίου μπορεί να βρεθεί στο λιμάνι του Άρθουρ, στο Τέξας της Αμερικής, το οποίο μπορεί να απομαστεύει περίπου το 60% των εκλυόμενων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα.



Διάγραμμα 3.6: Διάγραμμα ροής παραγωγής υδρογόνου μέσω της αναμόρφωσης του μεθανίου με ατμό (πηγή: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής)

Το πράσινο υδρογόνο έχει ως κύρια πηγή το νερό και χρησιμοποιεί την μέθοδο της ηλεκτρόλυσης για την διάσπαση του υδρογόνου από το οξυγόνο. Καθώς η ηλεκτρόλυση δεν έχει ως παραπροϊόν διοξείδιο του άνθρακα, το πράσινο υδρογόνο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως η πλέον απανθρακοποιημένη μορφή υδρογόνου. Στην πραγματικότητα, καθ' όλη την εφοδιαστική αλυσίδα του πράσινου υδρογόνου, εκλύεται λιγότερο από το 5% των παραγόμενων ρύπων σε σχέση με το γκρι υδρογόνο. Αυτό το ποσοστό οφείλεται κυρίως στην καταναλισκόμενη ενέργεια για τη μεταφορά του.

Η μέθοδος της αλκαλικής ηλεκτρόλυσης δεν είναι άγνωστη στην βιομηχανία, καθώς χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς, όπως πρόωση υποβρυχίων, εδώ και δεκαετίες. Ωστόσο, το υδρογόνο παραμένει ακόμη ένα ακριβό καύσιμο καθώς η τεχνολογία για την χρήση του δεν έχει περάσει στην λεγόμενη οικονομία κλίμακας. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό αυτό, 1 kg πράσινου H₂, μπορεί να κοστίσει έως και 6€ εν έτη 2021. Για να καταστεί το υδρογόνο ένα προσφιλές καύσιμο για την ναυτιλιακή βιομηχανία, θα πρέπει να γιγαντωθεί η παραγωγή του ώστε να μειωθεί το κόστος. Παράλληλα, για να επιτευχθούν οι στόχοι του IMO, θα πρέπει να επικεντρωθούν οι προσπάθειες στην ανάπτυξη του μπλε και ιδίως του πράσινου υδρογόνου, καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση δεν θα έχει νόημα η χρήση του λόγω εκπεμπόμενων ρύπων κατά την παραγωγή του [9].



Εικόνα 3.3: Σχηματική απεικόνιση παραγωγής των τριών τύπων υδρογόνου
(πηγή: www.midc.be)

Δίκτυο διανομής

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, πρόσφατα εξέδωσε τους στόχους σχετική με την εγκατάσταση μονάδων παραγωγής υδρογόνου, ισχύος 6 GW έως το 2024. Η προσέγγιση της ΕΕ, στρέφεται καθαρά προς το πράσινο υδρογόνο θέλοντας να μειώσει δραστικά το ανθρακικό της αποτύπωμα. Στον αντίποδα, η Αμερική στρέφεται για αρχή σε ένα «μείγμα» παραγωγής μπλε και πράσινου υδρογόνου σε ποσοστά 80% και 20% αντίστοιχα, ώστε να μην υπάρξουν αναταράξεις στο δίκτυο διανομής αλλά και πρόβλημα στην ζήτηση του καυσίμου, λόγω της ακόμη υψηλής τιμής του πράσινου υδρογόνου.

Στην Ελλάδα, το πρώτο εγχείρημα για δημιουργία και λειτουργία μονάδας παραγωγής υδρογόνου ήρθε στο φως τον Μάιο το 2021 και ονομάζεται “White Dragon”. Πρόκειται για ένα έργο το οποίο θα μπορεί να παράγει σε πλήρη λειτουργία το 2029, περί τους 250.000 τόνους πράσινου υδρογόνου το οποίο θα διοχετεύεται κατευθείαν στο δίκτυο και ακόμη 58.000-71.000 τόνους για διάφορες άλλες χρήσεις.

Πλεονεκτήματα του Υδρογόνου ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του υδρογόνου, είναι πως υπάρχει ήδη μια παγκόσμια αγορά η οποία μπορεί να παράγει έως και 70 εκ. τόνους ετησίως. Ήδη η Αμερική, παράγει περίπου 10 εκ. τόνους ετησίως και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη στοχοθετήσει τη πορεία της ως προς την ανάπτυξη του δικτύου παραγωγής και διανομής υδρογόνου. Για παράδειγμα η Γερμανία, έχει ως στόχο να εγκαταστήσει έως το 2040, εργοστάσια ισχύος 10 GW για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης.

Επίσης, το υδρογόνο μπορεί αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες υπό πίεση ή/και χαμηλή θερμοκρασία, για μεγάλες χρονικές περιόδους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη ναυτιλία, λόγω των μεγάλων αποστάσεων -και κατά συνέπεια πολυήμερων ταξιδιών- που καλούνται να καλύψουν τα πλοία της ποντοπόρου ναυτιλίας.

Αν και το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τις κατάλληλες μετατροπές (retrofitting) και σε Μ.Ε.Κ., οι κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells) είναι πιο «ελκυστικές» για την χρήση του υδρογόνου. Η τεχνολογία για τις FCs, υπάρχει ήδη και είναι αρκετά ανεπτυγμένη, μάλιστα μπορεί να αποφέρει και ποσοστά απόδοσης της τάξης του 60% ακόμη και 80% υπό τις κατάλληλες συνθήκες. Για να υπάρξει πρόωση μέσω FCs, η αντίστροφη διαδικασία της ηλεκτρολύσης λαμβάνει χώρα. Το υδρογόνο τροφοδοτείται στις κυψέλες, η ενέργεια του υδρογόνου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και τελικά σε θερμική ισχύ η οποία τροφοδοτεί με την σειρά της τα συστήματα πρόωσης του πλοίου. Στο κομμάτι των κυψελών καυσίμου, αξίζει να αναφερθεί πως είναι πολύ πιο αθόρυβες και άρα προσφέρουν μειωμένη ηχορύπανση στο υποθαλάσσιο περιβάλλον, δεν έχουν μηχανικά εξαρτήματα -άρα και λιγότερες φθορές και κόστη συντήρησης- και μπορούν εύκολα να αλλαχθούν σε «πακέτα».

Εμπόδια στην υιοθέτηση του Υδρογόνου ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Το υδρογόνο είναι εξαιρετικά εύφλεκτο και έχει μεγαλύτερο εύρος ανάφλεξης από τα παραδοσιακά καύσιμα, όντας ικανό να καεί τόσο σε χαμηλές όσο και υψηλές συγκεντρώσεις όταν αναμιγνύεται με οξυγόνο. Το υδρογόνο, για διατήρησή του σε υγρή μορφή, απαιτεί την συνεχή του ψύξη σε θερμοκρασία $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ περίπου σε ατμοσφαιρική πίεση, κάτι το οποίο καθιστά την διαδικασία εξαιρετικά περίπλοκη, ενεργοβόρα και εν γέννη επικίνδυνη σε περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος ψύξης. Έτσι, πρέπει να υπάρξει ειδική μεταχείρισή του σχετικά με την αποθήκευση και μεταφορά του. Για τον κλάδο της ναυτιλίας, προκρίνεται η προσέγγιση του συνδυασμού κρυογονικής μεταχείρισης με συμπίεση του (cry-compressed) σε θερμοκρασίες περίπου $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πιέσεις $\sim 250\text{-}300\text{ bar}$.

Ως επακόλουθο των παραπάνω συνθηκών, ιδιαίτερης προσοχής χρήζει κι η σωστή επιλογή του τύπου δεξαμενής που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς θα καθορίσει τόσο την ποσότητα του αποθηκευμένου υδρογόνου, όσο και τον διαθέσιμο χώρο εντός του πλοίου. Ωστόσο, σύμφωνα με μελέτες, για υπερατλαντικά ταξίδια της τάξης Αμερικής-Κίνας, με μικρές αλλαγές χρειάζονται στους χώρους αποθήκευσης των καυσίμων, απαιτώντας μόνο ένα 5-10% από τους χώρους αποθήκευσης των φορτίων.

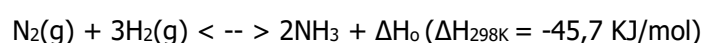
Τέλος, ενώ το γκρι υδρογόνο πωλείται σε ανταγωνιστικές τιμές του $1\text{-}2\text{ €/kg H}_2$, δεν συμβαδίζει με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που έχει θεσπίσει ο IMO. Για να αποδειχθεί μια βιώσιμη λύση το πράσινο υδρογόνο, θα πρέπει να μειωθεί η τιμή του κατά 4 με 8 φορές τουλάχιστον, ώστε να καταστεί βιώσιμη εναλλακτική για την ναυτιλιακή βιομηχανία. Έτσι, η

συγκεκριμένη δράση χρήζει άμεσης βοήθειας τόσο από τις κυβερνήσεις, δίνοντας κίνητρα για την περαιτέρω προώθηση του μπλε και πράσινου υδρογόνου, όσο και πίεσης προς τους παραγωγούς γκρι υδρογόνο, μέσω της θέσπισης φόρου για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (Emissions Trading System – ETS).

3.2.2 Αμμωνία (NH₃)

Βασικά χαρακτηριστικά Αμμωνίας

Η αμμωνία αποτελεί μια ανόργανη χημική ένωση μεταξύ ενός ατόμου Αζώτου (N) και τριών ατόμων Υδρογόνου (H), σχηματίζοντας ένα μόριο Αμμωνίας (NH₃). Η συγκεκριμένη ένωση μπορεί να περιγραφεί από την εξής αντιστρεπτή διαδικασία:

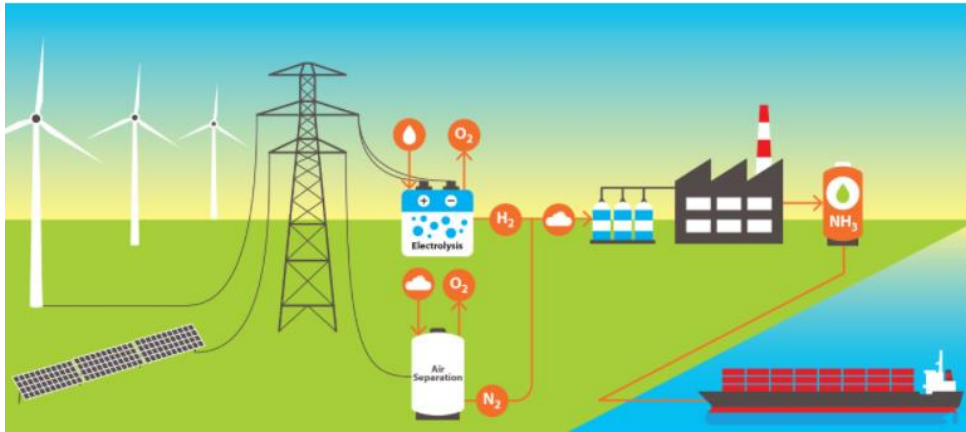


Σε κανονικές συνθήκες (θερμοκρασία 25°C, πίεση 1 atm), είναι ένα άχρωμο αέριο με χαρακτηριστική όμως αποπνικτική οσμή, η οποία βοηθάει στην αναγνώριση τυχόν διαρροής του στον χώρο.

Πίνακας 3.3: Βασικές ιδιότητες της αμμωνίας

	Χημικός Τύπος	Κανονικές Συνθήκες	Σημείο βρασμού	Κρίσιμη θερμοκρασία	Θερμογόνος Δύναμη
Αμμωνία	NH ₃	25 °C @1atm	-33,35 °C	132,3 °C	18,8 MJ/ m ³

Η συλλογή της αμμωνίας για διάφορους σκοπούς είχε ήδη αρχίσει από τα Ρωμαϊκά χρόνια, και συνεχίστηκε και στον μεσαίωνα ιδιαίτερα από τους αλχημιστές για την αλλαγή του χρώματος σε φυτικής προέλευσης βαφές. Στις μέρες μας μπορεί να βρεθεί με διάφορες μορφές στη φύση, ωστόσο λόγω της χρησιμότητας της στην βιομηχανία και γεωργία, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι παραγωγής της. Η εδώ και έναν αιώνα κυριαρχούσα διαδικασία παραγωγής αμμωνίας ονομάζεται Haber-Bosch process, προς τιμήν των εφευρετών της Fritz Haber & Carl Bosch. Πρόκειται μια αρκετά εξαιρετικά ενεργοβόρα μέθοδο, κατά την οποία εκλύονται και μεγάλες ποσότητες άνθρακα. Για να παραχθεί αμμωνία, υδρογόνο και άζωτο πρέπει να αναμειχθούν παρουσία κατάλληλου καταλύτη. Ο σχηματισμός της αμμωνίας αποτελεί μια εξώθερμη αντίδραση. Έτσι, με μείωση της θερμοκρασίας ευνοείται ο σχηματισμός του διαλύματος. Οι τυπικές συνθήκες που εφαρμόζονται στη βιομηχανία είναι πίεση στις 100-150 atm και θερμοκρασία γύρω στους 400-500 °C. Τελικά το μείγμα ψύχεται και αποσπάται η υγρή αμμωνία.

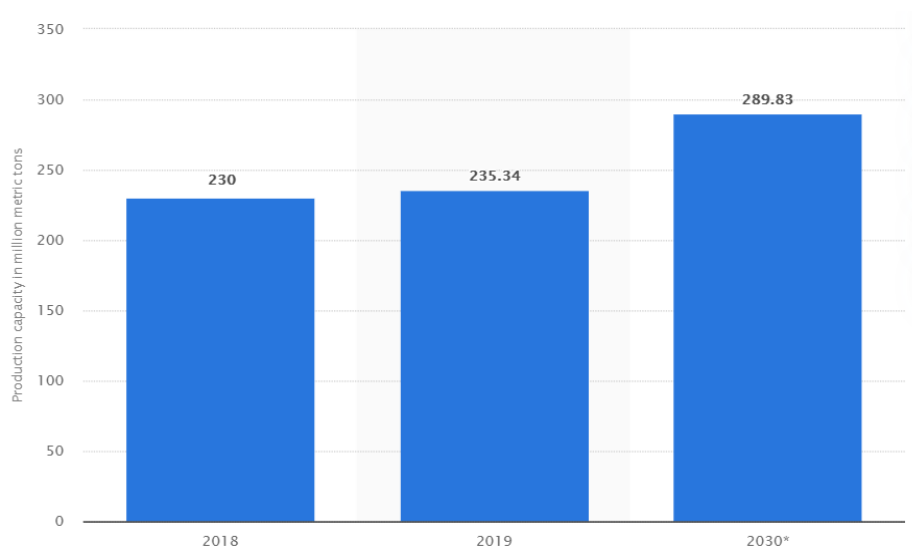


Εικόνα 3.4: Η διαδικασία παραγωγής “πράσινης” αμμωνίας (πηγή: www.spectrum.ieee.org)

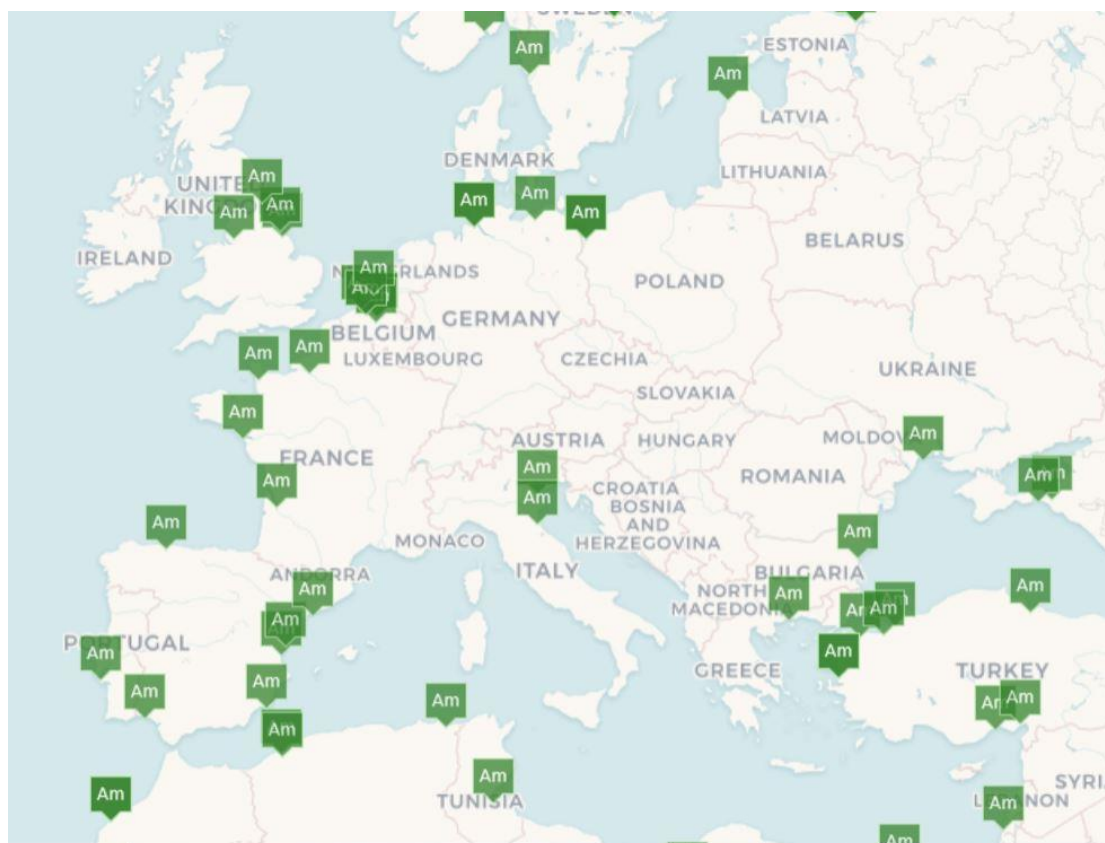
Εν έτη 2021, η παραγωγή «πράσινης αμμωνίας», δηλαδή αμμωνίας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν περιλαμβάνει την καύση ορυκτών καυσίμων σε οποιοδήποτε σημεία της αλυσίδας παραγωγής της είναι σχεδόν μηδαμινή [10]. Ετησίως παράγονται 180 εκατομμύρια τόνοι αμμωνίας, κυρίως για λιπάσματα. Αξίζει όμως να σημειωθεί, πως στο τομέα των μεταφορών, δεν υπάρχει αρκετή τεχνογνωσία για την χρήση της αμμωνίας.

Παραγωγή και Δίκτυο διανομής

Περίπου το 80% της παγκόσμιας παραγωγής αμμωνίας χρησιμοποιείται ως λίπασμα στον αγροτικό τομέα, ενώ το υπόλοιπο 20% χρησιμοποιείται κυρίως για εκρηκτικές ύλες, τον κλάδο της υγείας, τα πλαστικά και τις ζωοτροφές. Τα παραπάνω ποσοστά μεταφράζονται περίπου σε 200 εκ. τόνους για το 2020, ενώ η συνολική δυναμική του κλάδου ήταν περίπου 235 εκ. τόνους [11]. Σύμφωνα με προβλέψεις, η συνολική δυναμική για την παραγωγή αμμωνίας μπορεί να φτάσει και τους 290 εκ. τόνους το 2030 όπως μπορεί να φανεί και στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3.7: Προοπτική εξέλιξης της παραγόμενης αμμωνίας έως το 2030 (πηγή: www.statista.com)



Εικόνα 3.5: Δίκτυο διανομής αμμωνίας στην Ευρώπη (DNV-GL)

Στην Ελλάδα, η αμμωνία παράγεται κυρίως για βιομηχανική χρήση για την δημιουργία λιπασμάτων για τον αγροτικό τομέα, αλλά και εκρηκτικών υλών. Ωστόσο, σύμφωνα με το σύστημα AFI (Alternative Fuel Insight) του νορβηγικού νηογνώμονα, η Ελλάδα διαθέτει υποδομές για τον ανεφοδιασμό αμμωνίας σε ναυτιλιακό επίπεδο, όπως μπορεί να φανεί και στην παρακάτω εικόνα.

Πλεονεκτήματα της Αμμωνίας ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Οι προσπάθειες του IMO, στρέφονται στη μείωση κατά 50% των αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050, έχοντας ως μακροπρόθεσμο στόχο τη πλήρη απανθρακοποίηση της ναυτιλιακής βιομηχανίας έως το 2100. Η αμμωνία, αν χρησιμοποιηθεί ως κύριο καύσιμο με τα τωρινά δεδομένα, μπορεί να μειώσει έως και 10% τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Όμως, έχει τις προοπτικές να γίνει ένα καύσιμο μηδενικών ρύπων όταν προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (green ammonia).

Ωστόσο, δεν είναι μόνο οι μηδενικές εκπομπές άνθρακα που την προκρίνουν. Ένα βασικό πλεονέκτημα της αμμωνίας είναι πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε Μ.Ε.Κ., με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, όσο και σε κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells) [10]. Αυτό το γεγονός, θα έδινε αρκετά μεγάλη ευχέρεια κινήσεων στου κατασκευαστές μηχανών, όσο και στις ναυτιλιακές εταιρείες καθώς ήδη εμπειρία σχεδόν ενός αιώνα στην χρήση Μ.Ε.Κ. Μια απότομη

εναλλαγή σε FCs εμπεριέχει μεγάλο ρίσκο και δυνητικά θα μπορούσε να επιφέρει αρκετούς «κραδασμούς» στη βιομηχανία, με απρόβλεπτες συνέπειες.

