



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ
ΣΤΙΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ - ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΕΩΣ ΤΟ 2050**

MASTER'S THESIS

**THE IMPACT OF THE GAS POLLUTANTS REGULATORY FRAMEWORK
ON THE SHIPPING BUSINESS - THE CHALLENGES UNTIL 2050**

Συγγραφέας:

Ζιώτα Μαρία Ελένη

A.M.: 1905

Διδάσκων - Επιβλέπων:

Τσιούμας Ευάγγελος

Αιγάλεω, Σεπτέμβριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ
ΣΤΙΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ - ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΕΩΣ ΤΟ 2050**

Συγγραφέας:

Ζιώτα Μαρία Ελένη

A.M.: 1905

Διδάσκων - Επιβλέπων:

Τσιούμας Ευάγγελος

Ημερομηνία εξέτασης

12/09/2023

Εξεταστική Επιτροπή

Ευάγγελος Τσιούμας,
Διδάσκων - Επιβλέπων

Γεώργιος Λιβανός,
Αναπληρωτής Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α.

Αντώνιος Χατζηποστόλου,
Αναπληρωτής Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαρία Ελένη του Δημοσθένη Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 1905, μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα

Ζιώτα Μαρία Ελένη



Ευχαριστίες

Τις ευχαριστίες μου:

Στο Διδακτικό Ερευνητικό Προσωπικό και Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό του τμήματος των Ναυπηγών Μηχανικών.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους,

καθηγητή κύριο Κωνσταντίνο Πολίτη Πρόεδρο του τμήματος, για την στήριξη που μου παρείχε,

τον διδάσκοντα – επιβλέποντα κύριο Ευάγγελο Τσιούμα για την πολύτιμη καθοδήγηση στην συγγραφή της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τις ναυτιλιακές εταιρίες που συμμετείχαν στην συμπλήρωση του ερωτηματολογίου για την δημιουργία συντελεστών βαρύτητας, κατά την ποιοτική βαθμολόγηση των παραμέτρων αξιολόγησης των καυσίμων.

Ζιώτα Μαρία Ελένη



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	Σελ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	<u>iii</u>
PROLOGUE	<u>iv</u>
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	<u>v</u>
PURPOSE AND STRUCTURE OF THE WORK	<u>vi</u>
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	<u>vii</u>
ABSTRACT	<u>viii</u>
A. Εισαγωγή	<u>1</u>
B. Κανονιστικό πλαίσιο, οι στοχεύσεις και οι επικαλύψεις του	<u>2</u>
1. Κανονιστικό πλαίσιο – Συνοπτικός πίνακας μέτρων του IMO και της ΕΕ	<u>2</u>
2. Ρυθμιστικό χρονοδιάγραμμα και επικαλύψεις	<u>2</u>
3. Παραστατική παρουσίαση ρυθμιστικού πλαισίου IMO & EU	<u>2</u>
4. Ακαδημαϊκές εργασίες και δημοσιεύσεις ναυτιλιακών ενώσεων, σχετικά με τους κανονισμούς του IMO και της ΕΕ για τις εκπομπές GHG από πλοία και την εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου.	<u>3</u>
C. Δυνατότητες προσαρμογής της ναυτιλίας στο κανονιστικό πλαίσιο	<u>8</u>
1. Αλλαγή του τρόπου λειτουργίας του πλοίου	<u>8</u>
2. Τεχνικές βελτιώσεις.	<u>8</u>
3. Μετάβαση σε καύσιμα που παράγουν λιγότερο CO ₂	<u>9</u>
D. Εναλλακτικά καύσιμα	<u>10</u>
1. Εναλλακτικά καύσιμα που παράγονται από πρώτες ύλες που περιέχουν Άνθρακα – κρίσιμα ζητήματα	<u>13</u>
a. Ενεργειακό περιεχόμενο καυσίμων από πηγές άνθρακα – ενεργειακά ισοδύναμοι όγκοι εναλλακτικών καυσίμων.	<u>13</u>
b. Επικινδυνότητα – τοξικότητα – ειδικές συνθήκες διαχείρισης	<u>16</u>
c. Η αμμωνία ως καύσιμο	<u>17</u>
d. Πρώτες ύλες παραγωγής βιοκαυσίμων – Ζητήματα επάρκειας πόρων	<u>18</u>
e. Διαθεσιμότητα βιοκαυσίμων	<u>22</u>
f. Ανταγωνιστικές καταναλώσεις	<u>22</u>
g. Τεχνολογίες πρόωσης	<u>23</u>
h. Τιμές	<u>24</u>

i. Αποθέματα ορυκτών καυσίμων - προοπτικές	<u>24</u>
j. Επίδραση των τιμών των ορυκτών καυσίμων στις τιμές των εναλλακτικών καυσίμων.	<u>28</u>
2. Εναλλακτικά καύσιμα από ανόργανες πρώτες ύλες – Υδρογόνο - Σκόνη Αλουμινίου	<u>28</u>
a. Περιβαλλοντική επίδραση του Αλουμινίου	<u>30</u>
b. Τεχνολογίες πρόωσης	<u>30</u>
c. Τιμές – συγκρίσεις	<u>32</u>
3. Πυρηνική ενέργεια στα πλοία	<u>34</u>
4. Καθοριστικές παράμετροι των GHG εκπομπών και της ποσοτικής επάρκειας των εναλλακτικών καυσίμων	<u>35</u>
5. Οι ισχύουσες τιμές ως κριτήριο επιλογής των εναλλακτικών καυσίμων	<u>37</u>
6. Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων	<u>39</u>
a. Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος καυσίμων	<u>40</u>
b. Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος καυσίμων	<u>42</u>
c. Περιβαλλοντική επιβάρυνση του όλου κύκλου ζωής των εναλλακτικών καυσίμων	<u>45</u>
d. Ωρίμανση τεχνολογιών πρόωσης	<u>48</u>
e. Ευφλεκτότητα εναλλακτικών καυσίμων	<u>49</u>
f. Συνθήκες αποθήκευσης καυσίμων	<u>52</u>
g. Τοξικότητα – επικινδυνότητα διαχείρισης	<u>54</u>
h. Ποιοτική βαθμολόγηση παραμέτρων – συντελεστές βαρύτητας	<u>58</u>
7. Κρίσεις και σχόλια αναφορικά με τα καύσιμα	<u>64</u>
8. Ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση επικρατέστερων μελλοντικών ανανεώσιμων καυσίμων	<u>65</u>
E. Προβληματισμοί της ναυτιλιακής βιομηχανίας	<u>66</u>
1. Των πλοιοκτητών – εταιριών διαχείρισης	<u>66</u>
2. Των κατασκευαστών τεχνολογιών πρόωσης & των ναυπηγείων	<u>67</u>
3. Των προμηθευτών καυσίμων και των λιμένων	<u>67</u>
4. Της βιομηχανίας παραγωγής καυσίμων	<u>67</u>
F. Συζήτηση / Συμπεράσματα	<u>68</u>
F. Discussion / Conclusions	<u>69</u>

<i>Παράρτημα I – Διαγράμματα τιμών καυσίμων και τάσεων τιμών δεκαετίας</i>	<u>70</u>
<i>Παράρτημα II - Αναδημοσίευση των βιβλιογραφικών αναφορών της μελέτης των, Δρ. Linda Finska και του επικεφαλής της έρευνας Henrik Ringbom, του Πανεπιστημίου Åbo Akademi, «Ρύθμιση αερίων του θερμοκηπίου από πλοία - Σχετικά με τη διαθέσιμη διακριτική ευχέρεια για ρυθμιστικές λύσεις σε μια μελέτη ευρωπαϊκής και φινλανδικής προοπτικής, 10/2/2022»</i>	<u>78</u>
<i>Παράρτημα III - Ακαδημαϊκές εργασίες και δημοσιεύσεις ναυτιλιακών ενώσεων, σχετικά με τους κανονισμούς του IMO και της ΕΕ για τις εκπομπές GHG από πλοία και την εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου.</i>	<u>92</u>
<i>Παράρτημα IV – Ερωτηματολόγιο ναυτιλιακών</i>	<u>94</u>
<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ</i>	<u>95</u>
<i>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΩΝ</i>	<u>99</u>
<i>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</i>	<u>100</u>
<i>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</i>	<u>101</u>

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ένας από τους ενεργειακά πιο αποδοτικούς τρόπους μεταφοράς και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία. Είναι όμως επίσης μια μεγάλη και αυξανόμενη πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG).

Το 2018, οι παγκόσμιες εκπομπές από τη ναυτιλία αντιπροσώπευαν 1.076 εκατομμύρια τόνους CO₂ και ήταν υπεύθυνες για περίπου το 2,9% των παγκόσμιων εκπομπών που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Αυτές οι εκπομπές αναμένεται να αυξηθούν από 90% έως και 130%, έως το 2050, σε σχέση με τις εκπομπές του 2008, σύμφωνα με μια σειρά οικονομικών και ενεργειακών σεναρίων - *European Commission: Reducing emissions from the shipping sector* [W-1].

Η επίδραση ή η αύξηση της επίδρασης των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων στην κλιματική αλλαγή, θα υπονομεύσει, στο βαθμό που τους αναλογεί, τους στόχους της *Συμφωνίας του Παρισιού* [W-2], δηλαδή στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε πολύ κάτω από 2°C, με τις προσπάθειες να έχουν σαν στόχο τον περιορισμό της υπερθέρμανσης κάτω από 1,5°C.

Οι παγκόσμιες ανησυχίες για την αλλαγή του κλίματος είναι απόλυτα δικαιολογημένες και έχουν οδηγήσει τους διεθνείς οργανισμούς και πολλά κράτη στη λήψη μέτρων για την αντιστροφή της κατάστασης που έχει διαμορφωθεί.

Στο πλαίσιο αυτό έχουν ληφθεί μέτρα για τον περιορισμό των αέριων ρύπων και από τη ναυτιλία, κυρίως από τον IMO και την EU.

Την επίδραση του κανονιστικού πλαισίου για αέριους ρύπους στις ναυτιλιακές επιχειρήσεις και τις προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν, θα εξετάσουμε στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

PROLOGUE

Maritime transport is one of the most energy efficient modes of transport and plays an important role in the global economy. But it is also a large and growing source of greenhouse gas (GHG) emissions.

In 2018, global emissions from shipping accounted for 1,076 million tonnes of CO₂ and were responsible for about 2.9% of global emissions caused by human activities. These emissions are expected to increase by 90% to as much as 130% by 2050 compared to 2008 emissions under a range of economic and energy scenarios - *European Commission: Reducing emissions from the shipping sector* [[W-1](#)].

The effect or increase in the effect of shipping activities on climate change will undermine, to the extent attributable to them, the objectives of the *Paris Agreement* [[W-2](#)], that is to limit global warming to well below 2°C, with the efforts to limit warming below 1.5°C.

Global concerns about climate change are fully justified and have led international organizations and many states to take measures to reverse the situation that has developed.

In this context, measures have been taken to limit air pollution from shipping, mainly by the IMO and the EU.

The effect of the regulatory framework for gaseous pollutants on shipping companies and the challenges they have to face, will be examined in this postgraduate thesis.

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία στοχεύει στον, κατά το δυνατόν, πληρέστερο προσδιορισμό, των επιπτώσεων του διεθνούς κανονιστικού πλαισίου για τους αέριους ρύπους στις ναυτιλιακές επιχειρήσεις, με την αξιολόγηση των κύριων παραμέτρων επίδρασης. Ειδικότερα:

Διερευνώνται οι ενεργειακές προοπτικές και ζητήματα επάρκειας πηγών παραγωγής καυσίμων μειωμένων και μηδενικών εκπομπών για τη ναυτιλία.

Επίσης αξιολογείται η συμβατότητα, των αποδεκτών περιβαλλοντικά εναλλακτικών καυσίμων, με τις απαιτήσεις της ναυτιλίας.

Η εργασία πραγματοποιείται την:

- Καταγραφή του διεθνούς κανονιστικού πλαισίου για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από πλοία.
- Κωδικοποίηση των μέτρων του διεθνούς κανονιστικού πλαισίου.
- Παραστατική παρουσίαση του χρονοδιαγράμματος, των επικαλύψεων και των κατηγοριών των μέτρων του διεθνούς κανονιστικού πλαισίου.
- Αναφορά ακαδημαϊκών εργασιών και δημοσιεύσεων ναυτιλιακών ενώσεων, σχετικά με το διεθνές κανονιστικό πλαίσιο.
- Ανάλυση των δυνατοτήτων προσαρμογής της Ναυτιλίας στο διεθνές κανονιστικό πλαίσιο.
- Καταγραφή και αξιολόγηση των εναλλακτικών ναυτιλιακών καυσίμων, στο πλαίσιο της πρωτογενούς ενεργειακής πραγματικότητας, ως κυρίαρχης παραμέτρου για την προσαρμογή της ναυτιλίας στο διεθνές κανονιστικό πλαίσιο.
- Περιγραφή των επιπτώσεων του διεθνούς κανονιστικού πλαισίου, ανά τομέα του ναυτιλιακού κλάδου.
- Συμπεράσματα

PURPOSE AND STRUCTURE OF THE WORK

The work aims to determine, as fully as possible, the effects of the international regulatory framework for gaseous pollutants on shipping companies, by evaluating the main impact parameters. Particularly:

The energy prospects and sufficiency issues of reduced and zero emission fuel production sources for shipping are explored.

The compatibility of environmentally acceptable alternative fuels with shipping requirements is also evaluated.

The work deals with:

- Record of the international regulatory framework for greenhouse gas emissions from ships.
- Codification of international regulatory framework measures.
- Visual presentation of the schedule, overlaps and categories of international regulatory framework measures.
- Reference of academic works and publications of shipping associations, regarding the international regulatory framework.
- Analysis of the possibilities of adaptation of Shipping to the international regulatory framework.
- Recording and evaluation of alternative marine fuels, in the context of the primary energy reality, as a dominant parameter for the adaptation of shipping to the international regulatory framework.
- Description of the effects of the international regulation framework, by sector of the shipping industry.
- Conclusions

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην προσπάθεια αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, του οξειδίου του θείου, του οξειδίου του αζώτου και της μείωσης των σωματιδίων στον αέρα, έχει διαμορφωθεί από τους διεθνείς οργανισμούς και τα κράτη ένα κανονιστικό πλαίσιο, το οποίο κατά καιρούς αναμορφώνεται με τάσεις αυξανόμενης αυστηροποίησης. Οι επιδράσεις του κανονιστικού πλαισίου στην ναυτιλία, όπως την ξέρουμε σήμερα, είναι καταλυτικές.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι επιδράσεις στη ναυτιλία με την ευρεία έννοια (των πλοιοκτητών – εταιριών διαχείρισης, των κατασκευαστών τεχνολογιών πρόωσης & των ναυπηγείων, των προμηθευτών καυσίμων και των λιμένων, της βιομηχανίας παραγωγής καυσίμων) και οι δυνατότητες της ναυτιλίας να προσαρμοσθεί στις απαιτήσεις του κανονιστικού πλαισίου. Αξιολογούνται κυρίως οι εναλλακτικές λύσεις καυσίμων και τεχνολογιών πρόωσης με μικρότερες εκπομπές GHG, ως ο κρίσιμος παράγων προσαρμογής, υπό το πρίσμα της σταδιακής εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων και διατυπώνονται σχετικές προτάσεις.

Η εκπομπή των αερίων θερμοκηπίου δεν αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα της ναυτιλίας, αλλά ως γενικότερο ζήτημα των καυσίμων και των εκπομπών τους. Είναι γνωστό ότι από το 2025 τα καύσιμα θα επιβαρύνονται άμεσα ή έμμεσα με φόρους ανάλογα με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο σύνολο του κύκλου ζωής τους - FuelEU Maritime Regulation [W-3]. Κατά συνέπεια είναι κρίσιμη η απάντηση όχι μόνο στο ποιο καύσιμο θα χρησιμοποιηθεί αλλά και η πρώτη ύλη παραγωγής του. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζονται ζητήματα επάρκειας ανανεώσιμων πόρων και υπογραμμίζεται ο κίνδυνος από την ανεξέλεγκτη αύξηση της παραγωγής βιοκαυσίμων εις βάρος της παραγωγής τροφίμων και τους επισιτιστικούς κινδύνους που εγκυμονεί μια τέτοια επιλογή.

Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες πρόωσης εναλλακτικών καυσίμων βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης και δοκιμών. Οι ναυτιλιακές εταιρίες διερευνούν τις ρεαλιστικές λύσεις του αύριο και όσον αφορά τα καύσιμα αλλά και τις τεχνολογίες πρόωσης.

Στο πλαίσιο αυτό είναι ουσιαστική προϋπόθεση να αποδειχθεί σωστός ο σχεδιασμός, σε πολιτικό επίπεδο, σε επίπεδο δηλαδή διεθνών οργανισμών και κρατών, που αφορά στο ενεργειακό μέλλον της ανθρωπότητας και να συνοδευτεί με τις κατάλληλες ενημερώσεις, με ενίσχυση της έρευνας και των επενδύσεων στην κατεύθυνση που έχει επιλεγεί.

Το κανονιστικό πλαίσιο, η αυστηρότητά του και η πίεση εφαρμογής του μπορεί και πρέπει να είναι το εργαλείο επιβολής μιας ρεαλιστικής πολιτικής. Η πίεση εφαρμογής ενός αυστηρού κανονιστικού πλαισίου που δεν είναι σε αντιστοιχία με την πραγματικότητα, μπορεί να επιφέρει τα αντίθετα των αναμενόμενων αποτελέσματα.

ABSTRACT

In the effort to deal with the environmental effects of greenhouse gas emissions, sulfur oxide, nitrogen oxide and the reduction of particles in the air, a regulatory framework has been formed by international organizations and states, which is reformed from time to time with trends increasing tightening. The effects of the regulatory framework on shipping as we know it today are catalytic.

This paper examines the effects on shipping in the broadest sense (of shipowners - management companies, manufacturers of propulsion technologies & shipyards, fuel suppliers and ports, the fuel production industry) and the possibilities of shipping to adapt to the regulatory requirements framework. Alternative fuel and propulsion technology solutions with lower GHG emissions, as the critical adaptation factor, in light of the gradual depletion of fossil fuel reserves are mainly evaluated and related proposals are formulated.

The emission of greenhouse gases is not treated as a shipping problem, but as a more general issue of fuels and their emissions. It is known that from 2025 fuels will be directly or indirectly taxed according to greenhouse gas emissions throughout their production cycle - FuelEU Maritime Regulation [[W-3](#)]. Consequently, the answer is critical not only to which fuel will be used but also the raw material of its production. In this context, issues of sufficiency of renewable resources are examined and the risk of an uncontrolled increase in the production of biofuels at the expense of food production and the nutritional risks that such a choice carries are highlighted.

Most of the alternative fuel propulsion technologies are under development and testing. Shipping companies are exploring tomorrow's realistic solutions both in terms of fuel and propulsion technologies.

In this context, it is an essential condition to prove the correct planning, at the political level, that is, at the level of international organizations and states, regarding the energy future of humanity and to be accompanied by the appropriate updates, with the strengthening of research and investments in the direction that has been chosen.

The regulatory framework, its rigor and enforcement pressure can and should be the tool to enforce a pragmatic policy. The pressure to apply a strict regulatory framework that does not correspond to reality can bring about the opposite of the expected results.

A. Εισαγωγή

Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στη θάλασσα σήμερα, αντιπροσωπεύει περίπου 2,2 εκατομμύρια βαρέλια ισοδύναμου πετρελαίου (MBOE), σχεδόν δηλαδή 1.070 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (MtCO₂eq), αντικατοπτρίζοντας το 2,9% των παγκόσμιων εκπομπών. Επιπλέον, το λεγόμενο καύσιμο bunkers έχει πολύ χαμηλή ποιότητα, με αποτέλεσμα υψηλές εκπομπές οξειδίου του θείου (SO_x), οξειδίου του αζώτου (NO_x) και σωματιδίων (PM).

Στην προσπάθεια αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, του οξειδίου του θείου, του οξειδίου του αζώτου και της μείωσης των σωματιδίων στον αέρα:

- Στις 23ης Απριλίου 2009, εκδόθηκε η Οδηγία 2009/16/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ σχετικά με τον έλεγχο των πλοίων από το κράτος λιμένα.
- Το 2015 τέθηκαν σε εφαρμογή *The European MRV Regulation (EU2015/757)*, με έναρξη ισχύος από 1η Ιανουαρίου 2018. Οδηγίες για πλοία άνω των 5000 GT που μεταφέρουν επιβάτες ή φορτίο προς, από ή μεταξύ λιμένων ΕΕ/ΕΟΧ, ανεξαρτήτως σημαίας.
- Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), από το 2011, έχει εφαρμόσει ένα ρυθμιστικό μέτρο των απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης για όλα τα πλοία παγκοσμίως για τη μείωση των εκπομπών αερίων από τον ναυτιλιακό τομέα, μέσω προγραμμάτων όπως τα *Standards Energy Efficiency Design Index (EEDI)* και το *Ship Energy Efficiency - Σχέδιο Διαχείρισης (SEEMP)*.
- Οι Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Θείου (SECA) τέθηκαν σε ισχύ το 2015 για τη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο από 4,5% σε 0,1% στη Βαλτική Θάλασσα και στις αμερικανικές ακτές και 0,5% αλλού το 2020.
- Οι κανονισμοί για τη μείωση των εκπομπών NO_x έχουν επίσης τεθεί σε ισχύ από το 2016.
- Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας πρότεινε ένα σενάριο με μια σειρά από δραστηριότητες που πρέπει να τεθούν σε ισχύ αμέσως για την επίτευξη των αναμενόμενων στόχων, μεταξύ των οποίων και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων.
- Από το 2018 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μια σειρά προτάσεων για να καταστήσει τις πολιτικές της ΕΕ για το κλίμα, την ενέργεια, τις μεταφορές και τη φορολογία κατάλληλες για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 - Fit for 55 package [W-4] σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ προωθεί τις βιώσιμες μεταφορές, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτροδότησης των σιδηροδρόμων και της χρήσης οχημάτων καθαρής ενέργειας και ταυτόχρονα εισάγει αυστηρές απαιτήσεις παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών και αναφοράς για τη ναυτιλία και την αεροπορία. Η Πράσινη Συμφωνία θα αρχίσει να εφαρμόζεται από τις αρχές του 2023.

B. Κανονιστικό πλαίσιο, οι στοχεύσεις και οι επικαλύψεις του

1. Κανονιστικό πλαίσιο – Συνοπτικός πίνακας μέτρων του IMO και της ΕΕ

Στη μελέτη που εκπονήθηκε από τη Δρ. Linda Finska και τον επικεφαλής της έρευνας Henrik Ringbom, του Πανεπιστημίου Åbo Akademi, «Ρύθμιση αερίων του θερμοκηπίου από πλοία - Σχετικά με τη διαθέσιμη διακριτική ευχέρεια για ρυθμιστικές λύσεις σε μια μελέτη ευρωπαϊκής και φινλανδικής προοπτικής, 10/2/2022» [W-5], υπάρχει λεπτομερής βιβλιογραφική αναφορά, περισσότερων από τριακοσίων είκοσι τριών εγγράφων, αναφορικά με το κανονιστικό πλαίσιο των IMO & EU, το πρωτόκολλο του Κγτο, τη συμφωνία του Παρισιού, των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC), άλλα έγγραφα ειδικού ενδιαφέροντος κ.λπ. Στο Παράρτημα της παραπάνω μελέτης δημοσιεύεται επίσης συνοπτικός πίνακας των μέτρων του IMO & της EU, ([Πίνακας 1](#), μεταφρασμένος, σελίδα 4 & 5).

Οι βιβλιογραφικές αναφορές των εγγράφων που αφορούν στο διεθνές κανονιστικό πλαίσιο αναδημοσιεύονται στο [Παράρτημα II](#).

2. Ρυθμιστικό χρονοδιάγραμμα και επικαλύψεις

Επίσης δημοσιεύεται στην παραπάνω μελέτη το ρυθμιστικό χρονοδιάγραμμα και οι επικαλύψεις, των μέτρων της ΕΕ και του IMO, όπως αυτό διαμορφώθηκε από το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ναυτιλίας ([σελίδα 6](#)).

3. Παραστατική παρουσίαση ρυθμιστικού πλαισίου IMO & EU

Στο *Report του 2022 της DNV*, δημοσιεύεται επεξηγηματική εικόνα για το «Ρυθμιστικό πλαίσιο του IMO και της EU για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία» [W-6]. Η παραστατική παρουσίαση των μέτρων των δύο οργανισμών (IMO & EU) σε όσα έχουν θεσπιστεί ή είναι υπό συζήτηση, καθώς και η κατηγοριοποίηση σε λειτουργικές απαιτήσεις, απαιτήσεις σχεδιασμού και σε μέτρα χρέωσης GHG, διευκολύνει την κατανόηση της ουσιαστικής στόχευσης των μέτρων ([σελίδα 7](#)).

Η παραπάνω αναφερόμενη διεξοδική και επαγγελματική καταγραφή, μελέτη, ανάλυση και παρουσίαση, δημιουργεί ένα πανόραμα του κανονιστικού πλαισίου και των κυριότερων σημείων του και μια ρεαλιστική βάση για συζήτηση.

4. Ακαδημαϊκές εργασίες και δημοσιεύσεις ναυτιλιακών ενώσεων, σχετικά με τους κανονισμούς του IMO και της ΕΕ για τις εκπομπές GHG από πλοία και την εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου.

Το ρυθμιστικό πλαίσιο, όπως σταδιακά διαμορφώνεται και ισχύει, έχει πυροδοτήσει πολλές έρευνες, μελέτες και συζητήσεις ([Παράρτημα III](#)). Εξετάζονται θέματα όπως:

- Ποια είναι τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία των συστημάτων.
- Τι μπορεί να γίνει ώστε να γίνουν πιο αποτελεσματικά τα συστήματα MRV & EU.
- Διατυπώνονται απόψεις ότι οι τρέχουσες πολιτικές MRV & EU είναι ελαστικές από ορισμένες απόψεις, ιδίως όσον αφορά την επιβολή.
- Γίνονται προτάσεις, ώστε στοιχεία των σημερινών συστημάτων MRV & EU να βελτιωθούν ώστε τα ρυθμιστικά συστήματα να γίνουν πιο αποτελεσματικά.
- Διατυπώνονται ενστάσεις για την ουσία των μέτρων όπως ισχύουν. Για παράδειγμα ότι το EEDI ενώ δημιουργήθηκε για να μειώσει τις κλιματικές επιπτώσεις της ναυτιλίας, απαιτεί σύμφωνα με τα ισχύοντα, μόνο τα νέα πλοία να εκπέμπουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) με την πάροδο του χρόνου και να μην καλύπτει τις εκπομπές άλλων αερίων θερμοκηπίου (GHG), συμπεριλαμβανομένων ισχυρών όπως το μεθάνιο. Προτείνεται η τροποποίηση του EEDI ώστε να καλύπτει όλους τους κλιματικούς ρύπους.
- Τίθενται θέματα άρσης των περιορισμών της γεωγραφικής κάλυψης του κανονισμού MRV, διότι με τους γεωγραφικούς περιορισμούς εισάγουν σημαντική μεροληψία, απαγορεύοντας έτσι τη χρήση για την οποία προορίζονται.
- Αναγνωρίζεται ως θετικό γεγονός ότι, ο κανονισμός MRV έπαιξε ρόλο στην ώθηση του IMO να υιοθετήσει το Σύστημα Συλλογής Δεδομένων που παρακολουθεί τις εκπομπές άνθρακα των πλοίων σε παγκόσμια βάση.
- Προτείνεται η επέκταση περαιτέρω των περιοχών ελέγχου των εκπομπών στα ύδατα της ΕΕ με έμφαση στη Μεσόγειο Θάλασσα.
- Υπάρχουν βεβαίως και δημοσιεύσεις, ειδικά ναυτιλιακών οργανώσεων / ενώσεων, που εκφράζουν τις ανησυχίες τους, εφιστούν την προσοχή και προτρέπουν στην «Αποφυγή ακούσιων συνεπειών, αποτελεσματικότητα και επιπτώσεις των πιθανών μέτρων, συμπεριλαμβανομένων των νέων προτύπων καυσίμων της ΕΕ, για τη βοήθεια της απαλλαγής από τον άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας».
- Όπως και δημοσιεύσεις που προβλέπουν ότι «Οι κλιματικοί κανονισμοί πρόκειται να διαταράξουν την παγκόσμια ναυτιλία».

Είναι αδύνατος ο σχολιασμός των δημοσιευμένων απόψεων αναφορικά με το νομικό – θεσμικό πλαίσιο, την πληρότητά του και τις προτεινόμενες βελτιώσεις. Προσεγγίζουμε επομένως, μεθοδικά, το ζήτημα των επιπτώσεων του υφιστάμενου κανονιστικού πλαισίου στην ναυτιλία και διατυπώνουμε τα συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας.

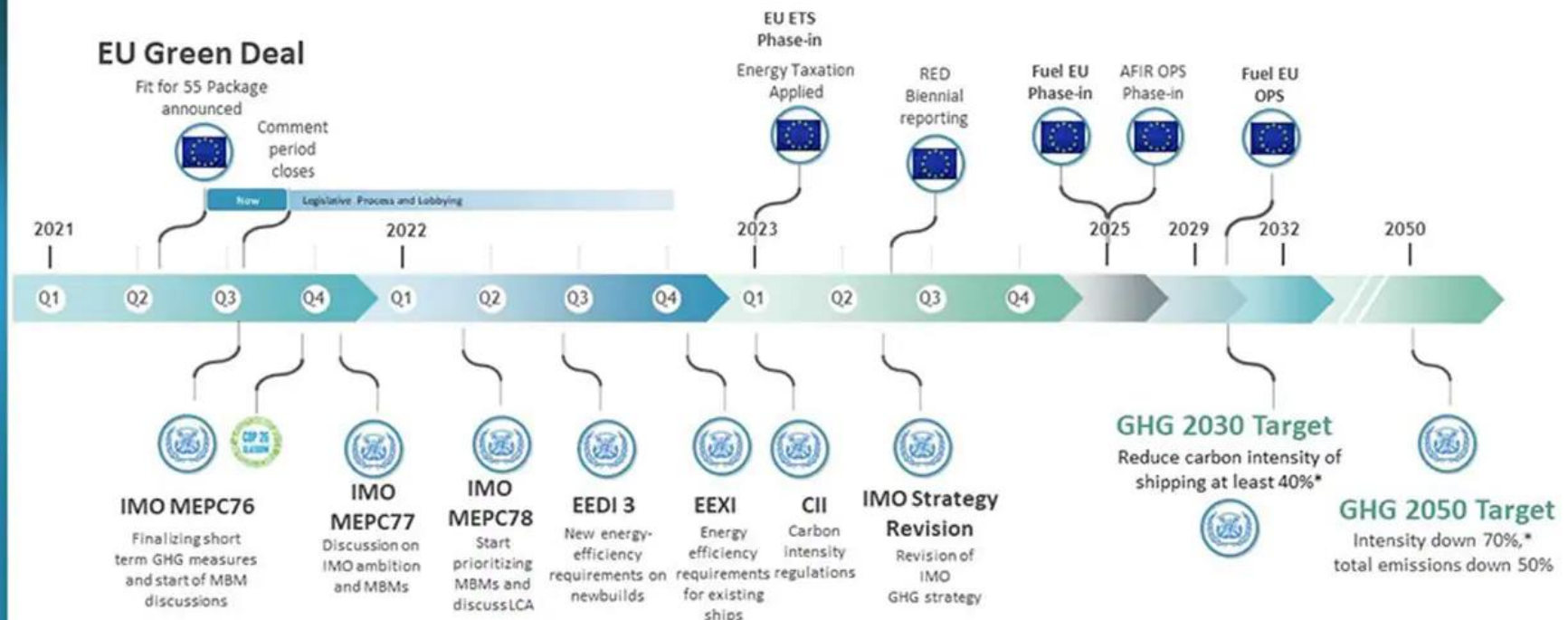
Πίνακας 1: Συνοπτικός πίνακας μέτρων του IMO και της ΕΕ

Μέτρα IMO	Πεδίο εφαρμογής	Στοχευμένο θέμα	Πηγή πρώτης εισαγωγής δεδομένων	Διαπιστευμένος Επαληθευτής	Κράτος ελέγχου	Δημιουργεί κεφάλαια για	Κίνδυνοι διαρροής	Συνέπεια μη συμμόρφωσης	Σχόλια
DCS	Σύστημα δεδομένων (παγκόσμιο) 5000 gt	Χειριστής πλοίων	Χειριστής πλοίων	Ναι (νηογνώμονας)	Κράτος σημαίας	-	-	Μη έκδοση πιστοποιητικού από το κράτος σημαίας	Δεν μειώνει τις εκπομπές: εργαλείο δεδομένων
EEDI	Σχεδιασμός νέων πλοίων (400 gt)	Σχεδιαστής/ κατασκευαστής πλοίων			Κράτος σημαίας (πιστοποιητικό)	-	(μη συμβαλλόμενα πλοία που διέπονται από τη ρήτρα NMFT)	Μη έκδοση πιστοποιητικού από το κράτος σημαίας	
EEXI	Σχεδιασμός υφιστάμενων πλοίων(400gt)	Χειριστής πλοίων			Κράτος σημαίας (πιστοποιητικό)	-	Ρήτρα NMFT	Μη έκδοση πιστοποιητικού από το κράτος σημαίας	
SEEMP	Σχέδιο Επιχειρησιακής Διαχείρισης (400/5000 gt)	Χειριστής πλοίων	Χειριστής πλοίων	-		-	Ρήτρα NMFT	-	
CII	Δείκτης έντασης άνθρακα + βαθμολογία (5000 gt) (ετήσιος)	Χειριστής πλοίων	Χειριστής πλοίων	-	Κράτος σημαίας?		Ρήτρα NMFT	?	
MBM (Είσπραξη)	Προσθήκη τιμής στα καύσιμα	Πάροχος καυσίμων			Κατάσταση λιμένα (πάροχος καυσίμων)	Ναυτιλία	Μη συμμορφούμενοι πάροχοι καυσίμων?	?	Μειονέκτημα: καμία εγγύηση για μείωση + ο ναυλωτής πληρώνει εισφορά

<u>Μέτρα</u> <u>EU</u>	Πεδίο εφαρμογής	Στοχευμένο θέμα	Πηγή πρώτης εισαγωγής δεδομένων	Διαπιστευμένος Επαληθευτής	Κράτος ελέγχου	Δημιουργεί κεφάλαια για	Κίνδυνοι διαρροής	Συνέπεια μη συμμόρφωσης	Σχόλια
MRV	Σύστημα δεδομένων (περιφερειακό) 5000gt διοξειδίου του άνθρακα	Ναυτιλιακή εταιρεία	Ναυτιλιακή εταιρεία	Ναι	Κράτος λιμένα	-	-	Δεν επιτρέπεται η είσοδος στο λιμάνι	Δεν μειώνει τις εκπομπές: εργαλείο δεδομένων
ETS	Ανώτατο όριο και εμπορία εκπομπών (5000 gt) διοξειδίου του άνθρακα	Ναυτιλιακή εταιρεία ή εμπορικός φορέας μέσω συμβατικής σύμβασης	Ναυτιλιακή εταιρεία ή εμπορικός φορέας μέσω συμβατικής σύμβασης	Ναι-σχέδια παρακολούθησης, έκθεση εκπομπών αθροιστικών εκπομπών	Κράτος λιμένα	Προϋπολογισμός της Ένωσης (ταμεία καινοτομίας και εκσυγχρονισμού), κράτη μέλη (για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής)	Κόμβοι μεταφόρτωσης, άλλες προσφυγές σε λιμάνια, με χρήση μικρότερων σκαφών, βελτιστοποίηση στόλου	Ποινές 100 €/τόνος CO2 + εντολή απέλασης που εκδόθηκε από την αρχή των κρατών μελών, τις αρχές των κρατών μελών για κράτηση πλοίων ή άρνηση εισόδου	Πλειστηριασμός επιδομάτων, σταδιακή μείωση του ανώτατου ορίου
Fuel EU M	Απαιτήσεις μεριδίου ανανεώσιμων πηγών καυσίμων και χαμηλών εκπομπών άνθρακα	Ναυτιλιακή εταιρεία	Ναυτιλιακή εταιρεία	Ναι	Κράτος λιμένα	Πρόστιμα (ναυτιλία)	Ναι σε απομακρυσμένες περιοχές της ΕΕ, φορείς εκμετάλλευσης εκτός ΕΕ	Ποινές + άρνηση εισόδου	Επίσης απαιτήσεις χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στο λιμάνι
Φορολογία	Φορολογία ΗFO, μείον φόρο για RLCF	Πάροχος καυσίμων			Κράτος λιμένα	Κράτος μέλος	Ναι σε απομακρυσμένες περιοχές		

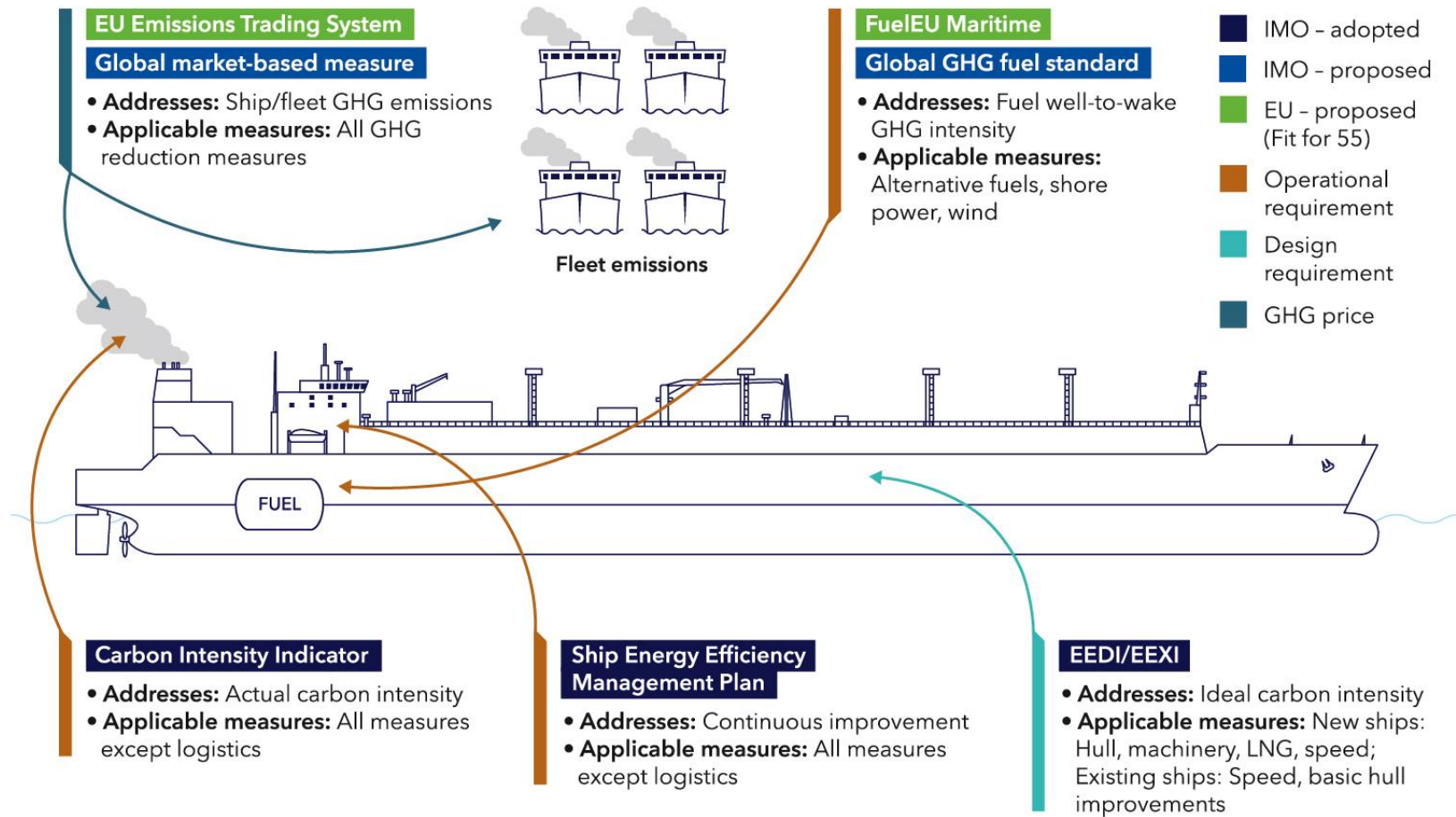
Πηγή: Μελέτη «Ρύθμιση αερίων του θερμοκηπίου από πλοία - Σχετικά με τη διαθέσιμη διακριτική ευχέρεια για ρυθμιστικές λύσεις σε μια μελέτη ευρωπαϊκής και φινλανδικής προοπτικής, 10/2/2022», της Δρ. Linda Finska και τον επικεφαλής της έρευνας Henrik Ringbom, του Πανεπιστημίου Åbo Akademi.

The regulatory timeline for EU and IMO overlap



*Αρχικοί στόχοι που υπόκεινται σε αναθεώρηση το 2023, ** Ο χρόνος είναι γενικά δοκιμαστικός με βάση προτάσεις/σχέδιο εργασίας από την EU/IMO, *** [Σχήμα 1: Πηγή Χρονοδιαγράμματος ευγενική προσφορά του Παγκόσμιου Συμβουλίου Ναυτιλίας.](#)

IMO and EU regulatory framework for GHG emissions reduction from international shipping



©DNV 2022

Σχήμα 2: Πηγή DNV 2022 [W-6]

C. Δυνατότητες προσαρμογής της ναυτιλίας στο κανονιστικό πλαίσιο

Η ναυτιλία προκειμένου να προσαρμοστεί στους ενδιάμεσους και τον τελικό στόχο των μηδενικών εκπομπών, όπως περιγράφονται και στην παραπάνω παραστατική παρουσίαση του ρυθμιστικού πλαισίου, έχει τρεις δυνατότητες.

1. Αλλαγή του τρόπου λειτουργίας του πλοίου*

Αυτή η επιλογή είναι ο λιγότερο δαπανηρός τρόπος για να διατηρηθούν σε συμμόρφωση πολλά υπάρχοντα πλοία. Επειδή το μέτρο της έντασης του άνθρακα συνδέεται με το πόσο βάρος μετακινείται ανά μονάδα απόστασης, τα μεγαλύτερα πλοία που εκτελούν μεγάλες διαδρομές με λιγότερες προσεγγίσεις σε λιμάνια θα κερδίσουν υψηλότερους βαθμούς από τα μικρότερα πλοία που πραγματοποιούν πολλές προσεγγίσεις σε λιμάνια. Τα νεότερα και μεγαλύτερα πλοία, θα έχουν καλύτερα αποτελέσματα από τα μικρότερα, ακόμη και αν αυτά δεν είναι πλήρως γεμάτα.

Τα πλοία μπορούν επίσης να επιβραδύνουν για να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου και συνεπώς τις εκπομπές, αλλά αυτό μειώνει επίσης την ετήσια ικανότητα μεταφοράς φορτίου, αυξάνοντας τις αποσβέσεις, καθώς και το κόστος επιβάρυνσης από τα πληρώματα, ανά μονάδα όγκου / βάρους μεταφοράς. Οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις ήδη μειώνουν τις ταχύτητες την τελευταία δεκαετία, αλλά η ετήσια απαίτηση βελτίωσης 2% σημαίνει ότι αυτή η τεχνική θα φτάσει τελικά στα πρακτικά της όρια και τα παλαιότερα πλοία θα πρέπει να αντικατασταθούν νωρίτερα από το προβλεπόμενο.

Η απομάκρυνση των μικρότερων πλοίων θα έχει επιπρόσθετα σαν αποτέλεσμα, τα λιμάνια και οι εμπορικοί θαλάσσιοι δρόμοι που δεν εξυπηρετούν μεγάλους όγκους να έχουν λιγότερες και όχι συχνές προσεγγίσεις ή και να καταργηθούν εντελώς, καθώς θα γίνεται σταδιακά δυσκολότερη η εξυπηρέτησή τους. Η παρατήρηση αυτή ισχύει περισσότερο για τα πλοία γραμμής (container ships).

2. Τεχνικές βελτιώσεις.*

Περιλαμβάνουν την αναβάθμιση των κινητήρων και τους ελέγχους εκπομπών. Η πρόβλεψη σε νέα πλοία ή η αναβάθμιση κινητήρων σε παλαιά, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα είναι βασική προϋπόθεση προσαρμογής.

Η προσθήκη μήκους / μεταφορικού όγκου, υπό όρους και προϋποθέσεις θα συνεισφέρουν στην επίτευξη των στόχων προσαρμογής.

Τεχνικές για τη βελτιστοποίηση της ροής του νερού γύρω από το κύτος ή η επάλειψη της γάστρας με σιλικόνη ή η αναβάθμιση των ελίκων μπορούν να συνεισφέρουν σε κάποιο βαθμό.

Όλες αυτές οι τεχνικές βελτιώσεις θα είναι ακριβές. Οι επενδύσεις που καλείται να πραγματοποιήσει ο κλάδος, σε σύντομο χρόνο, είναι τεράστιες. Η επιλογή εφαρμογής των όποιων τεχνικών βελτιώσεων θα είναι μια δύσκολη χρηματοοικονομική άσκηση κάθε φορά, για κάθε μεγέθους και ηλικίας πλοίο, σε μια περίοδο με πολλές τεχνικοοικονομικές παραμέτρους άγνωστες. Ο Jeremy

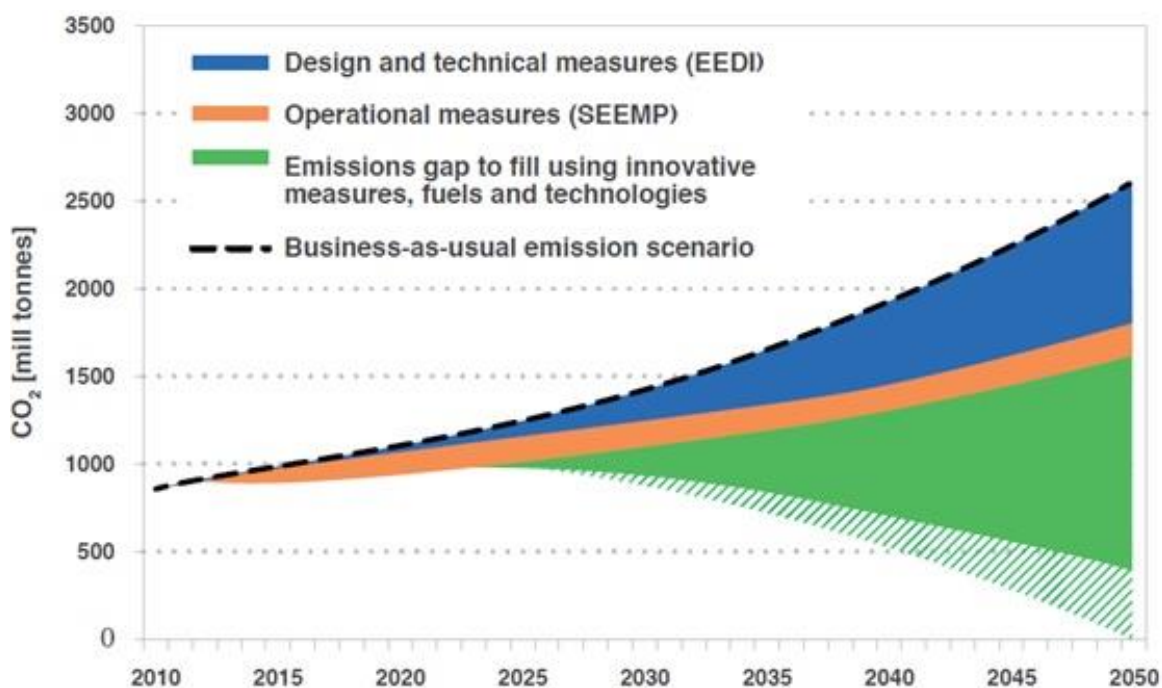
Nixon, Διευθύνων Σύμβουλος της Ocean Network Express, μιας παγκόσμιας εταιρείας μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, εκτίμησε σε συνέδριο τον Ιανουάριο 2022 ότι η παγκόσμια βιομηχανία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, και μόνο, θα πρέπει να επενδύσει 1,5 τρισεκατομμύρια δολάρια τα επόμενα 20 έως 30 χρόνια για να επιτύχει τους στόχους του IMO. - (**Climate Regulations Are About to Disrupt Global Shipping, by Willy C. Shih, Harvard Business Review [W-Παράρτημα III - 5]*)

3. Μετάβαση σε καύσιμα που παράγουν λιγότερο CO₂.

Το θέμα των καυσίμων είναι τεράστιο και πρέπει να εξετασθεί από πολλές πλευρές. Η καταλληλότητα, η διαθεσιμότητα, οι πρώτες ύλες και οι γενικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις παραγωγής τους, η επικινδυνότητα, η ωριμότητα κατάλληλης τεχνολογίας πρόωσης και άλλες παράμετροι πρέπει να εξετασθούν. Το ζήτημα επιλογής εναλλακτικών καυσίμων είναι καθοριστικό και κατέχει κυρίαρχη θέση στον προβληματισμό των ναυτιλιακών εταιρειών.

Σημειώνεται ότι ο IMO αξιολογεί την βαρύτητα των κατηγοριών των μέτρων που λαμβάνει για την επίτευξη των στόχων της αρχικής στρατηγικής του για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία, δίνοντας έμφαση στις τεχνικές βελτιώσεις αλλά κυρίως στην τεχνολογία καυσίμων και στις καινοτόμες λύσεις. Οι μετρήσεις κατά την λειτουργία, ο υπολογισμός δεικτών και οι πιστοποιήσεις είναι το οργανωτικά απλό διαδικαστικό μέρος της όλης προσπάθειας.

IMO2050: Πώς θα επιτύχετε αυτούς τους φιλόδοξους στόχους



Σχήμα 3: Πηγή "IMO ACTION TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM INTERNATIONAL SHIPPING" [W-7]

Τα ναυτιλιακά περιουσιακά στοιχεία έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής — συνήθως 25 χρόνια — επομένως η επίτευξη του στόχου των μηδενικών εκπομπών μέχρι το 2050 θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις σε καύσιμα μηδενικών ρύπων και ανάλογες τεχνολογίες πρόωσης που θα πρέπει να αναπτυχθούν πριν το 2030. Τα περισσότερα από τα παλαιότερα και μικρότερα πλοία, ένας σημαντικός αριθμός δηλαδή πλοίων, δεν θα μπορέσει να συμμορφωθεί, με πολύ σοβαρές συνέπειες.