Τέλος, η αμμωνία έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα απ' ότι το πεπιεσμένο υδρογόνο ή το υγρό υδρογόνο. Έτσι συνήθως αποθηκεύεται σε στεγανοποιημένες δεξαμενές, οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερο χώρο εντός του πλοίου σε σχέση με το LNG ή τη μεθανόλη. Όμως, λόγω της φύσης της δεν χρειάζεται κρυογονική μεταχείριση όπως το LNG ή το υδρογόνο [11].

Εμπόδια στην υιοθέτηση της Αμμωνίας ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Ο μεγαλύτερος σκεπτικισμός γύρω από την χρήση της αμμωνίας είναι οι ίδιες οι φυσικές και χημικές της ιδιότητες, καθώς αποτελεί μια εξαιρετικά τοξική και διαβρωτική ουσία, επιβλαβή τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το οικοσύστημα στο οποίο μπορεί να διαρρεύσει με ανεξέλεγκτο τρόπο. Στις πειραματικές μηχανές που αναπτύσσονται, οι κατασκευαστές στρέφονται προς την χρήση διπλών αγωγών μεταφοράς της αμμωνίας, ώστε να αποτραπεί διαρροή σε περίπτωση αστοχίας του εσωτερικού αγωγού. Επίσης, μηχανικός αερισμός θα πρέπει να είναι διαθέσιμος στους χώρους παρουσίας της αμμωνίας, ώστε να μπορεί να ανακυκλώνεται καθαρός αέρας. Ωστόσο, η βιομηχανία είναι ήδη σχετικά γνώριμη με την διαχείριση του συγκεκριμένου καυσίμου, καθώς μεταφέρεται δια θαλάσσης εδώ και δεκαετίες. Τέλος, μέσα στο 2021 πολλοί νηογνώμονες πρόκειται να δημοσιεύσουν αναλυτικές οδηγίες για την χρήση της αμμωνίας ως ναυτιλιακό καύσιμο, κάτι που θα βοηθήσει τόσο τα ναυπηγεία/ κατασκευαστές Μ.Ε.Κ., όσο και τις πλοιοκτήτριες εταιρείες στην επιλογή και σωστή χρήση της ως εναλλακτικό καύσιμο [10].

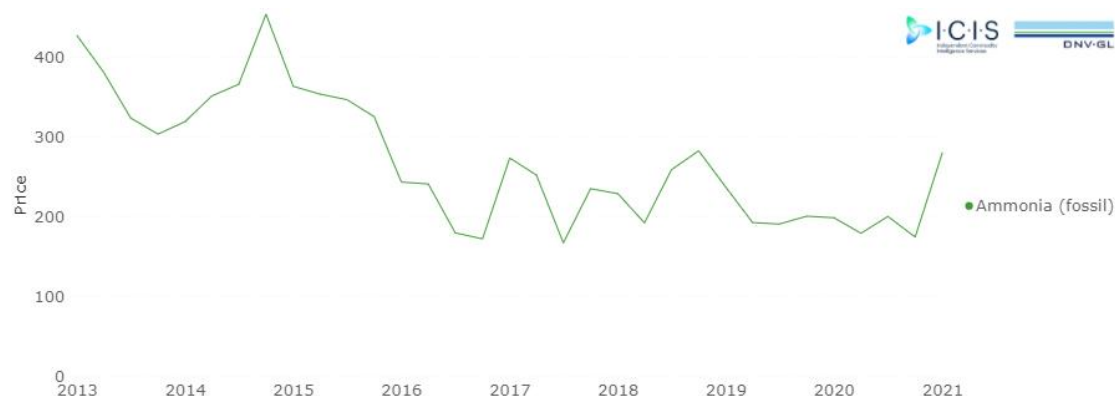
Επίσης, οι διαχειριστές των λιμένων και οι παραγωγοί αμμωνίας θα πρέπει να φτιάξουν ένα μεγάλο δίκτυο διανομής κοντά σε λιμένες, ώστε να πλοία να μπορούν να εφοδιάζονται άμεσα ανά τον κόσμο. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό το μέγεθος των υποδομών που θα απαιτηθούν σε περίπτωση υιοθέτησης της αμμωνίας, θα χρειαστεί να φτιαχτούν δίκτυα διανομής περίπου 600 εκ. τόνων υγρής αμμωνίας, καθώς διαθέτει τη μισή θερμογόνο δύναμη από ότι το πετρέλαιο [10]. Το συγκεκριμένο ποσό θα πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες της ναυτιλίας και μόνο, καθώς το ήδη υπάρχον δίκτυο διανομής εξυπηρετεί ήδη των κλάδο της γεωργίας και βιομηχανίας με 180 εκ. τόνους. Αντιλαμβάνεται κανείς λοιπόν, τόσο τα οικονομικά όσο και τα χωρικά εμπόδια που θα πρέπει να ξεπεραστούν, ώστε η αμμωνία να καταστεί μια βιώσιμη λύση.

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά δεδομένα

Άξια αναφοράς είναι και η ανάγκη παραγωγής «πράσινης» αμμωνίας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς το ζήτημα της μείωσης των ρύπων απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση σε όλη την εφοδιαστική του αλυσίδα. Για να τεθεί αυτό σε πλαίσιο, η παραγωγή αμμωνίας με την

μέθοδο Haber-Bosch είναι υπεύθυνη για την εκπομπή μισού δισεκατομμυρίου τόνων CO₂ ή αλλιώς για το 1.8% των ανθρωπογενών εκπομπών ετησίως. Η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού ή για την δέσμευση αζώτου από τον αέρα, θα πρέπει να προέρχεται από ηλιακή ή αιολική ενέργεια. Σύμφωνα με τον Αμερικανικό Νηογνώμονα ABS, μόνο το 2% της ετήσιας παραγωγής αμμωνίας προέρχεται από τη χρήση ΑΠΕ [10].

Στο κομμάτι της τιμής/ τόνο αμμωνίας, μπορεί να παρατηρηθεί μια αρκετά έντονη διακύμανση στο παρακάτω διάγραμμα, σε ποσά που μπορούν φτάσουν και από 180 €/Mt το 2017 σε 450 €/Mt το 2014, δηλαδή υποτριπλασιασμό της τιμής σε 3 χρόνια. Τους τελευταίους μήνες, παρατηρείται μια σταθερά ανοδική πορεία στην τιμή της αμμωνίας η οποία πλέον έχει φτάσει κοντά στα επίπεδα προ πανδημίας και για τον Απρίλιο του 2021 πωλείται στα 290 €/ Mt, σύμφωνα με τον Νορβηγικό νηογνώμονα DNV GL.

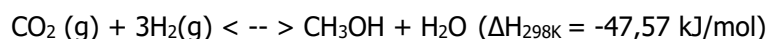
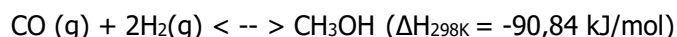


Διάγραμμα 3.8: Διαχρονική διακύμανση της τιμής της Αμμωνίας (πηγή: ICIS – DNV GL)

3.2.3 Μεθανόλη (CH₃OH)

Βασικά χαρακτηριστικά Μεθανόλης

Η μεθανόλη πρόκειται για μια χημική, που αποτελείται από μόρια άνθρακα (C), υδρογόνου (H) και οξυγόνου (O), έχει τον χημικό τύπο CH₃OH και το μοριακό της βάρος είναι 32,04 gr/mol. Η συγκεκριμένη ένωση μπορεί να περιγραφεί από την εξής αντιστρεπτή διαδικασία, σε συνθήκες θερμοκρασίας 200 - 300 °C και πίεσης 50 - 100 bar:



Πίνακας 3.4: Βασικές ιδιότητες μεθανόλης

	Χημικός Τύπος	Κανονικές Συνθήκες	Σημείο βρασμού	Κρίσιμη θερμοκρασία	Θερμογόνος Δύναμη
Μεθανόλη	CH ₃ OH	25 °C @1atm	65 °C	239,4 °C	19,5 MJ/ m ³

Μετά τη σύνθεση της, η μεθανόλη χαρακτηρίζεται ως ακάθαρτη αφού μέσα σε αυτή περιέχονται νερό και διάφορα προϊόντα, όπως ο διμεθυλαιθέρας και άλλες αλκοόλες σύμφωνα με τις αντιδράσεις. Προκειμένου να καθαριστεί για να γίνει εκμεταλλεύσιμη η μεθανόλη, θα πρέπει να περάσει από αποστακτικές στήλες, παρουσία κατάλληλου καταλύτη [12].

Είναι η πιο απλή αλκοόλη, η οποία περιέχει το μικρότερο ανθρακικό αποτύπωμα και παράλληλα την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υδρογόνο, από κάθε άλλο υγρό καύσιμο. Σε κανονικές συνθήκες αποτελεί ένα άχρωμο υγρό, με οξεία μυρωδιά και εύφλεκτες ιδιότητες. Σε ξηρό αέρα θα μπορούσε να αναφλεγεί σε ποσοότητες 6 - 36,5%.

Παραγωγή και Δίκτυο διανομής

Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος διαθέσιμων πηγών από τις οποίες μπορεί να παραχθεί η μεθανόλη. Αυτές μπορεί να είναι το φυσικό αέριο και ο άνθρακας ή από ανανεώσιμες πηγές όπως το μαύρο διάλυμα (black liquor) από την απολιγνιτοποίηση του ξύλου και υπολείμματα πολτού από την παραγωγή χαρτιού. Τα τελευταία χρόνια έχει προωθηθεί και η παραγωγή της από το δεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα, από εργοστάσια που διαθέτουν κατάλληλα CCS και μεταπωλούν αυτές τις ποσότητες.

Όταν επιλέγεται το φυσικό αέριο ως κύρια πηγή, ένας συνδυασμός αναμόρφωσης του ατμού (steam reforming) και μερικής οξειδωσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεθανόλης, με μέση απόδοση περίπου 70%. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιείται ο άνθρακας ως κύρια πηγή λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση του, που όμως εκλύει διπλάσιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με την πρώτη μέθοδο.

Η μεθανόλη αποτελεί ένα βασικό συστατικό για εκατοντάδες βασικά εμπορεύματα, όπως οικοδομικά υλικά, πλαστικές συσκευασίες, μογιάς κ.α. Επίσης, αποτελεί και πολύ καλό φορέα υδρογόνου λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της. Έτσι, χρησιμοποιείται αρκετά συχνά ως καύσιμο σε κυψέλες καυσίμου (FCs) σε επίγειες εγκαταστάσεις. Αυτό οδηγεί στο γεγονός πως ήδη υπάρχει ένα αρκετά εκτεταμένο δίκτυο παραγωγής και διανομής της μεθανόλης. Πιο συγκεκριμένα, για το 2018 η ζήτηση σε μεθανόλη άγγιξε τους 78 εκ. τόνους, ενώ η μέγιστη διαθέσιμη παραγωγή θα μπορούσε να αγγίξει και τους 120 εκ. τόνους, υπερδιπλάσια απ' ότι ήταν το 2006. Ωστόσο, λόγω της χαμηλής θερμογόνου δύναμης, η διαθέσιμη ποσότητα μεθανόλης ισοδυναμεί με 55 εκ. τόνους πετρελαίου [13].

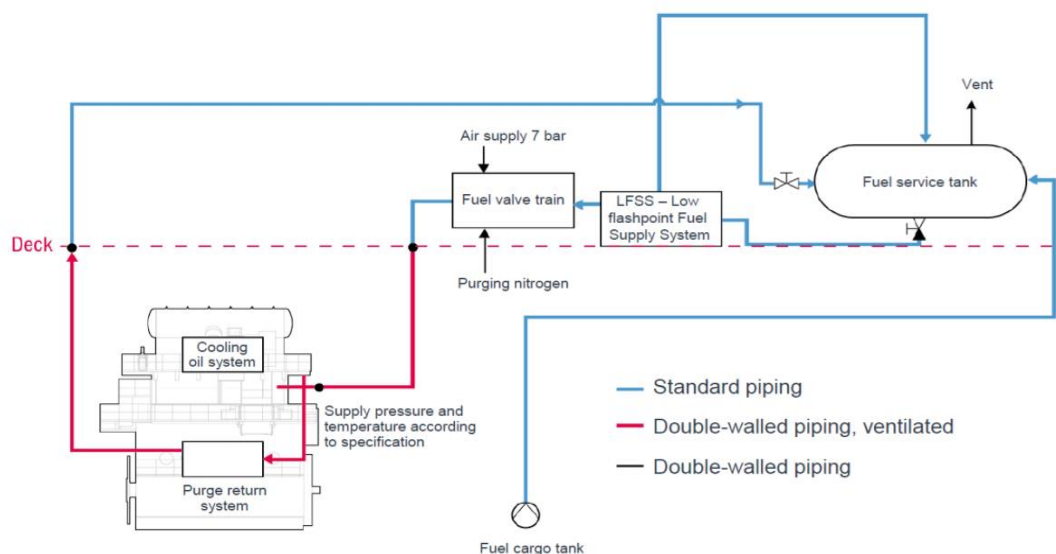
Το Methanol Institute διεξήγαγε μια μελέτη σχετικά με την διαθεσιμότητα της μεθανόλης, κοντά σε λιμένες που δυνητικά θα μπορούσαν να ανεφοδιάσουν τη ζήτηση των πλοίων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε έρευνα σε 151 λιμάνια, από τα οποία τα 97 είχαν μεθανόλη είτε άμεσα είτε έμμεσα διαθέσιμη και μέσα σε αυτά τα λιμάνια συγκαταλέγονται τα 88 από τα 100 μεγαλύτερα του κόσμου [12]. Ωστόσο, ακόμη στην Ελλάδα δεν υπάρχουν οι υποδομές για ανεφοδιασμό μεθανόλης σε λιμένες.

Πλεονεκτήματα της Μεθανόλης ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Η καύση της μεθανόλης σε Μ.Ε.Κ., μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά περίπου 10% σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Ωστόσο, η ακριβής μείωση εξαρτάται εάν συγκρίνεται με το HFO ή με πετρέλαιο που έχει υποστεί περαιτέρω επεξεργασία. Επίσης, εάν η μεθανόλη προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (βιομάζα) και όχι από το φυσικό αέριο, μειώνονται σημαντικά και οι εκπομπές SOx όπως και αιωρούμενων σωματιδίων. Στο κομμάτι του οξειδίων του αζώτου, η μείωση εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα.

Η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ήδη σε κινητήρες διπλού καυσίμου (Dual Fuel Engines), όπως αυτοί παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, καθώς δεν χρήζει πολλών μετατροπών η εγκατάσταση στον κινητήρα. Οι πιο σημαντικές διαφορές σε σχέση με μια συμβατική Μ.Ε.Κ. είναι:

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



Διάγραμμα 3.9: Σχηματικό διάγραμμα έγχυσης μεθανόλης σε κινητήρα διπλού καυσίμου
(πηγή: Marininvest – Powered by methanol)

Η χρήση της μεθανόλης σε κινητήρες διπλού καυσίμου, θα μπορούσε να αποτελέσει μια αξιόπιστη εναλλακτική καθώς θα επέτρεπε στους πλοιοκτήτες να χρησιμοποιούν 2 ή και περισσότερα καύσιμα, ανάλογα με την διαθεσιμότητά τους. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθανόλης συγκριτικά με το LNG, είναι η δυνατότητα της πρώτης να χρησιμοποιηθεί σε ήδη υπάρχουσες μηχανές με τις κατάλληλες μετατροπές (retrofitting), χωρίς να χρειαστεί να φτιαχτούν από την αρχή. Επίσης, η μεθανόλη είναι πολύ πιο εύκολα διαχειρίσιμη απ' ό,τι το LNG ή οποιοδήποτε άλλο αέριο σε υγρή μορφή. Παράλληλα, είναι πολύ πιο εύκολο να μετατραπούν οι αποθήκες πετρελαίου σε αποθήκες μεθανόλης εντός του πλοίου, απ' ό,τι θα ήταν για το LNG [14].

Εμπόδια στην υιοθέτηση της Μεθανόλης ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

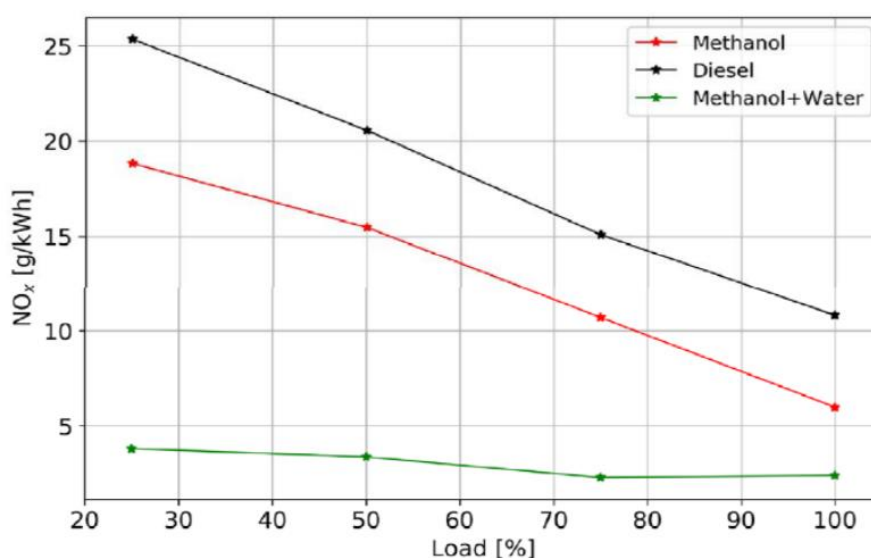
Η μεθανόλη έχοντας χαμηλότερη ενεργειακή περιεκτικότητα από το πετρέλαιο, δυσχεραίνει την κατασκευή αποθηκευτικών χώρων μέσα στο πλοίο. Αυτό συμβαίνει, καθώς χρειάζεται να μειωθεί ο διαθέσιμος χώρος από τα φορτία, ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί παραπάνω ποσότητα μεθανόλης. Η συγκεκριμένη μείωση μεταφράζεται σε έως και 2.5 φορές περισσότερο αποθηκευτικό χώρο για τη μεθανόλη, απ' ό,τι θα χρειαζόταν για την αποθήκευση HFO/MGO [13]. Έτσι, η επιλογή του συγκεκριμένου καυσίμου ενδείκνυται περισσότερο για πλοία που δραστηριοποιούνται σε μικρές αποστάσεις και έχουν συχνή πρόσβαση σε σταθμούς ανεφοδιασμού.

Σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας στην υιοθέτηση της μεθανόλης είναι και η τοξικότητά της, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα χρήσης της σε επιβατηγά πλοία. Παρόλο που είναι τοξική, συναντάται σε μικρές ποσότητες σε τρόφιμα όπως τα φρούτα, και μπορεί να μεταβολιστεί από το γαστρεντερικό σύστημα. Η έκθεση του δέρματος ή των ματιών και η εισπνοή ατμών μεθανόλης δεν μπορεί να προκαλέσει κάποιο σοβαρό ζήτημα αν είναι για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Μεγαλύτερο κίνδυνο αποτελεί η κατάποση, όπου εκεί αυξάνεται η συγκέντρωση της στο γαστρεντερικό σύστημα και δεν μπορεί να μεταβολιστεί. Φονική δόση για ένα φυσιολογικό άτομο κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 60-240 ml, ενώ μικρότερη δόση μπορεί να επιφέρει τύφλωση. Αποτέλεσμα αυτής της αύξησης είναι ζαλάδα, ναυτία και θάνατος. Η δηλητηρίαση από μεθανόλη δεν ανιχνεύεται νωρίτερα από 10 με 48 ώρες και υπάρχει αποτελεσματική μέθοδος θεραπείας [12].

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά δεδομένα

Οι "καθαρές" ιδιότητες καύσης της μεθανόλης, μπορούν να προσφέρουν μια σημαντική μείωση στις εκπομπές SOx & NOx, καθώς τα μόρια της δεν περιέχουν θείο και δεσμούς άνθρακα με άνθρακα, ώστε να δημιουργούν αιωρούμενα σωματίδια. Επίσης, μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη στον κύλινδρο σε χαμηλότερη θερμοκρασία λόγω των ιδιοτήτων της μεθανόλης, και άρα να μειωθεί περαιτέρω η δημιουργία οξειδίων του αζώτου [14].