Δεν πρέπει βέβαια να μας διαφύγει ότι, οι νέοι κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον τρόπο με τον οποίο η ναυτιλιακή βιομηχανία θα κοστολογεί τις υπηρεσίες της. Επιπλέον, οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης που εγκρίθηκαν στο τέλος του 2022 και των οποίων η αρχική φάση θα ξεκινήσει το 2023 θα προσθέσουν κόστος και πολυπλοκότητα. Η μετακύλιση του πρόσθετου ναυτιλιακού κόστους που θα δημιουργηθεί στην εφοδιαστική αλυσίδα θα έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρξουν αναπροσαρμογές στις επιλογές εκ μέρους των καταναλωτών, των τοποθεσιών παραγωγής – προμηθειών. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα μεταβάλλει και αναδιαρθρώσει αισθητά το ναυτιλιακό έργο, με άμεσες επιπτώσεις στο σύνολο της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

D. Εναλλακτικά καύσιμα

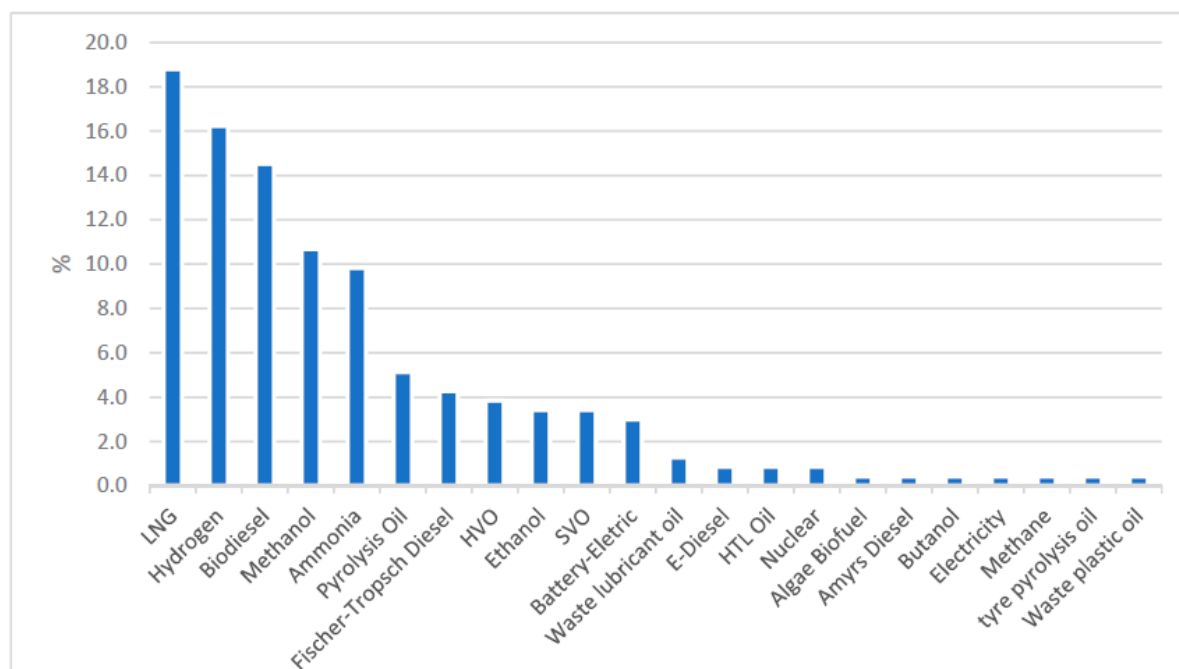
Στις 13 Μαΐου 2022, δημοσιεύθηκε στο επιστημονικό περιοδικό ανοιχτής πρόσβασης *Energies*, που εκδίδεται από το MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), η εργασία των *Vinicius Andrade dos Santos, Patrícia Pereira da Silva and Luís Manuel Ventura Serrano*, «Ο Ναυτιλιακός Τομέας και η Προβληματική του Απανθρακοποίηση: Μια Συστηματική Ανασκόπηση της Συμβολής των Εναλλακτικών Καυσίμων» [[W-8](#)].

Η μελέτη επιδίωξε να επιλέξει τα σημαντικότερα άρθρα και κριτικές από τη βάση δεδομένων *Web of Science* που προσέγγισαν τα εναλλακτικά καύσιμα με σκοπό την απεξάρτηση από τον άνθρακα του ναυτιλιακού τομέα. Μέσω μιας συστηματικής μεθοδολογίας ανασκόπησης, αξιολογήθηκε ότι συνεισφέρουν 103 έργα παγκοσμίως (δημοσιευμένα έως τον Απρίλιο του 2022). Είκοσι δύο τύποι καυσίμων αναφέρθηκαν από τους συγγραφείς. Το υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το υδρογόνο και το βιοντίζελ συνεισφέρουν στο 49% των αναφορών.

Παράλληλα, αξιολογήθηκαν τα κύρια μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας καυσίμου, και κυρίως παράμετροι όπως, η ολίσθηση μεθανίου (μεθάνιο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα) λόγω του υψηλού δυναμικού GHG, η μικρή παραγωγή και το χαμηλό παραγωγικό δυναμικό για να καλύψει την υψηλή ζήτηση στον ναυτιλιακό τομέα, η προέλευση της κύριας πρώτης ύλης παραγωγής του καυσίμου (π.χ. πηγές ανταγωνιστικές παραγωγής τροφίμων/ζωοτροφών), η απαίτηση κατανάλωσης πολύτιμων φυσικών πόρων (π.χ. γλυκού νερού) και μάλιστα από αποψιλωμένες περιοχές, γεγονός που

μπορεί να εγείρει άλλα ζητήματα, ο ανταγωνισμός με τις ανάγκες άλλων τομέων κατανάλωσης ενέργειας (π.χ. οδικός, αγροτικός τομέας κ.λπ.).

Εναλλακτικά καύσιμα



Σχήμα 4: Πηγή "Ο Ναυτιλιακός Τομέας και η Προβληματική του Απανθρακοποίηση: Μια Συστηματική Ανασκόπηση της Συμβολής των Εναλλακτικών Καυσίμων" [W-8]

Από τη συνοπτική παρουσίαση, που επιχειρείται στο έγγραφο, των μεθόδων παραγωγής των εναλλακτικών καυσίμων γίνεται κατανοητό ότι οι πρώτες ύλες και οι πηγές ενέργειας παραγωγής εναλλακτικών καυσίμων ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ορυκτά (fossil) καύσιμα
- Φυτικές πρώτες ύλες
- Λύματα, αστικά στερεά απόβλητα, είδη οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων
- Ανόργανες πρώτες ύλες (νερό - υδρογόνο, άζωτο, σκόνη αλουμινίου)
- Ανανεώσιμες πηγές (Ήλιος, Αέρας, Υδροηλεκτρική ενέργεια, Κύματα, Μπλε Ενέργεια) → Ηλεκτρική ενέργεια
- Πυρηνική ενέργεια, Πυρηνική σύντηξη → Ηλεκτρική ενέργεια

Επιθυμητή κατηγορία εναλλακτικών καυσίμων είναι τα ανανεώσιμα - βιολογικά καύσιμα. Για να θεωρηθούν ανανεώσιμα - βιολογικά τα καύσιμα που θα παραχθούν, όλες οι πρώτες ύλες και πηγές ενέργειας που θα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους, πρέπει να είναι ανανεώσιμης προέλευσης.

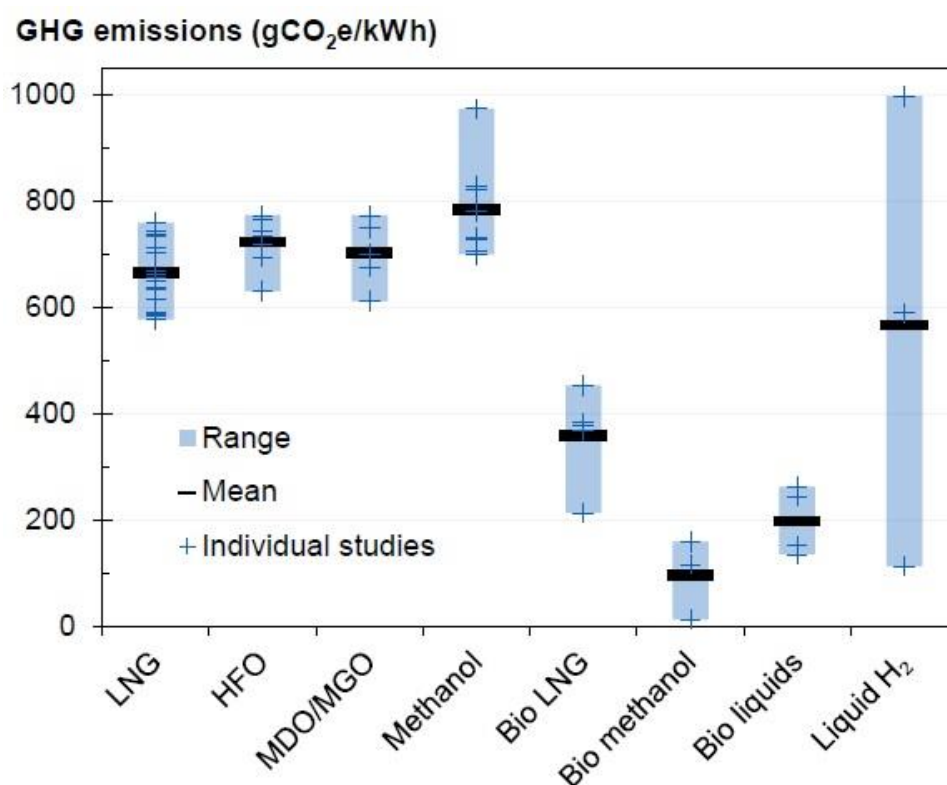
Από τα λύματα, τα αστικά στερεά απόβλητα, τα χρησιμοποιημένα λάδια και το μαύρο υγρό από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού παράγεται συνήθως βιομεθανόλη. Το ναυτιλιακό μαζούτ με βιολογική βάση παράγεται είτε με γρήγορη πυρόλυση είτε με υδροθερμική υγροποίηση ακάθαρτων λαδιών,

βιομάζας, οργανικών αποβλήτων κ.λπ. Βέβαια η αξιοποίηση των αποβλήτων αυτού του είδους έχει το πρόσθετο θετικό αποτέλεσμα της απορρύπανσης του περιβάλλοντος, το οποίο διαφορετικά ρυπαίνεται.

Η βιομεθανόλη και η μεθανόλη από ανανεώσιμες πηγές και διεργασίες είναι χημικά πανομοιότυπες με τη μεθανόλη με βάση τα ορυκτά καύσιμα, αλλά έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές GHG κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής.

Κατά συνέπεια, η αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων με βάση τις εκπομπές του συνολικού κύκλου ζωής τους είναι καθοριστικής σημασίας, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι τη ναυτιλία την αφορούν, προς το παρόν, μόνο οι εκπομπές του καυσίμου. Η υπόψη πρόβλεψη αλλάζει από το 2025.

Βιβλιογραφικές εκτιμήσεις των συνολικών εκπομπών GHG κύκλου ζωής για διαφορετικές κατηγορίες καυσίμων.



Σχήμα 5: Πηγή "How to decarbonise international shipping: options for fuels, technologies and policies" [W-9]

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται σαφές ότι, το υδρογόνο είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, εξαρτώνται όμως από την ενέργεια, την πρώτη ύλη και τις μεθόδους παραγωγής οι εκπομπές του όλου κύκλου ζωής του. Σημειώνεται ότι οι μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου ανέρχονται σε περίπου είκοσι.

Παράλληλα τονίζεται η διαφορά αέριων εκπομπών μεταξύ Μεθανόλης παραγωγής από ορυκτά καύσιμα και της Βιομεθανόλης, παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η μεθανόλη που παράγεται σήμερα προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Περίπου το 65% βασίζεται στον ανασχηματισμό του φυσικού αερίου, το 35% βασίζεται στην αεριοποίηση άνθρακα, ενώ μόνο <1% βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές.

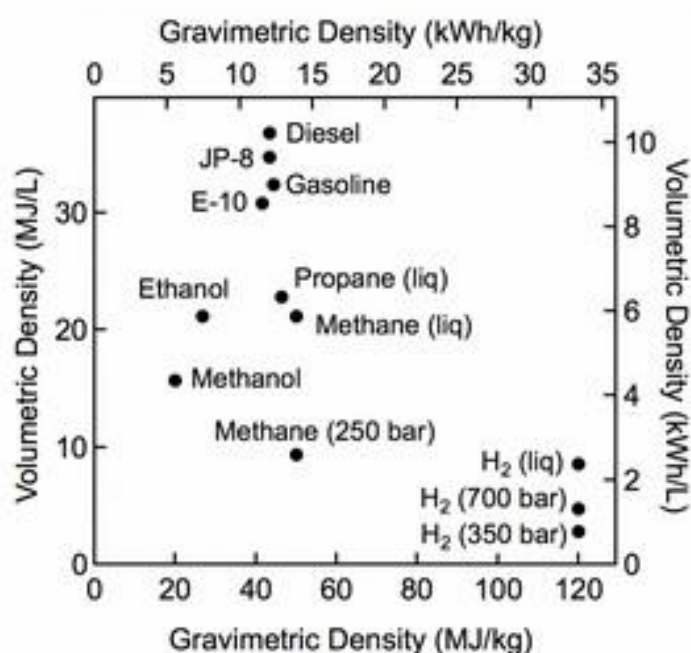
Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) προτείνεται ως μεταβατικό καύσιμο, και για μελλοντική παραγωγή υδρογόνου, δεδομένου ότι οι εκπομπές αερίων ρύπων είναι μικρότερες αυτών των HFO, MDO, MGO. Τα νέα πλοία που κινούνται με LNG θα επιτυγχάνουν με άνεση τους στόχους του IMO για την πρώτη δεκαετία της ζωής τους, αλλά μετά, πιθανότατα θα πρέπει να ληφθούν άλλα μέτρα, όπως η ανάμειξη με βιολογικό LNG ή η μετάβαση σε κάποια μορφή καυσίμου υδρογόνου.

1. Εναλλακτικά καύσιμα που παράγονται από πρώτες ύλες που περιέχουν Άνθρακα – κρίσιμα ζητήματα

- a. Ενεργειακό περιεχόμενο καυσίμων από πηγές άνθρακα – ενεργειακά ισοδύναμοι όγκοι εναλλακτικών καυσίμων.

Από δεδομένα δημοσιευμένα στο *U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Data Center, Fuel Properties Comparison* [W-10], σε συνδυασμό με πληροφορίες από το *U.S. Department of Energy, The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Hydrogen Storage* [W-11], διαμορφώνονται οι παρακάτω [Πίνακες 2 & 3](#).

Σύγκριση ειδικής ενέργειας (ενέργεια ανά μάζα ή βαρυμετρική πυκνότητα) και ενεργειακής πυκνότητας (ενέργεια ανά όγκο ή ογκομετρική πυκνότητα) για πολλά καύσιμα με βάση τις χαμηλότερες τιμές θέρμανσης.



Σχήμα 6: Πηγή The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) [W-11]

Πίνακας 2: Αξιολόγηση καυσίμων από πηγές άνθρακα με βάση την ενεργειακή ογκομετρική πυκνότητα

	<i>Gasoline/E10</i>	<i>Low Sulfur Diesel</i>	<i>Biodiesel</i>	<i>Propane (LPG)</i>	<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>Ethanol/E100</i>	<i>Methanol</i>	<i>Liquid Hydrogen</i>
<i>Υλικό παραγωγής καυσίμου (πρώτη ύλη)</i>	<i>Crude Oil</i>	<i>Crude Oil</i>	<i>Λίπη και έλαια από πηγές όπως σόγια, απόβλητο μαγειρικό λάδι, ζωικά λίπη & ελαιοκράμβη</i>	<i>Υποπροϊόν της διύλισης πετρελαίου ή της επεξεργασίας φυσικού αερίου</i>	<i>Υπόγεια αποθέματα και ανανεώσιμες πηγές βιοαερίου</i>	<i>Υπόγεια αποθέματα και ανανεώσιμες πηγές βιοαερίου</i>	<i>Καλαμπόκι, δημητριακά ή γεωργικά απόβλητα (κυτταρίνη)</i>	<i>Φυσικό αέριο, κάρβουνο ή ξυλώδης βιομάζα</i>	<i>Φυσικό αέριο, μεθανόλη και ηλεκτρόλυση νερού</i>
<i>Ενεργειακή σύγκριση (Diesel Gallon Equivalent - DGE)</i>	<i>0,88</i>	<i>1,00</i>	<i>B100 = 0,93 B 20= 0,99</i>	<i>0,66</i>	<i>1 lb=0,16 DGE</i>	<i>1 lb=0,17 DGE</i>	<i>0,59</i>	<i>0,45</i>	<i>1 Kg=0,9 DGE</i>
<i>Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος</i>	<i>1,136</i>	<i>1,00</i>	<i>B100 = 1,075 B 20= 1,01</i>	<i>1,52</i>	<i>3,79</i>	<i>1,67</i>	<i>1,69</i>	<i>2,22</i>	<i>4,14</i>

* Στοιχεία από *U.S. Departement of Energy, Alternative Fuels Data Center, Fuel Properties Comparison* [[W-10](#)]

* Ως τιμή αναφοράς (1) λαμβάνεται το ενεργειακό περιεχόμενο ενός γαλονιού Πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

*LNG density 3,53 lb/gallon.

*CNG density 1,65 lb/gallon.

*Liquid H₂ density 70,79 Kg/m³

Πίνακας 3: Αξιολόγηση καυσίμων από πηγές άνθρακα με βάση την φυσική κατάσταση και τις συνθήκες διαχείρισης

	<i>Gasoline/E10</i>	<i>Low Sulfur Diesel</i>	<i>Biodiesel</i>	<i>Propane (LPG)</i>	<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>Ethanol/E100</i>	<i>Methanol</i>	<i>Liquid Hydrogen</i>
<i>Φυσική κατάσταση</i>	<i>Υγρό</i>	<i>Υγρό</i>	<i>Υγρό</i>	<i>Υγρό υπό πίεση (βαρύτερο από τον αέρα ως αέριο)</i>	<i>Συμπιεσμένο αέριο (ελαφρύτερο από τον αέρα)</i>	<i>Κρυογονικό υγρό (ελαφρύτερο από τον αέρα ως αέριο)</i>	<i>Υγρό</i>	<i>Υγρό</i>	<i>Συμπιεσμένο αέριο (ελαφρύτερο από τον αέρα) ή υγρό</i>
<i>Σημείο ανάφλεξης °C</i>	<i>-17,78</i>	<i>73,89</i>	<i>100 έως 170</i>	<i>-73,33 έως -101.11</i>	<i>-184,44</i>	<i>-187,78</i>	<i>12,78</i>	<i>11,11</i>	<i>4-75 % κ.ο. με αέρα</i>
<i>Θερμοκρασία αυτανάφλεξης</i>	<i>257,22</i>	<i>315,56</i>	<i>148,89</i>	<i>454,44 έως 510</i>	<i>540</i>	<i>540</i>	<i>422,78</i>	<i>480,56</i>	<i>565,56 έως 582,22</i>
<i>Κύρια θέματα συντήρησης</i>					<i>Οι δεξαμενές υψηλής πίεσης απαιτούν περιοδική επιθεώρηση και πιστοποίηση.</i>	<i>Το LNG αποθηκεύεται σε κρυογονικές δεξαμενές με συγκεκριμένο χρόνο διατήρησης πριν εκτονωθεί η πίεση που έχει δημιουργηθεί. Το όχημα θα πρέπει να λειτουργεί σύμφωνα με ένα πρόγραμμα ώστε να συντηρείται η χαμηλότερη πίεση στη δεξαμενή.</i>		<i>Πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά λιπαντικά σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή, καθώς και ανταλλακτικά συμβατά με το M85. Μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στα όργανα του σώματος εάν ένα άτομο το καταπιεί, το εισπνεύσει ή το πάρει στο δέρμα του.</i>	<i>Όταν χρησιμοποιείται υδρογόνο σε εφαρμογές κυβελών καυσίμου, η συντήρηση θα πρέπει να είναι πολύ ελάχιστη. Οι δεξαμενές υψηλής πίεσης απαιτούν περιοδική επιθεώρηση και πιστοποίηση.</i>

* Στοιχεία από *U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Data Center, Fuel Properties Comparison [W-10]*

** Για το αέριο υδρογόνο δε δίνεται σημείο ανάφλεξης καθώς είναι ήδη αέριο σε συνθήκες περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια το υγροποιημένο κρυογονικό υδρογόνο θα αναφλεγεί σε όλες τις θερμοκρασίες πάνω από το σημείο βρασμού του (απο-υγροποίησής του) 20 K (-253,15 °C).

Από τον παραπάνω πίνακα 2 γίνεται σαφές ότι ο απαιτούμενος χώρος για αποθήκευση των συγκρινόμενων καυσίμων, σε ποσότητες ίσου ενεργειακού περιεχομένου, σε σύγκριση με τον απαιτούμενο όγκο αποθήκευσης πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, διαφέρει αισθητά ανά καύσιμο.

Είναι ευνόητο ότι οι αντιστοιχίες αφορούν και στις δεξαμενές καυσίμου των πλοίων και στις δεξαμενές για την αποθήκευση των καυσίμων στα λιμάνια για τον εφοδιασμό τους. Παράλληλα αντίστοιχα αυξάνονται οι απαιτήσεις μεταφοράς από τον τόπο παραγωγής στα σημεία διάθεσης στη ναυτιλία.

Οι πρόσθετοι απαιτούμενοι όγκοι αποθήκευσης καυσίμων θα μειώσουν την μεταφορική ικανότητα των πλοίων και άρα θα επιβαρύνουν την βαθμολογική απόδοση του πλοίου. Παράλληλα επιβαρύνεται το μεταφορικό κόστος ανά τόνο – μίλι, κόστος το οποίο πιθανότατα θα μετακυληθεί στον ναυλωτή.

b. Επικινδυνότητα – τοξικότητα – ειδικές συνθήκες διαχείρισης.

Ένα από τα σοβαρότερα θέματα των αερίων εναλλακτικών καυσίμων είναι η διαχείρισή τους.

Ειδικότερα η διατήρηση των υγροποιημένων αερίων (LNG & Liquid Hydrogen) σε συνθήκες κρυογενικές έχει το μειονέκτημα ότι αφενός καταναλίσκεται σημαντική ενέργεια για την διατήρηση των κρυογενικών συνθηκών και αφετέρου ότι η διαρκής διατήρηση των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών είναι προϋπόθεση για την αποφυγή ατυχημάτων.

Πίνακας 4: Σύγκριση συνθηκών αποθήκευσης αερίων εναλλακτικών καυσίμων

	<i>Propane (LPG)</i>	<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>Liquid Hydrogen*</i>
<i>Θερμοκρασία αποθήκευσης</i>	<i>20 → 55 °C</i>		<i>-160 → -163 °C</i>	<i>-259,34 °C</i>
<i>Πίεση αποθήκευσης</i>	<i>2 → 22 bars</i>	<i>250 bars</i>	<i>0,25 bar</i>	

* πλήρως υγρή κατάσταση σε ατμοσφαιρική πίεση

Η διατήρηση των αερίων συμπιεσμένων σε ειδικές δεξαμενές με πολύ υψηλές πιέσεις (CNG, αέριο Υδρογόνο), περικλείει κινδύνους εκρηκτικής αποσυμπίεσης ή και ανάφλεξης σε περίπτωση ατυχήματος. Η συντήρηση και η πιστοποίηση πρέπει να είναι συνεχής.

Το υγροποιημένο Προπάνιο (LPG) παρουσιάζει τα μικρότερα προβλήματα διαχείρισης, δεδομένου ότι υγροποιείται σε χαμηλές σχετικά πιέσεις και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Γι' αυτό άλλωστε είναι διαδεδομένη η χρήση του ως υποκατάστατο της βενζίνης και του πετρελαίου.

Τα ζητήματα τοξικότητας απασχολούν ιδιαίτερα και εξετάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο D6g (σελ. 54) κατωτέρω. Μπορεί να προκληθούν βλάβες εάν ένα άτομο καταπιεί, εισπνεύσει ή έλθει σε επαφή με την επιδερμίδα του τοξικό υγρό ή αέριο.

Η διαφυγή αέριων εναλλακτικών καυσίμων ή η εξαέρωση υγροποιημένων, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες ασφυξίας σε μη καλά αεριζόμενους χώρους.

Η ευφλεκτότητα των εναλλακτικών καυσίμων είναι επίσης ένα σοβαρό θέμα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (αναλυτική παρουσίαση στο κεφάλαιο D6e, σελ. 49). Τη χαμηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης έχουν τα LNG (- 187,78 °C), CNG (- 184,44 °C) & LPG (- 101,11 °C), ακολουθούμενα από τα Μεθανόλη (11,11 °C) & Αιθανόλη (12,78 °C). Το υδρογόνο μπορεί να αναφλεγεί κοντά σε σημείο διαρροής σε μείγμα με αέρα 4 – 75% κ.ο. (κατά όγκο). Την υψηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης έχει το Biodiesel (κατά το ελάχιστο 100 °C), μεγαλύτερη αυτής του Low Sulfur Diesel (73,89 °C).

c. Η αμμωνία ως καύσιμο

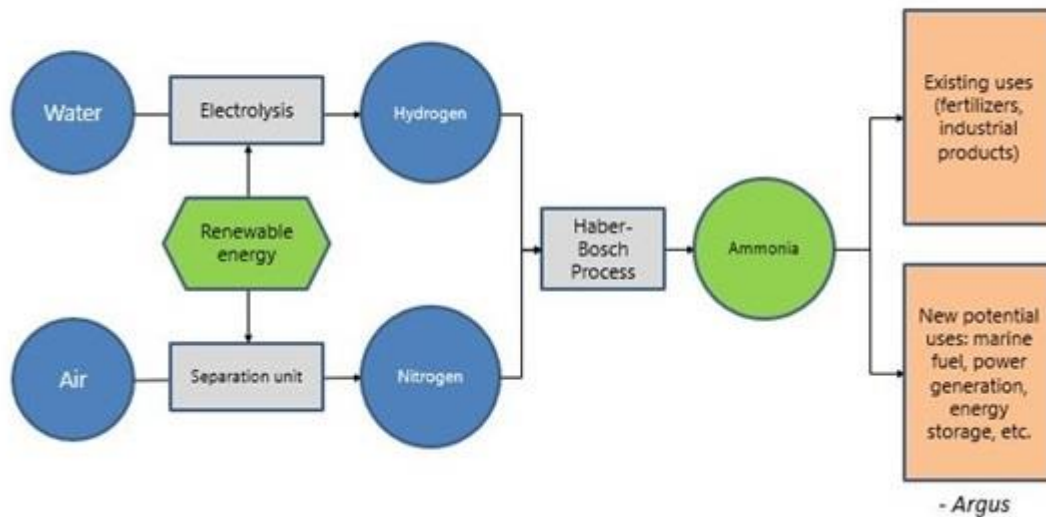
Η αμμωνία έχει αρκετά επιθυμητά χαρακτηριστικά που ενισχύουν την υποψηφιότητα χρήσης της ως μέσο αποθήκευσης υδρογόνου. Μπορεί να είναι ένα εξαιρετικό καύσιμο, διότι:

- Μπορεί να υγροποιηθεί υπό ήπιες συνθήκες. Η τάση ατμών της αμμωνίας σε θερμοκρασία δωματίου είναι 9,2 bar. Οι φυσικές της ιδιότητες είναι παρόμοιες με εκείνες του προπανίου. Αυτό σημαίνει ότι η αμμωνία μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα απλό, φθηνό δοχείο πίεσης. Η μεταφορά και η διανομή θα ήταν απλούστερη και φθηνότερη από την παράδοση υδρογόνου.
- Έχει μεγάλο κλάσμα βάρους υδρογόνου. Το υδρογόνο αποτελεί το 17,65% της μάζας της αμμωνίας. Ο συνδυασμός του μεγάλου κλάσματος υδρογόνου με την δυνατότητα υγροποίησης σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχει σαν αποτέλεσμα ένα υγρό με ογκομετρική πυκνότητα υδρογόνου περίπου 45% μεγαλύτερη από αυτή του υγρού υδρογόνου.
- Μπορεί να καεί απευθείας σε κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) χωρίς εκπομπές άνθρακα, να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια απευθείας σε μια αλκαλική κυψέλη καυσίμου ή να αποσυντεθεί (σπάσει) πάνω από έναν καταλύτη και να παρέχει υδρογόνο για μη αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (FC), μαζί με άζωτο, ένα μη τοξικό, μη θερμοκηπιακό αέριο. Βεβαίως, θα πρέπει να ελέγχονται οι υψηλές εκπομπές NOx.
- Η αμμωνία (NH₃) δεν έχει άμεσες εκπομπές CO₂. Ωστόσο, παράγεται κυρίως από ορυκτές πηγές καυσίμων. Η κεντρική παραγωγή από καύσιμα υδρογονανθράκων (π.χ. φυσικό αέριο) θα παρείχε δυνατότητες καλύτερης δέσμευσης του CO₂.¹

¹ *Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy, U.S. Department of Energy* [[W -12](#)]

- Η πράσινη αμμωνία παράγεται χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την εξαγωγή υδρογόνου από το νερό με ηλεκτρόλυση, ενώ το άζωτο διαχωρίζεται από τον αέρα χρησιμοποιώντας μια μονάδα διαχωρισμού αέρα.

Green ammonia production and end uses

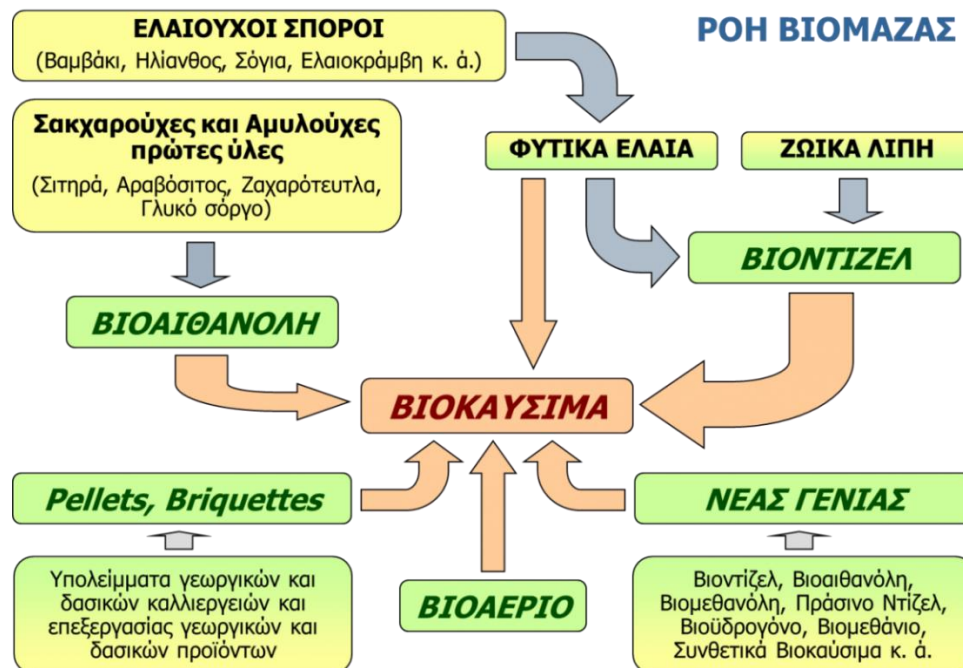


Σχήμα 7: Πηγή - Argus independent media organisation [W-13]

d. Πρώτες ύλες παραγωγής βιοκαυσίμων – Ζητήματα επάρκειας πόρων.

Οι πηγές παραγωγής βιοκαυσίμων κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Πρώτες ύλες παραγωγής βιοκαυσίμων



Σχήμα 8: Πηγή AGROENERGY - Βιοκαύσιμα [W-14]

Αν στις παραπάνω πηγές προστεθούν τα οργανικά στερεά και υγρά ανθρώπινα και τα βιομηχανικά απόβλητα, έχουμε το πανόραμα των δυνατών πηγών εναλλακτικών βιοκαυσίμων από πηγές άνθρακα, ανεξαρτήτως της μεθόδου παραγωγής τους.

Πίνακας 5: Πρώτες ύλες παραγωγής βιοκαυσίμων

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Περιορισμοί
<i>Απόβλητα κτηνοτροφίας</i>	<i>Απορρύπανση περιβάλλοντος</i>	<i>Δυσκολία συλλογής & μεταφοράς Μεγάλη διασπορά</i>	<i>Περιορισμένος όγκος Αποκεντρωμένη διαχείριση</i>
<i>Μεταποιητική βιοτεχνία τροφίμων</i>	<i>Απορρύπανση περιβάλλοντος</i>	<i>Δυσκολία συλλογής & μεταφοράς Μεγάλη διασπορά</i>	<i>Περιορισμένος όγκος Αποκεντρωμένη διαχείριση</i>
<i>Βιομηχανία χαρτοπολτού</i>	<i>Απορρύπανση περιβάλλοντος</i>		<i>Εξυπηρέτηση ιδίων αναγκών συνήθως</i>
<i>Αστικά λύματα & Λυματολάσπη</i>	<i>Απορρύπανση περιβάλλοντος</i>		<i>Αποκεντρωμένη διαχείριση Περιορισμένες δυνατότητες</i>
<i>Στερεά αστικά απόβλητα</i>	<i>Απορρύπανση περιβάλλοντος Δυνατή η αξιοποίηση</i>	<i>Μεγάλες αποκλίσεις Κόστος επενδύσεων</i>	<i>Έντονη διαφοροποίηση δυνατοτήτων αξιοποίησης</i>
<i>Γεωργικά & Δασικά υπολείμματα</i>		<i>Δυσκολία συλλογής & μεταφοράς Μεγάλη διασπορά</i>	<i>Εποχικότητα</i>
<i>Καλλιέργειες φυτών για παραγωγή ενέργειας</i>		<i>Ανταγωνισμός με τρόφιμα Εξάντληση υδατικών πόρων</i>	<i>Εποχικότητα, Διαθέσιμες εκτάσεις & υδατικοί πόροι</i>

➤ Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η παραδοσιακή βιομάζα (απόβλητα κτηνοτροφίας και μεταποιητικής βιομηχανίας τροφίμων), πηγή με μεγάλη διασπορά και συνήθως μικρές ποσότητες, απαιτεί ιδιαίτερη οργάνωση συλλογής και συγκέντρωσης, αλλά και αναδιανομής των υποπροϊόντων επεξεργασίας της (χωνεμένη και απολυμασμένη οργανική λίπανση). Κατά συνέπεια η αξιοποίηση αυτής της πηγής παραπέμπει σε αποκεντρωμένη διαχείριση, σε συνδυασμό ίσως και με άλλα απόβλητα εάν υπάρχουν και την επί τόπου κατανάλωση της ενέργειας που θα παραχθεί .

➤ Οι βιομηχανίες χαρτοπολτού έχουν συνήθως το ικανό μέγεθος για την αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων τους για την παραγωγή ενέργειας για δική τους χρήση.

➤ Από την λυματολάσπη των αστικών λυμάτων μπορούν να παραχθούν βιοκαύσιμα. Η διαδικασία θα μπορούσε να συνδυαστεί με την συλλογή και ταυτόχρονη επεξεργασία της παραδοσιακής βιομάζας στις ευρύτερες περιοχές των πόλεων της περιφέρειας, ειδικότερα των μικρών, επιτυγχάνοντας σημαντικές συνέργειες.

Σύμφωνα με την Τεχνική Μπροσούρα *"Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants"*, που εκπονήθηκε από την Nathalie BAchmANN, για την IEA Bioenergy [W-15], μπορεί να επιτευχθεί ηλεκτρική ενεργειακή αυτονομία σε βιολογικούς που εφαρμόζεται η συμπαραγωγή τόσο ηλεκτρικής ενέργειας όσο και θερμότητας από μία μόνο πηγή καυσίμου (CHP), της τάξεως του 37% για πόλεις μεγαλύτερες των 10.000 ισοδυνάμων κατοίκων και 68 – 100% για πόλεις μεγαλύτερες των 100.000 ισοδυνάμων κατοίκων. Παράλληλα μπορεί να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες θέρμανσης από 90 – 100%.

Κατά συνέπεια, αν αξιοποιηθεί στο έπακρο η ενεργειακή ισχύς των υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανόμενης της λυματολάσπης των βιολογικών καθαρισμών, θα καλυφθεί ένα μικρό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών, πολύ δύσκολα όμως θα καλυφθούν ενεργειακές ανάγκες της ναυτιλίας.

Πίνακας 6: Παραγωγή βιοαερίου σε WWTP σε χώρες μέλη της Task 37 (Πίνακας από "Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants", που εκπονήθηκε από την Nathalie BAchmANN, για την IEA Bioenergy [W-15], συμπληρωμένος με στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας από Our World in Data [W-20]²*

Country	Reference	Total Energy Consumption	Total biogas production From agricultural residues, industrial wastewater, biowaste, landfills and sewage sludge	Biogas production in WWTPs only from sewage sludge	
				GWh/y	% of total production
	Year	TWh/y *	GWh/y	GWh/y	% of total production
Australia			n.a.	n.a.	n.a.
Austria	2013	411	570 ³⁾	n.a.	n.a.
Brazil	2014	3,536	613 ³⁾	42 ³⁾	7 %
Denmark	2012	204	1.218 ¹⁾	250 ¹⁾	21 %
Finland	2013	342	567 ²⁾	126 ²⁾	22 %
France	2012	2,883	1273 ³⁾	97 ³⁾	8 %
Germany	2014	3,708	41.550 ²⁾	3.050 ²⁾	7 %
Ireland			n.a.	n.a.	
Norway	2010	500	500 ¹⁾	164 ¹⁾	33 %
South Korea	2013	3,245	2.578 ¹⁾	969 ¹⁾	38 %
Sweden	2013	611	1.686 ¹⁾	672 ¹⁾	40 %
Switzerland	2012	351	1.129 ¹⁾	550 ¹⁾	49 %
The Netherlands	2013	1,207	3.631 ¹⁾	711 ¹⁾	20 %
United Kingdom	2013	2,377	6.637 ³⁾	761 ³⁾	11 %

¹⁾ Energy generated as gross gas production

²⁾ Energy generated as electricity, heat, vehicle fuel or flared (excluding efficiency losses)

³⁾ Electricity generation only (excluding efficiency losses)

n.a: data not available

*Our World in Data

² Η συνολική παραγωγή βιοαερίου στη Γερμανία το 2014 ήταν το 1,12% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Η παραγωγή βιοαερίου από λυματολάσπη ήταν 0,082%. Αντίστοιχα στην Ελβετία ήταν 0,32% και 0,16%.

➤ Η σύνθεση των αστικών στερεών αποβλήτων διαφέρει σημαντικά, ιδιαίτερα μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών. Η ανακύκλωση και η μείωση των απορριμμάτων, καθώς και η ανάκτηση ενέργειας (και υλικών) από τα αστικά στερεά απόβλητα είναι τεχνικά εφικτή αλλά οικονομικά δύσκολη. Είναι ευκολότερο να λέγεται παρά να γίνεται.

Η ποσότητα των αστικών στερεών αποβλήτων αναμένεται να αυξηθεί ταχύτερα από τους ρυθμούς αστικοποίησης τις επόμενες δεκαετίες, φτάνοντας τους 2,2 δισεκατομμύρια τόνους/έτος έως το 2025 και τα 4,2 δισεκατομμύρια τόνους έως το 2050 - Πηγή: "Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability", IEA Bioenergy [W-16].

Εκτιμάται ότι 1,6 δισεκατομμύρια τόνοι εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (ισοδύναμο με CO₂) προήλθαν από τη διαχείριση στερεών αποβλήτων το 2016. Αυτό είναι περίπου το 5% τοις εκατό των παγκόσμιων εκπομπών. Χωρίς βελτιώσεις στον τομέα, οι εκπομπές που σχετίζονται με τα στερεά απόβλητα αναμένεται να αυξηθούν σε 2,38 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ έως το 2050 – Πηγή: THE WORLD BANK, "Trends in Solid Waste Management" [W-17].

Η αφαίρεση υλικών για ανακύκλωση αφήνει ένα οργανικό υπόλειμμα που έχει σημαντική θερμογόνο αξία (θερμική) καθιστώντας το κατάλληλο για εργασίες ανάκτησης ενέργειας.

Παγκοσμίως, τα απόβλητα που παράγονται ανά άτομο ανά ημέρα ανέρχονται κατά μέσο όρο σε 0,74 κιλά. Το ποσοστό των οργανικών αποβλήτων εκτιμάται σε 56% της συνολικής ποσότητας – Πηγή: THE WORLD BANK, "Trends in Solid Waste Management" [W-17].

Τυπικά, ένας τόνος αστικών στερεών αποβλήτων έχει περίπου το ένα τρίτο της θερμογόνου δύναμης του άνθρακα (εκτιμώνται 8-12 MJ/kg για τα αστικά στερεά απόβλητα και 25-30 MJ/kg για τον άνθρακα) και μπορεί να δώσει περίπου 600 kWh ηλεκτρικής ενέργειας – Πηγή: "Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability" IEA Bioenergy [W-16].

Κατά το 2021, η κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας ήταν 20.902 kWh ετησίως – Πηγή: Our World in Data [W-18].

Ανάγοντας για λόγους σύγκρισης (1kWh = 3,6 MJ), έχουμε ότι η κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας ανά ημέρα είναι 206,16 MJ (20.902x3,6/365).

Επομένως, ακόμη και σε συνθήκες πλήρους ενεργειακής αξιοποίησης των αστικών στερεών αποβλήτων, θα καλυφθεί ένα ποσοστό από 2,87% έως 4,31% των ενεργειακών αναγκών.

$$100 \times 8 \text{ MJ/Kg} \times 0,74 \text{ Kg/person} / 206,16 = 2,87\%$$

$$100 \times 12 \text{ MJ/Kg} \times 0,74 \text{ Kg/person} / 206,16 = 4,31\%$$

Βέβαια, αρκετοί τύποι βιοκαυσίμων, συμπεριλαμβανόμενων ενώσεων της Αμμωνίας, μπορούν να εξαχθούν από τα οργανικά στραγγίσματα των απορριμμάτων (landfill leachate), προκειμένου στη συνέχεια να εξευγενιστούν και

να πωληθούν στην αγορά. Κατά συνέπεια, τα αστικά στερεά απόβλητα παραμένουν μια πιθανή συμπληρωματική πηγή βιοκαυσίμων και για τη ναυτιλία, το μέγεθος της οποίας είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί.

➤ Τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα (κυτταρίνη), χαρακτηρίζονται από εποχικότητα και παρουσιάζουν ανάλογα προβλήματα συγκέντρωσης με αυτά της παραδοσιακής βιομάζας. Άλλωστε, ο καλύτερος τρόπος αξιοποίησής τους είναι σε ανάμειξη με την οργανική ουσία κατά την κομποστοποίηση. Σε μεγάλες ποσότητες θα μπορούσε να παραχθεί Μεθανόλη. Όμως οι διαθέσιμοι όγκοι είναι διάσπαρτοι και περιορισμένοι.

➤ Η καλλιέργεια φυτών για παραγωγή ελαιούχων σπόρων ή αμυλούχων και ζαχαρούχων πρώτων υλών, χαρακτηρίζονται επίσης από εποχικότητα. Υπάρχουν ήδη καλλιέργειες για την παραγωγή βιοκαυσίμων, που χρησιμοποιούνται σε ανάμειξη με κλάσματα ορυκτών καυσίμων. Από του σημείου αυτού όμως έως της υποκατάστασης των ορυκτών καυσίμων υπάρχει μεγάλη απόσταση. Οι αρδευόμενες εκτάσεις είναι συγκεκριμένες με τάσεις μείωσης εξ αιτίας της ερημοποίησης που επιφέρει η κλιματική αλλαγή. Επιπρόσθετα, η εκτεταμένος ανταγωνισμός με καλλιέργειες προϊόντων διατροφής θα έχει σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη της τροφικής αλυσίδας με ανυπολόγιστες συνέπειες.

Από την διερεύνηση της επάρκειας πόρων για την παραγωγή βιοκαυσίμων προκύπτει ότι η μόνη ουσιαστικά, πιθανή πηγή μελλοντικής προμήθειας της ναυτιλίας σε κάποιο βαθμό, υπό όρους και προϋποθέσεις, είναι τα αστικά στερεά απόβλητα. Οι προσδοκώμενες ποσότητες βέβαια παραμένουν αδιευκρίνιστες και εξαρτώνται από πολλούς αστάθμητους παράγοντες. Όλες οι άλλες πηγές θα καλύψουν σχεδόν αποκλειστικά τις ίδιες ανάγκες των φορέων που τις διαχειρίζονται, δεδομένου ότι αυτές είναι μεγαλύτερες από την προσδοκώμενη παραγωγή βιοενέργειας. Η ανεξέλεγκτη αύξηση της παραγωγής βιοκαυσίμων εις βάρος της παραγωγής τροφίμων περιέχει επισιτιστικούς κινδύνους.

e. Διαθεσιμότητα βιοκαυσίμων

Για όλες τις παραπάνω επιλογές, μια βασική παράμετρος είναι το πόσο γρήγορα οι προμηθευτές μπορούν να αυξήσουν την υπάρχουσα παραγωγή ώστε να καλύψουν διεθνώς τις τεράστιες ποσότητες καυσίμου που θα χρειαστούν για τη ναυτιλία, ώστε να ανταποκριθεί στα όρια εκπομπών, στους χρόνους προσαρμογής που απαιτεί το κανονιστικό πλαίσιο.

f. Ανταγωνιστικές καταναλώσεις.

Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι καύσιμα απαιτούνται και για άλλες χρήσεις. Στον αγροτικό τομέα, στον δασοκομικό τομέα, στην παράκτια αλιεία και άλλες ειδικές χρήσεις τα καύσιμα είναι απαραίτητα για την κίνηση και την λειτουργία μηχανημάτων που εργάζονται σε σκληρές συνθήκες. Οι συνθήκες εργασίας και το μέγεθός τους δεν επιτρέπουν εξειδικευμένες λύσεις.

Κατά συνέπεια θα απαιτηθεί ίσως η κατά προτεραιότητα εξυπηρέτηση αυτών των αναγκών με βιοκαύσιμα.

g. Τεχνολογίες πρόωσης

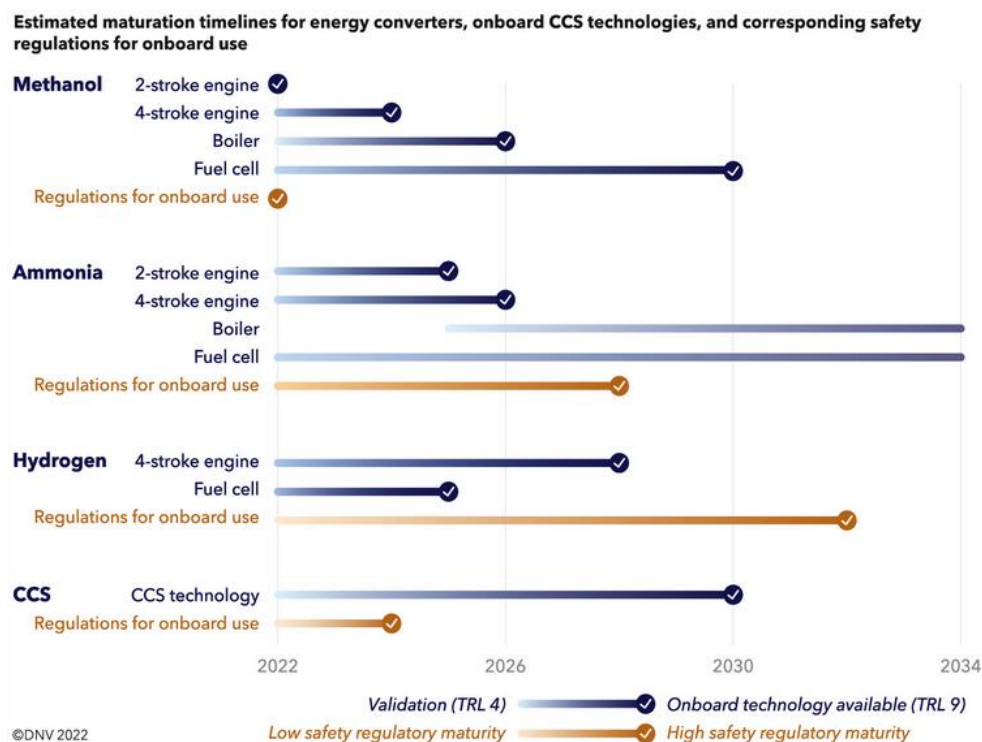
Είναι σαφές ότι οι τεχνολογίες πρόωσης, ειδικότερα αυτή του Υδρογόνου, διαφέρουν μεταξύ τους. Ακόμη και το βιοντίζελ, το πλέον κοντινό από άποψη ιδιοτήτων με το Low Sulfur Diesel απαιτεί εκτεταμένες προσαρμογές στους κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Ειδικότερα σε ότι αφορά την αμμωνία, υπάρχουν σημαντικές τεχνικές προκλήσεις και προκλήσεις ασφάλειας που σχετίζονται με την αμμωνία ως καύσιμο πλοίων. Είναι ένα μη δοκιμασμένο καύσιμο για μεγάλους κινητήρες και παρουσιάζει προβλήματα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά καύσης και τον έλεγχο των εκπομπών NOx. Είναι επίσης τοξικό.

Γίνονται προσπάθειες στην ανάπτυξη ενός δίχρονου και ενός τετράχρονου κινητήρα που να τροφοδοτείται από αμμωνία και να λειτουργεί αξιόπιστα, αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Η παρουσίαση ενός αξιόπιστου και ασφαλούς κινητήρα θα είναι καταλύτης για την κλιμάκωση της παραγωγής «πράσινης» αμμωνίας και την αποδοχή από τους πλοιοκτήτες και τους κατασκευαστές.

Βεβαίως, η νέα θαλάσσια δραστηριότητα θα πρέπει να προστεθεί στην υφιστάμενη παραγωγή αμμωνίας που προορίζεται κυρίως στα λιπάσματα και, ως εκ τούτου, στην παραγωγή τροφίμων.

Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες πρόωσης εναλλακτικών καυσίμων βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης και δοκιμών. Οι ναυτιλιακές εταιρίες διερευνούν τις πιθανές λύσεις του αύριο και όσον αφορά τα καύσιμα αλλά και τις τεχνολογίες πρόωσης.