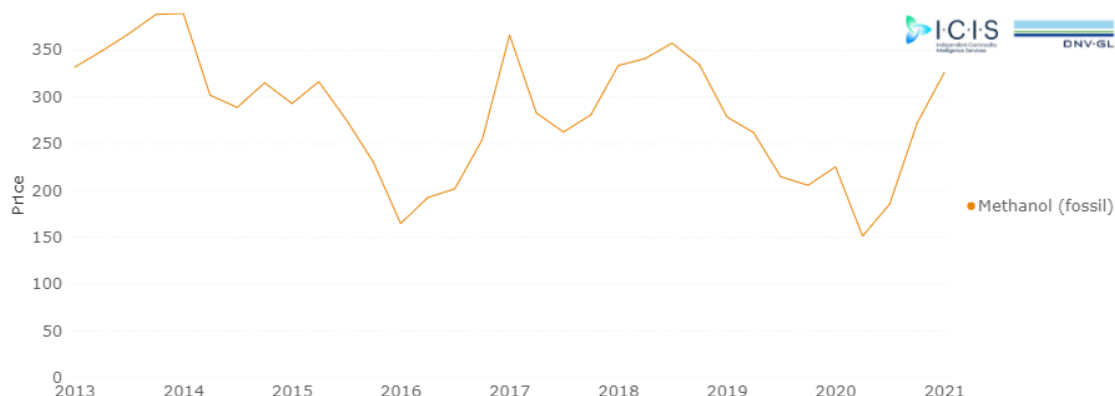
Στους δίχρονους κινητήρες με κύκλο Otto, η κατασκευάστρια M.E.K. MAN Energy Solutions έχει καταφέρει να μειώσει κατά 30% τις εκπομπές NO_x, σε σχέση με αντίστοιχες εκπομπές HFO και για παρόμοια φορτία μηχανής. Στους τετράχρονους κινητήρες με κύκλο Diesel η κατασκευάστρια M.E.K. Wärtsilä, έχει καταφέρει μια αξιοσημείωτη μείωση μπορεί να φτάσει το 60%, σε σύγκριση με το HFO. Ωστόσο, καμιά από τις δύο τεχνολογίες δεν είναι εντός των ορίων του Tier III, που έχει θεσπίσει ο IMO για τις εκπομπές NO_x και είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων διαχείρισης καυσαερίων. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ανάμειξης της μεθανόλης με νερό πριν την καύση στον κύλινδρο, καθώς έτσι μειώνεται η θερμοκρασία της φλόγας λόγω ατμοποίησης του νερού. Έτσι, μπορεί να επιτευχθούν μικρότερες εκπομπές NO_x και να καλυφθούν τα όρια του IMO.



Διάγραμμα 3.10: Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών NO_x για μεθανόλη, ντίζελ και συνδυασμού μεθανόλης και νερού, με βάση το φορτίο του κινητήρα (πηγή: Marininvest – Powered by methanol)

Από οικονομικής άποψης, το επιχειρησιακό κόστος εγκατάστασης συστήματος καύσης μεθανόλης είναι σχεδόν το 1/3 συγκριτικά με το LNG, καθώς δεν χρειάζεται να εγκατασταθούν συστήματα κρυογονικής ψύξης. Το κόστος εγκατάστασης για καύση μεθανόλης, είναι συγκρίσιμο με το κόστος εγκατάστασης πλυντηρίων καυσίμου. Έτσι, η συγκεκριμένη εναλλακτική μπορεί να κριθεί ως συμφέρουσα για την μετάβαση από πετρελαιοειδή καύσιμα.

Στο κομμάτι της τιμής/ τόνο μεθανόλης, μπορεί να παρατηρηθεί μια αρκετά έντονη διακύμανση στο παρακάτω διάγραμμα, σε ποσά που μπορούν φτάσουν και από 400 €/Mt το 2014 σε 150 €/Mt το 2020. Τους τελευταίους μήνες, παρατηρείται μια σταθερά ανοδική πορεία στην τιμή της μεθανόλης η οποία πλέον έχει φτάσει κοντά στα επίπεδα προ πανδημίας και για τον Απρίλιο του 2021 πωλείται στα 330 €/Mt, σύμφωνα με τον Νορβηγικό νηογνώμονα DNV GL.



Διάγραμμα 3.11: Διαχρονική διακύμανση της τιμής της Μεθανόλης (πηγή: ICIS – DNV GL)

3.2.4 Βιοκαύσιμα (Biofuels)

Βασικά χαρακτηριστικά Βιοκαυσίμων

Τα βιοκαύσιμα είναι ένας περιγραφικός όρος για καύσιμα που προέρχονται κυρίως βιομάζα ή υπολείμματα βιομάζας, τα οποία μετατρέπονται σε υγρά ή αέρια καύσιμα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παραγωγής τόσο συμβατικών όσο και σύνθετων βιοκαυσίμων.

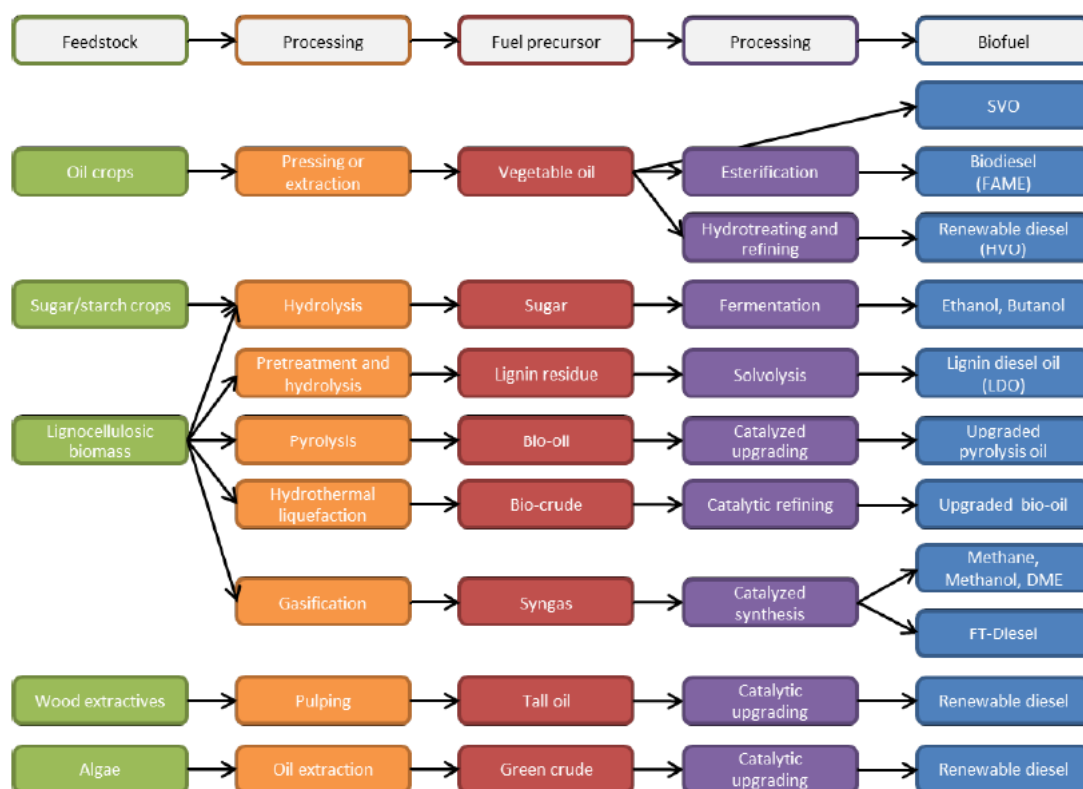
Η παραγωγή των βιοκαυσίμων μπορεί να χαρακτηριστεί από μεγάλη πολυπλοκότητα, εύρος διαθέσιμων καυσίμων, αλλά και τρόπων με τα οποία μπορούν να παραχθούν. Όπως μπορεί να φανεί και στο παρακάτω διάγραμμα, υπάρχουν πέντε βασικές πρώτες ύλης για την παραγωγή βιοκαυσίμων οι οποίες είναι οι ελαιούχες καλλιέργειες, οι καλλιέργειες ζάχαρης, η λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα, τα υπολείμματα ξυλείας και η άλγη. Αυτές οι πρώτες ύλες υπόκεινται σε διάφορες κατεργασίες και τελικά μπορούν έντεκα διαφορετικά βιοκαύσιμα. Γίνεται αντιληπτό, πως στα πλαίσια της διπλωματικής δεν μπορούν να αναλυθούν και τα έντεκα, τόσο για πρακτικούς λόγους έκτασης και σκοπού της εργασίας, όσο και γιατί δεν είναι όλα κατάλληλα για τον ναυτιλιακό τομέα.

Τα πιο υποσχόμενα ναυτιλιακά βιοκαύσιμα είναι:

- Το καθαρό έλαιο λαχανικών (Straight Vegetable Oil – SVO)
- Οι μεθυλαιθέρες λιπαρού οξέος (Fatty Acid Methyl Ether – FAME) ή αλλιώς βιοντίζελ (Biodisel)
- Το υγροποιημένο βιοαέριο (Liquid BioGas – LBG)

Το βιοντίζελ, συγκαταλέγεται στη πιο πολλά υποσχόμενη εναλλακτική για την αντικατάσταση του MGO, το υγροποιημένο βιοαέριο για αντικατάσταση του LNG, και το καθαρό έλαιο λαχανικών και οι μεθυλαιθέρες λιπαρού οξέος για αντικατάσταση του HFO.

Το βιοαέριο ειδικά, στο οποίο σε μερικές περιπτώσεις προσδίδεται ακόμη και αρνητικό αποτύπωμα άνθρακα, μπορεί είτε σε μείγμα με LNG είτε μόνο του ως καύσιμο να οδηγήσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Ερωτήματα, ωστόσο, παραμένουν για τη διαθεσιμότητα και την τιμή του. Το πώς θα αναπτυχθεί αυτός ο κλάδος και η σχετική παροχή κινητήρων θα κρίνουν πολλά, αλλά εξελίξεις όπως η ευρωπαϊκή στρατηγική για το μεθάνιο που εισήγαγε πρόσφατα η Ε.Ε. κινούνται προς τη σωστή κατεύθυνση.



Διάγραμμα 3.12: Στάδια παραγωγής διαφόρων βιοκαυσίμων (πηγή: [2])

Καθαρό έλαιο λαχανικών (Straight Vegetable Oil – SVO)

Το καθαρό έλαιο λαχανικών (Straight Vegetable Oil – SVO), γνωστό και ως καθαρό έλαιο καλλιεργειών (Pure Plant Oil – PPO), είναι έλαιο που εξάγεται από καλλιέργειες και προορίζεται αποκλειστικά για την χρήση του ως καύσιμο. Αυτά τα καύσιμα δεν υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία. Αντ’ αυτά πηγαίνουν κατευθείαν για καύση στις μηχανές diesel. Μελέτες έχουν δείξει πως θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν την χρήση του HFO, κυρίως λόγω του μεγαλύτερου ιξώδους και της μεγαλύτερης θερμοκρασίας βρασμού που παρουσιάζουν. Ωστόσο, αυτό το γεγονός θα μπορούσε να μειώσει δραστικά τη ζωή του κινητήρα και να προκαλέσει πρόωρες φθορές στα συστήματα λίπανσης. Μερικές εναλλακτικές που έχουν προταθεί είναι να προθερμαίνεται το SVO -όπως το HFO- πριν την καύση του, ώστε να μειωθεί το κινηματικό ιξώδες του. Επίσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μείγμα καυσίμων, μαζί με συμβατικά καύσιμα [2].

Βιοντίζελ (Biodisel - FAME)

Το βιοντίζελ παράγεται από την διαδικασία της μετεστεροποίησης, κατά την οποία διάφορα έλαια (τριγλυκερίδια) μετατρέπονται σε μεθυλαιθέρες. Συχνά το βιοντίζελ, ονομάζεται και μεθυλαιθέρας λιπαρού οξέος ή αλλιώς FAME, το οποίο προέρχεται από έλαιο φρούτων ή ζωικό λίπος μέσω της διαδικασίας της μετεστεροποίησης. Το βιοντίζελ προκρίνεται ως αντικαταστάτης του MDO/ MGO, στις μεσόστροφες ντιζελομηχανές, τόσο με τη μορφή μείγματος με κάποιο άλλο καύσιμο, όσο και ως καύσιμο προς άμεση χρήση (drop-in fuel).

Το FAME, είναι καταλληλότερο από το SVO για τους κινητήρες diesel, λόγω του χαμηλότερου ιξώδους και θερμοκρασίας βρασμού του, και άρα οδηγεί σε καλύτερη απόδοση του κινητήρα και βελτίωση της διάρκειας ζωής του. Επίσης, βοηθάει στη λίπανση του κινητήρα όπως και στη μείωση της ποσότητας των καυσαερίων. Το κύριο μειονέκτημα του είναι η χαμηλή θερμογόνος δύναμη που έχει σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας οξυγόνου που διαθέτει. Επιπρόσθετα, μπορεί να αρχίσει να ατμοποιείται στους 32 °C και άρα να οδηγήσει σε δυσλειτουργία του συστήματος έγχυσης του καυσίμου. Αυτό σε συνδυασμό με τις προσμίξεις νερού που μπορεί να περιέχονται, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του ιξώδους του καυσίμου, καθώς μπορεί να δημιουργηθούν κρύσταλλοι από την πτώση της θερμοκρασίας των μορίων [2].

Παραγωγή και Δίκτυο διανομής

Η συνολική εφοδιαστική αλυσίδα και ο ρυθμός παραγωγής βιοντίζελ είναι αρκετά μικρότερη από αυτή του συμβατικού ντίζελ και σίγουρα δεν μπορεί να αντικαταστήσει τη δεύτερη ακόμη και σε μείγματα. Το βιοντίζελ, θεωρητικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για κινητήρες ντίζελ, βρίσκοντας έτσι πεδίο εφαρμογής τόσο στις μεταφορές, τη βιομηχανία και τα αεροπλάνα. Κατά συνέπεια, η κάλυψη μιας τόσο μεγάλης ζήτησης από ένα τόσο ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, δεν θα μπορούσε να δικαιολογήσει οικονομικά την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων βιοντίζελ για χρήση ως πολύ χαμηλής ποιότητας ναυτικό καύσιμο.

Σύμφωνα με τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV GL, το 2020 παρήχθησαν 32 εκ. τόνοι βιοντίζελ και 170 εκ. τόνοι SVO. Τα ποσά αυτά είναι αρκετά μακριά από το να κριθούν ικανά να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Ιδίως εάν συνυπολογιστεί πως το βιοντίζελ χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη θερμογόνος δύναμη από το συμβατικό πετρέλαιο, στα 35 MJ/kg, και άρα θα χρειαστούν μεγαλύτερες ισοδύναμες ποσότητες καυσίμου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός πλοίου [15].

Πλεονεκτήματα των Βιοκαυσίμων ως μελλοντικά ναυτιλιακά καύσιμα

Το βασικό πλεονέκτημα των βιοκαυσίμων είναι πως πρόκειται για μια ανανεώσιμη πηγή η οποία περιέχει λίγα ή και καθόλου οξείδια του θείου. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι

τα ναυτιλιακά καύσιμα έως τώρα δεν χρειάζεται να είναι υψηλής ποιότητας και άρα να χρήζουν διπλής και τριπλής απόσταξης, όπως για παράδειγμα τα αεροπορικά καύσιμα, καθιστούν την παραγωγή βιοκαυσίμων εξίσου ανταγωνιστική καθώς δεν θα χρειάζεται δεύτερη επεξεργασία. Έτσι, η ευελιξία που προσφέρουν οι υπάρχοντες Μ.Ε.Κ., και το δίκτυο διανομής και ανεφοδιασμού με συμβατικό πετρέλαιο, αφήνει μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης κατάλληλων ναυτικών βιοκαυσίμων τα οποία θα είναι έτοιμα προς χρήση (drop-in fuels) [2].

Στο κομμάτι της ασφάλειας, τα βιοκαύσιμα επίσης υπερτερούν καθώς δεν είναι τοξικά αφού προέρχονται από οργανικές πρώτες ύλες και σε περίπτωση ατυχήματος δεν θα επιβαρύνουν το θαλάσσιο περιβάλλον αφού βιοδιασπώνται [15]. Παράλληλα το βιοντίζελ αποτελεί και φυσικό λιπαντικό και σύμφωνα με μελέτες, η μίξη του με συμβατικό πετρέλαιο αυξάνει τη λίπανση στις αντλίες τροφοδοσίας και το εσωτερικό του κινητήρα, αντιμετωπίζοντας έτσι ένα βασικό πρόβλημα που προήλθε από τη χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως τα βιοκαύσιμα δεν εξαρτώνται καθόλου από φυσικούς ορυκτούς πόρους (αργό πετρέλαιο και μεθάνιο), όπως οι υπόλοιπες εναλλακτικές [2].

Εμπόδια στην υιοθέτηση των Βιοκαυσίμων ως μελλοντικά ναυτιλιακά καύσιμα

Η διαδικασία κατασκευής μιας εξ ολοκλήρου νέας τεχνολογίας Μ.Ε.Κ., για ένα νέο καύσιμο είναι κάθε άλλο παρά δύσκολη για τους κατασκευαστές ναυτικών Μ.Ε.Κ. και παράλληλα οι πλοιοκτήτες δεν θα μεταβούν σε ένα νέο καύσιμο εάν δεν είναι εγγυημένη η διάρκεια ζωής του πλοίου. Γι' αυτό τον λόγο γίνονται μεγάλες προσπάθειες για να δημιουργηθούν καύσιμα έτοιμα προς χρήση (drop-in fuels) που θα έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα ήδη υπάρχοντα, όπως μάζα άνθρακα και υδρογόνου. Το δυσκολότερο κομμάτι στη δημιουργία έτοιμων προς χρήση βιοκαυσίμων, είναι η μεγάλη περιεκτικότητα οξυγόνου στο μείγμα η οποία δεν ευνοεί την άμεση επίτευξη μεγάλου λόγου C/H κρίνοντας απαραίτητη την περαιτέρω αποξυγοποίηση του καυσίμου.

Η τεχνολογία και οι ακριβείς οδηγίες για τις ποσότητες στο μείγμα των καυσίμων που θα αναμιχθούν με τα βιοκαύσιμα είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Ακόμη, δεν έχουν δοκιμαστεί διάφοροι συνδυασμοί συμβατικών καυσίμων και βιοκαυσίμων, καθώς η ολική μετάβαση σε βιοκαύσιμα είναι -ακόμη τουλάχιστον- ανέφικτη λόγω των περιορισμένων ποσοτήτων παραγωγή. Έτσι, θα πρέπει να υπάρξει μια προληπτική προσέγγιση στη χρήση αυτών των καυσίμων. Θα πρέπει να αποτυπωθούν περαιτέρω οι ιδιότητες του βιοντίζελ/ FAME, οι επιπτώσεις τους στους κινητήρες και τα υποσυστήματα του πλοίου, να καταγραφούν τυχόν δυσλειτουργίες και να αναζητηθούν τρόποι αντιμετώπισης αυτών, όπως έγινε και με την μετάβαση σε καύσιμα πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο το 2020.

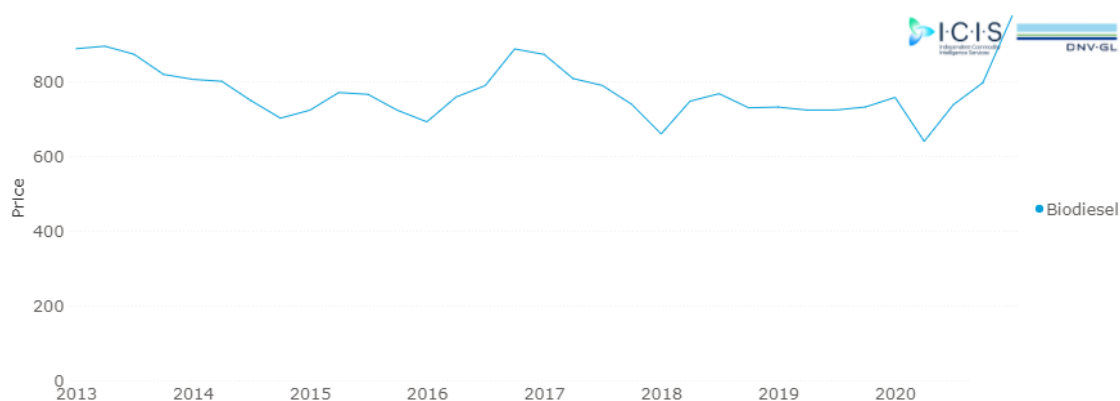
Τέλος, λόγω της ίδιας τους της φύσης στα βιοκαύσιμα μπορούν να αναπτυχθούν μικρόβια, βακτήρια και μούχλα κυρίως λόγω του νερού που συγκεντρώνεται στο βιοντίζελ. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει λάσπη η οποία με τη σειρά της θα δυσχεράνει τις αντλίες εφοδιασμού

του καυσίμου στον κινητήρα, θα ανεβάσει τη δυσκολία προφιλτραρίσματος και καθαρισμού του καυσίμου και τέλος θα αυξήσει το κόστος συντήρησης των προαναφερθέντων συστημάτων [16].

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά δεδομένα

Η μείωση των ρύπων από την πιθανή χρήση διαφόρων βιοκαυσίμων, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τρόπος παραγωγής, η “γενιά” στην οποία ανήκει το καύσιμο, ο τύπος του κινητήρα αλλά και όλη η εφοδιαστική αλυσίδα. Αναφορικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, είναι εφικτή μια μείωση της τάξης του 80-90% ανάλογα με το εκάστοτε βιοκαύσιμο και τον κύκλο ζωής του. Το μεγαλύτερο εύρος μείωσης των εκπομπών πάντως παρατηρείται στα βιοκαύσιμα νέας γενιάς (advanced biofuels).

Μεγάλη μείωση παρατηρείται και στο τομέα των εκπομπών οξειδίων του θείου, σε ποσοστά που μπορούν να αγγίξουν του 90-97%, καθώς τα βιοκαύσιμα περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες θείου. Στο κομμάτι των εκπομπών NOx, υπάρχει η πιθανότητα να παρατηρηθεί ακόμα και αύξηση της τάξης του 15%, λόγω της φύσης των μορίων του FAME. Το ποσό της αύξησης, εξαρτάται από τον κινητήρα, τις αναλογίες του μείγματος εντός του κυλίνδρου αλλά και την προέλευση του καυσίμου. Ωστόσο, υπό συζήτηση βρίσκεται η συνολική βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων για τον τομέα της ναυτιλίας, καθώς μόνο λίγες επιλογές είναι κατάλληλες για τον συγκεκριμένο κλάδο και επιφέρουν σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές των αέριων ρύπων.



Διάγραμμα 3.13: Διαχρονική διακύμανση της τιμής του βιοντίζελ/ FAME (πηγή: ICIS – DNV GL)

Η αγορά των βιοκαυσίμων συγκαταλέγεται στις πιο ακριβές εξ αυτών των εναλλακτικών καυσίμων. Όπως μπορεί να φανεί και από το παραπάνω διάγραμμα, η τιμή €/τόνο βιοντίζελ μπορεί να αγγίξει και τα 900 €/Mt για το 2021, γνωρίζοντας την μεγαλύτερη έως τώρα αύξηση. Ωστόσο, οι τιμές του βιοντίζελ είναι σταθερά πάνω από τα 650 €/Mt, η οποία ήταν και η χαμηλότερη τιμή το 2018. Αυτό το γεγονός, καθιστά απαγορευτική προς το παρόν την

συζήτηση για μια βιώσιμη οικονομικά εναλλακτική επιλογή, ιδίως από τη στιγμή που το ναυτικό πετρέλαιο κυμαίνεται στα 300-400 €/Mt.

3.2.5 Υγραέριο (Liquified Petroleum Gas – LPG)

Βασικά χαρακτηριστικά Υγραερίου - LPG

Το Υγραέριο ή αλλιώς LPG είναι εξ' ορισμού οποιοδήποτε μείγμα το οποίο περιέχει τους εξής υδρογονάνθρακες: προπάνιο ή/και βουτάνιο, καθώς και μερικά από τα ισότοπα τους σε οποιαδήποτε μορφή. Πρόκειται για ελαφρά κλάσματα αργού πετρελαίου, τα οποία προέρχονται από την διύλιση του και βρίσκονται σε αέρια μορφή υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας. Επίσης, LPG θεωρείται και το κλάσμα που αφαιρείται από το φυσικό αέριο (LNG) πριν το τελευταίο οδεύσει προς κατανάλωση. Μερικές από τις ιδιότητες του υγραερίου μπορούν να φανούν στον παρακάτω πίνακα [17][18][19]:

Πίνακας 3.5: Βασικές ιδιότητες προπανίου-βουτανίου

	Χημικός Τύπος	Κανονικές Συνθήκες	Σημείο βρασμού	Κρίσιμη θερμοκρασία	Θερμογόνος Δύναμη
Προπάνιο	C ₃ H ₈	25 °C @1atm	-42,9 °C	96,67 °C	46,36 MJ/ m ³
Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀	25 °C @1atm	-0,5 °C	152 °C	45,73 MJ/ m ³

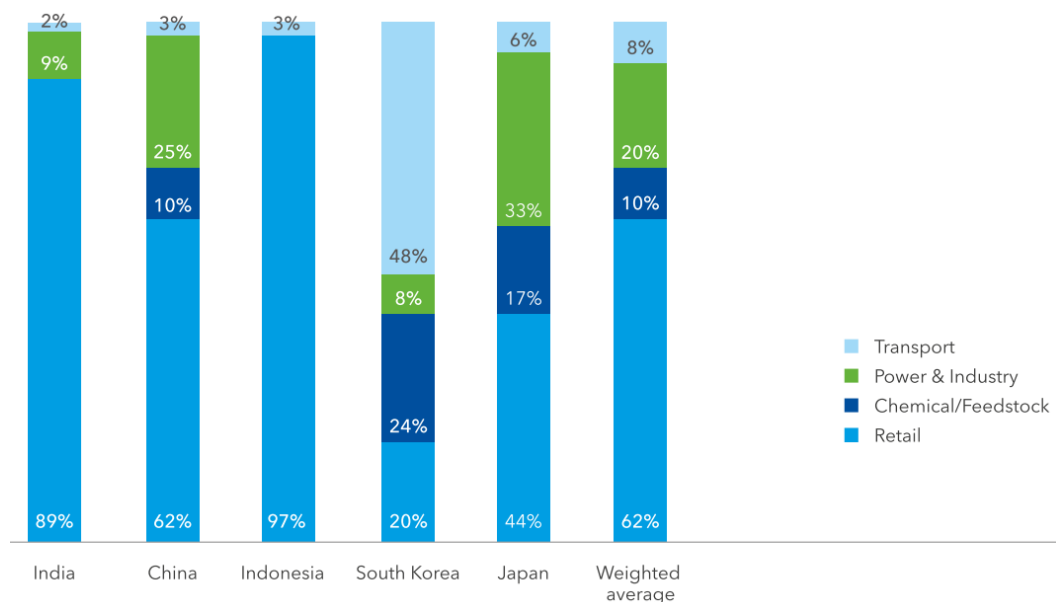
Όπως και όλοι οι υδρογονάνθρακες, έτσι και το LPG σε οποιαδήποτε αναλογία αποτελεί ένα αρκετά εύφλεκτο προϊόν, του οποίου η αποθήκευση και χρήση χρήζει αρκετής προσοχής αλλά και μέτρων ασφαλείας. Πιο συγκεκριμένα, για την αποθήκευση του καυσίμου συνήθως χρησιμοποιείται σε μικρή ποσότητα και κάποια έντονη σε οσμή ουσία, ώστε να γίνει άμεσα αντιληπτή η διαρροή του. Επιπρόσθετα, οι δεξαμενές αποθήκευσης ενδείκνυται να είναι κατασκευασμένες από ατσάλι.

Παραγωγή και Δίκτυο διανομής

Η χρήση των υγροποιημένων υδρογονανθράκων είναι αρκετά διαδομένη εδώ και δεκαετίες. Πολλά νοικοκυριά ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούν φιάλες αερίου, το λεγόμενο «γκάζι» για μαγειρική και άλλες οικιακές χρήσεις. Έχει βρεθεί πως η παραγωγή προπανίου – βουτανίου προέρχεται κατ' αναλογία 40-60% από διύλιση πετρελαίου και ψύξη/ απόσταξη υγρού φυσικού αερίου (Natural Gas Liquids – NGLs) αντίστοιχα. Έτσι, η παραγωγή υγραερίου είναι διαθέσιμη σε οικονομία κλίμακας και καθιστά την αγορά του αρκετά ανταγωνιστική.

Οι κύριοι τρόποι παραγωγής LPG είναι ως παραπροϊόν της διαδικασίας παραγωγής φυσικού αερίου ή πετρελαίου και ως παραπροϊόν της διύλισης του πετρελαίου. Στην πρώτη διαδικασία, οι υγρές ποσότητες του φυσικού αερίου (Natural Gas Liquids – NGLs), που προέρχονται από την επεξεργασία του ορυκτού φυσικού αερίου, διαχωρίζονται από το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, το άζωτο και τα θειώδη αέρια. Έπειτα, το προπάνιο/ βουτάνιο διαχωρίζονται και από

τα υπόλοιπα αέρια (αιθένιο και φυσική βενζίνη). Αυτή η διαδικασία παράγει περίπου το 60% της συνολικής παραγωγής. Η δεύτερη διαδικασία, υπεύθυνη για το υπόλοιπο 40% της παραγωγής είναι ως υποπροϊόν της διύλισης του πετρελαίου, το οποίο είναι περίπου το 1% με 4% της αρχικής ποσότητας του αργού πετρελαίου.



Διάγραμμα 3.14: Διακυμάνσεις στην κατανάλωση LPG ανά τομέα σε διάφορες χώρες και αθροιστικά (πηγή: [20])



Εικόνα 3.6: Δίκτυο διανομής LPG στην Ευρώπη (πηγή: [20])

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Ένωση για το LPG, το 2020 η ζήτηση σε υγραέριο ανήλθε στους 330 εκ. τόνους παρουσιάζοντας σταθερή αύξηση τα τελευταία χρόνια. Η συγκεκριμένη ποσότητα, αντιστοιχεί σε περίπου 370 εκ. τόνους πετρελαίου με βάση το ισοδύναμο ενεργειακό περιεχόμενο των δυο καυσίμων. Ωστόσο, ο τομέας των μεταφορών δεν είναι ακόμη στους κυριάρχους όσον αναφορά την ζήτηση του LPG. Στην πραγματικότητα είναι ο τελευταίος με μερίδιο 8%, έχοντας μπροστά του τον τομέα των χημικών ως πρώτη ύλη με 10%, την ενέργεια με 20% και κυρίαρχο το λιανικό εμπόριο με ποσοστό 62%. Τέλος, στην Ευρώπη υπάρχει ήδη ένα εκτεταμένο δίκτυο διανομής το οποίο θα μπορούσε να υποστηρίξει τον ανεφοδιασμό του συγκεκριμένου καυσίμου. Στην Ελλάδα, υπάρχει ήδη μια εγκατάσταση που θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα.

Πλεονεκτήματα του LPG ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Το υγραέριο μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί με κατάλληλα οχήματα σε κανονική θερμοκρασία (~25 °C) και πίεση 18 bar ή σε συνδυασμό πεπιεσμένης/ κρυογονικής κατάστασης σε θερμοκρασία -10/-20 °C και πίεση 8 bar. Αυτό καθιστά το δίκτυο διανομής του υγραερίου ελκυστικότερο σε σχέση με άλλα καύσιμα, καθώς δεν χρειάζεται να δαπανηθούν μεγάλα ποσά για την κατασκευή περίπλοκων αποθηκευτικών χώρων. Με τη σειρά του αυτό μπορεί να διευκολύνει τον ανεφοδιασμό, με LPG, μικρότερων πλοίων τα οποία δραστηριοποιούνται σε συγκεκριμένα δρομολόγια. Τέλος, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αποθήκευσης του υγραερίου μέσα στο πλοίο όπως:

- Σε δεξαμενές υπό πίεση, τόσο η δεξαμενή που προμηθεύει όσο και η δεξαμενή που δέχεται το καύσιμο
- Σε χαμηλής ψύξης δεξαμενή, η δεξαμενή που προμηθεύει και σε υπό πίεση δεξαμενή που δέχεται το καύσιμο. Εδώ είναι αναγκαία η ύπαρξη αναθερμαντή και αντλίας για αύξηση της πίεσης στην ψυχόμενη δεξαμενή
- Σε υψηλής πίεση δεξαμενή, η δεξαμενή που προμηθεύει και σε χαμηλής ψύξης η δεξαμενή που δέχεται. Επειδή τα πλοία που θα προμηθεύονται το καύσιμο, δεν θα έχουν συστήματα κρυογονικής μεταχείρισης, θα χρειαστούν επιπλέον εργασίες
- Σε χαμηλής ψύξης δεξαμενές, τόσο η δεξαμενή που προμηθεύει όσο και η δεξαμενή που δέχεται το καύσιμο



Εικόνα 3.7: Φωτορεαλιστική απεικόνιση πλοίου καύσης LPG, με τον κινητήρα ME-LGI της MAN (πηγή: MAN Energy Solutions)

Επίσης, η τεχνολογία καύσης του LPG είναι ήδη διαθέσιμη σε ευρεία κλίμακα. Ήδη την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει διάφορες μελέτες για την μετασκευή συμβατικών Μ.Ε.Κ., σε διπλού καυσίμου, ώστε να καταναλώνουν μια μίξη πετρελαίου και υγραερίου. Επειδή, οι ιδιότητες των δυο καυσίμων είναι αρκετά όμοιες, δεν χρειάζεται κάποια πολύπλοκη εγκατάσταση, πέραν μια σωληνογραμμής που θα είναι διπλοστεγασμένη για την αποφυγή διαρροών. Παράλληλα, έχουν εκδοθεί κατάλληλοι κανονισμοί για την μεταφορά και χρήση του. Έχοντας λοιπόν μια ώριμη τεχνολογία, σε συνδυασμό με τον σχετικά ευκολότερο χειρισμό του LPG σε σχέση με το LNG (που είναι η μόνη ευρέως διαθέσιμη εναλλακτική), εξάγεται το συμπέρασμα πως το κόστος μετασκευής μιας συμβατικής Μ.Ε.Κ., σε κινητήρα καύσης υγραερίου θα είναι αρκετά μειωμένο και άρα οικονομικά συμφέρον.

Εμπόδια στην υιοθέτηση του LPG ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο

Το προπάνιο και το βουτάνιο, είναι βαρύτερα -έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα- απ' ότι ο αέρας και λόγω των εύφλεκτων ιδιοτήτων τους μπορούν να αυτανάφλεχθούν, σε συγκεντρώσεις 2 - 9% στον αέρα, οδηγώντας σε μια ταχεία και ενεργειακά πλούσια φωτιά ή ακόμα και έκρηξη. Επίσης, επειδή η συγκέντρωση του LPG θα γίνει σε χαμηλότερα επίπεδα λόγω της πυκνότητάς του, χρειάζεται ειδική μεταχείριση ο εντοπισμός και ο αερισμός των εκάστοτε χώρων. Λόγω του χαμηλού σημείου ανάφλεξης και αυτανάφλεξης, θα πρέπει πάντα να μεταφέρεται μέσα σε διπλούς σωλήνες και να μην έρχεται σε στενή επαφή με ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ή/και αντικείμενα υψηλής θερμοκρασίας. Σε γενικές γραμμές ωστόσο, η διαχείριση των κινδύνων του LPG είναι παρόμοια με αυτή του LNG [21].

Οι κινητήρες διπλού καυσίμου με χρήση υγραερίου έχουν χαμηλή θερμική απόδοση σε χαμηλά φορτία μηχανής και επίσης παράγουν παραπάνω θόρυβο σε χαμηλές στροφές, σε σχέση με μια συμβατική Μ.Ε.Κ.. Έχουν βρεθεί μερικές εναλλακτικές για την υπέρβαση αυτών των εμποδίων. Η πρώτη είναι η αύξηση των στροφών της μηχανής σε τουλάχιστον 1200 rpm, καθώς

έτσι επιτυγχάνονται χαμηλότερα επίπεδα θορύβου, καλύτερη θερμική απόδοση αλλά και μειωμένοι ρύποι. Η δεύτερη είναι η χρήση του λεγόμενου καυσίμου-πιλότου (pilot fuel), το οποίο εγχέεται, στην αρχή του κάθε κύκλου καύσης σε ποσότητες 3-5% του συνολικού μείγματος και συνήθως είναι ναυτικό πετρέλαιο με υψηλή περιεκτικότητα ώστε να βοηθήσει στην ανάφλεξη. Ωστόσο, η χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής αυξάνει τις εκπομπές NO_x, λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών, αλλά βελτιώνει τις εκπομπές του άνθρακα, την θερμική απόδοση, όπως και τον θόρυβο [20].

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά δεδομένα

Η καύση υγραερίου σε ναυτικές Μ.Ε.Κ., έχει καταδείξει πως μπορεί να μειώσει αρκετά τις εκπομπές CO₂ λόγω του σχετικά χαμηλού λόγου C/H , που είναι περίπου 0,38. Ωστόσο, παραμένει υψηλότερος από τον λόγο C/H του LNG που είναι 0,25 και άρα εκλύει λιγότερες ποσότητες CO₂.

Έως τώρα έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις στο κομμάτι των Μ.Ε.Κ. που μπορούν να καταναλώσουν LPG. Αυτές είναι:

- Κύκλος Diesel σε δίχρονη Μ.Ε.Κ., που προσφέρεται από την MAN με τους κινητήρες MAN ME-LGI
- Κύκλος Otto σε τετράχρονη Μ.Ε.Κ., που προσφέρεται από την Wärtsilä με τους κινητήρες Wärtsilä 34SG
- Αεριοστρόβιλους που προσφέρονται από την General Electric με την σειρά LM2500

Με τον κύκλο Diesel, χρησιμοποιείται πιλοτικό καύσιμο σε ποσοστό 3% της συνολικής ογκομετρικής ενέργειας του εγχεόμενου καυσίμου, με φορτίο μηχανής στο 100% για να επιτευχθεί ανάφλεξη. Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει καθαρά με LPG, για φορτίο κινητήρα άνω του 10% κάτι το οποίο μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών SO_x, κατά 90-97%, σε σύγκριση με το HFO. Με τον κύκλο Otto, χρησιμοποιείται πάλι πιλοτικό καύσιμο σε παρόμοια ποσοστά, ωστόσο η πίεση είναι αρκετά χαμηλότερη μέσα στον κύλινδρο και η ανάφλεξη γίνεται με σπινθήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην χρειάζονται υψηλές θερμοκρασίες για την έναρξη της καύσης, και άρα να μειώνονται οι συγκεντρώσεις επιβλαβών αερίων.

Έχει βρεθεί πως οι δίχρονες ναυτικές Μ.Ε.Κ. που εφοδιάζονται με LPG, μπορούν να μειώσουν κατά 15-20% τις εκπομπές NO_x σε σύγκριση με το HFO, κυρίως λόγω της χαμηλότερης αδιαβατικής θερμοκρασίας ανάφλεξης τους LPG. Παρόλη τη μείωση όμως, δεν μπορεί να βρεθεί εντός των ορίων του Tier III και είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων δέσμευσης ή/ και καθαρισμού των καυσαερίων. Στο κομμάτι των τετράχρονων Μ.Ε.Κ., έχει βρεθεί πως υπάρχει μεγαλύτερο περιθώριο μείωσης των εκπομπών NO_x, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων. Τέλος, σε ότι αφορά τις εκπομπές SO_x μπορεί πρακτικά να μηδενιστούν καθώς δεν υπάρχει ψεκασμός πετρελαίου στον κύλινδρο [7].

Στο οικονομικό σκέλος, η τιμή του LPG παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις της τάξης των εκατοντάδων ευρώ. Όπως μπορεί να φανεί και στο παρακάτω διάγραμμα, η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε το φθινόπωρο του 2018, αγγίζοντας περίπου τα 680 €/Mt, με την χαμηλότερη να έρχεται σχεδόν ένα χρόνο μετά αγγίζοντας τα 260 €/Mt. Η χαμηλότερη τιμή που έχει καταγραφεί ποτέ ήταν τον Απρίλιο του 2020 -εν μέσω της πανδημίας COVID-19-, έχοντας φτάσει τα 230 €/Mt. Αυτή τη στιγμή, σύμφωνα με τον μεγαλύτερο προμηθευτή LPG, την Saudi Aramco, η τιμή του ανέρχεται περίπου στα 550 \$/Mt ή περίπου 450€/Mt σε ισοτιμία.



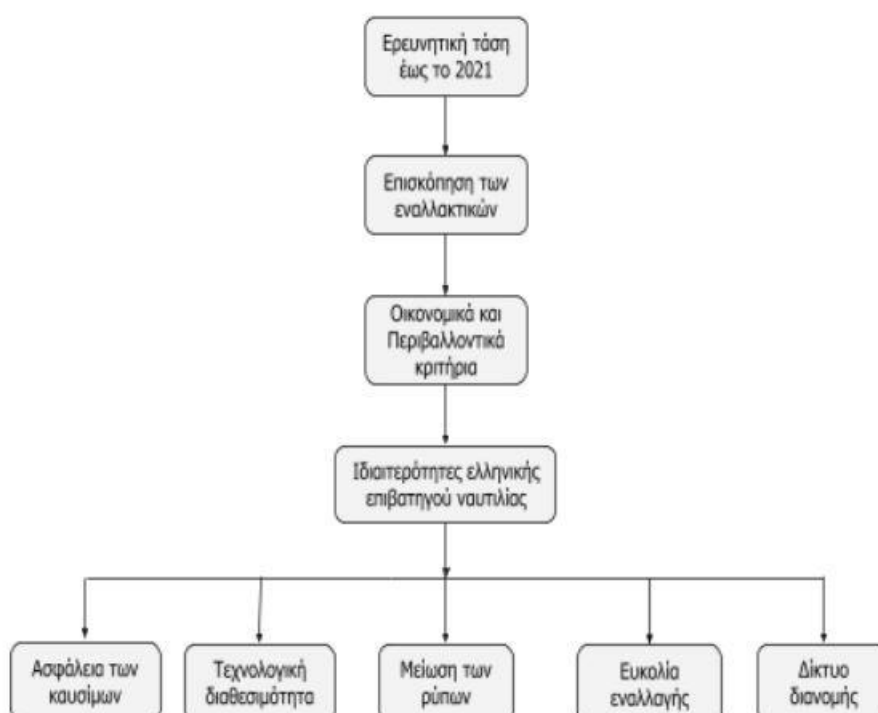
Διάγραμμα 3.15: Διαχρονική διακύμανση της τιμής του LPG (πηγή: ICIS – DNV GL)

Κεφάλαιο 4^ο: Η περίπτωση του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ

4.1 Προκρινόμενα καύσιμα για την ακτοπλοΐα

Η επιλογή ενός ή διαφόρων καυσίμων για την ανάπτυξη του(ς) σε κλίμακα που θα μπορεί να ικανοποιεί τις ανάγκες την ναυτιλιακής βιομηχανίας το 2050, σίγουρα δεν είναι μια εύκολη διαδικασία. Σε ερευνητικό επίπεδο έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης (MCDA Methods), ώστε να καταδείξουν τα θετικά και τα αρνητικά των εναλλακτικών και δαπανούνται δις ευρώ γι' αυτό το σκοπό. Η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων θα απαιτούσε την πολύμηνη ή ακόμα και πολυετή συνεργασία διαφόρων ομάδων. Γι' αυτό το λόγο, τα όρια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα περιοριστούν στην επισκόπηση της διαθέσιμης, έως τώρα βιβλιογραφίας. Μέσω της κριτικής ανάλυσης και σύγκρισης των αναδυόμενων τάσεων θα γίνει προσπάθεια να προσδιοριστούν τα βέλτιστα εναλλακτικά καύσιμα για την ελληνική ακτοπλοΐα.