Σχήμα 9: Πηγή - DNV, «Maritime Forecast to 2050 - Εκτιμώμενα χρονοδιαγράμματα ωρίμανσης για μετατροπείς ενέργειας» [W-19]

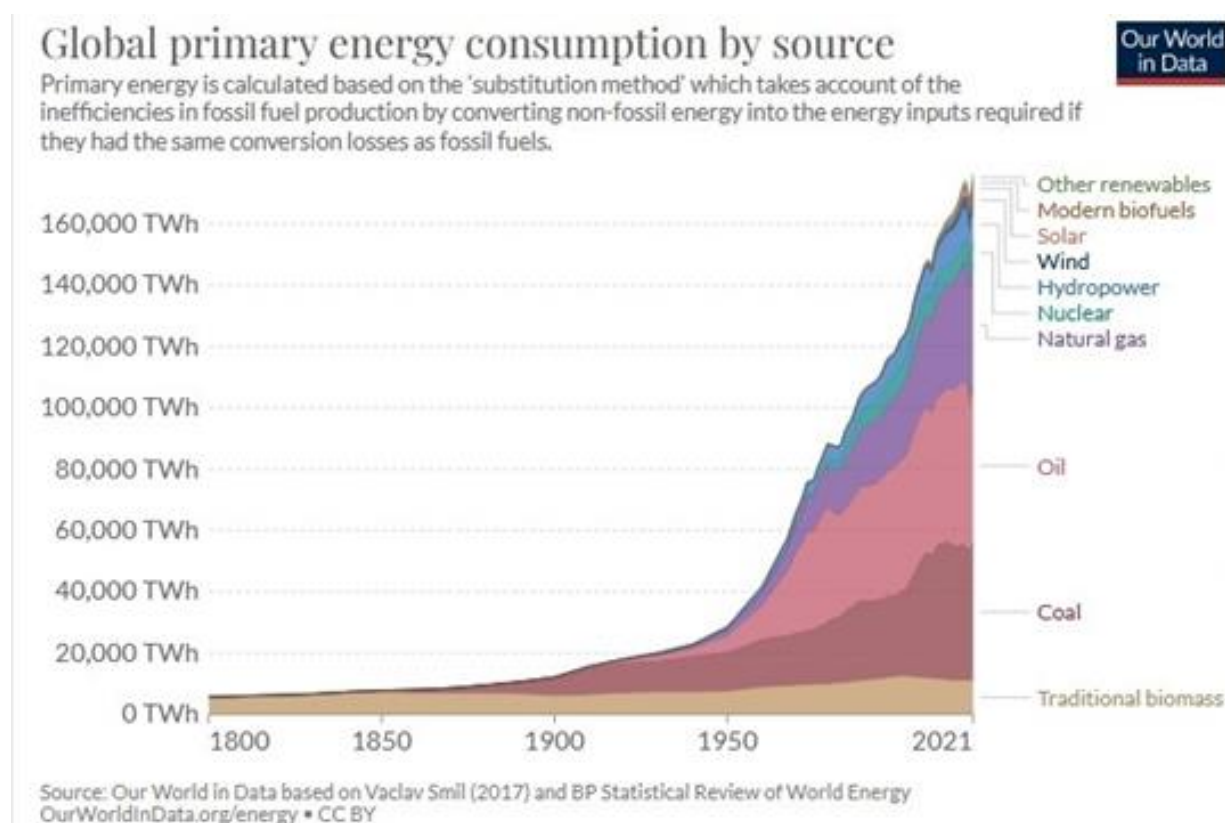
h. Τιμές

Αρχικά, θεωρήθηκε ότι το LNG θα είχε ένα σημαντικό πλεονέκτημα βραχυπρόθεσμα, επειδή είναι ήδη διαθέσιμο σε πολλές γεωγραφικές περιοχές και είναι ευκολότερο στον χειρισμό του από τη μεθανόλη και άλλες επιλογές. Αλλά οι εκτοξευόμενες τιμές του LNG και τα ερωτήματα σχετικά με τις ρωσικές προμήθειες λόγω του πολέμου στην Ουκρανία ήταν μια προειδοποίηση για το τι μπορεί να σημαίνει η πιθανή έλλειψη ορυκτών καυσίμων για οποιοδήποτε λόγο. Οι ανησυχίες για τα αποθέματα και η άνοδος των τιμών των καυσίμων είχαν ξεκινήσει άλλωστε, πριν τον πόλεμο στην Ουκρανία ([Παράρτημα Ι](#)).

Στην εξίσωση θα πρέπει επομένως να εξετασθεί και το ενδεχόμενο περιορισμού των διαθέσιμων ορυκτών καυσίμων και οι επιπτώσεις από ένα τέτοιο ενδεχόμενο στις τιμές των εναλλακτικών καυσίμων.

ι. Αποθέματα ορυκτών καυσίμων - προοπτικές

Σύμφωνα με στοιχεία της οργάνωσης *Our World in Data, Energy Production and Consumption* [[W-20](#)], η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας έχει εκρηκτικές αυξητικές τάσεις τα τελευταία εκατό χρόνια. Το διάγραμμα των καταναλώσεων από το 1800 και μετά έχει ως εξής:



Σχήμα 10: Πηγή - Our World in Data, Energy Production and Consumption

Ειδικότερα σε ότι αφορά τις καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας κατά την τελευταία εικοσαετία τα στοιχεία παρατίθενται κατωτέρω:

Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

2001		2021	
Other renewables	593 terawatt-hours	Other renewables	2,373 terawatt-hours
Modern biofuels	122 terawatt-hours	Modern biofuels	1,140 terawatt-hours
Solar	4 terawatt-hours	Solar	2,702 terawatt-hours
Wind	113 terawatt-hours	Wind	4,872 terawatt-hours
Hydropower	7,576 terawatt-hours	Hydropower	11,183 terawatt-hours
Nuclear	7,481 terawatt-hours	Nuclear	7,031 terawatt-hours
Natural gas	24,317 terawatt-hours	Natural gas	40,375 terawatt-hours
Oil	43,256 terawatt-hours	Oil	51,170 terawatt-hours
Coal	27,860 terawatt-hours	Coal	44,473 terawatt-hours
Traditional biomass	12,500 terawatt-hours	Traditional biomass	11,111 terawatt-hours
Total	123,821 terawatt-hours	Total	176,431 terawatt-hours

Source: Our World in Data based on Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Σχήμα 11: Πηγή - Our World in Data, Energy Production and Consumption

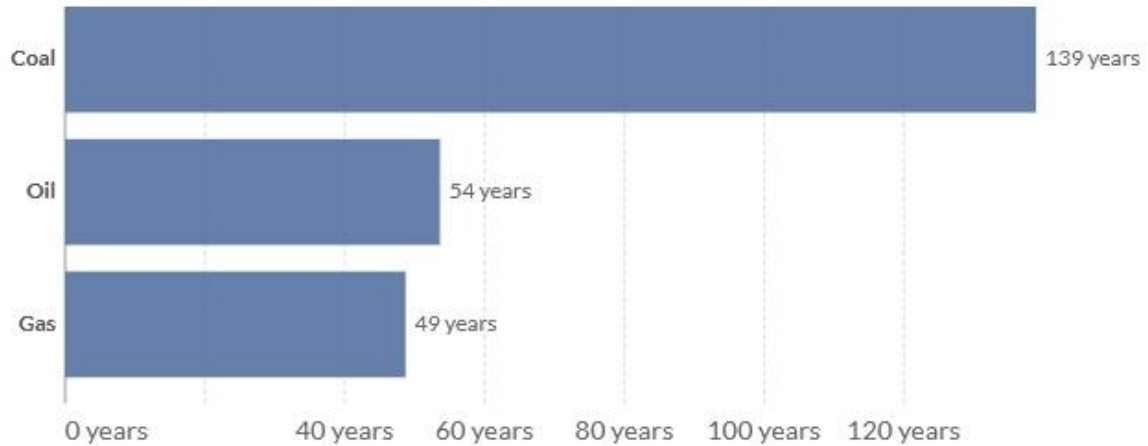
Πίνακας 7: Καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας 2001 / 2021 - Συγκρίσεις

Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας	2001 TWh	2021 TWh	2021/2001 %
Λοιπές ανανεώσιμες	593	2,373	300.16
Σύγχρονα βιοκαύσιμα	122	1,140	834.43
Ηλιακή ενέργεια	4	2,702	67,450.00
Άνεμος	113	4,872	4,211.50
Υδροηλεκτρική	7,567	11,183	47.61
Πυρηνική	7,481	7,031	-6.02
Φυσικό αέριο	24,317	40,375	66.04
Πετρέλαιο	43,256	51,170	18.30
Κάρβουνο	27,860	44,473	59.63
Παραδοσιακή βιομάζα	12,500	11,111	-28.32
Σύνολο	123,821	176,431	42.49%
Σύνολο ορυκτών καυσίμων	95,433	136,018	42.53%
Σύνολο ορυκτών/σύνολο (%)	77,07 %	77,09%	

Υπογραμμίζεται ότι σύμφωνα με την ίδια πηγή - *Our World in Data, Years of fossil fuels reserves left, 2020 [W-21]*, έχοντας υπόψη τα διεθνή γνωστά αποθέματα ορυκτών (fossil) καυσίμων και τις προβλεπόμενες καταναλώσεις, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων θα διαρκέσουν για πεπερασμένα χρόνια μετά το 2020. Ειδικότερα:

Years of fossil fuel reserves left, 2020

Years of global coal, oil and natural gas left, reported as the reserves-to-product (R/P) ratio which measures the number of years of production left based on known reserves and present annual production levels. Note that these values can change with time based on the discovery of new reserves, and changes in annual production.



Source: BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/fossil-fuels • CC BY

Σχήμα 12: Πηγή - Our World in Data, Energy Production and Consumption

Ανάλογες εκτιμήσεις για τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων δίδονται στο *Energy Reserves, Department of Energy and Mineral Engineering, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University* [[W-22](#)].

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα παρακάτω κρίσιμα ζητήματα:

- Το 2021 τα ορυκτά καύσιμα αντιπροσώπευαν το 77,1% της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, ποσοστό ίδιο με αυτό του 2001. Η αύξηση κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων μεταξύ των ετών 2001 και 2021 ανήλθε σε 42,5% όταν η αύξηση κατανάλωσης συνολικής πρωτογενούς ενέργειας ανήλθε επίσης σε 42,5%. Δηλαδή, τα ορυκτά καύσιμα διατήρησαν το ποσοστό τους στη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Η αύξηση κατανάλωσης άλλων μορφών πρωτογενούς ενέργειας δεν έφερε ποιοτική μεταβολή στο σύνολο.
- Η αύξηση της κατανάλωσης μεταξύ των ετών 2001 και 2021 είναι 66,0% για το φυσικό αέριο, 18,3% για το πετρέλαιο και 59,6% για το κάρβουνο.
- Αντίθετα, η κατανάλωση ενέργειας από την παραδοσιακή βιομάζα υποχώρησε κατά -28,3%, για λόγους υψηλού κόστους ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, περιορισμένης απόδοσης και έλλειψης εξειδίκευσης διαχείρισης των μικρών διάσπαρτων μονάδων, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας κατά -6,0%, για λόγους κυρίως αντίδρασης του κοινού από το φόβο των ατυχημάτων και των ραδιενεργών καταλοίπων.

- Η αύξηση των καταναλώσεων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν ιδιαίτερα μεγάλη με εξαίρεση της υδροηλεκτρικής.
- Ανάγοντας σε ενεργειακές μονάδες GJ (Giga Joule), για λόγους σύγκρισης, τις τιμές των ορυκτών καυσίμων πριν την κρίση στην Ουκρανία (28/12/2020) και αυτές του Δεκεμβρίου 2022, έχουμε αντίστοιχα:

Πίνακας 8: Σύγκριση τιμών ορυκτών καυσίμων

	Τιμές Δεκ 2020*	Μονάδες αναγωγής	Ανηγμένες τιμές
Naturale Gas (Ευρώπη)	19,12 €/MWh	1 MWh = 3,6 GJ 1 € = 1,22167 \$	6,49 \$/GJ
Crude Oil	48,52 \$/Barrel	1 Barrel = 6,118 GJ	7,93 \$/GJ
Coal	80,50 \$/T	1 Ton = 29,288 GJ	2,75 \$/GJ

	Τιμές Δεκ 2022*	Μονάδες αναγωγής	Ανηγμένες τιμές
Naturale Gas (Ευρώπη)	104 €/MWh	1 MWh = 3,6 GJ 1 € = 1,063 \$	30,71 \$/GJ
Crude Oil	75,189 \$/Barrel	1 Barrel = 6,118 GJ	12,29 \$/GJ
Coal	401,35 \$/T	1 Ton = 29,288 GJ	13,70 \$/GJ

* Τιμές από διαγράμματα Παραρτήματος Ι. Πηγή: Trading Economics

Οι παραπάνω τιμές εξηγούν την αύξηση της κατανάλωσης σε φυσικό αέριο και κυρίως σε κάρβουνο, κατά την τελευταία εικοσαετία. Περιοχές με μεγάλα αποθέματα εξακολουθούν να καταναλίσκουν κάρβουνο εξ αιτίας της χαμηλής τιμής του (π.χ. Κίνα το 55,13% της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας το 2021, έναντι 3,45% του Καναδά).

Επίσης αποδεικνύουν τις αυξητικές τάσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων, όχι τόσο κατά την περίοδο του πανικού, αλλά μετά. Ειδικότερα:

Πίνακας 9: Σύγκριση αυξητικών τάσεων τιμών ορυκτών καυσίμων

	Ανηγμένες τιμές 2020	Ανηγμένες τιμές 2022	2022/2020 (%)
Naturale Gas (Ευρώπη)	6,49 \$/GJ	30,71 \$/GJ	373,19%
Crude Oil	7,93 \$/GJ	12,29 \$/GJ	54,98%
Coal	2,75 \$/GJ	13,70 \$/GJ	398,18%

- Όσα και εάν υποθέσουμε ότι μπορεί να είναι τα πιθανά μη γνωστά ακόμη αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, δεν θα αλλάξουν δραματικά την παραπάνω εικόνα εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων. Για παράδειγμα, τα αποθέματα φυσικού αερίου της Ανατολικής Μεσογείου, εκτιμώμενα σε 300 TCF [W-23], αντιπροσωπεύουν το 4,13% των παγκόσμιων αποθεμάτων (7.257 TCF με στοιχεία του Ιανουαρίου 2020) [W-24]. Ο πόλεμος στην Ουκρανία ήταν μια ένδειξη για το τι μπορεί να σημαίνει η σταδιακή εξάντληση ή, στη συνέχεια, και η παντελής έλλειψη ορυκτών καυσίμων.

- Η αύξηση κατανάλωσης κάρβουνου κατά τελευταία είκοσι χρόνια, ενώ την ίδια στιγμή γίνονται τεράστιες προσπάθειες στην κατεύθυνση των

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δείχνει τον κίνδυνο να αντιστραφεί η παγκόσμια προσπάθεια απανθρακοποίησης, με τις όποιες συνέπειες για το περιβάλλον. Αυτός ο κίνδυνος θα πολλαπλασιαστεί σε περίπτωση εξάντλησης των άλλων δύο από τις τρεις πηγές των ορυκτών καυσίμων, δεδομένου ότι το κάρβουνο διαθέτει τα μεγαλύτερα αποθέματα και είναι το πλέον ρυπογόνο των τριών.

➤ Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (άνεμος, ήλιος, υδροηλεκτρική, κύματα, Μπλε Ενέργεια) θα είναι άθλος εάν καλύψουν τα ενεργειακά κενά πρωτογενούς ενέργειας που θα δημιουργηθούν από την έλλειψη των ορυκτών καυσίμων. Τα βιοκαύσιμα από ανανεώσιμες πηγές δεν επαρκούν να καλύψουν τις απαιτήσεις σε εναλλακτικά καύσιμα. Οι προσπάθειες πρέπει να στραφούν και σε εναλλακτικά καύσιμα που δεν θα στηρίζονται στην ύπαρξη του άνθρακα (C) ως συστατικό στοιχείο στη δομή τους, δεν θα στηρίζονται δηλαδή στην παραγωγή τους από οργανικές ουσίες.

j. Επίδραση των τιμών των ορυκτών καυσίμων στις τιμές των εναλλακτικών καυσίμων.

Για πάρα πολλούς άμεσους ή έμμεσους λόγους, οι τιμές των ορυκτών καυσίμων επηρεάζουν καθοριστικά τις τιμές των εναλλακτικών καυσίμων. Οι αυξητικές τάσεις που περιγράφονται παραπάνω και οι αυξήσεις τιμών λόγω του πολέμου στην Ουκρανία, επηρέασαν άμεσα τις τιμές μιας σειράς καυσίμων και πρώτων υλών παραγωγής τους.

Για λόγους οπτικής σύγκρισης παρατίθενται διαγράμματα τιμών εναλλακτικών καυσίμων και πρώτων υλών παραγωγής τους στο [Παράρτημα Ι](#).

2. Εναλλακτικά καύσιμα από ανόργανες πρώτες ύλες – Υδρογόνο - Σκόνη Αλουμινίου.

Η παραγωγή υδρογόνου με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης ή τη διαδικασία της άμεσης ηλιακής διάσπασης νερού - *Hydrogen Production Processes, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy* [[W-25](#)], είναι δύο μέθοδοι κατά τις οποίες δεν χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες που περιέχουν άνθρακα. Ένα τεράστιο σε εξέλιξη κεφάλαιο.

Το αργίλιο ή αλουμίνιο (aluminium ή aluminum) είναι επίσης ένα καύσιμο της ίδιας κατηγορίας που έχει γίνει αντικείμενο εκτεταμένων μελετών. Είναι από τα πιο ελαφρά μεταλλικά στοιχεία σε ειδικό βάρος (π.χ. το 1/3 περίπου του χάλυβα) και από πλευράς εξάπλωσης, είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της Γης και συνολικά το τρίτο (3^ο) αφθονότερο χημικό στοιχείο στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού της γης.

Κατά την οξειδωση («καύση») της μεταλλικής σκόνης του αλουμινίου δεν παράγεται κανένας από τους περιβαλλοντικούς ρύπους του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, τα οξείδια του αλουμινίου, είναι πλήρως ανακυκλώσιμα.

Το αποτύπωμα άνθρακα του πρωτογενούς αλουμινίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται: κυμαίνεται μεταξύ 4 tCO₂ e/t αλουμινίου όταν για την παραγωγή του χρησιμοποιείται υδροηλεκτρική ενέργεια έως και 20 tCO₂ e/t αλουμινίου όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια με βάση τον άνθρακα.

Αντίθετα, η ανακύκλωση αλουμινίου εκπέμπει 0,5 tCO₂ e/t αλουμινίου, κατά μέσο όρο. Η διαδικασία απαιτεί λιγότερη ενέργεια από την παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου (μόνο το 5% της ενέργειας που χρησιμοποιείται αντίστοιχα). {Δημοσίευση "EUROPEAN ALUMINIUM | A strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2030" [[W-26](#)]}.}

Ο συνδυασμός των παραπάνω δεδομένων εγγυάται τη διαθεσιμότητα σε μεγάλες ποσότητες ενός μη τοξικού ή επικίνδυνου καυσίμου, όσον αφορά την εκπομπή αέριων ρύπων. Πρόκειται για ένα «απεριόριστης ποσότητας οικολογικό καύσιμο», το οποίο μπορεί σταδιακά, υπό όρους και προϋποθέσεις, να υποκαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα.

Υπάρχουν σημαντικές βιβλιογραφικές αναφορές για το Αλουμίνιο, όπως από:

- *U.S. Department of Energy (Reaction of Aluminum with Water to Produce Hydrogen - A Study of Issues Related to the Use of Aluminum for On-Board Vehicular Hydrogen Storage - Version 2 – 2010)* [[W-27](#)]
- *MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY February 2019 (The Development and Characterization of Aluminum Fueled Power Systems and a Liquid Aluminum Fuel by Jason Zachary Fischman)* [[W-28](#)]
- *McGill University, Faculty of Engineering, Alternative Fuels Laboratory* [[W-29](#)]
- *Iowa State University, Michael V. Pak and Mark S. Gordon (Potential Energy Surfaces for the Al+O₂ Reaction)* [[W-30](#)]
- *Κοινό Ινστιτούτο Υψηλών Θερμοκρασιών της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών, M.S. Vlaskin, M.V. Gaykovich and A.O. Dudoladov (Modelling of Aluminium-fuelled Power Plant with Gas Turbine)* [[W-31](#)]
- *Aluminum-Water Energy System for Autonomous Undersea Vehicles των Nicholas B. Pulsone, Douglas P. Hart, Andrew M. Siegel, Joseph R. Edwards, and Kristen E. Railey* [[W-32](#)]
- *Reactive Metals as Energy Storage and Carrier Media: Use of Aluminum for Power Generation in Fuel Cell-Based Power Plants" Linda Barelli, Manuel Baumann, Gianni Bidini, Panfilo A. Ottaviano, Rebekka V. Schneider, Stefano Passerini and Lorenzo Trombetti* [[W-33](#)]
- *SHOCK INITIATION OF CRYSTALLINE BORON IN OXYGEN AND FLUORINE COMPOUNDS, Herman Krier, Rodney L. Burton and Stephen R. Pirman* [[W-34](#)]

a. Περιβαλλοντική επίδραση του Αλουμινίου

Η τοξικότητα και η επίδραση του αλουμινίου στην υδρόβια ζωή είναι ένα θέμα υπό συνεχή συζήτηση. Παρόλο που λέγεται συχνά ότι οι χαμηλές συγκεντρώσεις δεν επηρεάζουν αρνητικά την υδρόβια ζωή, η χρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις έχει παρατηρηθεί ότι είναι τοξική για ορισμένα είδη υδρόβιων οργανισμών.

Ειδικότερα όμως, οι κατάντι βιομηχανικές σημειακές πηγές νερού επεξεργασίας, πλούσιες σε αλουμίνιο, αποτελούν απειλή για το φυσικό οικοσύστημα. Στο υδάτινο περιβάλλον, το αλουμίνιο δρα ως τοξικός παράγοντας σε ζώα που χρησιμοποιούν τα βράγχια, όπως τα ψάρια και τα ασπόνδυλα, προκαλώντας απώλεια της οσμορρυθμιστικής τους λειτουργίας (δηλαδή, στη διατήρηση της κατάλληλης σωματικής πίεσης από τους υδρόβιους οργανισμούς στο νερό, ελέγχοντας την πρόσληψη αλάτων και ιόντων από το νερό). Το αλουμίνιο μπορεί επίσης να αντιδράσει με άλλους χημικούς ρύπους στο νερό, οδηγώντας σε απρόβλεπτες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, συνιστώντας επιπρόσθετα απειλή, καθώς μπορεί τελικά να εισέλθει στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα – Πηγή, *"The Bioavailability and Toxicity of Aluminum in Aquatic Environments"*, Robert W. Gensemer & Richard C. Playle. [W-35]

Η τήρηση των όποιων ρυθμιστικών κατευθυντήριων γραμμών σχετικά με τα αποδεκτά επίπεδα αλουμινίου στο νερό, καθώς αυτά είναι συνάρτηση των φυσικών, χημικών και περιβαλλοντικών συνθηκών του καθενός υδάτινου οικοσυστήματος, εξαρτώμενα από διάφορους φυσικοχημικούς παράγοντες όπως το pH του νερού, η θερμοκρασία και το επίπεδο αλατιού, δεν είναι πρακτικά μετρήσιμη και εφικτή. Κατά συνέπεια, προκειμένου να αποφευχθούν υψηλές συγκεντρώσεις αλουμινίου στις περιοχές των ναυτιλιακών διαδρόμων, πρέπει, η συγκέντρωση προς ανακύκλωση του οξειδίου της σκόνης αλουμινίου, να είναι υποχρεωτική.

b. Τεχνολογίες πρόωσης

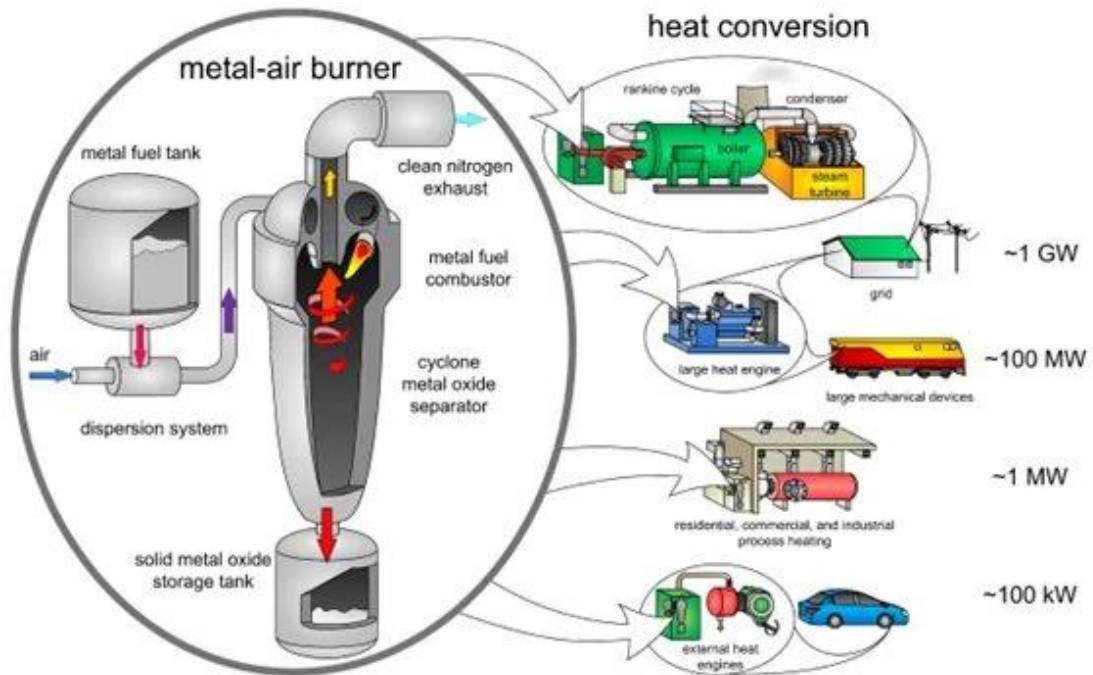
Προϋπόθεση βεβαίως για την αξιοποίηση της σκόνης Αλουμινίου είναι η ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνολογίας πρόωσης αλλά και των διαδικασιών ανακυκλοφορίας στα λιμάνια για την ανακύκλωσή της.

Από το *McGill University, Faculty of Engineering, Alternative Fuels Laboratory* [W-29], έχουν προταθεί διάφορες μηχανές αξιοποίησης της ενέργειας που θα προκύψει από την «καύση» του Αλουμινίου. Ενδεικτικό είναι το σχήμα 13 παρακάτω.

Το Αλουμίνιο ως καύσιμο χρησιμοποιείται ήδη στους προωθητικούς πυραύλους – Πηγή: *NASA, Rocketology: NASA's Space Launch System, Aluminum, By Beverly Perry* [W-36].