Το δομικό-νοητικό διάγραμμα που ακολουθήθηκε για την επιλογή των καυσίμων είναι το εξής:

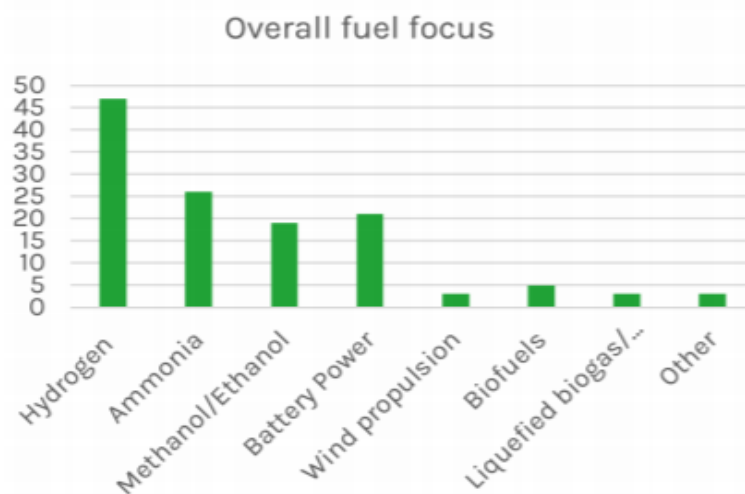


Διάγραμμα 4.1: Λογικό διάγραμμα ροής για την επιλογή των εναλλακτικών καυσίμων στην παρούσα εργασία

Αρχικά, λήφθηκε υπ' όψιν η ερευνητική τάση στον τομέα έως και το 2021, ώστε να αποσαφηνιστεί η κατεύθυνση προς την οποία κινείται ο κλάδος. Όπως θα φανεί και παρακάτω, υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην έρευνα μεταξύ των projects που αφορούν την ναυτιλία μεγάλων και μικρών αποστάσεων. Έπειτα, λήφθηκε κατά νου η "αλυσίδα" παραγωγής των καυσίμων, από την εξόρυξη τους έως τον τρόπο καύσης τους, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των περιβαλλοντικών και οικονομικών κριτηρίων μεταξύ των εναλλακτικών, με βάση τα δεδομένα του 3ου κεφαλαίου. Τέλος, το πιο σημαντικό σκέλος ήταν η κριτική ανάλυση της επιβατηγού ναυτιλίας στην Ελλάδα, ώστε να προσδιοριστούν τα βέλτιστα καύσιμα.

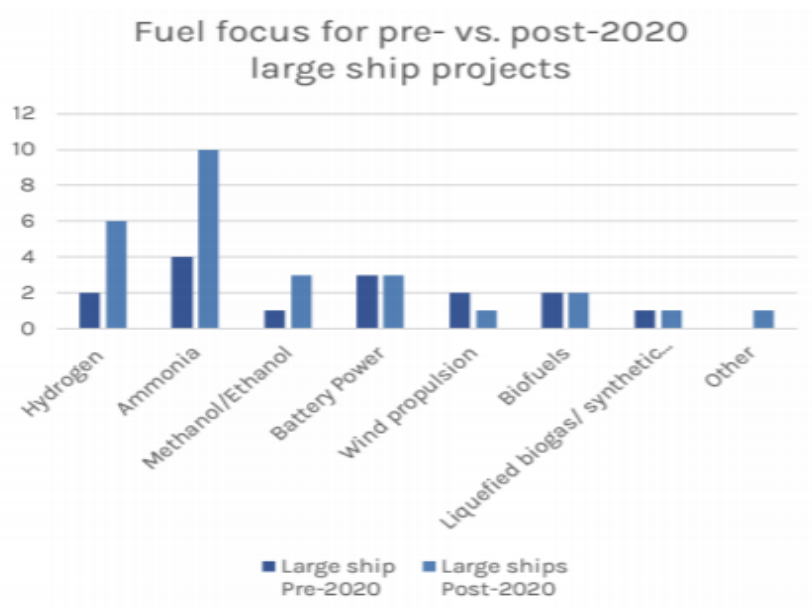
Ερευνητική τάση έως το 2021

Σύμφωνα με το Διεθνές Ναυτιλιακό Φόρουμ [1], το 2021 έχουν βρει χρηματοδότηση και έχουν αρχίσει την ερευνητική τους δραστηριότητα 106 πειραματικά πλοία, για διάφορες εναλλακτικές ως προς την επιλογή του κατάλληλου ναυτιλιακού καυσίμου του μέλλοντος. Με βάση τα έως τώρα δεδομένα, ο κύριος όγκος των ερευνών στρέφεται προς τέσσερις εναλλακτικές οι οποίες είναι το υδρογόνο, η αμμωνία, η μεθανόλη και οι μπαταρίες αριθμώντας περί τα 90 projects, όπως μπορεί να φανεί και στο παρακάτω διάγραμμα.

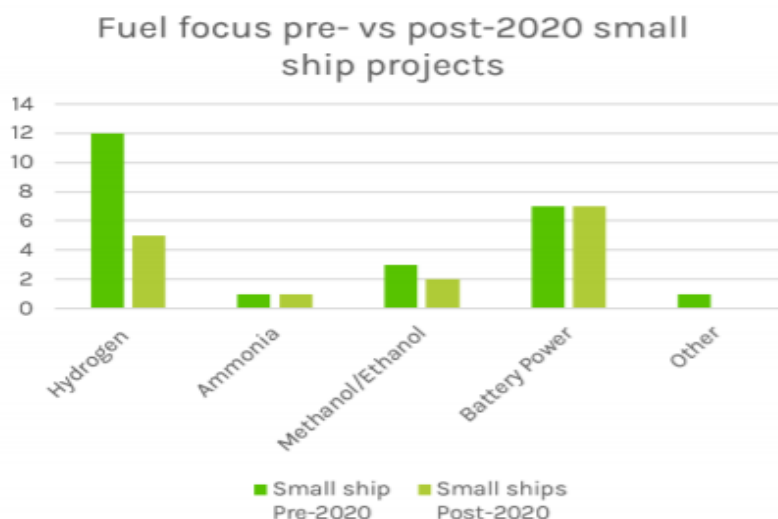


Διάγραμμα 4.2: Η κατανομή των εναλλακτικών καυσίμων με βάση τα projects για το 2021
(πηγή: Global Maritime Forum [2])

Ωστόσο, άξια αναφοράς είναι και η διαφοροποίηση που υπάρχει μεταξύ του ενδιαφέροντος ως προς την έρευνα κι ανάπτυξη μεταξύ των πλοίων της ποντοπόρου ναυτιλίας, δηλαδή μεγάλου μεγέθους και των πλοίων μικρότερων αποστάσεων, δηλαδή μικρότερων πλοίων όπως μπορεί να φανεί και στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 4.3: Η κατανομή των εναλλακτικών καυσίμων για μεγάλου μεγέθους πλοία με βάση τα projects με έτος βάσης το 2020 (πηγή: Global Maritime Forum [2])

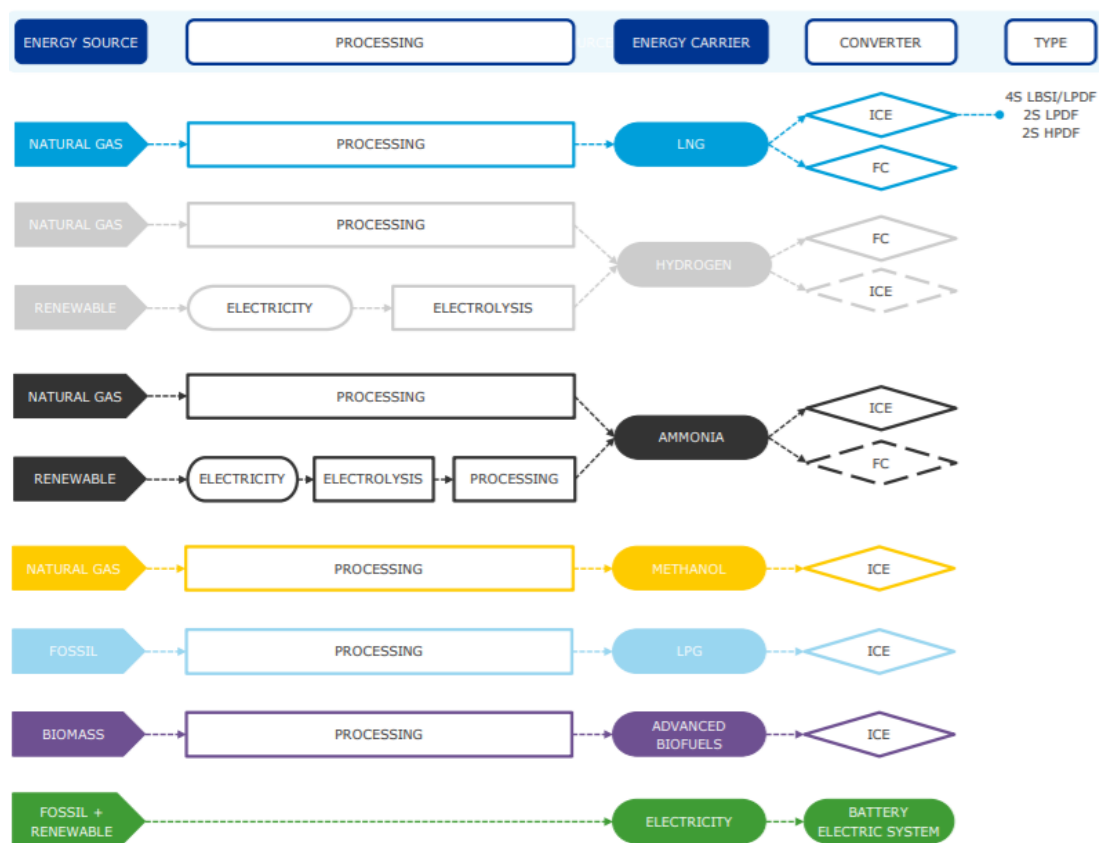


Διάγραμμα 4.4: Η κατανομή των εναλλακτικών καυσίμων για μικρού μεγέθους πλοία με βάση τα projects με έτος βάσης το 2020 (πηγή: Global Maritime Forum [2])

Αρχικά, παρατηρείται και στα δυο μια ξεκάθαρη τάση ως προς το υδρογόνο, καθώς όχι μόνο αποτελεί επιλογή από μόνο του ως εναλλακτικό καύσιμο, αλλά και πηγή για την αμμωνία. Ωστόσο, για το πλοία της ποντοπόρου ναυτιλίας παρατηρείται και μια ξεκάθαρη μεταστροφή προς την αμμωνία, ειδικά από το 2020 και μετά. Αυτό μπορεί να απαντηθεί διττά, καθώς μπορεί μεν να αποθηκευτεί με ευκολότερο τρόπο, χωρίς την ανάγκη για κρυογονική μεταχείριση όπως το υδρογόνο και δε υπάρχει μια ήδη μεγάλη βιομηχανία που θα μπορούσε να στηρίξει τον ανεφοδιασμό του στα αρχικά στάδια της μετάβασης.

Βέβαια, για τα πλοία μικρών αποστάσεων, αξιοσημείωτη είναι και η ανάπτυξη των μπαταριών, καθώς έρχονται αμέσως μετά το υδρογόνο. Αυτό το γεγονός είναι αρκετά σημαντικό για την επιλογή εναλλακτικής για τα πλοία της ακτοπλοΐας, καθώς μπορούν να προσεγγίζουν πολύ συχνότερα λιμένες και θα έχουν κατά βάση προδιαγεγραμμένα δρομολόγια. Έτσι, θα μπορούν να φορτίζονται μετά από κάθε ταξίδι, χωρίς να χρειάζεται να καταναλώνουν κάποιο καύσιμο.

Επισκόπηση των εναλλακτικών



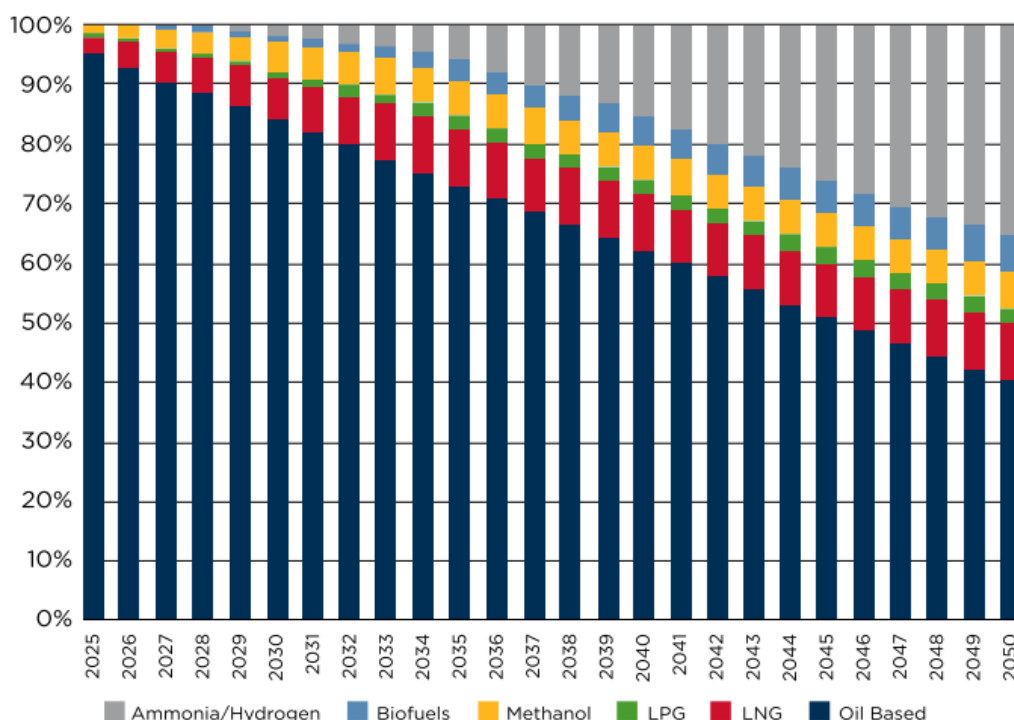
Διάγραμμα 4.5: Ακολουθία διεργασιών Well to Propeller για κάθε εναλλακτική (πηγή: DNV GL)

Το παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δείχνει εν συντομία την πορεία του κάθε καυσίμου από την πρώτη ύλη από την οποία προέρχεται, έως το τελικό στάδιο καύσης σε Μ.Ε.Κ. ή σε κυψέλες καυσίμων (FCs). Η μεγαλύτερη μερίδα των εναλλακτικών καυσίμων, έχει ως βάση το φυσικό αέριο, ένα ορυκτό καύσιμο. Όπως έχει περιγραφθεί έως τώρα, οι στόχοι του IMO για μείωση των αέριων ρύπων του θερμοκηπίου έως το 2050 κατά 50%, απαιτούν μια ολιστική προσέγγιση στην εφοδιαστική αλυσίδα των καυσίμων. Εντούτοις, ακόμη δεν υπάρχουν διαθέσιμες ποσότητες καθαρά "πράσινων" καυσίμων, σε κλίμακα έτοιμη να καλύψει τις ανάγκες της ναυτιλίας. Στη συνέχεια, είναι φανερό πως όλα τα εξεταζόμενα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ναυτικές Μ.Ε.Κ., σαφώς με τις κατάλληλες τροποποιήσεις τόσο στο σύστημα έγχυσης του καυσίμου, όσο και στα συστήματα αποθήκευσης του. Αντίθετα, μόνο το υδρογόνο, το LNG και η αμμωνία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Fuel Cells.

Παρόλο που τα Fuel Cells, μπορούν να αποδώσουν καλύτερα από τις Μ.Ε.Κ. σε ποσοστά 5-10% μεγαλύτερα από αυτά των δευτέρων, πρακτικά είναι αδύνατο να μεταφραστεί αυτή η αύξηση στην απόδοση σε ήδη υπάρχοντα πλοία. Αυτό καθώς, η μετασκευή τους θα απαιτούσε υπέρογκα χρηματικά ποσά αλλά και παροπλισμό του πλοίου για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα στο ναυπηγείο, ώστε ουσιαστικά να κοπεί το πλοίο, να αφαιρεθούν οι Μ.Ε.Κ. και να εγκατασταθούν οι κυψελίδες. Ως επακόλουθο, θα χρειαζόταν να αλλάξουν και πολλά από τα συστήματα πρόωσης του πλοίου όπως οι μειωτήρες, και η εγκατάσταση περαιτέρω ηλεκτροκινητήρων καθώς οι κυψελίδες δεν έχουν μηχανικώς κινούμενα μέρη, και άρα δεν παράγουν μηχανικό έργο.

Οικονομικά κριτήρια και διαθεσιμότητα

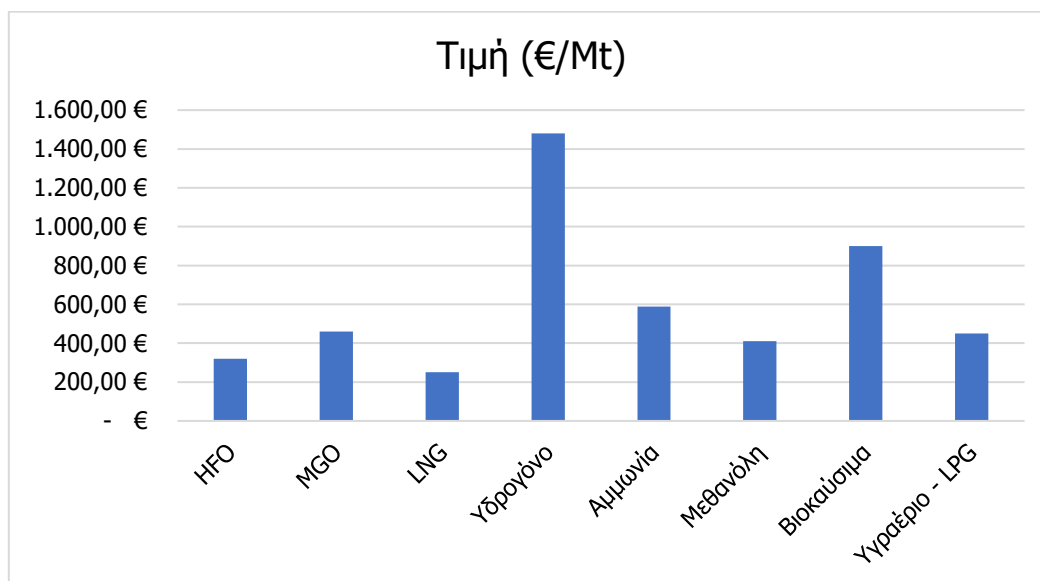
Στο τομέα της μελλοντικής διαθεσιμότητας των καυσίμων, τρία φαίνεται να είναι τα κυρίαρχα, το υδρογόνο και η αμμωνία σε ποσοστά που αγγίζουν το 35% το στόλου έως το 2050 (παρουσιάζονται μαζί γιατί η αμμωνία αποτελεί πολύ καλή πηγή υδρογόνου), και το LNG σε ποσοστά 10% αντίστοιχα. Έπειτα, ακολουθεί η μεθανόλη σε ποσοστά 8-9% και τα βιοκαύσιμα σε ποσοστό 5-6%, ενώ τελευταίο έρχεται το LPG σε ποσοστό μικρότερο του 3-4%. Ωστόσο, αξιοσημείωτη είναι και η μείωση που θα δει η χρήση των πετρελαιοειδών καυσίμων (HFO/MGO), τα οποία μέσα σε 25 χρόνια θα συρρικνωθούν από το περίπου 95% του παγκόσμιου στόλου στο μόλις 40%.



Διάγραμμα 4.6: Πρόβλεψη για το μερίδιο χρήσης των καυσίμων έως το 2050
(πηγή: American Bureau of Shipping-ABS)

Με βάση το σύστημα AFI (Alternative Fuel Insight) που έχει αναπτυχθεί από τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV GL, συλλέχθηκαν οι τιμές για το σύνολο των εναλλακτικών

καυσίμων που παρουσιάστηκαν στην εργασία και μπορούν να συνοψιστούν στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.7: Σύγκριση τιμών διαφόρων εναλλακτικών καυσίμων για το 2021

Όπως φαίνεται ξεκάθαρα, τα πιο ακριβά καύσιμα εν έτη 2021 είναι το υδρογόνο με την τιμή του να αγγίζει περίπου τα 1480 €/Mt, και τα βιοκαύσιμα με τιμή περίπου στα 900 €/Mt, με την αμμωνία να ακολουθεί τρίτη με κόστος περίπου 588 €/Mt. Στον αντίποδα τα πιο φθηνά καύσιμα αυτή τη στιγμή είναι το LNG με τιμή περίπου στα 250 €/Mt και το HFO/ MGO, με τιμές 320 €/Mt και 460 €/Mt αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.8: Σύγκριση τιμών διαφόρων εναλλακτικών καυσίμων για το 2021

Ωστόσο, η σύγκριση των απόλυτων τιμών των καυσίμων ανά τόνο δεν αποτελεί τον πιο ξεκάθαρο παράγοντα όσον αφορά το κόστος ανεφοδιασμού. Αυτό συμβαίνει καθώς διαφορετικά καύσιμα, διαθέτουν διαφορετική θερμογόνο δύναμη και άρα παρέχουν

διαφορετική αυτονομία και κατανάλωση για το πλοίο. Αυτό πρακτικά σημαίνει, πως μπορεί ένα καύσιμο να είναι φθηνό ανά τόνο, αλλά να είναι “φτωχό” θερμιδικά και άρα να απαιτεί μεγαλύτερες ποσότητες πετρέλευσης.

Έτσι, παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα μεγάλη έκπληξη προκαλεί το υδρογόνο και αμμωνία. Το υδρογόνο, αν και το ακριβότερο παρέχει μεγάλα ποσά ενέργειας και άρα μειώνει το κόστος ανά μονάδα ενέργειας στα 12,26 €/MJ. Η αμμωνία από την άλλη, λόγω της χαμηλής θερμότητας δύνάμης παρουσιάζει το μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα ενέργειας στα 31,28 €/MJ. Ωστόσο, δεν προκαλεί έκπληξη και το μεγάλο κόστος των βιοκαυσίμων στα 25,71 €/MJ, κάτι το οποίο είχε περιγραφεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο λόγω των ακριβών πρώτων υλών. Τέλος, το πιο φθηνό καύσιμο είναι το LNG στα 5,07 €/MJ, ενώ τα αμέσως επόμενα είναι το MGO στα 10,70 €/MJ και το LPG στα 9,68 €/MJ.

Όπως γίνεται κατανοητό, η πιο ελκυστική επιλογή από οικονομικής άποψης είναι το LNG, όντας ένα καύσιμο στο μεταίχμιο μεταξύ συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων. Από τα καθαρά υπό ανάπτυξη νέα καύσιμα, το πλέον συμφέρον είναι το LPG με 450 €/Mt.

Ιδιαιτερότητα επιβατηγού ναυτιλίας στην Ελλάδα

Έχοντας κατά νου την εξέταση των πιθανών εναλλακτικών καυσίμων για πλοία της ελληνικής ακτοπλοΐας, η επιλογή τους θα γίνει με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Ασφάλεια κατά χρήση τους σε πλοία μεταφοράς επιβατών
- Την τεχνολογική διαθεσιμότητα για την μετασκευή ενός επιβατηγού πλοίου το 2021
- Την μείωση των εκπνεόμενων ρύπων
- Την ευκολία μετάβασης σε νέο καύσιμο
- Το δίκτυο διανομής στην Ελλάδα

Στο κομμάτι της ασφάλειας, η αμμωνία και η μεθανόλη είναι τα πλέον επικίνδυνα καύσιμα ως χημικές ουσίες. Η μεν αμμωνία επειδή είναι τοξική και διαβρωτική και η δε μεθανόλη, επειδή δεν ανιχνεύεται εύκολα με τα σημερινά συστήματα ανίχνευσης αερίων. Αυτό το χαρακτηριστικό της μεθανόλης, θα απαιτούσε την δαπάνη αρκετών χρημάτων για την αλλαγή όλων των συστημάτων HVAC του πλοίου, κάτι το οποίο είναι αρκετά κοστοβόρο για πλοία μεταφοράς επιβατών με τουλάχιστον 5 ορόφους με ξενοδοχειακό τομέα. Αντίθετα, για το LPG υπάρχουν ήδη μερικά πλοία που χρησιμοποιούν το καύσιμο και η μεταχείριση του είναι ευρέως γνωστή στην ναυτιλιακή βιομηχανία, λόγω του δικτύου μεταφοράς του.

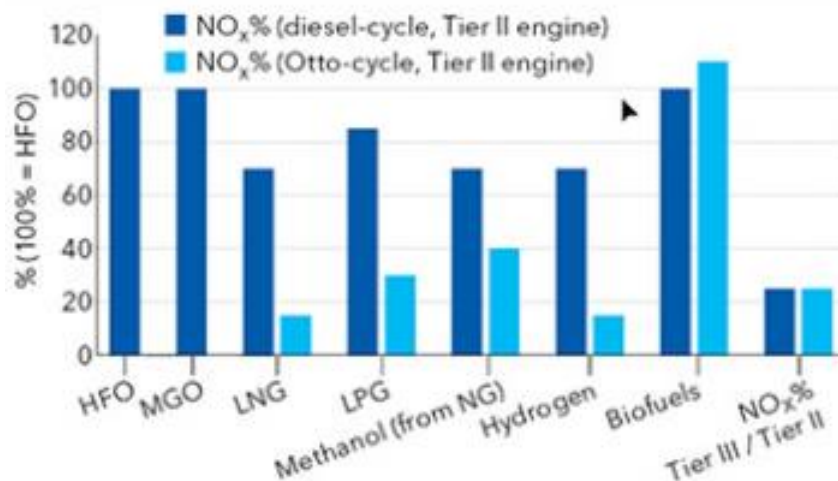
Με βάση τα projects τα οποία δοκιμάζουν νέα καύσιμα για μικρότερα πλοία, ξεκάθαρος κυρίαρχος είναι το υδρογόνο έως το 2020, αλλά από το 2020 και μετά οι μπαταρίες φαίνεται να κυριαρχούν ως βασική εναλλακτική με την μεθανόλη να έρχεται τρίτη. Παράλληλα, πολλά E/G-O/G στις Σκανδιναβικές χώρες δοκιμάζονται στην χρήση κυψελών καυσίμου (FCs) με τη χρήση υδρογόνου ως καύσιμο αλλά και η χρήση μπαταριών λόγω της συχνής προσέγγισης σε λιμένες.

Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός, πως η δοκιμή καύσης αμμωνίας σε πλοίο θα γίνει για πρώτη φορά το 2024.

Οι εκπομπές ρύπων είναι ένα κριτήριο αρκετά περίπλοκο, καθώς ακόμη δεν υπάρχουν 100% “καθαροί” τρόποι παραγωγής καυσίμων μηδενικών ρύπων όπως το υδρογόνο, και τα βιοκαύσιμα. Όπως έχει αναφερθεί στα αντίστοιχα κεφάλαια, η παραγωγή υδρογόνου και αμμωνίας απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας προς το παρόν, ενώ οι διαθέσιμες εκτάσεις γης για την δημιουργία βιοκαυσίμων τα καθιστούν απαγορευτικά, τόσο από θέμα κάλυψης της ζήτησης, όσο και από θέμα καλλιέργειας και άρδευσης. Έτσι, η μεθανόλη και το LPG με την χρήση συστημάτων δέσμευσης άνθρακα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν ένα σημαντικό ρόλο στην μετάβαση σε μηδενικούς ρύπους.

Εάν δεν ληφθούν υπόψιν οι εκπομπές κατά την παραγωγή των καυσίμων αλλά μόνο οι εκπομπές κατά την καύση, τότε τα κυρίαρχα καύσιμα είναι το υδρογόνο και η αμμωνία, καθώς πρακτικά δεν περιέχουν μόρια άνθρακα και άρα μπορούν να μηδενίσουν τις εκπομπές SO_x & CO₂ και παράλληλα με την χρήση κατάλληλων συστημάτων δέσμευσης αερίων ή καθαρισμού αυτών, θα μπορούσαν να μειώσουν δραματικά και τις εκπομπές NO_x & PM. Ωστόσο, η παραγωγή “πράσινης” αμμωνίας και υδρογόνου, απαιτεί να επενδυθούν και σημαντικά ποσά στην ανάπτυξη των ΑΠΕ, ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.

Συνολικά, τα εναλλακτικά καύσιμα θα μπορούσαν να μειώσουν τις εκπομπές SO_x, έως και 95%, καθώς δεν αποτελούν ορυκτά καύσιμα και άρα οι ποσότητες θείου μειώνονται δραματικά. Ωστόσο, πολλά από αυτά περιέχουν αζωτούχες ενώσεις οι οποίες μπορεί ακόμα και να υπερβούν τις αντίστοιχες εκπομπές NO_x από το HFO/MGO, όπως μπορεί να φανεί στα παρακάτω διάγραμμα. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι και η λεγόμενη διαφυγή αερίου, που μπορεί να υπάρξει για την μεθανόλη και την αμμωνία σε ποσοστά 10% και έτσι να λάβει χώρα οξείδωση με την επαφή με τον αέρα και τελικά να αυξηθούν οι εκπομπές NO_x. Με τα έως τώρα δεδομένα, μόνο το LNG και το υδρογόνο σε κινητήρες με κύκλο Otto, μπορούν να συμμορφωθούν με τα όρια που θέτει το εδάφιο Tier III του IMO, και το LPG έρχεται τρίτο όντας για λίγο εκτός ορίων.

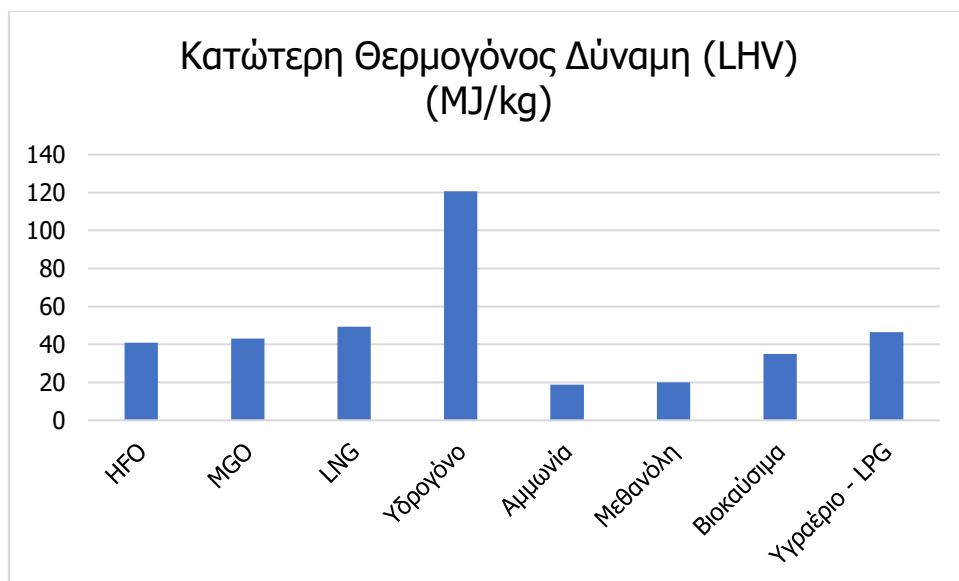


Διάγραμμα 4.9: Εκπομπές NO_x ανά εναλλακτικό καύσιμο σε σύγκριση με τα Tier II & III του IMO (πηγή DNV GL)

Εάν εξεταστεί το κάθε καύσιμο με βάση τη κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV) του κάθε καυσίμου, το υδρογόνο είναι ο “αδιαμφισβήτητος νικητής”, φτάνοντας σε τιμές των 120,9 MJ/kg, ενέργεια σχεδόν τριπλάσια από το αμέσως επόμενο εναλλακτικό καύσιμο που είναι το LNG με θερμογόνο δύναμη 49,3 MJ/kg. Τρίτο έρχεται το LPG, με θερμογόνο δύναμη στα 46,5 MJ/kg. Στον αντίποδα τελευταία έρχονται η αμμωνία και η μεθανόλη με LHV 18,8 MJ/kg και 20 MJ/kg αντίστοιχα, τιμές σχεδόν υποδιπλασίες από αυτές των ήδη χρησιμοποιούμενων HFO/MGO.

Αυτό πρακτικά σημαίνει πως για τις εναλλακτικές της αμμωνίας και της μεθανόλης θα χρειαζόντουσαν διπλάσιοι αποθηκευτικοί χώροι ώστε να καλυφθεί η διαφορά ενέργειας μεταξύ των δύο καυσίμων. Η παραχώρηση τόσο μεγάλων χώρων για την αποθήκευση καυσίμων σε ένα ήδη υπάρχων Ε/Γ-Ο/Γ, όπως αυτό που θα εξεταστεί στη συνέχεια, κρίνεται από δύσκολη έως και πρακτικά αδύνατη, καθώς αυτός ο τύπος πλοίου χρησιμοποιεί τους κενούς του χώρους για την μεταφορά αυτοκινήτων και φορτηγών. Έτσι, η απώλεια χρημάτων από την παραχώρηση αυτών των χώρων, θα έπρεπε να αντισταθμίζεται από την μειωμένη τιμή των καυσίμων, κάτι το οποίο δεν ισχύει, τουλάχιστον προς το παρόν.

Οπότε, με βάση τη κατώτερη θερμογόνο δύναμη οι βέλτιστες επιλογές είναι αυτές του LNG και του LPG είναι οι πιο συμφέρουσες. Το υδρογόνο, λόγω των πολύ ιδιαίτερων πρακτικών αποθήκευσής του (κρυογονική μεταχείριση), αν και θα έδινε τρομακτικά ποσά ενέργειας, κρίνεται ασύμφορη για ένα πλοίο εικοσαετίας η εγκατάσταση τόσο περίπλοκων συστημάτων.



Διάγραμμα 4.10: Θερμογόνος δύναμη των υπό εξέταση καυσίμων

Στο σκέλος του κόστους μετασκευής ενός πλοίου της ελληνικής ακτοπλοΐας, οι τρεις πιο συμφέρουσες επιλογές είναι το LNG, το LPG και τα βιοκαύσιμα, καθώς όλα τα πλοία του κλάδου είναι των 20 ετών και άνω, πράγμα που σημαίνει πως όλα καταναλώνουν HFO/ MGO. Οι μετασκευές πλοίων σε dual fuel, έχουν αρχίσει να κερδίζουν έδαφος στον ναυτιλιακό χώρο και σιγά σιγά περνούν σε οικονομίες κλίμακας, μειώνοντας έτσι αρκετά το κόστος. Στον αντίποδα, τα βιοκαύσιμα όπως το βιοντίζελ, είναι πρακτικά σχεδόν ίδιο με το ναυτικό πετρέλαιο και δεν χρειάζονται ιδιαίτερα κοστοβόρες μετασκευές, πέρα από την χρήση κατάλληλων χημικών ουσιών και tanks που θα αποτρέπουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Παρόμοια είναι και η κατάσταση στο κομμάτι του LPG, καθώς αποτελεί ένα συγγενές καύσιμο με το HFO/ MGO, αφού προέρχεται από την διύλιση αργού πετρελαίου και οι χημικές του ιδιότητες είναι πανομοιότυπες.

Τέλος, στο κομμάτι του δικτύου διανομής δυστυχώς στην Ελλάδα υπάρχουν οι υποδομές μόνο για τον ανεφοδιασμό LNG και αμμωνίας. Στο μέλλον επρόκειτο να δημιουργηθούν οι υποδομές για παραγωγή και ίσως ανεφοδιασμό υδρογόνου, όπως περιεγράφηκε προηγούμενος. Όσον αφορά την παραγωγή κάποιων εκ των υπόλοιπων εναλλακτικών καυσίμων, για χρήση όχι όμως στη ναυτιλία, η Ελλάδα παρέχει LPG και βιοκαύσιμα. Ωστόσο, δεν έχει γίνει ακόμη κάποια εξαγγελία για δημιουργία εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού κάποιων εκ των προαναφερθέντων καυσίμων.

Έτσι, τα καύσιμα τα οποία προτείνονται ως τα πιο ελκυστικά για την επιβατηγό ναυτιλία αυτή τη στιγμή είναι το LNG και το LPG. Το μεν πρώτο, μπορεί να υπάρχει ήδη ως ναυτιλιακό καύσιμο και να αναλύθηκε στην ανάλογη κατηγορία στην παρούσα διπλωματική, ωστόσο δε δεν έχει δοκιμαστεί ποτέ στην Ελλάδα, άρα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια επιλογή για την μείωση των παραγόμενων ρύπων. Το δε δεύτερο, είναι ένα εντελώς νέο καύσιμο όχι μόνο για τον Ελλαδικό χώρο αλλά και διεθνώς. Είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική ως καύσιμο-

γέφυρα που θα μπορούσε να οδηγήσει πολύ μελλοντικά στη χρήση της αμμωνίας, σύμφωνα με τον DNG GL [3].

4.2 Πλοιοκτήτρια εταιρεία “ANEK LINES”

Η Ανώνυμη Ναυτιλιακή Εταιρεία Κρήτης ή επισήμως γνωστή ANEK LINES, είναι από τις μεγαλύτερες ναυτιλιακές εταιρείες στην Ευρώπη, που δραστηριοποιούνται στο χώρο της ακτοπλοΐας από τον Απρίλιο του 1967. Τα δρομολόγια των πλοίων της εταιρίας εξυπηρετούν γραμμές κυρίως της Ελλάδας, αλλά και της γειτονικής Ιταλίας. Έως το 2021, έχουν περάσει από τη διαχείριση της 19 πλοία, ενώ πλέον ο στόλος της αριθμεί περί τα 9 πλοία. Όλα τα πλοία της ANEK LINES, επιβατηγά-οχηματαγωγά (Ε/Γ-Ο/Γ) με μέσο όρο ηλικίας τα 30.5 έτη. Σήμερα, η εταιρία απασχολεί πάνω από 1.500 άτομα, τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα.

Τα τελευταία χρόνια η εταιρία έχει переίλθει τόσο σε οικονομικές δυσκολίες, όσο και σε ανάμειξη σε ναυτικά ατυχήματα. Οι οικονομικές δυσκολίες γιγαντώθηκαν στα χρόνια της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα, με αποκορύφωμα την κατάσχεση του Ε/Γ-Ο/Γ Ολύμπικ Τσάμπιον τον Μάρτιο του 2015, το οποίο έπειτα από διαπραγματεύσεις επανήλθε στην διαχείριση της εταιρείας. Πλέον τα χρέη της εταιρίας και τράπεζες, ανέρχονται στα 256 εκ. ευρώ.

Στο κομμάτι των ατυχημάτων, η εταιρία έχασε από πυρκαγιά το Ε/Γ-Ο/Γ Νόρμαν Ατλάντικ, σε δρομολόγια που εκτελούσε το τελευταίο μεταξύ Ελλάδας-Ιταλίας στην Αδριατική. Αρκετοί άνθρωποι έχασαν την ζωή τους και υπήρξαν μεγάλες δικαστικές διαμάχες για την αργοπορημένη διάσωση των επιβατών.



Εικόνα 4.1: Το λογότυπο της ANEK LINES (πηγή: Wikipedia)

4.3 Το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ

Το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ είναι το δεύτερο νεότερο, σε σειρά κτήσης, πλοίο που χρησιμοποιεί η εταιρεία έχοντας переίλθει στην κτήση της το 2007, αγορασμένο από την Highashi Nihon Ferry. Πρόκειται για ένα πλοίο Ιαπωνικής κατασκευής που κατασκευάστηκε στα ναυπηγεία Mitsubishi Heavy Industries, το οποίο κατελκύστηκε στις 5 Ιουνίου 1997, ενώ τέθηκε σε υπηρεσία το 1998. Δέκα χρόνια αργότερα, υπό την διαχείριση της ANEK, υπέστη εκτεταμένες αλλαγές στην μορφή του, στα Ναυπηγοεπισκευαστική Ζώνη Περάματος. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 4.1: Βασικά χαρακτηριστικά του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ (πηγή: Wikipedia)

Όνομα	Έλυρος
Λιμάνι Μηολόγησης	Χανιά
Καθέλκυση	5/6/1997
Αναγνωριστικό	SVOM
IMO N°	9178599
Μήκος	192 μ.
Πλάτος	27 μ.
Ύψος	6,7 μ.
Βάρος (Gross Tonnage)	33.635 tn
Υπηρεσιακή ταχύτητα	20 κόμβοι
Μέγιστη ταχύτητα	24 κόμβοι
Χωρητικότητα επιβατών	1.874
Χωρητικότητα οχημάτων	620 Ι.Χ.
Τύπος κινητήρα	2x Pielstick 12PC4-2
Συνδυασμένη ισχύς (kW)	26.180 kW
Συνδυασμένη ισχύς (bhp)	35.100 bhp

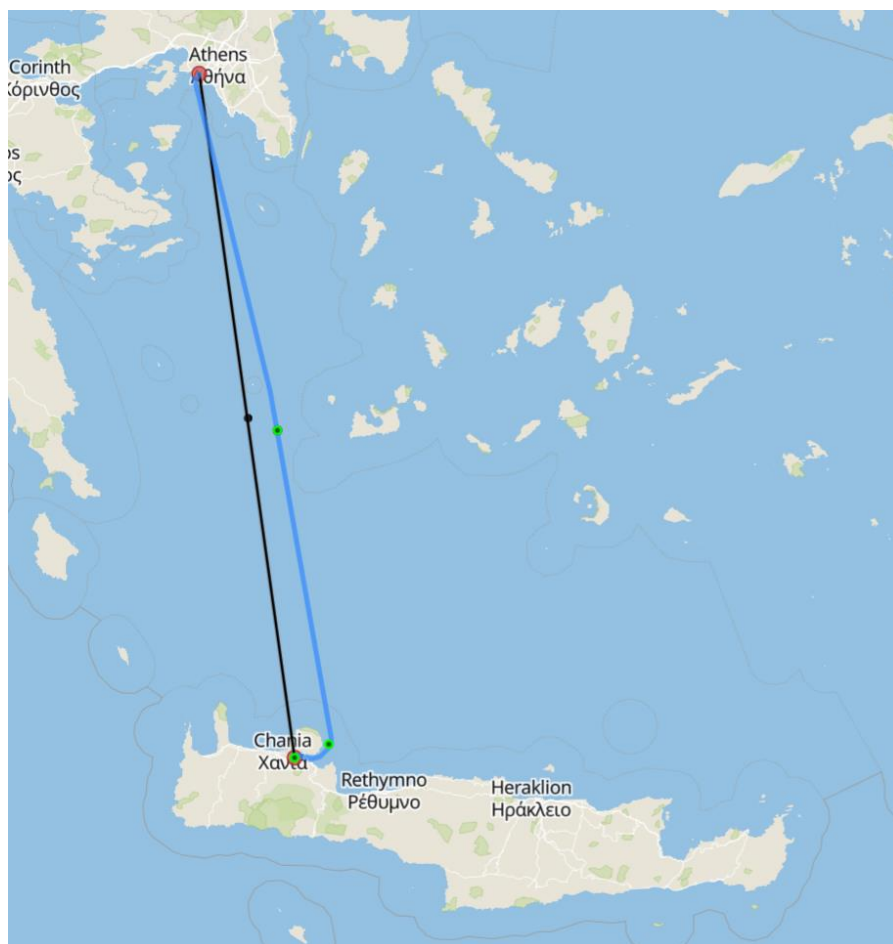


Εικόνα 4.2: Το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ (πηγή: www.flashnews.gr)

4.4 Ανάλυση μέσου δρομολογίου

Το συγκεκριμένο πλοίο συχνά ναυλώνεται σε ξένες εταιρίες και έτσι αλλάζει συχνά το δρομολόγιο του. Ωστόσο, για λόγους πρακτικότητας θα εξεταστεί το μέσο δρομολόγιο του που είναι αυτό μεταξύ των λιμένων Πειραιά και Χανίων. Η απόσταση των δύο λιμανιών σε ναυτικά

μίλια είναι 182.6 miles, ή αλλιώς περίπου 290 km. Η μέση χρονική διάρκεια του ταξιδιού είναι 8.5 ώρες, με υπηρεσιακή ταχύτητα 20 κόμβων.