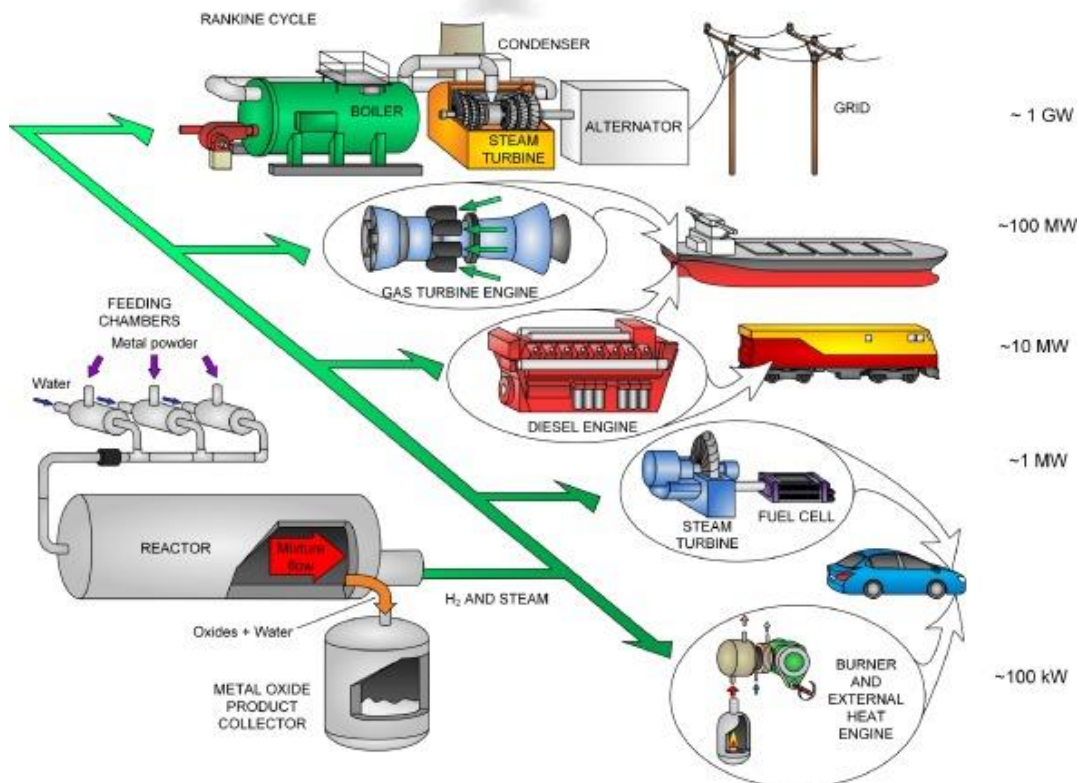
Η τεχνολογία πρόωσης αεριοστροβίλου είναι γνωστή και ήδη χρησιμοποιείται για πολεμικά καθώς και μη πολεμικά πλοία.

Υπάρχει ζήτηση προσαρμογής της τεχνολογίας για εφαρμογή στην εμπορική ναυτιλία.

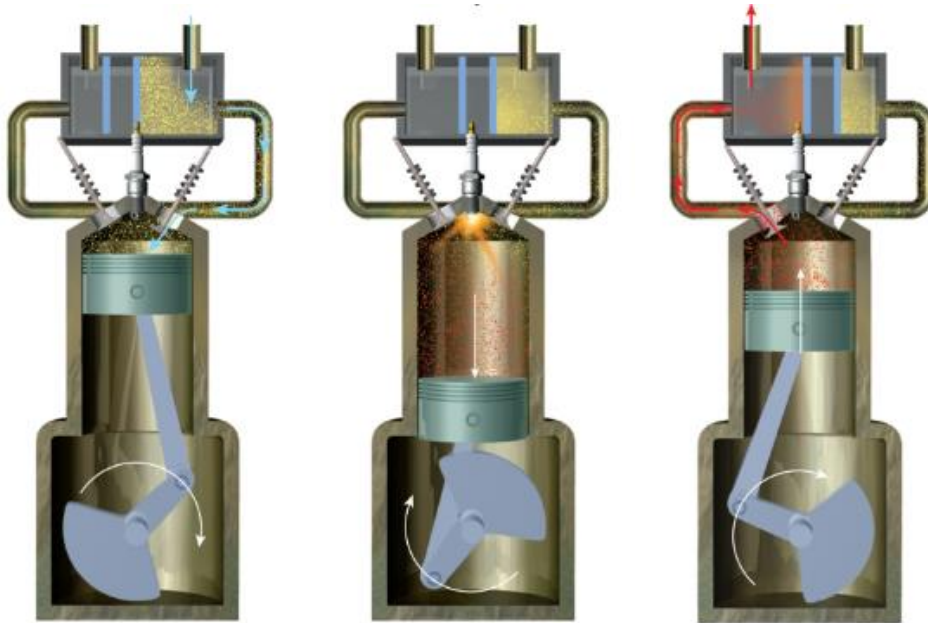


Σχήμα 13: Καυστήρας αλουμινίου σε περιβάλλον αέρα και ανάκτηση οξειδίων καύσης

Επίσης από τον Jeffrey M. Bergthorson, Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Quebec, Canada, "Recyclable metal fuels for clean and compact zero-carbon power" [W-37], έχουν προταθεί αντίστοιχες ιδέες, καθώς και ιδέες για μηχανές εσωτερικής καύσεως με σκόνη Αλουμινίου (Σχήματα 14 & 15 παρακάτω).



Σχήμα 14: Καυστήρας αλουμινίου σε περιβάλλον αέρα και ανάκτηση οξειδίων καύσης



Σχήμα 15: Ιδέα για κινητήρα εσωτερικής καύσης με μέταλλο.

γ. Τιμές – συγκρίσεις

Οι τιμές του Αλουμινίου τον Δεκέμβριο του 2020 ήταν 1.980,75 \$/T και τον Δεκέμβριο του 2022, 2.385,5 \$/T. Έχοντας υπόψη ότι η πυκνότητα του αλουμινίου είναι 2,7 Kg/L και ότι η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητά του είναι 23,5 KWh/L [W-33], καθώς και ότι 1 KWh ισούται με 0,0036 GJ, ανάγουμε τις τιμές και βρίσκουμε ότι τον Δεκέμβριο του 2020 η τιμή ήταν 8,67 \$/GJ και τον Δεκέμβριο του 2022 ήταν 10,44 \$/GJ (αύξηση 20,42%).

$$\begin{aligned}
 23,5 \text{ KWh/L} \times 0,0036 \text{ GJ/KWh} &= 0,0846 \text{ GJ/L} \rightarrow \\
 \rightarrow 0,0846 \text{ GJ/L} \times 2,7 \text{ Kg/L} &= 0,22842 \text{ GJ/Kg} \\
 1,98075 \text{ \$/Kg} / 0,22842 \text{ GJ/Kg} &= 8,67 \text{ \$/GJ} \text{ \&} \\
 2,3855 \text{ \$/Kg} / 0,22842 \text{ GJ/Kg} &= 10,44 \text{ \$/GJ}
 \end{aligned}$$

Τιμές Αλουμινίου



Σχήμα 16: Πηγή Trading Economics

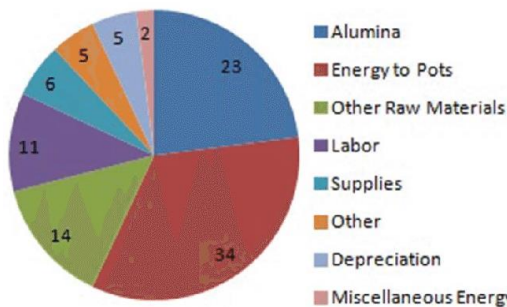
Πίνακας 10: Σύγκριση τιμών ορυκτών καυσίμων με σκόνη Αλουμινίου

	Τιμές Δεκ 2020*	Ανηγγεμένες τιμές
Naturale Gas (Ευρώπη)	19,12 €/MWh	6,49 \$/GJ
Crude Oil	48,52 \$/Barrel	7,93 \$/GJ
Coal	80,50 \$/T	2,75 \$/GJ
Aluminum	1.980,75 \$/T	8,67 \$/GJ

	Τιμές Δεκ 2022*	Ανηγγεμένες τιμές
Naturale Gas (Ευρώπη)	104 €/MWh	30,71 \$/GJ
Crude Oil	75,189 \$/Barrel	12,29 \$/GJ
Coal	401,35 \$/T	13,70 \$/GJ
Aluminum	2.385,5 \$/T	10,44 \$/GJ

* Τιμές από διαγράμματα Παραρτήματος Ι. Πηγή: Trading Economics

Cost Breakdown (%) of Aluminum Produced



Σχήμα 17: Ενδεικτική ανάλυση κόστους

παραγωγής πρωτογενούς Αλουμινίου [W-38]

Πίνακας 11: Εκτίμηση τιμής Αλουμινίου από ανακύκλωση

	%	Al (\$/GJ)	rAl (\$/GJ)
Πρώτη ύλη	23	2,40	1,93
Ενέργεια	34	3,55	0,18
Λοιπές δαπ.	43	4,49	4,49
Σύνολο	100	10,44	6,60

Πρέπει βεβαίως να υπογραμμισθεί ότι:

- Οι παραπάνω τιμές του Αλουμινίου (Πίνακας 10) διαμορφώνονται λαμβάνοντας υπόψη το πλήρες κόστος του Αλουμινίου, δηλαδή της εξόρυξης του μεταλλεύματος (βωξίτη) και του διαχωρισμού του Αλουμινίου από άλλα μέταλλα – Σχήμα 17: *A dynamic state observer to control the energy consumption in aluminium production cells, Carlos Augusto P. Braga's - Joao Viana da Fonseca Netto's [W-38].*
- Δεδομένου ότι οι τιμές αγοράς του προς ανακύκλωση scrap Αλουμινίου – (ELGIN RECYCLING, *Scrap Aluminum Prices [W-77]*) - κινούνται στο επίπεδο των 0,15 - 0,20 \$/lb και 2,20462262 lb = 1 Kg, η αξία του scrap αλουμινίου είναι:

$$1,93 \frac{\$}{GJ} = \frac{0,2 \times 2,20462262}{0,22842} \frac{\$}{lb} \times \frac{lb}{Kg} \frac{GJ}{Kg}$$

- Δεδομένου επίσης ότι για την ανακύκλωση απαιτείται μόνο το 5% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την πρωτογενή παραγωγή του (*Δημοσίευση "EUROPEAN ALUMINIUM | A strategy for achieving aluminium's full potential for*

circular economy by 2030” [W-26]), οι τιμές Αλουμινίου που θα διαμορφωθούν από την ανακύκλωση του αλουμινίου αναμένονται πολύ χαμηλότερες (≈6,60 \$/GJ – Πίνακας 11).

- Οι τιμές της σκόνης αλουμινίου που θα προκύψουν από την ανακύκλωση της σκόνης του οξειδίου του αλουμινίου αναμένονται ενδιάμεσα σε αυτές του πρωτογενούς και από ανακύκλωση Αλουμινίου, διότι θα απαιτηθεί ηλεκτρόλυση του οξειδίου για την ανάκτηση του μετάλλου Αλουμινίου.
- Οι έως τώρα τιμές του Αλουμινίου διαμορφώνονται για τις χρήσεις που προορίζεται και από τις ποσότητες που διεθνώς παράγονται και διακινούνται. Κατά συνέπεια, η επέκταση της χρήσης του Αλουμινίου ως καύσιμη σκόνη θα αυξήσει τις παραγωγές, την παραγωγικότητα των μονάδων παραγωγής και την αποδοτικότητα του όλου εγχειρήματος.
- Στο κόστος κτήσης του Αλουμινίου συμμετέχει σε πολύ μεγάλο ποσοστό το κόστος της ενέργειας για την παραγωγή του. Επομένως το Αλουμίνιο μπορεί να γίνει ένα πολύ οικονομικό καύσιμο αν η παραγωγή του συνδυαστεί με την ανακύκλωση των οξειδίων του και φθηνή ηλεκτρική ενέργεια.

3. Πυρηνική ενέργεια στα πλοία

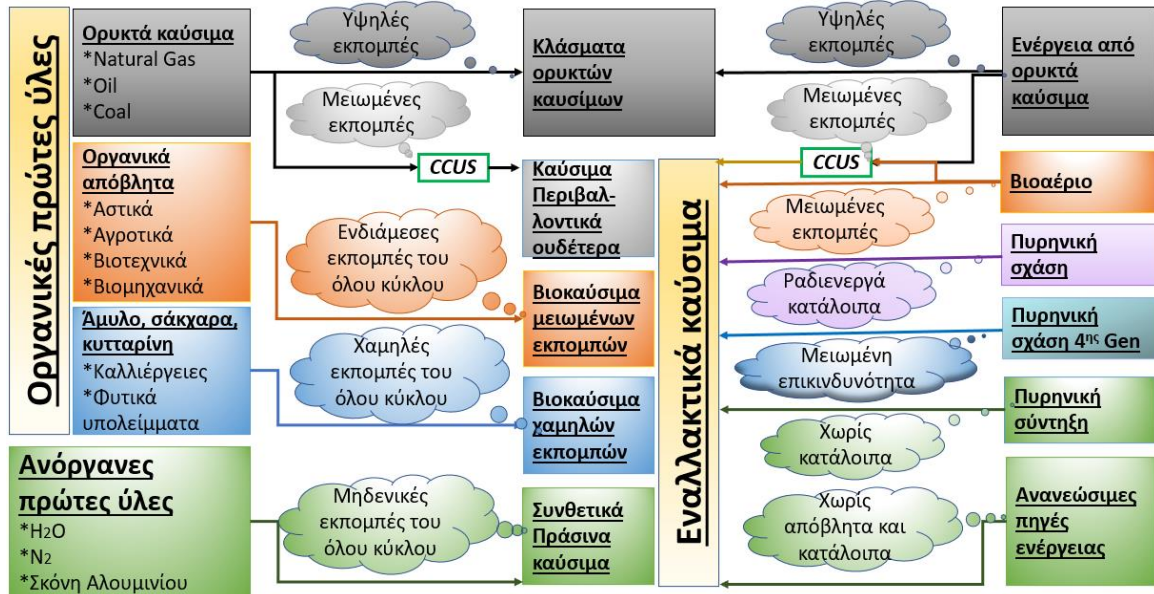
Η πυρηνική ενέργεια παραμένει μια εναλλακτική δυνατότητα πρόωσης των πλοίων αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με συγχρόνους πυρηνικούς αντιδραστήρες 4^{ης} γενιάς, σε μικρές αποκεντρωμένες μονάδες - *World Nuclear Association* [W-40], υπό την προϋπόθεση της επίλυσης των τεχνικών ζητημάτων που εκκρεμούν και της αποδοχής τους σε πολιτικό επίπεδο, δηλαδή των διεθνών οργανισμών και των κρατών.

«Μιλάμε για αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς (η Φουκουσίμα π.χ. είναι δεύτερης). Οι αντιδραστήρες αυτοί δεν ψύχονται με νερό, το οποίο χρειάζεται αντλίες, οι οποίες όταν σταματήσουν επέρχεται τήξη του αντιδραστήρα (Φουκουσίμα). Η ψύξη τους είναι με υγρό μέταλλο (π.χ. μόλυβδος) ή λιωμένο αλάτι ή ήλιον και είναι τελείως φυσική-παθητική (ούτε αντλίες ούτε ηλεκτρισμός ούτε αυτοματισμοί χρειάζονται). Ό,τι και να συμβεί, ο αντιδραστήρας είναι αδύνατον να ανεβάσει θερμοκρασία πέραν του σχεδιασμού.

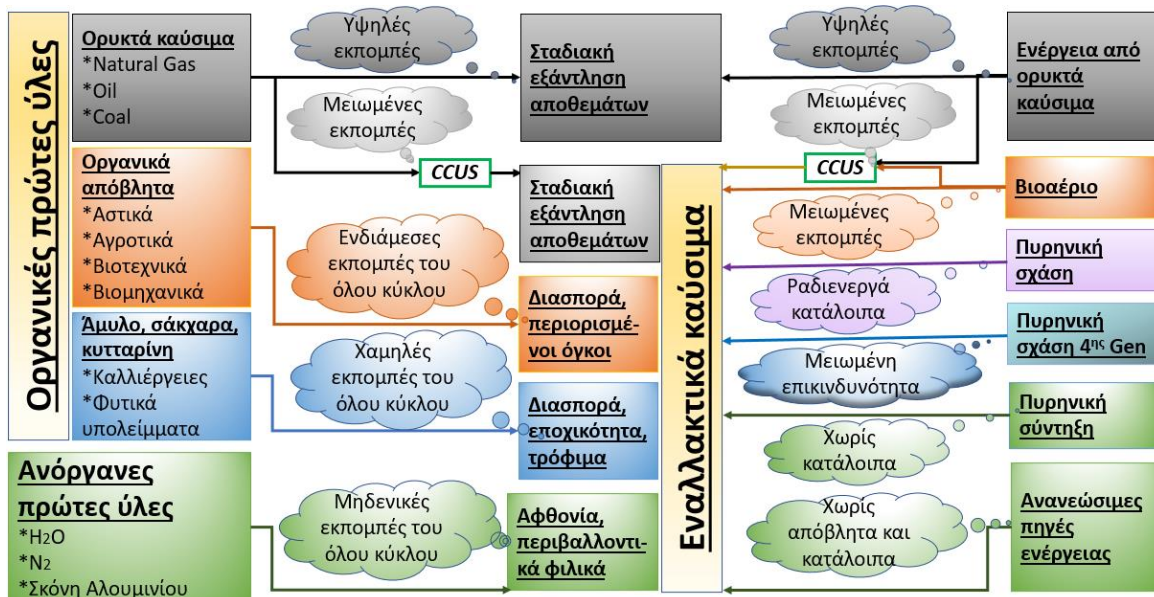
Επιπλέον, αντί για εμπλουτισμένο ουράνιο, χρησιμοποιούν ως καύσιμο απλό ουράνιο ή και θόριο (το οποίο δεν είναι ραδιενεργό) ή ακόμα και τα απόβλητα από τα σημερινά πυρηνικά εργοστάσια ή τα πυρηνικά όπλα εν αχρηστία. Επειδή δύνανται να καταναλώσουν το καύσιμό τους σχεδόν τελείως, τα όποια απόβλητα παραμένουν ραδιενεργά μόνο για 300 χρόνια (ενώ των συνήθων αντιδραστήρων για 100.000 χρόνια). Οι τωρινοί αντιδραστήρες δεύτερης γενιάς παράγουν 20 τόνους απόβλητα τον χρόνο, ραδιενεργά για 100.000 χρόνια. Ένας 500 MW αντιδραστήρας τέταρτης γενιάς παράγει μόνο 4 κιλά τον χρόνο, ραδιενεργά για 300 χρόνια. Υπολογίζεται ότι, με την πρόοδο της τεχνολογίας, δεν θα υπάρχει καθόλου ραδιενέργεια στο τελικό υπόλειμμα καυσίμου. Φυσικά, από τέτοιους αντιδραστήρες δεν μπορούν να παραχθούν πυρηνικά όπλα (και αυτός ήταν ο λόγος που οι μελέτες τους σταμάτησαν το 1960 υπέρ των σημερινών αντιδραστήρων). Το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από αυτούς τους μίνι αντιδραστήρες είναι 5-10 λεπτά ανά kWh, παρόμοια δηλαδή με τα κόστη της αιολικής ενέργειας» – *Απόσπασμα δημοσίευσης κ. Πάνου Ζαχαριάδη, Τεχνικού Διευθυντή της Atlantic Bulk Carriers Management Ltd, Ναυτικά Χρονικά Ιανουάριος 2020, Τεύχος 226, σελίδα 86* [W-39].

4. Καθοριστικές παράμετροι των GHG εκπομπών και της ποσοτικής επάρκειας των εναλλακτικών καυσίμων

Είναι καθοριστικής σημασίας η πρωτογενής μορφή ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καυσίμων. Τα εναλλακτικά αποκαλούμενα καύσιμα, παύουν να είναι εναλλακτική λύση, από τη στιγμή που για την παραγωγή τους θα χρησιμοποιηθεί είτε ρυπογόνος πρωτογενής ενέργεια είτε ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ρυπογόνο πρωτογενή ενέργεια.



Σχήμα 18: Πρώτες ύλες / πηγή ενέργειας - Εκπομπές GHG

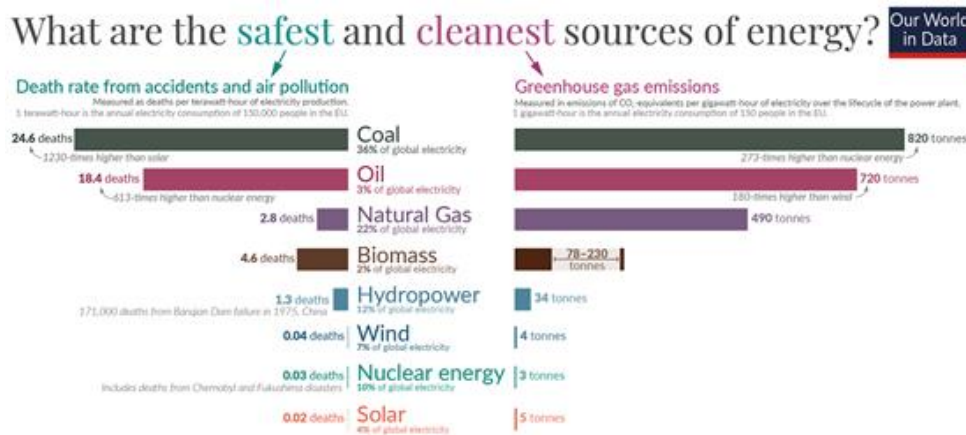


Σχήμα 19: Πρώτες ύλες / πηγή ενέργειας – Περιορισμοί / Θετικά / Αρνητικά

Η τεχνολογία δέσμευσης, αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης CO₂ (CCUS), ο διαχωρισμός δηλαδή του CO₂ από άλλα αέρια που παράγονται σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις διεργασιών, όπως εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με άνθρακα και φυσικό αέριο, χαλυβουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, διυλιστήρια και η επαναχρησιμοποίησή του στη συνέχεια για την παραγωγή συνθετικών καυσίμων, μετά από ενδιάμεση αποθήκευση ή όχι, θα συμβάλλει θετικά στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [W-80].

Από πολλές αξιόπιστες πηγές τεκμηριώνεται ότι τα ορυκτά (fossil) καύσιμα σταδιακά εξαντλούνται. Ταυτόχρονα υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν θα είναι δυνατόν να καλύψουν το ενεργειακό κενό των ορυκτών καυσίμων. Με δεδομένο ότι, τα κατάλοιπα της πυρηνικής σχάσης, όπως έως σήμερα εφαρμόζεται, είναι περιβαλλοντικά επικίνδυνα, η ελπίδα για φθηνή ενεργειακή λύση είναι η ασφαλέστερη πυρηνική ενέργεια τέταρτης γενιάς ή η πυρηνική σύντηξη, όταν γίνουν εμπορικά διαθέσιμες.

Ποσοστό θανάτων από ατυχήματα και ατμοσφαιρική ρύπανση ανά πηγή ενέργειας



Σχήμα 20: Πηγή, Our World in Data, Ποιες είναι οι ασφαλέστερες και καθαρότερες πηγές ενέργειας [W-41]

Η βιομάζα είναι υπεύθυνη για ένα πολύ μεγάλο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, έτσι κι' αλλιώς. Τα πάσης φύσεως οργανικά απόβλητα ρυπαίνουν το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα πολύ περισσότερο όταν διατίθενται ακατέργαστα. Οι παραγωγές εναλλακτικών καυσίμων από τη βιομάζα δεν προβλέπονται να είναι μεγάλες και οι δυσκολίες συλλογής της βιομάζας και αναδιανομής των υπολειμμάτων της επεξεργασίας σαν οργανικό λίπασμα, απαιτούν ιδιαίτερη οργάνωση. Είναι μεγάλης σημασίας όμως, η παραγωγή βιοαερίου και προϊόντων του και η δέσμευση και αξιοποίηση ενός μεγάλου μέρους των GHG εκπομπών της ανεπεξέργαστης βιομάζας.

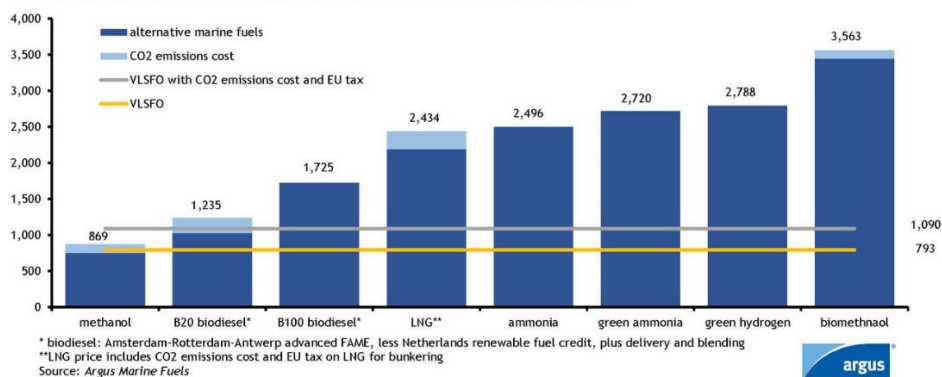
Η αξιοποίηση φυτικών προϊόντων και υπολειμμάτων για την παραγωγή καυσίμων σε μεγάλες ποσότητες, πέρα από το γεγονός ότι, με βεβαιότητα, θα δημιουργήσει επισιτιστικές πιέσεις, έχει και το μεγάλο αρνητικό της εποχικότητας. Θα απαιτηθούν τεράστιοι χώροι αποθήκευσης πρώτων υλών ή μεγάλες δυναμικότητες βιομηχανιών παραγωγής καυσίμων, οι οποίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα, στη συνέχεια, θα υπολειμθούν.

Τα συνθετικά πράσινα καύσιμα που μπορούν να παραχθούν από ανόργανες πρώτες ύλες, σε συνδυασμό με εναλλακτικές μορφές ενέργειας, προβάλλουν σαν η ρεαλιστική μελλοντική λύση και γιατί είναι άφθονες και γιατί είναι περιβαλλοντικά φιλικές.

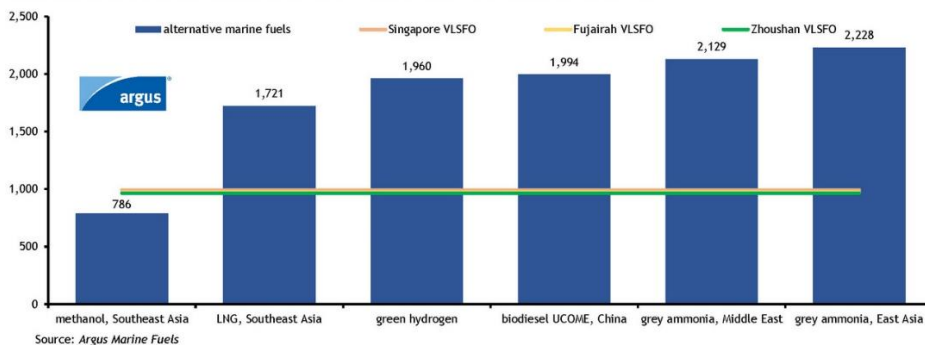
5. Οι ισχύουσες τιμές ως κριτήριο επιλογής των εναλλακτικών καυσίμων

Στο άρθρο "In search of price-feasible 'alternative' marine fuel", της Stefka Wechsler, Argus Marine Fuels Editor, που δημοσιεύεται στο ναυτιλιακό περιοδικό Lloyd's List στις 28 Αυγούστου 2022 (W-42), εξετάζονται εναλλακτικά ναυτιλιακά καύσιμα από άποψη τιμής, σε διάφορες περιοχές και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές του VLSFO. Σχήματα 21, 22 & 23 παρακάτω.

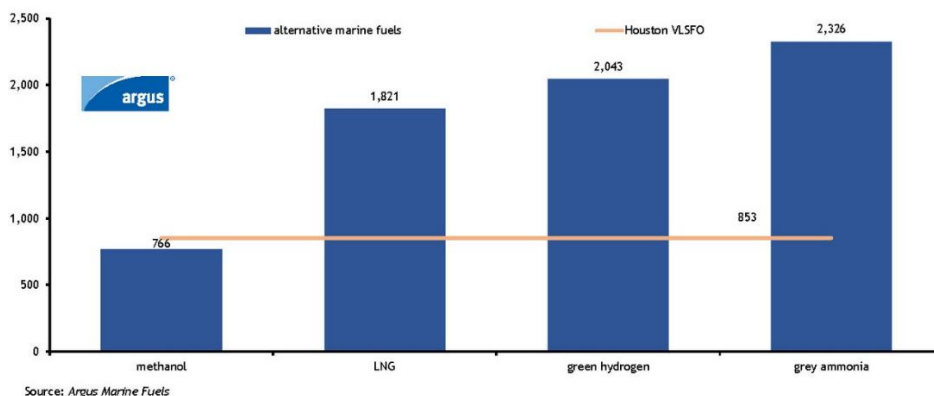
NW Europe alternative marine fuels vs VLSFO, \$/t VLSFO-equivalent, July 2022 avg



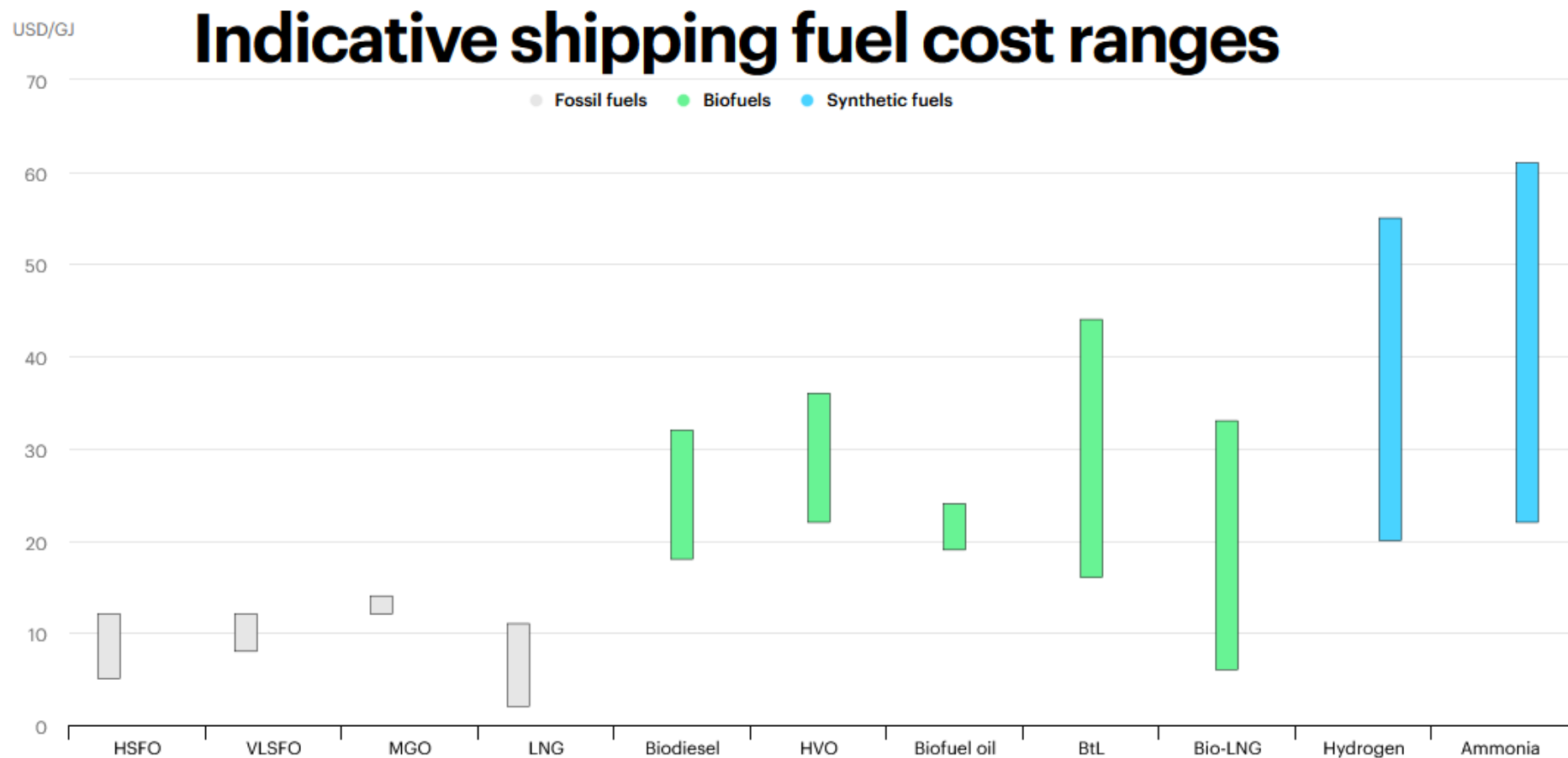
Asia & Middle East alternative marine fuels vs VLSFO, \$/t VLSFO-equivalent, July 2022 avg



US Gulf alternative marine fuels vs VLSFO, \$/t VLSFO-equivalent, July 2022 avg



Επίσης, από την i.e.a. - International Energy Agency (W-43), δίδεται το παρακάτω διάγραμμα εύρους τιμών μιας σειράς καυσίμων.



Σχήμα 24: Πηγή: International Energy Agency ([W-43](#)), Last updated 26 Oct 2022

* BtL fuels (biomass-to-liquid fuels)

** Η τιμή της μη ανακυκλώσιμης σκόνης Αλουμινίου υπολογίσθηκε στα $\approx 10,44$ \$/GJ & της από ανακύκλωση στα $\approx 6,60$ \$/GJ (Πίνακες 10 & 11 παραπάνω).

Τα συμπεράσματα και από τις δύο πηγές συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Με εξαίρεση τη Μεθανόλη (fossil), όλα τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα είναι ακριβότερα από το VLSFO, σε όλες τις περιοχές. Η βιομεθανόλη είναι μια πολύ ακριβή υπόθεση. Σημειώνεται ότι και στις δύο παραπάνω δημοσιεύσεις οι τιμές αφορούν στην περίοδο του πολέμου στην Ουκρανία. Οι επιπτώσεις στις τιμές της Ευρώπης είναι εμφανείς.
- Όλα τα fossil καύσιμα είναι φθηνότερα από τα βιοκαύσιμα και αυτά με τη σειρά τους από τα συνθετικά καύσιμα.
- Το μεγάλο εύρος τιμών των βιοκαυσίμων αλλά και των συνθετικών καυσίμων εξαρτάται από τη μέθοδο παραγωγής, τις ενεργειακές πηγές³ και πρώτες ύλες, ανά περιοχή.

Κατά συνέπεια, η συγκριτική εξέταση των τιμών των εναλλακτικών καυσίμων είναι ενδεικτική και δεν μπορεί να είναι ασφαλές κριτήριο επιλογής, δεδομένου ότι πρόκειται για καταγραφή των συνθηκών και της κατάστασης που ισχύουν ανά περιοχή, τη στιγμή της καταγραφής.

Αντίθετα, στη διαδικασία επιλογής μελλοντικού καυσίμου, θα πρέπει η επιλογή καυσίμου να προηγηθεί, να γίνει με βάση ποιοτικά κριτήρια και παραμέτρους και παράλληλα να χρηματοδοτηθεί η έρευνα για την ανάπτυξη της αποδοτικότερης μεθόδου παραγωγής. Η ανάπτυξη του κατάλληλου δικτύου παραγωγής και διανομής του καυσίμου που θα επιλεγεί, καθώς και της τεχνολογίας πρόωσης, θα είναι έτσι μια ουσιαστική δυναμική διαδικασία της αγοράς.

6. Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων

Επιλέγεται η αξιολόγηση επτά ποιοτικών παραμέτρων, με βάση στοιχεία και δεδομένα σχετικών δημοσιεύσεων:

- Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος (EIO)
- Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος (EIB)
- Περιβαλλοντική επιβάρυνση του όλου κύκλου ζωής των καυσίμων
- Ωρίμανση τεχνολογιών πρόωσης
- Ευφλεκτότητα καυσίμου
- Συνθήκες αποθήκευσης – διανομής (πίεση / θερμοκρασία)
- Τοξικότητα / Επικινδυνότητα διαχείρισης καυσίμου

Δημιουργούνται συντελεστές συγκριτικής αξιολόγησης για κάθε καύσιμο ανά παράμετρο.

Για τη δημιουργία των συντελεστών συγκριτικής αξιολόγησης, ως μέγεθος – τιμή σύγκρισης λαμβάνεται, ανά παράμετρο, η πιο επιβαρυντική τιμή αξιολόγησης μεταξύ των καυσίμων (μέγιστη ή ελάχιστη κατά περίπτωση) και τα αποτελέσματα της σύγκρισης (συντελεστές) εκφράζονται ως ποσοστά του δέκα (10). Η αξιολόγηση θα είναι περισσότερο επιβαρυντική όσο μεγαλύτερο είναι το αποτέλεσμα.

³ Προβαλλόμενα Κόστη Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας το 2020 σε σχέση με την πρωτογενή ενέργεια και τις τοπικές συνθήκες ανά περιοχή – i.e.a. [W-76].

$$C^j = 10 \times \frac{TIMH_{KAYΣIMOY}}{maxTIMH_{KAYΣIMΩN}} \quad \eta \quad C^j = 10 \times \frac{minTIMH_{KAYΣIMOY}}{TIMH_{KAYΣIMΩN}}$$

Η κάθε μια των παραμέτρων έχει την δική της βαρύνουσα σημασία στην απόφαση επιλογής εναλλακτικού καυσίμου από μέρους της ναυτιλίας. Με τη διαδικασία ερωτηματολογίου προς ναυτιλιακές εταιρίες, δημιουργούνται σταθμισμένοι συντελεστές βαρύτητας ανά παράμετρο.

Ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε παραμέτρου πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή συγκριτικής αξιολόγησης της παραμέτρου του κάθε καυσίμου και τα γινόμενα αθροίζονται ανά καύσιμο [βαθμολόγηση καυσίμου (Σ_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ})].

Οι κατά τα παραπάνω βαθμολογήσεις των καυσίμων (Σ_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}) συγκρίνονται μεταξύ τους και υπολογίζεται ο συντελεστής καυσίμου (Ε_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}). Ως μέγεθος σύγκρισης λαμβάνεται η μεγαλύτερη τιμή βαθμολόγησης μεταξύ των καυσίμων (maxΣ_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}) και τα αποτελέσματα της σύγκρισης εκφράζονται ως ποσοστά του δέκα (10), με την εφαρμογή για κάθε καύσιμο του τύπου συγκριτικής αξιολόγησης των βαθμολογιών.

Ειδικότερα:

a. Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος καυσίμων

Ο προσδιορισμός του ενεργειακά ισοδύναμου όγκου του συνόλου των εξεταζόμενων καυσίμων, με την συμπλήρωση του Πίνακα 2, έχει την έννοια της συγκριτικής αξιολόγησης του απαιτούμενου χώρου αποθήκευσης του κάθε καυσίμου, ίσου ενεργειακής ισχύος, σε σχέση με τον σήμερα απαιτούμενο όγκο αποθήκευσης του Low Sulfur Diesel. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί παρακάτω:

Οι ενεργειακά ισοδύναμοι όγκοι υπολογίζονται με βάση τα στοιχεία του Πίνακα "Fuel Properties Comparison", Alternative Fuels Data Center, U.S. Department of Energy [[W-10](#)], όσον αφορά στα καύσιμα των οποίων η ισοδυναμία δίνεται σε DGE. Ειδικότερα:

$$E.I.O. = \frac{1 \text{ gal Alternative fuel}}{\text{Diesel Gallon Equivalent from the table}}$$

Η ισοδυναμία των εναλλακτικών καυσίμων CNG, LNG και Υδρογόνου δίνεται στον ίδιο πίνακα σε βάρος. Κατά συνέπεια το βάρος του καθενός από αυτά ανάγεται προηγουμένως σε αναλογούντα όγκο αποθήκευσης σε gal και κατόπιν εφαρμόζεται ο παραπάνω τύπος. Ειδικότερα:

$$V_{Af} = \frac{W_{Af}}{\rho}$$

όπου:

V_{Af} = Όγκος εναλλακτικού καυσίμου

W_{Af} = Βάρος εναλλακτικού καυσίμου

ρ = Πυκνότητα εναλλακτικού καυσίμου Ειδικότερα:

$\rho_{LNG} = 423 \frac{Kg}{m^3}$ at $-161^\circ C$, - δημοσίευση: "The World Ports Sustainability Program-What is LNG", World Port Sustainability Program [W-44]

$$1 \text{ kg/m}^3 = 0,0083 \text{ lb/gal} \rightarrow 423 \text{ kg/m}^3 = 3,53 \text{ lb LNG/gal LNG}$$

Επομένως 1 lb LNG αποθηκεύεται σε $1/3,53 = 0,283$ gal LNG

Από το "Fuel Properties Comparison", έχουμε:

$$\mathbf{E.I.O. LNG : 1 \text{ lb LNG} = 0,17 \text{ DGE} \rightarrow 0,283 \text{ gal LNG}/0,17 \text{ DGE} = \mathbf{1,67}$$

$\rho_{CNG} = 180 \frac{Kg}{m^3}$ at 200 bar to $215 \frac{Kg}{m^3}$ at 250 bar, M.O. $197,5 \frac{Kg}{m^3}$ at 225 bar, δημοσίευση: "Compressed Natural Gas (CNG)", UNITRONE [W-45]

$$1 \text{ kg/m}^3 = 0,0083 \text{ lb/gal} \rightarrow 197,5 \text{ kg/m}^3 = 1,64821 \text{ lb CNG/gal CNG}$$

Επομένως 1 lb CNG αποθηκεύεται σε $1/1,64821 = 0,60672$ gal CNG

Από το "Fuel Properties Comparison", έχουμε:

$$\mathbf{E.I.O. CNG : 1 \text{ lb CNG} = 0,16 \text{ DGE} \rightarrow 0,60672 \text{ gal CNG}/0,16 \text{ DGE} = \mathbf{3,79}$$

$\rho_{H_2} = 70,79 \frac{Kg}{m^3}$ at $-252,87^\circ C$ and 1,013 bar, - δημοσίευση: "Hydrogen Data", Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH [W-46]

$$1 \text{ m}^3 = 264,172052 \text{ gal} \rightarrow$$

$$\rightarrow \rho_{H_2} = \frac{70,79 \frac{Kg}{m^3}}{264,172052 \frac{gal}{m^3}} = 0,268 \frac{Kg}{gal}$$

Επομένως, 1 Kg H₂ αποθηκεύεται σε $1/0,268 = 3,73$ gal H₂

Από τη δημοσίευση: "Fuel Properties Comparison", έχουμε:

$$\mathbf{E.I.O. LH_2 : 1Kg H_2 = 0,9 \text{ DGE} \rightarrow 3,73 \text{ gal H}_2/0,9 \text{ DGE} = \mathbf{4,14}$$

Στη δημοσίευση "Ammonia as Effective Hydrogen Storage: A Review on Production, Storage and Utilization" των Muhammad Aziz, Agung Tri Wijayanta and Asep Bayu Dani Nandiyanto, πίνακας 2 [W-47], δίνονται οι πυκνότητες του υγροποιημένου υδρογόνου και της υγροποιημένης αμμωνίας (70,8 & 600 Kg/m³ αντίστοιχα), καθώς και η ενεργειακή βαρυμετρική πυκνότητά τους (120 & 18,6 MJ/Kg). Επομένως:

$$\frac{L_{Amm} 600 \times 18,6}{L_{Hydr} 70,8 \times 120} = \frac{11.160 \text{ MJ/m}^3}{8.496 \text{ MJ/m}^3} = 1,31356$$

Κατά συνέπεια:

$$\mathbf{E.I.O. LNH_3 : E.I.O. H_2 / 1,31356 = 4,14/1,31356 = \mathbf{3,15}$$

Υπολογισμός E.I.O. μη ανακυκλούμενης σκόνης αλουμινίου.

Στη δημοσίευση "*Reactive Metals as Energy Storage and Carrier Media: Use of Aluminum for Power Generation in Fuel Cell-Based Power Plants*", Table 1, των Linda Barelli, Manuel Baumann, Gianni Bidini, Panfilo A. Ottaviano, Rebekka V. Schneider, Stefano Passerini, * and Lorenzo Trombetti [W-33], δίδεται η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα του Αλουμινίου (23,5 kWh/L) σε σύγκριση με άλλων καυσίμων μεταξύ των οποίων και το Diesel (10,0 kWh/L).

Κατά συνέπεια:

E.I.O. Al = 0,43 E.I.O. Low Sulfur Diesel ($0,43 \approx 0,4255 = 10/23,5$)

Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος ανακυκλούμενης σκόνης αλουμινίου

Όγκος 1 mole Αργιλίου (Aluminum) = 10 cm^3 – Πηγή, AVCalc LLC [W-48]

Όγκος 1 mole Οξειδίου του Αργιλίου (Alumina) = $25,72 \text{ cm}^3$ - Πηγή, AVCalc LLC [W-49]

Όπως είναι γνωστό το οξείδιο του Αργιλίου περιέχει 2 mole Αργιλίου (Al_2O_3). Επομένως η αναλογία όγκου του οξειδίου του Αργιλίου προς τον όγκο της σκόνης Αργιλίου είναι: $25,72/(2 \times 10) = 1,286$

Το άθροισμα του όγκου αποθήκευσης της σκόνης του Αλουμινίου σαν καύσιμο (1) και του όγκου συλλογής του προς ανακύκλωση οξειδίου (1,286) μας δίνει τον συνολικό απαιτούμενο όγκο διαχείρισης της ανακυκλούμενης σκόνης αλουμινίου (2,286).

Επομένως:

E.I.O. Al_{Ανακυκ} = 0,97 ($0,4255 \times 2,286 = 0,9728$).

b. Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος καυσίμων

Ο προσδιορισμός του ενεργειακά ισοδύναμου βάρους έχει την έννοια της συγκριτικής αξιολόγησης του απαιτούμενου βάρους αποθήκευσης του κάθε καυσίμου, ίσης ενεργειακής ισχύος, σε σχέση με τον σήμερα απαιτούμενο βάρος αποθήκευσης του Low Sulfur Diesel.

$$W_{Af} = V_{Af} \times \rho_r$$

όπου:

$$W_{Af} = E.I.B.$$

$$V_{Af} = E.I.O.$$

$$\rho_r = \text{Relative density (specific gravity)}$$

Πολλαπλασιάζοντας επομένως τους ενεργειακά ισοδύναμους όγκους με τα ειδικά βάρη των καυσίμων, υπολογίζουμε τα ενεργειακά ισοδύναμα βάρη.

Ειδικό βάρος ανακυκλούμενης σκόνης αλουμινίου

Βάρος 1 mole Αργιλίου (Aluminum) = 26,982 grams - Πηγή, *AVCalc LLC* [W-48] →

Πυκνότητα Aluminum = Βάρος mole / όγκο mole = 2,698 (26,982/10) gr/cm³

Βάρος 1 mole Οξειδίου του Αργιλίου (Alumina) = 101,961 grams - Πηγή, *AVCalc LLC* [W-49] → Πυκνότητα Alumina = Βάρος mole / όγκο mole = 3,964 (101,961/25,72) gr/cm³

Επομένως, η μέση σταθμική πυκνότητα διαχείρισης της ανακυκλούμενης σκόνης Αργιλίου είναι:

$$M. \Sigma. E. \Pi. = \frac{(1 \times 2,698 + 1,286 \times 3,964)}{(1 + 1,286)} = 3,41 \text{ gr/cm}^3$$

Από τις αναφερόμενες πυκνότητες των εναλλακτικών καυσίμων υπολογίζουμε τα ειδικά βάρη τους (αδιάστατο μέγεθος), τα οποία απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12: Ειδικά βάρη καυσίμων

	<i>Ειδικό Βάρος</i>	<i>Πηγή πληροφορίας</i>
<i>Low Sulfur Diesel*</i>	<i>0,8403</i>	<i>[W] Πίνακας 3</i>
<i>Biodiesel B100*</i>	<i>0,8976</i>	<i>[W] Πίνακας 3</i>
<i>Propane (LPG)**</i>	<i>0,493</i>	<i>[W] Πίνακας 5</i>
<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>0,1975</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>0,423</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Ethanol/E100**</i>	<i>0,789</i>	<i>[W] Πίνακας 4</i>
<i>Methanol (green)**</i>	<i>0,794</i>	<i>[W] Πίνακας 4</i>
<i>Methanol (fossil)**</i>	<i>0,794</i>	<i>[W] Πίνακας 4</i>
<i>Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>0,6</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Liquefied Ammonia (fossil)</i>	<i>0,6</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Aluminum Powder</i>	<i>2,7</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Aluminum Powder (recycled)</i>	<i>3,41</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>0,07079</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>
<i>Liquid Hydrogen (fossil)</i>	<i>0,07079</i>	<i>Δείτε ανωτέρω</i>

* *The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel, Mustafa E. Tat and Jon H. Van Gerpen, Iowa State University, Ames, Iowa 50011* [W-50]

** *Decarbonization of Marine Fuels—The Future of Shipping, by Jerzy Herdzyk, Marine Propulsion Plants Department, Gdynia Maritime University, Morska 81-87, 81-225 Gdynia, Poland* [W-51].

Από τα παραπάνω 1.1 & 1.2 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας ενεργειακών ισοδυνάμων όγκων (E.I.O.), ενεργειακά ισοδυνάμων βαρών (E.I.B.) και συντελεστών ενεργειακά ισοδύναμου όγκου (C_V) και ενεργειακά ισοδύναμου βάρους (C_W).

$$C_V = 10 \times \frac{EIO_{\text{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}}}{\max EIO_{\text{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}}} \quad \& \quad C_W = 10 \times \frac{EIB_{\text{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}}}{\max EIB_{\text{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}}}$$

Υπογραμμίζεται ότι οι E.I.O. του κάθε εναλλακτικού καυσίμου υπολογίζεται σε σύγκριση με τον όγκο που καταλαμβάνει το Low Sulfur Diesel, ενώ τα E.I.B. προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των E.I.O επί τα ειδικά βάρη των καυσίμων.

Πίνακας 13: Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος και βάρος.

	<i>E.I.O.</i>	<i>E.I.B</i>	<i>(C_v) Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος</i>	<i>(C_w) Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος</i>
<i>(1) Low Sulfur Diesel</i>	<i>1,00</i>	<i>0,84</i>	<i>2,42</i>	<i>2,53</i>
<i>(2) Biodiesel B100</i>	<i>1,08</i>	<i>0,97</i>	<i>2,60</i>	<i>2,91</i>
<i>(3) Propane (LPG)</i>	<i>1,52</i>	<i>0,75</i>	<i>3,66</i>	<i>2,25</i>
<i>(4) Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>3,79</i>	<i>0,75</i>	<i>9,15</i>	<i>2,26</i>
<i>(5) Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>1,67</i>	<i>0,71</i>	<i>4,03</i>	<i>2,13</i>
<i>(6) Ethanol/E100</i>	<i>1,69</i>	<i>1,34</i>	<i>4,09</i>	<i>4,03</i>
<i>(7) Methanol (green⁴)</i>	<i>2,22</i>	<i>1,76</i>	<i>5,37</i>	<i>5,32</i>
<i>(8) Methanol (fossil)</i>	<i>2,22</i>	<i>1,76</i>	<i>5,37</i>	<i>5,32</i>
<i>(9) Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>3,15</i>	<i>1,89</i>	<i>7,61</i>	<i>5,70</i>
<i>(10) Liquefied Ammonia (fossil)</i>	<i>3,15</i>	<i>1,89</i>	<i>7,61</i>	<i>5,70</i>
<i>(11) Aluminum Powder</i>	<i>0,43</i>	<i>1,15</i>	<i>1,03</i>	<i>3,46</i>
<i>(12) Aluminum Powder (recycled)</i>	<i>0,97</i>	<i>3,32</i>	<i>2,35</i>	<i>10,00</i>
<i>(13) Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>4,14</i>	<i>0,29</i>	<i>10,00</i>	<i>0,88</i>
<i>(14) Liquid Hydrogen (fossil)</i>	<i>4,14</i>	<i>0,29</i>	<i>10,00</i>	<i>0,88</i>

⁴ Πράσινα καύσιμα (green) είναι τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα, παραγόμενα μέσω της χρήσης ανακυκλωμένου ή βιογενούς CO₂ και εξαιτίας των χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά τη φάση της παραγωγής τους (CCUS & H₂).