Εικόνα 4.3: Το δρομολόγιο Πειραιάς-Χανιά του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ

Λόγω της εγγύτητας του λιμένα Πειραιώς στους σταθμούς ανεφοδιασμού HFO/ MGO/ LNG, το πλοίο θα μπορούσε να έχει άμεση πρόσβαση στις απαιτούμενες ποσότητες καυσίμων χωρίς μεγάλα κόστη μεταφοράς, αλλά και δυσκολία στην εύρεση των απαιτούμενων ποσοτήτων.

Ωστόσο, για την περίπτωση του LPG τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα, καθώς όπως έχει περιγραφεί και παραπάνω δεν υπάρχει διαθέσιμος σταθμός ανεφοδιασμού για το 2021. Παρόλα αυτά, τα διαθέσιμα εργοστάσια παραγωγής LPG για χρήση σε χερσαίες εφαρμογές, βρίσκονται στην περιοχή του Ασπροπύργου και της Ελευσίνας. Οι συγκεκριμένες περιοχές, φιλοξενούν επίσης τις μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης των υπόλοιπων διαθέσιμων καυσίμων, οπότε μπορεί να γίνει η υπόθεση πως εφόσον δημιουργηθεί ο σταθμός θα υπάρχουν παρόμοια κόστη και ευκολία στη μεταφορά του καυσίμου.

4.5 Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχοντας θέσει με τη σειρά της τους στόχους της για την μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος, είχε αναθέσει στην Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας (EMSA), την ανάπτυξη του συστήματος THETIS MRV (Monitoring Reporting Verification). Το σύστημα MRV, έχει ως σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση των εκλυόμενων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και στοιχείων ναυσιπλοΐας (ώρες ταξιδιών, ποσότητα καταναλισκόμενων καυσίμων) με στόχο την καλύτερη επίβλεψη των πλοίων που πλέουν σε Ευρωπαϊκά χωρικά ύδατα. Καθώς, το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ έχει νηολογηθεί σε Ευρωπαϊκή χώρα, έχει καταγεγραμμένες τις εκπομπές CO₂, αλλά και την αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμων ανά έτος.

Emission Report Details

IMO Number

9178599

Name

ELYROS

DoC issue date

24/04/2020

Ship type

Ro-pax ship

Reporting period

2019

DoC expiry date

30/06/2021

Verifier

RINA Services Spa

Ship and Verifier details

Monitoring methods

Annual monitoring results

Voluntary Reporting

Totals

Average energy efficiency

Parameter	Value
Total fuel consumption	15025.28 m tonnes
Total CO ₂ emissions	46842.97 m tonnes
CO ₂ emissions from all voyages between ports under a MS jurisdiction	24302.81 m tonnes
CO ₂ emissions from all voyages which departed from ports under a MS jurisdi...	8722.29 m tonnes
CO ₂ emissions from all voyages to ports under a MS jurisdiction	8873.65 m tonnes
CO ₂ emissions which occurred within ports under a MS jurisdiction at berth	4944.21 m tonnes
CO ₂ emissions assigned to Passenger transport	1017.06 m tonnes
CO ₂ emissions assigned to Freight transport	45825.91 m tonnes
Annual Total time spent at sea	3525.62 hours

Close

Εικόνα 4.4: Τα δεδομένα για το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ, από το σύστημα THETIS MRV της EMSA

Η ανάλυση και ο υπολογισμός των απαραίτητων ποσοτήτων καυσίμου θα γίνει με βάση τα δεδομένα για την περίοδο 2019, όπως μπορεί να φανεί και στην εικόνα 4.4. Το συγκεκριμένο διάστημα αποτελείται από 365 ημέρες, ενώ σύμφωνα με το σύστημα THETIS, το πλοίο πέρασε 3.525,62 ώρες ταξιδεύοντας που σημαίνει πως έκανε περίπου 440 ταξίδια αυτό το διάστημα (με τυπική παραδοχή πως ο μέσος χρόνος διαδρομής είναι 8 ώρες). Το ότι τα ταξίδια αριθμούνται παραπάνω από τις ημέρες στη θάλασσα μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός πως την καλοκαιρινή περίοδο, αλλά και την περίοδο των εορτών (Χριστουγέννων και Πάσχα)

εκτελούνται διπλά δρομολόγια. Τέλος, πρέπει σημειωθεί πως για τους υπολογισμούς υιοθετήθηκε η υπόθεση πως χρησιμοποιούνται ταυτόσημοι κινητήρες με τους ήδη υπάρχοντες, με ίδιες καταναλώσεις και βαθμούς απόδοσης. Μία πιο λεπτομερής απεικόνιση θα συμπεριελάμβανε α) διαφορετικές καταναλώσεις ανά κινητήρα καυσίμου, β) μακροχρόνια χρήση και γ) σύσταση καυσίμου. Παράλληλα μια μελέτη σε “μεγαλύτερο” βάθος θα μπορούσε να γίνει με τον ακριβή υπολογισμό των παρακάτω μεγεθών, με την χρήση κινητήρων καύσης διπλού καυσίμου (dual fuel), τόσο για το LNG όσο και για το LPG.

Έτσι, για εκείνη την περίοδο καταναλώθηκαν $m_{consumption}=15.025,28$ τόνοι καυσίμου VLSFO, καθώς τα δρομολόγια εκτελούνται σε ζώνη ECA. Άρα, το πλοίο σε κάθε ταξίδι καταναλώνει περίπου 34,2 τόνους καυσίμου ή περίπου 4,27 τόνους/ ώρα. Με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη L.H.V. (41,6 MJ/kg) του VLSFO, οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες του πλοίου ανέρχονται σε

$$E_{total} = L.H.V. * m_{consumption} = 625.040 \text{ MJ (για την περίοδο 2019)}$$

Στην περίπτωση του LNG που έχει θερμογόνο δύναμη 49,3 MJ/kg για να καλυφθούν οι ανάγκες των 625.040 MJ, θα πρέπει να δαπανηθούν

$$m_{total_LNG} = \frac{E_{total}}{L.H.V._{LNG}} = 12.68 \text{ τόνοι LNG}$$

ή αλλιώς περίπου 28,81 τόνοι/ ταξίδι ή 3,6 τόνοι/ ώρα.

Στην περίπτωση του LPG που έχει θερμογόνο δύναμη 46,5 MJ/kg, για να καλυφθούν πάλι οι ίδιες ανάγκες θα πρέπει να δαπανηθούν

$$m_{total_LPG} = \frac{E_{total}}{L.H.V._{LPG}} = 13.44 \text{ τόνοι LPG}$$

ή αλλιώς περίπου 30,48 τόνοι/ ταξίδι ή 3,81 τόνοι/ ώρα.

Συγκεντρωτικά τα παραπάνω στοιχεία είναι:

Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας καταναλώσεων ανά περίπτωση καυσίμου (ταυτόσημες συνθήκες χρήσης καυσίμων σε κινητήρα ίδιας απόδοσης)

Total Fuel Consumption (tonnes)	15.025,28
Time spent at sea (hours)	3.525,62
Energy Demand (MJ)	625.040,00
LHV - VLSFO (MJ/kg)	41,60
Fuel consumption/ specific period (tonnes)	15.025
Fuel consumption/ trip (tonnes)	34,15
Fuel consumption/ hour (tonnes)	4,27
LHV - LNG (MJ/kg)	49,30

Fuel consumption/ specific period (tonnes)	12,68
Fuel consumption/ trip (tonnes)	28,81
Fuel consumption/ hour (tonnes)	3,60
LHV - LPG (MJ/kg)	46,50
Fuel consumption/ specific period (tonnes)	13,44
Fuel consumption/ trip (tonnes)	30,55
Fuel consumption/ hour (tonnes)	3,82

4.6 Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων

Ο ακριβής υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων δεν μπορεί να καταστεί εφικτός. Τόσο η μαθηματική προσέγγιση όσο και η καταγραφή των πραγματικών τιμών θα διαφέρει από την πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει, καθώς οι τιμές των στοιχείων και των περιεχόμενων συγκεντρώσεων εντός του καυσίμου που κάθε φορά παραλαμβάνει το πλοίο μπορεί να διαφέρουν. Ωστόσο, η πιο κοντινή στην πραγματικότητα τιμή είναι αυτή που προσφέρει το σύστημα THETIS MRV, αφού συγκεντρώνει τις εκπεμπόμενες τιμές CO₂ όσο καλύτερα γίνεται από τις μετρήσεις του πλοίου. Έτσι, για το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ για την υπό εξέταση χρονική περίοδο, οι συνολικές ποσότητες εκπομπών CO₂ ήταν 46.842,97 tn ή 106,46 tn/ταξίδι ή 13,3 tn/ώρα. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται πως ο συντελεστής εκπομπών CO₂ είναι 3,117 g CO₂/g fuel, για το VLSFO.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [4], ο συντελεστής εκπομπών CO₂ για το LNG είναι 2,75 g CO₂/g fuel. Αυτό σημαίνει πως εάν επιλεγεί το LNG ως το εναλλακτικό καύσιμο οι συνολικές εκπομπές θα είναι

$$CO_2_Emissions_{LNG} = emission_factor_{LNG} * m_{consumption_LNG} = 41.318,75 \text{ tn CO}_2$$

ή 93,91 tn CO₂/ταξίδι ή 11,74 tn CO₂/ώρα.

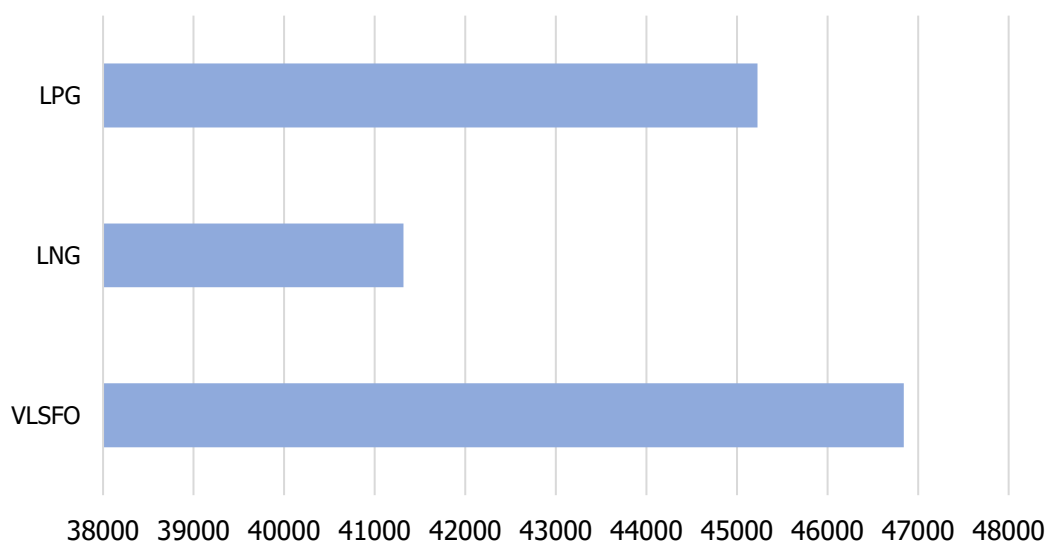
Αντίστοιχα, για το LPG ο συντελεστής εκπομπών CO₂ είναι 3,1 g CO₂/g fuel, έχοντας ίση αναλογία προπανίου/ βουτανίου, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη καύση του μείγματος εντός της μηχανής. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η χρήση του LPG για την συγκεκριμένη περίπτωση θα εκλύει

$$CO_2_Emissions_{LPG} = emission_factor_{LPG} * m_{consumption_LPG} = 45.225,25 \text{ tn CO}_2$$

ή 102,79 tn CO₂/ταξίδι ή 12,85 tn CO₂/ταξίδι.

Πίνακας 4.3: Εκπομπές CO₂ ανά καύσιμο

CO ₂ emission factor- VLSFO (g CO ₂ /g fuel)	3,18
Time Period emissions (tonnes CO ₂)	46.842,97
CO ₂ emission factor- LNG (g CO ₂ /g fuel)	2,75
Time Period emissions (tonnes CO ₂)	41.318,75
CO ₂ emission factor- LPG (g CO ₂ /g fuel)	3,01
Time Period emissions (tonnes CO ₂)	45.225,25



Διάγραμμα 4.11: Οι διαφορετικές εκπομπές CO₂ ανά καύσιμο

Στο σκέλος των υπόλοιπων αέριων εκπομπών, δεν μπορούν να υπολογιστούν ακριβείς ποσότητες καθώς τόσο σύστημα THETIS MRV, όσο και η ANEK LINES δεν έχουν μια λεπτομερή καταγραφή τους.

Σύμφωνα με μετρήσεις [5], το LNG μπορεί να παρέχει μείωση έως και 90% στις εκπομπές NO_x, 99% μείωση στις εκπομπές SO_x και 100% στις εκπομπές PM₁₀. Τα παραπάνω νούμερα κάθε άλλο παρά ευκαταφρόνητα είναι καθώς επιφέρουν μια δραστική μείωση στο σύνολο των επιβλαβών αερίων. Ειδικά για τις εκπομπές SO_x, που ήταν και οι πρώτες που μπήκαν στο στόχαστρο το IMO, το LNG θα μπορούσε να διαδραματίσει καίριο ρόλο στην μετάβαση από τα βαρέα καύσιμα σε ελαφρύτερα. Ωστόσο, αυτή η μείωση μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός της έλλειψης μεγάλων ποσοτήτων θείου στο φυσικό αέριο. Πρακτικά αυτές οι μειώσεις σε ποσότητες SO_x & PM₁₀ είναι σε παρόμοια επίπεδα με τις μειώσεις που επέρχονται και από την χρήση πλυντηρίδων, χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη και οι εκπομπές NO_x, οι οποίες μόνο με τη χρήση LNG, μπορούν να είναι εντός των ορίων του Tier III.

Στο κομμάτι του LPG, η χρήση του μπορεί να επιφέρει μείωση της τάξης του 15-20% ανάλογα με την αναλογία προπανίου/ βουτανίου, 95% μείωση στις εκπομπές SO_x και 100%

στις εκπομπές PM₁₀ [6]. Παρατηρείται πως για τις εκπομπές SO_x & PM₁₀, η μείωση κυμαίνεται στα ίδια ποσοστά με αυτή του LNG, ωστόσο στο κομμάτι των διοξειδίων του αζώτου η αντίστοιχη μείωση δεν είναι τόσο αποτελεσματική, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασία ανάφλεξης του LPG. Ωστόσο, η χρήση συστημάτων καθαρισμού των οξειδίων του αζώτου είναι εμπορικά διαθέσιμη και θα μπορούσε να “καλύψει” τη διαφορά των αυξημένων εκπομπών, ώστε να καταστεί η χρήση του καυσίμου εντός των ορίων του Tier III.

Τέλος, στο σκέλος των γενικότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το άκαυστο μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι μειώσεις σε σχέση με το MGO (που έχει παρόμοιες εκπομπές με το VLSFO), είναι αρκετά σημαντικές. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση σε σχέση με το HFO από τη χρήση του LNG μπορεί να φτάσει και το 18,3% ή το 17,8% σε σχέση με το MGO. Αντίστοιχα, για το LPG η μείωση κυμαίνεται σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα και είναι σε ποσοστά του 17% σε σχέση με το HFO και 16,5% σε σχέση με το MGO.

Πίνακας 4.4: Συγκριτικός πίνακας διαφορών στις εκπομπές GHG (πηγή: [5])

	HFO	MGO	LPG	LNG (Qatar)
Well-to-tank	9.79	12.69	7.15	9.68
Tank-to-propeller	77.70	74.40	65.50	61.80
Well-to-propeller	87.49	87.09	72.65	71.48
Difference to HFO	-	-0.50%	-17.0%	-18.30%

4.7 Υπολογισμός κόστους

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ANEK, το πλοίο ανεφοδιάζεται περίπου κάθε 12 ταξίδια ή 6 μέρες με καύσιμο VLSFO. Έχοντας μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη, τόσο το LNG όσο και το LPG, ο ανεφοδιασμός θα μπορούσε να γίνεται κάθε 7 ημέρες και για τα δύο καύσιμα. Έτσι, έχοντας ως ανάγκες $m_{consumption}=15.025,28$ τόνους καυσίμου VLSFO, το αντίστοιχο κόστος με τιμή 330 €/Mt (τιμή που το προμηθεύεται η εταιρεία και επιδέχεται πιο λεπτομερής μελέτης με σύγκριση διαχρονικών τιμών των καυσίμων) θα είναι:

$$C_{VLSFO} = m_{consumption} * Price_{VLSFO} = 4.958.250,00 \text{ € (24/4/2020-30/6/2021)}$$

Αντίστοιχα για το LNG και το LPG, για τιμές 250 €/Mt και 450 €/Mt έκαστος, τα κόστη ανεφοδιασμού θα είναι:

$$C_{LNG} = m_{total_LNG} * Price_{LNG} = 3.169.575,00 \text{ €}$$

$$C_{LPG} = m_{total_LPG} * Price_{LPG} = 6.048.774.00 \text{ €}$$

Πίνακας 4.5: Συγκεντρωτικά κόστη ανά καύσιμο

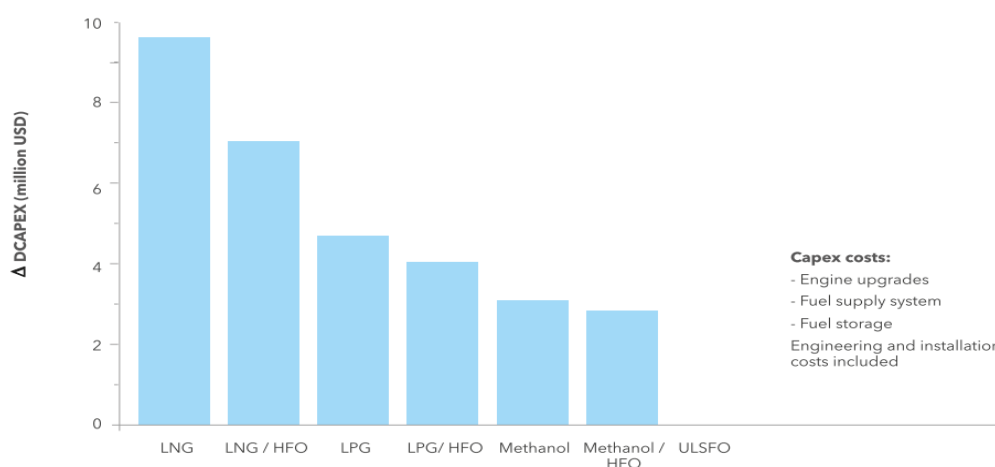
Fuel consumption/ specific period (tonnes)	15.025,00
VLSFO price/ ton (EUR/ton)	330,00 €
VLSFO price/ ton (EUR/ton)	4.958.250,00 €
Fuel consumption/ specific period (tonnes)	12.68
LNG price/ ton (EUR/ton)	250,00 €
LNG price/ ton (EUR/ton)	3.169.575,00 €
Fuel consumption/ specific period (tonnes)	13.44
LPG price/ ton (EUR/ton)	450,00 €
LPG price/ ton (EUR/ton)	6.048.774,00 €

Έτσι, η διαφορά για τα δύο καύσιμα μπορεί να υπολογιστεί σε:

$$\Delta_1 = \frac{4.958.250,00 - 3.169.575,00}{4.958.250,00} * 100 = -36\% \quad \& \quad \Delta_2 = \frac{4.958.250,00 - 6.048.774,00}{4.958.250,00} * 100 = 18\%$$

Παρατηρείται λοιπόν μια μείωση της τάξης του 36% εάν γίνει μετάβαση σε καύσιμο LNG, ενώ στον αντίποδα παρατηρείται αύξηση κατά 18% εάν επιλεγεί το LPG. Αυτό, θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός πως η αγορά του LNG είναι ήδη εδραιωμένη και έχει περάσει σε οικονομία κλίμακας για την ναυτιλία. Στον αντίποδα, το LPG αν και υπάρχει ως εναλλακτικό καύσιμο και ήδη υπάρχουν μερικά πλοία που το καταναλώνουν, δεν έχει φτάσει η κλίμακα, η διαθεσιμότητα και το δίκτυο διανομής του, τα αντίστοιχα του LNG.

Αξίζει να σημειωθεί πως στα παραπάνω κόστη δεν έχουν συμπεριληφθεί αυτά της μετασκευής και των αναγκαίων πληρωμών για τις εργασίες αυτών. Η εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης LPG είναι αρκετά πιο φθηνή από αυτή του LNG, καθώς το τελευταίο δεν απαιτεί την εγκατάσταση και χρήση κρυογονικών συστημάτων για την ψύξη του καυσίμου.



Διάγραμμα 4.12: Κόστη μετασκευής κινητήρων με βάση τον συνδυασμό καυσίμου (πηγή:

[5])

Σύμφωνα με τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV-GL, το κόστος μετασκευής ενός κινητήρα από χρήση HFO σε χρήση LNG, ανέρχεται στα περίπου 14 εκ. ευρώ, καθώς το Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ χρησιμοποιεί δύο κύριους κινητήρες και το κόστος της μετασκευής ενός κινητήρα ανέρχεται στα 7 εκ. ευρώ. Αντίστοιχα το κόστος μετασκευής από HFO σε LPG είναι στα 8 εκ. ευρώ, με κόστος μετασκευής ενός κινητήρα στα 4 εκ. ευρώ. Η διαφορά είναι 42,86% και θα μπορούσε να δικαιολογηθεί από δύο παράγοντες. Πρώτον τα συστήματα κρυογονικής μεταχείρισης και δεύτερον τον εγγενή χαρακτήρα του HFO (και παραγώγων τους) με το LPG, που όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η μετάβαση από HFO σε LPG απαιτεί μόνο τις αντίστοιχες δεξαμενές, αγωγούς και συστήματα έγχυσης και ασφάλειας ελέγχου διαρροών.

4.8 Συμπεράσματα

Η επιλογή ενός καυσίμου για την μετασκευή ενός ήδη υπάρχοντος πλοίου, σε καμία των περιπτώσεων δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μια εύκολη επιλογή. Αυτό καθώς μπορεί να υπάρχουν πολλοί αστάθμητοι παράγοντες που όσο καλά κι αν έχει γίνει η πρότερη έρευνα, πάντα μπορεί να προκύψει κάτι που δεν είχε υπολογιστεί σωστά. Επίσης, η σημαντικός παράγοντας είναι και η ηλικία του πλοίου και πόσα ωφέλιμα χρόνια θα έχει από την στιγμή που θα γίνει η μετασκευή. Στην περίπτωση του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ, το οποίο βρίσκεται σχεδόν στο μέσο της διάρκειας ζωής του (24 ετών, με Μ.Ο. ηλικίας για Ε/Γ-Ο/Γ τα 40 έτη), η εξέταση εναλλαγής σε εναλλακτικό καύσιμο είναι γόνιμη (έχοντας ως παραδοχές την λειτουργία των κινητήρων σε ίδια βάση και τις τιμές των καυσίμων σταθερές).

Έχοντας λάβει υπόψη, τόσο την ευκολία στην μετάβαση από το ένα καύσιμο στο άλλο, αλλά και την διαθεσιμότητα τους στην αγορά της Ελλάδας οι επιλογές συνέκλιναν στο LNG και το LPG, δυο καύσιμα γνωστά στην ναυτιλία. Το μεν LNG, μπορεί να προσφερθεί σε καλύτερη τιμή από ότι το LPG και είναι ήδη διαθέσιμο στην Ελλάδα, αλλά το κόστος μετασκευής του είναι σχεδόν διπλάσιο του LPG. Το δε LPG προσφέρει ευκολία στην χρήση του, χωρίς την χρήση πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία με τη σειρά τους απαιτούν πολύτιμο χώρο από τον διαθέσιμο εντός του πλοίου, αλλά δεν προσφέρει πολύ μεγάλη μείωση στους ρύπους. Έτσι, δεν μπορεί να εξαχθεί ένα ντετερμινιστικό αποτέλεσμα μεταξύ των δύο εναλλακτικών, καθώς η τελική απόφαση θα παρθεί με βάση την στρατηγική της εταιρίας. Ωστόσο, το σίγουρο είναι πως ακόμη και μέσω της μετασκευής σε νέους κινητήρες με βάση τα εξεταζόμενα καύσιμα, η επίτευξη των στόχων του IMO είναι αρκετά δύσκολη. Διαφαίνεται πως για ένα μέσο πλοίο της ελληνικής ακτοπλοΐας της συγκεκριμένη χρονική στιγμή (2021), αρκετά δελεαστική (από οικονομικής άποψης) φαίνεται η εγκατάσταση πλυντηρίδων καυσίμου, λόγω του χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης και της μικρότερης διάρκειας ζωής που απομένει στο πλοίο.

Κεφάλαιο 5^ο: Αποτίμηση και συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο την καταγραφή των κυριότερων ιδιοτήτων των υπάρχοντων αλλά και υπό ανάπτυξη ναυτιλιακών καυσίμων. Συνολικά έγινε ανάλυση 8 εναλλακτικών, τριών συμβατικών-ήδη χρησιμοποιούμενων και πέντε νέων καυσίμων. Η σύγκριση και επιλογή των καυσίμων έγινε με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία και ερευνητική τάση, τόσο της ελληνικής όσο και διεθνής βιβλιογραφίας. Πρόκειται ουσιαστικά, για μια λογική-ποιοτική σύγκριση των εναλλακτικών και όχι τόσο ποσοτική, καθώς η δεύτερη θα απαιτούσε πολύ μεγαλύτερο χρόνο ενασχόλησης και θα ξέφευγε από τα όρια της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, έγινε μια αποτύπωση της διεθνούς και ελληνικής ναυτιλιακής κοινότητας τόσο ως προς την σημασία της στο εμπόριο και την οικονομία, όσο και στα μεγέθη της. Στη συνέχεια, έγινε μια προσπάθεια να διαχωριστεί η ποντοπόρος ναυτιλία από την ναυτιλία μικρών αποστάσεων, καθώς οι ανάγκες τους αλλά και οι ιδιαιτερότητες τους δημιουργούν ένα μεγάλο χάσμα. Έπειτα, στο 2^ο κεφάλαιο αποτυπώθηκε το μερίδιο της ναυτιλίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και στις εκπομπές SO_x, NO_x, PM_{2.5} & PM₁₀. Το κύριο μέρος της εργασίας αφιερώθηκε στην αποτύπωση των δυνατών αλλά και αδύνατων σημείων των ναυτιλιακών καυσίμων, όπως και των περιβαλλοντικών/ οικονομικών χαρακτηριστικών τους, στοιχεία απαραίτητα για την επιλογή του βέλτιστου καυσίμου για την ακτοπλοΐα.

Ωστόσο, το τελευταίο μέρος της εργασίας σχετικά με την μελέτη για την επιλογή των εναλλακτικών καυσίμων, αλλά και της προσπάθειας υπολογισμού των βασικών παραμέτρων για τη μετάβαση σε αυτά, αποδείχθηκε αρκετά σύνθετο λόγω της ιδιαιτερότητας της ελληνικής ακτοπλοΐας. Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα, ο Μ.Ο. ηλικίας των πλοίων της ακτοπλοΐας συνεχώς μεγαλώνει όντας περίπου στα 28 έτη. Λόγω της οικονομικής κρίσης που έπληξε σφοδρά την Ελλάδα τα προηγούμενα χρόνια, δεν έχουν γίνει ναυπηγικά προγράμματα με στόχο την ανανέωση του στόλου και άρα την χρήση φιλικότερων προς το περιβάλλον τεχνολογιών. Προς το παρόν, η μόνη βιώσιμη επιλογή για την μείωση των ρύπων είναι η χρήση ακριβότερων καυσίμων χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο όπως το VLSFO και το MGO/MDO ή των λεγόμενων πλυντηρίδων, με κόστος εγκατάστασης περίπου στα 2.5 με 3 εκ. ευρώ.

Παράλληλα, η μεγάλη ηλικία του στόλου λειτουργεί αποτρεπτικά και για τους πλοιοκτήτες στην επιλογή της μετασκευής και μετάβασης σε εναλλακτικά καύσιμα, καθώς η μέση ζωή ενός πλοίου της ακτοπλοΐας είναι τα 40 έτη. Σύμφωνα με τον Νορβηγικό νηογνώμονα,

ο χρόνος αποπληρωμής ώστε να καταστεί προσοδοφόρα η επιλογή της μετασκευής, είναι τα 6 με 10 έτη, τόσο για το εξεταζόμενο LNG όσο και για το LPG. Ιδιαίτερα για το LPG, ο χρόνος αποπληρωμής θα μπορούσε να φτάσει ακόμη και τα 12 έτη εάν οι τιμές του καυσίμου δεν μειωθούν στα ποσοστά του LNG, δημιουργώντας έτσι μια οικονομία κλίμακας γύρω του. Η περίπτωση του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΛΥΡΟΣ, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως οριακή στο να είναι προσοδοφόρα για την εταιρεία. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο χρειάζεται να υπενθυμιστεί πως η πλοιοκτήτρια εταιρεία βρίσκεται σε οικονομικές δυσκολίες και άρα η επιλογή της μετάβασης σε εναλλακτικά καύσιμα φαντάζει αρκετά δύσκολη. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα οικονομικά βιώσιμο πλαίσιο με κρατική στήριξη προς την βιομηχανία, ώστε να μπορέσει να καταστεί δυνατή η εναλλαγή σε νέα καύσιμα, τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα και τις παραδοχές που υιοθετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική (ίδια βάση λειτουργίας του κινητήρα και τιμές καυσίμου όπως διαμορφώνονται το 2^ο εξάμηνο του 2021).

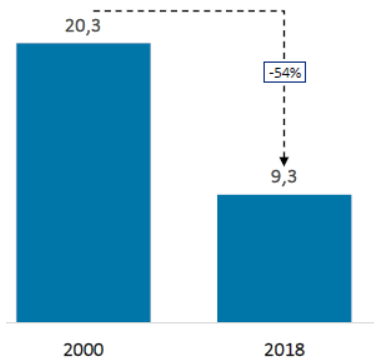
5.2 Συζήτηση και μελλοντικά βήματα

Το μέλλον της ναυτιλίας θα περιλαμβάνει ένα ευέλικτο μοντέλο καυσίμων, το πολυσυζητημένο “poly-fuel” σενάριο. Ο ηλεκτρισμός και οι μπαταρίες θα μπορούσαν να είναι μια εναλλακτική για την ναυτιλία μικρών αποστάσεων, καθώς θα υπάρχει συχνή πρόσβαση σε λιμένες για ανεφοδιασμό. Για την ποντοπόρο ναυτιλία, αυτή η επιλογή δεν μπορεί σε καμία των περιπτώσεων να καταστεί βιώσιμο, για ταξίδια 15 και 20 ημερών. Έτσι, για τους μεγαλύτερους κινητήρες το πιο πολλά υποσχόμενο καύσιμο είναι η μεθανόλη και η αμμωνία. Ενώ, εάν ληφθεί υπόψιν η μετάβαση σε FCs, τότε το υδρογόνο και η αμμωνία αποτελούν δύο πολύ καλές εναλλακτικές, λόγω της περιεκτικότητας τους σε υδρογόνο.

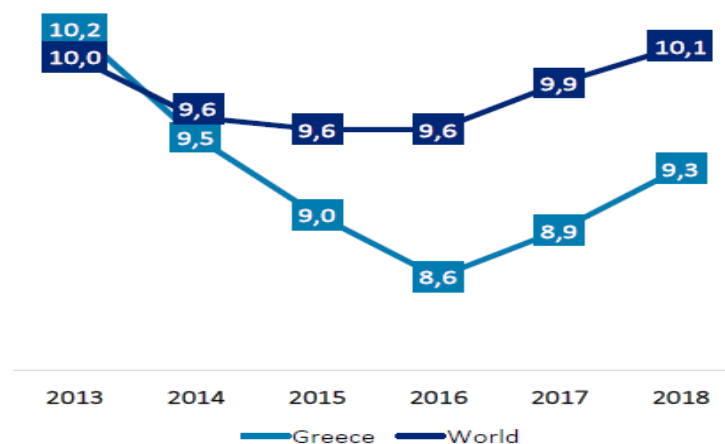
Ωστόσο, παρόλη την πίεση από τον IMO και την Διεθνή Κοινότητα, λίγοι συμμετέχοντες στην ναυτιλιακή βιομηχανία (ναυλωτές, προμηθευτές) έχουν λάβει αποδεδειγμένα μέτρα για να συμβάλλουν στην μείωση των GHG εκπομπών, με το μεγαλύτερο βάρος να πέφτει εν έτη μια φορά στους πλοιοκτήτες [2]. Σύμφωνα με τους ειδικούς, αυτή η σχετική δυσκολία στην ευρεία υιοθέτηση μέτρων από όλο την κοινότητα μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός πως η μετάβαση όλου του στόλου σε νέα καύσιμα θα είναι ιδιαίτερα δαπανηρή φτάνοντας ακόμα και τα \$1.4 τρις, ενώ η πλήρης απανθρακοποίηση της βιομηχανίας θα μπορούσε να κοστίσει \$500 δις επιπλέον. Ο Αμερικανικός Νηογνώμονας σε μια πρόσφατη έρευνα του τον Μάιο του 2020 εκτίμησε πως περίπου το 60% των ναυτιλιακών εταιρειών δεν έχουν κάποια στρατηγική για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Αυτό ωστόσο, δεν είναι μόνο ευθύνη των πλοιοκτητών, αλλά και των αρχών που θεσμοθετούν, καθώς δεν έχουν αναπτύξει ακόμα ένα λεπτομερές μοντέλο για την μετάβαση στην “πράσινη ναυτιλία” [3].

Στο κομμάτι της Ελληνικής ναυτιλίας σύμφωνα με την Deloitte, ο ελληνόκτητος στόλος έχει διαγράψει μια θεαματική μείωση από θέμα μέσης ηλικίας το χρονικό διάστημα 2000-2018.

Πιο συγκεκριμένα, η μέση ηλικία στόλου έχει μειωθεί κατά 54%, από τα 20,3 χρόνια στα 9,3 χρόνια και παράλληλα συγκρατεί μια διαφορά της τάξης του ενός έτους σε σχέση με την παγκόσμια μέση ηλικία στόλου [1].



Διάγραμμα 5.1: Μεταβολή μέσης ηλικίας ελληνόκτητου στόλου από το 2000 στο 2018 (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)



Διάγραμμα 5.2: Μεταβολή μέσης ηλικίας ελληνόκτητου – παγκόσμιου στόλου (πηγή: Deloitte, Impact Analysis of the Greek Shipping Industry)

Στο σκέλος των επόμενων βημάτων για την εξέλιξη της συγκεκριμένης έρευνας, πολλά μονοπάτια θα μπορούσαν να “ακολουθηθούν”, τόσο στον τομέα της περαιτέρω εμβάθυνσης στα χαρακτηριστικά του κάθε καυσίμου σε σχέση με τις ανάγκες της ναυτιλίας, όσο και στο οικονομοτεχνικό πλαίσιο. Πιο συγκεκριμένα, μερικές προτάσεις θα ήταν:

1. Η ποσοτική διερεύνηση των εναλλακτικών, μέσω της συλλογής δεδομένων από τους εμπλεκόμενους φορείς
2. Η ακριβής απεικόνιση της μείωσης των ρύπων, μέσω της συνεχής καταγραφής των “real-time” δεδομένων
3. Η τεχνική ανάλυση των δομικών εξαρτημάτων του πλοίου που θα έχρηζαν μετασκευής για την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων

Βιβλιογραφία

- [1] "Shipping and World Trade: Global Supply and Demand for Seafarers | International Chamber of Shipping." <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-global-supply-and-demand-for-seafarers/> (accessed Mar. 22, 2021).
- [2] "Η τεχνολογία 5G προς την αναβάθμιση του επιπέδου ασφάλειας στα λιμάνια | Ναυτικά Χρονικά." <https://www.naftikachronika.gr/2021/03/19/i-technologia-5g-pros-tin-anavathmisi-tou-epipedou-asfaleias-sta-limania/> (accessed Mar. 22, 2021).
- [3] "Συνεργασία Vodafone και ΟΛΠ για την ψηφιακή μετάβαση του Πειραιά | Business Daily." https://www.businessdaily.gr/epiheiriseis/38964_synergasia-vodafone-kai-olp-gia-tin-psifiaki-metabasi-toy-peiraia (accessed Mar. 22, 2021).
- [4] "Shipping and world trade: driving prosperity | International Chamber of Shipping." <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/> (accessed Mar. 22, 2021).
- [5] H. Benamara, "Role of International Shipping," *UNCTAD Multilayer Expert Meet. Transp. Trade Logist. Trade Facil. 21-23 Novemb. 2018, Geneva*, no. November, p. 13p., 2018, [Online]. Available: https://unctad.org/meetings/en/Presentation/MyEM6th_day01ppt_Benamara_en.pdf.
- [6] FCCA, "State of the Cruise Industry," 2018, [Online]. Available: <https://www.fcca.com/downloads/2018-Cruise-Industry-Overview-and-Statistics.pdf>.
- [7] "State Of The Cruise Industry: Smooth Sailing Into The 2020's." <https://www.forbes.com/sites/joemicallef/2020/01/20/state-of-the-cruise-industry-smooth-sailing-into-the-2020s/?sh=41bde1bf65fa> (accessed Mar. 22, 2021).
- [8] "Ένωσις Ελλήνων Εφοπλιστών :: Ελληνική Ναυτιλία και Οικονομία 2020." <https://www.ugs.gr/gr/greek-shipping-and-economy/greek-shipping-and-economy-2020/> (accessed Mar. 17, 2021).
- [9] "Ακτοπλοΐα - Βικιπαίδεια." <https://el.wikipedia.org/wiki/Ακτοπλοΐα> (accessed Mar. 16, 2021).
- [10] Deloitte, "Impact Analysis of the Greek Shipping Industry," 2020. [Online]. Available: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gr/Documents/about-deloitte/gr_Deloitte_Greek_Shipping_Impact_2019_noexp.pdf.
- [11] F. F. O. R. Economic, "Η επιβατηγός ναυτιλία στην Ελλάδα την περίοδο 2016-2020 : Επιδόσεις , συμβολή στην οικονομία και προοπτικές Περίληψη," pp. 1–7, 2020.

- [12] I. O. & B. ΕΡΕΥΝΩΝ, "Η Συμβολή Της Επιβατηγού Ναυτιλίας Στην Ελληνική Οικονομία," 2017, [Online]. Available: http://iobe.gr/docs/research/RES_05_F_02112017_PRE_GR.pdf.
- [13] IMO, "INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS," 2018. Accessed: Mar. 16, 2021. [Online]. Available: <http://www.imo.org>.
- [14] Shell, "Decarbonising Shipping: All Hands On Deck," 2020. Accessed: Apr. 08, 2021. [Online]. Available: www.shell.com/DecarbonisingShipping.
- [15] Σ. Σταμάτης, "ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ," pp. 1–148, 2014.
- [16] T. B. G. Egziabher and S. Edwards, "Ship emissions toolkit," *Africa's potential Ecol. Intensif. Agric.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [17] "What is Nitrogen Oxides or NOx air pollution from Ships?" <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-nitrogen-oxides-or-nox-air-pollution-from-ships/> (accessed Mar. 31, 2021).
- [18] "Shipping Industry and the NOx Emissions - Sea News Global Maritime News." <https://seanews.co.uk/features/shipping-industry-and-the-nox-emissions/> (accessed Mar. 31, 2021).
- [19] IMO - Marine Environment Protection Committee, "Reduction of GHG emissions from ships. Fourth IMO GHG Study 2020," *Int. Marit. Organ.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2020.
- [20] "Implementing Energy Efficiency Design Index (EEDI)."
- [21] J. Villy and N. Freese, "CO2 Emissions from International Shipping," APA, 2017.
- [22] A. Mousavi *et al.*, "Impact of particulate matter (PM) emissions from ships, locomotives, and freeways in the communities near the ports of Los Angeles (POLA) and Long Beach (POLB) on the air quality in the Los Angeles county," *Atmos. Environ.*, vol. 195, pp. 159–169, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.09.044.
- [23] Δ. Α. ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ, "Χρήση συστημάτων Scrubber στα πλοία. Έλεγχος των τεχνικών χαρακτηριστικών λειτουργίας τους και προτάσεις για τη βελτίωσή τους," ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, 2019.
- [24] IMO, "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)." [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) (accessed Mar. 16, 2021).

- [25] UNFCCC, "ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT - Paris Agreement text English," 2015.
- [26] "IMO 2020: Are we ready?," <https://www.nortonrosefulbright.com/en-gr/knowledge/publications/2019>, Accessed: Apr. 08, 2021. [Online]. Available: <https://www.nortonrosefulbright.com/en-gr/knowledge/publications/5c72cf58/enforcing-imo-2020-are-we-ready>.
- [27] DNV GL, "Summary: Alternative fuels and technologies for greener shipping," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, p. 12, 2019.
- [28] "A Guide To Scrubber System On Ship." <https://www.marineinsight.com/tech/scrubber-system-on-ship/> (accessed Apr. 08, 2021).
- [29] A. Halff, "SLOW STEAMING TO 2020: INNOVATION AND INERTIA IN MARINE TRANSPORT AND FUELS," 2017. Accessed: Apr. 13, 2021. [Online]. Available: www.sipa.columbia.edu.
- [30] J. Faber, T. Huigen, and D. Nelissen, "Regulating speed: a short-term measure to reduce maritime GHG emissions," 2017. [Online]. Available: www.cedelft.eu.