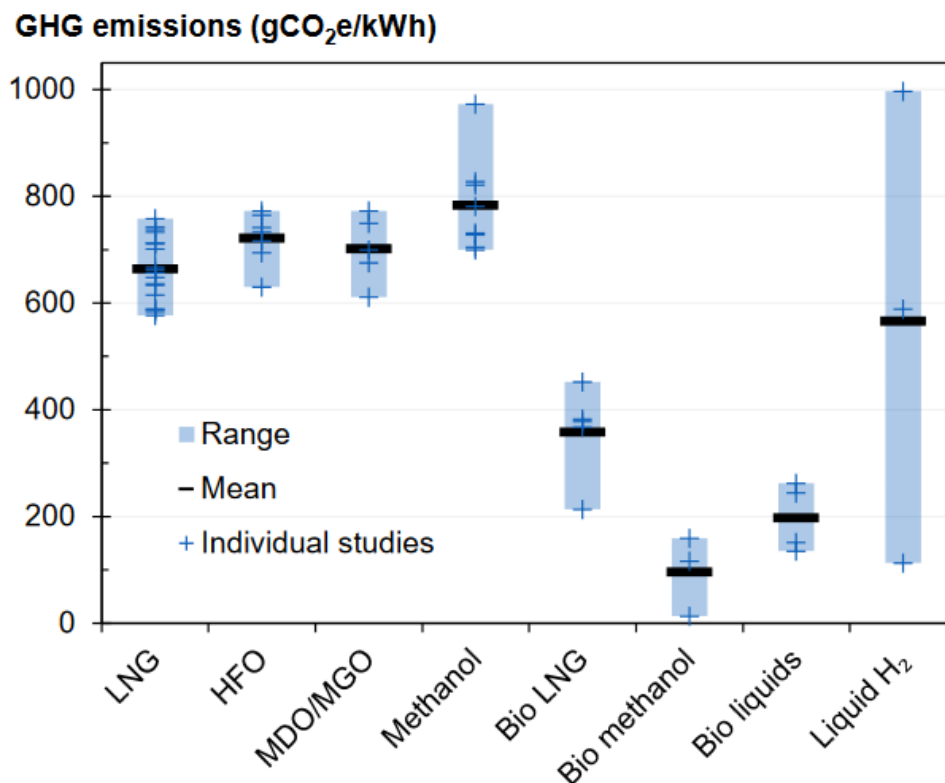
c. Περιβαλλοντική επιβάρυνση του όλου κύκλου ζωής των εναλλακτικών καυσίμων

Στην δημοσίευση "Πώς να απανθρακοποιήσετε τη διεθνή ναυτιλία: επιλογές για καύσιμα, τεχνολογίες και πολιτικές", Σελ. 14, Σχήμα 7 & Σελ. 15 Σχήμα 8, των Paul Balcombe, James Brierley, Chester Lewis, Line Skatvedt, Jamie Speirs, Adam Hawkes, Iain Staffell [W-9], δίνονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kWh του όλου κύκλου ζωής, για ένα αριθμό εναλλακτικών καυσίμων.

Ειδικότερα δίνονται οι τιμές των:

- HFO,
- Biodiesel,
- LNG,
- Ethanol,
- Methanol,
- LH₂-green &
- LH₂-fossil

Το εύρος τιμών ανά καύσιμο εξαρτάται κυρίως από την πρώτη ύλη, την μέθοδο και την πρωτογενή ενέργεια παραγωγής του. Δεχόμαστε τις μέσες τιμές των υπολοίπων καυσίμων και τις ακραίες τιμές του LH₂ σαν Green (η ελάχιστη) και Fossil (η μέγιστη). Επίσης έχοντας υπόψη ότι οι εκπομπές ανά kWh του LSFO είναι της τάξεως του 4-6% υψηλότερες του HFO [W-78, table 4 & 5], υπολογίζουμε τις εκπομπές του LSFO.



Σχήμα 5: Πηγή, "Πώς να απανθρακοποιήσετε τη διεθνή ναυτιλία: επιλογές για καύσιμα, τεχνολογίες και πολιτικές", Σελ. 14 Εικόνα 7, των Paul Balcombe, James Brierley, Chester Lewis, Line Skatvedt, Jamie Speirs, Adam Hawkes, Iain Staffell [W-9]

Για το LPG και το CNG αντλούμε στοιχεία από τη δημοσίευση “*Εκπομπές και Απόδοση Υγροποιημένου Αερίου Πετρελαίου ως Καυσίμου Μεταφοράς: Ανασκόπηση*”, Πίνακας 3 σελ. 28, του Ross Ryskamp, Ph.D., Research Assistant Professor West Virginia University, Center for Alternative Fuels, Engines, and Emissions [W-52].

Δεδομένου ότι η μεθοδολογία των δύο μελετών διαφέρει, τα στοιχεία που λαμβάνονται από τη δεύτερη εργασία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας σχέσης των LPG και CNG ως προς το αντίστοιχα κοινό καύσιμο και στις δύο μελέτες, δηλαδή το LNG. Ειδικότερα:

$$LPG_{em/kwh} = LNG_{em/kwh} \times \frac{LPG_{g\ em/MJ}}{LNG_{g\ em/MJ}} = 670 \times \frac{73,6}{74,5} = 661,9\ gr\ em/KWh$$

$$CNG_{em/kwh} = LNG_{em/kwh} \times \frac{CNG_{g\ em/MJ}}{LNG_{g\ em/MJ}} = 670 \times \frac{69,3}{74,5} = 623,2\ gr\ em/KWh$$

Για τον υπολογισμό των εκπομπών της Αμμωνίας, αντλούμε στοιχεία από την δημοσίευση “*Αξιολόγηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κύκλου ζωής για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων πλοίων: Μελέτη περίπτωσης πολύ μεγάλου μεταφορέα αργού (VLCC)*”, σελ. 12, Εικόνα 7, των Jinjin Huang, Hongjun Fan, Xiangyang Xu and Zheyu Liu. [W-53].

Ειδικότερα:

- Επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε τα στοιχεία για την ταχύτητα των 13,5 knots
- Συγκρίνουμε τις τιμές των δύο μορφών αμμωνίας (green & fossil) με την τιμή του LNG.
- Συσχετίζουμε τις αναλογίες που προκύπτουν με την τιμή LNG της πρώτης εξεταζόμενης δημοσίευσης.

Επομένως:

$$Amm_{green(kwh)} = LNG_{em/kwh} \times \frac{Amm_{green}}{LNG_{13,5knots}} = 670 \times \frac{52.343\ t_e/y}{54.898\ t_e/y} = 638,8\ gr\ em/KWh$$

$$Am_{fos(kwh)} = LNG_{em/kwh} \times \frac{Amm_{fossil}}{LNG_{13,5\ knots}} = 670 \times \frac{179.030\ t_e/y}{54.898\ t_e/y} = 2.185,0\ ge\ em/KWh$$

Το αποτύπωμα άνθρακα του πρωτογενούς αλουμινίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται: κυμαίνεται μεταξύ 4 tCO₂ e/t αλουμινίου με ηλεκτρική ενέργεια υδροηλεκτρικής ενέργειας έως περισσότερο και 20 tCO₂ e/t αλουμινίου όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια με βάση τον άνθρακα.

Η ανακύκλωση αλουμινίου εκπέμπει 0,5 tCO₂ e/t αλουμινίου, κατά μέσο όρο. Η διαδικασία απαιτεί λιγότερη ενέργεια από την παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου (μόνο το 5% της ενέργειας που χρησιμοποιείται αντίστοιχα). {Δημοσίευση “*EUROPEAN ALUMINIUM | A strategy for achieving aluminium’s full potential for circular economy by 2030*” [W-26]}.

Κατά συνέπεια:

$$Al_{GHG} = \frac{20 \frac{Kg e}{Kg Al} \times 2,698 \frac{Kg Al}{L Al}}{23,5 \frac{kwh}{L Al}} \times 1000 \frac{gr}{Kg} = 2.296,17 \text{ gr em/KWh}$$

και

$$R - Al_{GHG} = \frac{0,5 \frac{Kg e}{Kg Al} \times 2,698 \frac{Kg Al}{L Al}}{23,5 \frac{kwh}{L Al}} \times 1000 \frac{gr}{Kg} = 57,40 \text{ gr em/KWh}$$

όπου:

Πυκνότητα αλουμινίου 2,698 Kg/L (δείτε παραπάνω, Ειδικό βάρος ανακυκλούμενης σκόνης αλουμινίου)

Ενεργειακή πυκνότητα αλουμινίου 23,5 kwh/L (δείτε παραπάνω, Υπολογισμός E.I.O. μη ανακυκλούμενης σκόνης αλουμινίου)

Από τα παραπάνω διαμορφώνεται ο συντελεστής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

$$C_{Env} = 10 \times \frac{GHG eq}{\max GHG eq}$$

Πίνακας 14: Εκπομπές του όλου κύκλου ζωής εναλλακτικών καυσίμων –

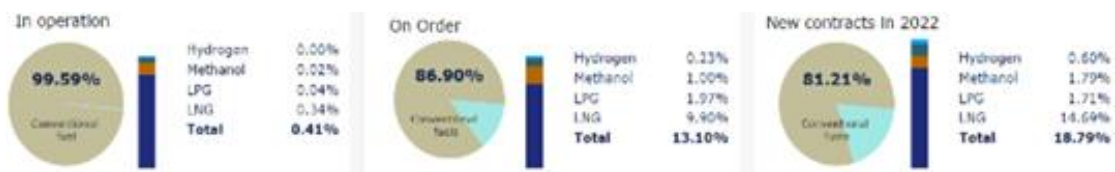
Περιβαλλοντική επιβάρυνση.

	Εκπομπές του όλου κύκλου (g CO2 e/KWh)	(C _{Env}) Περιβαλλοντική επιβάρυνση
Low Sulfur Diesel	750,0	3,27
Biodiesel B100	200,0	0,87
Propane (LPG)	661,9	2,88
Compressed Natural Gas (CNG)	623,2	2,71
Liquefied Natural Gas (LNG)	670,0	2,92
Ethanol/E100	200,0	0,87
Methanol (green)	100,0	0,44
Methanol (fossil)	800,0	3,48
Liquefied Ammonia (green)	638,8	2,78
Liquefied Ammonia (fossil)	2.185,0	9,52
Aluminum Powder	2.296,2	10,00
Aluminum Powder (recycled)	57,4	0,25
Liquid Hydrogen (green)	110,0	0,48
Liquid Hydrogen (fossil)	1.000,0	4,36

d. Ωρίμανση τεχνολογιών πρόωσης

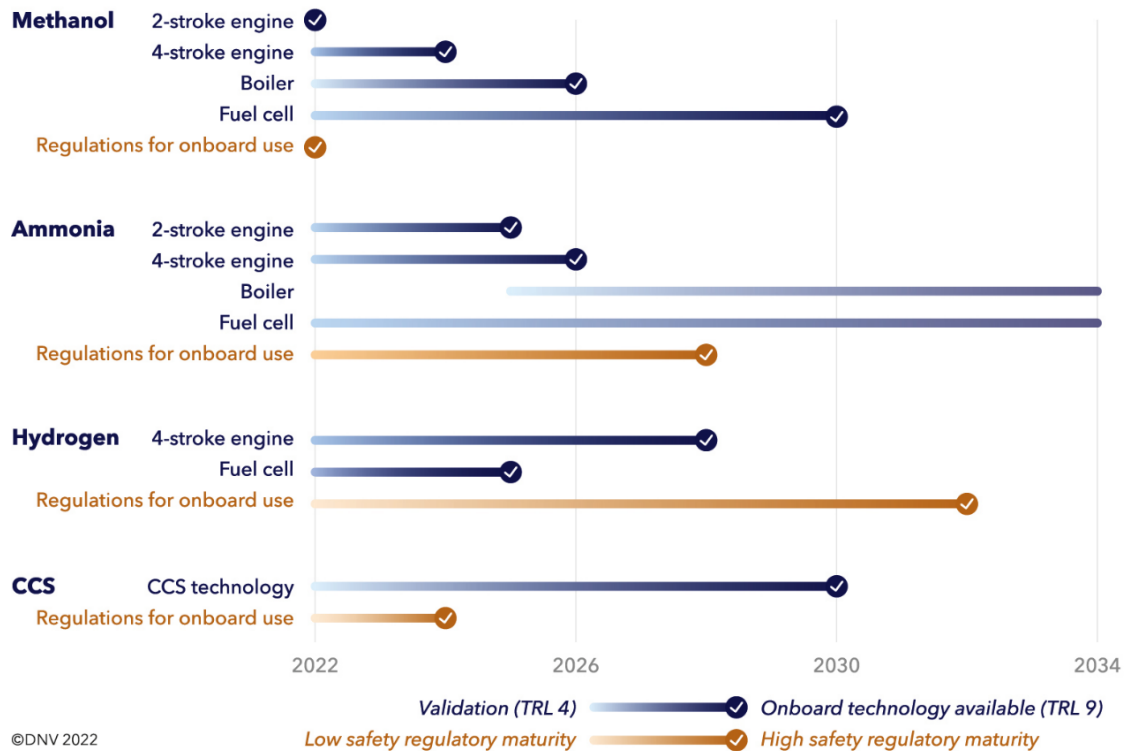
Στη δημοσίευση “*Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping*”, Table 2, των Joanne Ellis (SSPA Sweden AB) & Kim Tanneberger (LR EMEA), European Maritime Safety Agency (EMSA) [W-54], καθώς και στο δημοσίευμα “*CSL concludes B100 biofuel tests with results showing 23% CO₂ reduction*”, 10/12/2021, Ship Technology [W-79], δίδονται στοιχεία και πληροφορίες για τις εξελίξεις των τεχνολογιών πρόωσης των εναλλακτικών καυσίμων. Επίσης στη δημοσίευση “*Alternative Fuels Insight*”, του Kristian Hammer, του DNV [W-55], δίδονται ανάλογα στοιχεία και γραφήματα για την ένταξη εναλλακτικών καυσίμων στη διαδικασία ανανέωσης του διεθνούς στόλου. Ειδικότερα:

Ποσοστό του διεθνούς στόλου που χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα



Σχήμα 25: Πηγή: *Alternative Fuels Insight*”, του Kristian Hammer, του DNV [W-55]

Επίσης, στην δημοσίευση “*Maritime Forecast to 2050, Energy sources and production capacity*” του DNV [W-19], δημοσιεύεται το παρακάτω σχήμα και δίδεται η πληροφορία ότι «Οι βασικές ενσωματωμένες τεχνολογίες για τη χρήση υδρογόνου και αμμωνίας θα είναι διαθέσιμες σε 3-8 χρόνια, ενώ άλλες τεχνολογίες για τη Μεθανόλη είναι ήδη διαθέσιμες».



Σχήμα 9: Εκτιμώμενα χρονοδιαγράμματα ωρίμανσης για μετατροπείς ενέργειας, DNV [W-19]

Η τεχνολογία πρόωσης αεριοστροβίλου είναι γνωστή και ήδη χρησιμοποιείται για πολεμικά καθώς και μη πολεμικά πλοία. Το Αλουμίνιο ως καύσιμο χρησιμοποιείται ήδη στους προωθητικούς πυραύλους – Πηγή: NASA, *Rocketology: NASA's Space Launch System, Aluminum, By Beverly Perry* [W-36]. Υπάρχει ζήτημα προσαρμογής της τεχνολογίας για εφαρμογή στην εμπορική ναυτιλία.

Δεχόμενοι, σύμφωνα με τα παραπάνω, τον εκτιμώμενο χρόνο ωρίμανσης της κάθε τεχνολογίας πρόωσης σαν βαθμολογία αξιολόγησης, δημιουργούμε το παρακάτω πίνακα συγκριτικής αξιολόγησης.

Πίνακας 15: Συγκριτική αξιολόγηση ωρίμανσης τεχνολογίας πρόωσης

	<i>Αναμενόμενος χρόνος ωρίμανσης τεχνολογίας</i>	<i>(C_p) Τεχνολογία πρόωσης</i>
<i>Low Sulfur Diesel</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Biodiesel B100</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Propane (LPG)</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Ethanol/E100</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Methanol (green)</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Methanol (fossil)</i>	<i>1</i>	<i>1,00</i>
<i>Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>3</i>	<i>3,00</i>
<i>Liquefied Ammonia (fossil)</i>	<i>3</i>	<i>3,00</i>
<i>Aluminum Powder</i>	<i>10</i>	<i>10,00</i>
<i>Aluminum Powder (recycled)</i>	<i>10</i>	<i>10,00</i>
<i>Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>6</i>	<i>6,00</i>
<i>Liquid Hydrogen (fossil)</i>	<i>6</i>	<i>6,00</i>

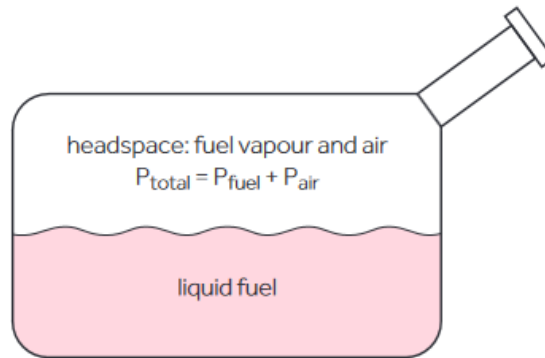
e. Ευφλεκτότητα εναλλακτικών καυσίμων

Εύφλεκτη / Εκρηκτική ατμόσφαιρα είναι το μείγμα αέρα με εύφλεκτες ουσίες υπό τη μορφή αερίων, ατμών υγρών, συγκεντρώσεων σταγονιδίων ή σκόνης, σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, στο οποίο μετά από ανάφλεξη το φαινόμενο της καύσης μεταφέρεται ακαριαία στο σύνολο του μείγματος με αποτέλεσμα την έκρηξή του.

Οι κυριότερες πηγές ανάφλεξης μπορεί να είναι η γυμνή φλόγα, θερμές εργασίες, θερμότητα, τριβή, σπινθήρες από στατικό ηλεκτρισμό - Πηγή, *ΑΡΧΗΓΕΙΟ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ, Α΄ ΚΛΑΔΟΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΥΛΙΚΑ*, σελ. 56 [W-56].

Σε μια δεξαμενή υγρού καυσίμου ο λεγόμενος «χώρος κορυφής» πάνω από τη στάθμη του υγρού περιέχει μια ποσότητα αέρα και ατμού καυσίμου όπως φαίνεται στο σχήμα.

Η συγκέντρωση των ατμών των υγρών καυσίμων στον ανώτερο χώρο σε κατάσταση ισορροπίας εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία για οποιοδήποτε υγρό καύσιμο. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η τάση ατμών του καυσίμου αυξάνεται, αυξάνοντας έτσι την συγκέντρωση ατμών καυσίμου στον άνω χώρο.



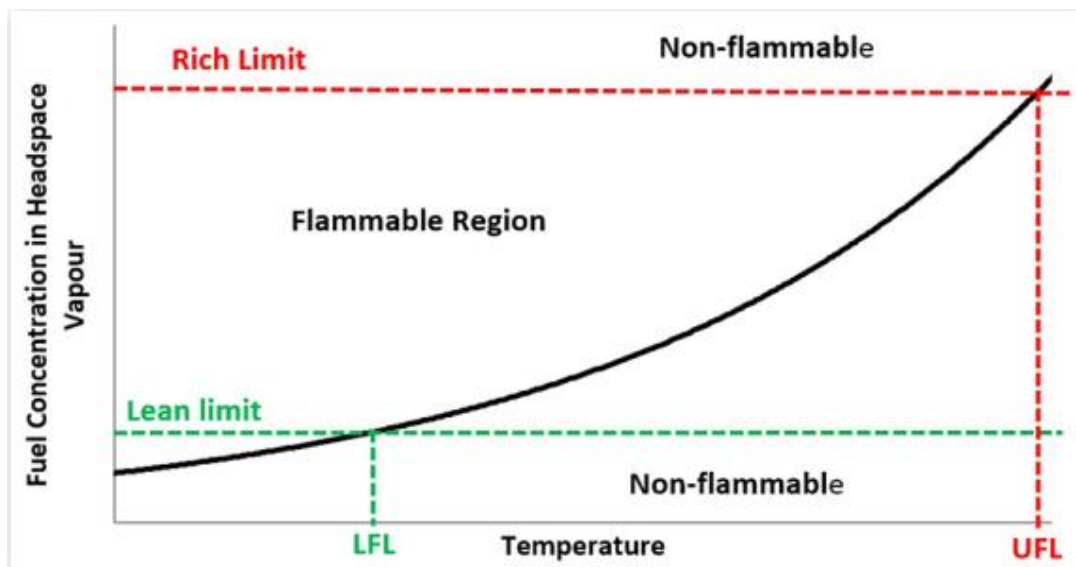
Σχήμα 26: Σχηματική Αναπαράσταση Δεξαμενής Καυσίμου Οχημάτων [W-57]

Το ίδιο βέβαια μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε κλειστό ή όχι καλά αεριζόμενο χώρο στην περίπτωση διαφυγής εύφλεκτων μειγμάτων. Ειδικότερα, στην περίπτωση των υπό πίεση αποθηκευμένων αέριων καυσίμων η συγκέντρωση εξαρτάται και από την ένταση της διαρροής.

Το κάθε μείγμα εύφλεκτης ουσίας με αέρα, έχει ένα εύρος ανάφλεξης, μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου ορίου ευφλεκτότητας, το οποίο διευρύνεται ελαφρώς καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Ωστόσο, στο εύρος των θερμοκρασιών περιβάλλοντος που ενδιαφέρουν τις δεξαμενές καυσίμων, τα δύο όρια είναι ουσιαστικά σταθερά για οποιαδήποτε συγκεκριμένη σύνθεση ατμών καυσίμου. Οι τιμές LFL (lower flammability limit) και UFL (upper flammability limit) που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι συνήθως αυτές που μετρούνται σε θερμοκρασία δωματίου και αφορούν το κατ' όγκο ποσοστό ανάμειξης της εύφλεκτης ουσίας με τον αέρα.

Όταν η συγκέντρωση των ατμών φθάσει στο όριο LFL, το μείγμα στον κενό άνω χώρο γίνεται εύφλεκτο, ενώ όταν φθάσει στο όριο UFL, δεν αναφλέγεται πλέον – Πηγή: "Explicit Equations to Estimate the Flammability of Blends of Diesel Fuel, Gasoline and Ethanol", Bardon, M., Pucher, G., Cracknell, R., Pellegrini, L. et al. [W-57]

Κατώτερα και ανώτερα όρια ευφλεκτότητας



Σχήμα 27: "Explicit Equations to Estimate the Flammability of Blends of Diesel Fuel, Gasoline and Ethanol", Bardon, M., Pucher, G., Cracknell, R., Pellegrini, L. et al. [W-57]

Η θερμοκρασία στην οποία συμβαίνει η ευφλεκτότητα σε κατάσταση ισορροπίας είναι η θερμοκρασία LFL. Αυτή είναι παρόμοια με τη θερμοκρασία του σημείου ανάφλεξης (flash point). Πάνω από τη θερμοκρασία LFL, ο «χώρος κορυφής» περιέχει ένα εύφλεκτο μείγμα.

Ωστόσο, εάν η θερμοκρασία της δεξαμενής συνεχίσει να αυξάνεται, η συγκέντρωση φτάνει τελικά τη θερμοκρασία UFL και το μείγμα στον άνω χώρο γίνεται πολύ πλούσιο για να καεί.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση της καθαρής αιθανόλης, η θερμοκρασία LFL εμφανίζεται περίπου στους -18°C και η θερμοκρασία UFL επιτυγχάνεται περίπου στους $+43^{\circ}\text{C}$. Ο «χώρος κορυφής» σε μια δεξαμενή καυσίμου αιθανόλης θα ήταν επομένως εύφλεκτος σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από περίπου -18° έως $+43^{\circ}\text{C}$ – Πηγή: "Explicit Equations to Estimate the Flammability of Blends of Diesel Fuel, Gasoline and Ethanol", Bardon, M., Pucher, G., Cracknell, R., Pellegrini, L. et al. [W-57].

Κατά συνέπεια, τα κρίσιμα μεγέθη ανάφλεξης είναι:

- Το LFL κάθε καυσίμου. Όσο μικρότερο, τόσο μεγαλύτερες οι πιθανότητες ανάφλεξης.
- Το εύρος της εύφλεκτης περιοχής ($\Delta = \text{UFL} - \text{LFL}$). Όσο μεγαλύτερο, τόσο μεγαλύτερες οι πιθανότητες ανάφλεξης.
- Το σημείο (θερμοκρασία) ανάφλεξης του καυσίμου. Όσο μικρότερη, τόσο αυξάνουν οι πιθανότητες ανάφλεξης.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ευφλεκτότητας (C_{FI}) του καθενός των εξεταζόμενων εναλλακτικών καυσίμων και του Low Sulfur Diesel, ως μέσου όρου των τριών μεγεθών, εφαρμόζουμε τον τύπο:

$$C_{FI} = \frac{\left[10 \times \frac{\min LFL}{LFL_{\text{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}}} + 10 \times \frac{\Delta_{\text{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}}}{\max \Delta} + 10 \times \frac{F_T}{\max F_T} \right]}{3}$$

όπου:

LFL = το κατώτερο όριο ευφλεκτότητας του κάθε καυσίμου

$\min LFL$ = το αριθμητικά μικρότερο των κατώτερων ορίων ευφλεκτότητας των εξεταζόμενων καυσίμων

Δ = το εύρος ευφλεκτότητας ($\text{UFL} - \text{LFL}$)

$\max \Delta$ = το αριθμητικά μεγαλύτερο εύρος ευφλεκτότητας των εξεταζόμενων καυσίμων

F_T = Το σημείο του καυσίμου στην κλίμακα θερμοκρασιών

$\max F_T$ = Η μεγαλύτερη τιμή στην κλίμακα θερμοκρασιών

Η κλίμακα θερμοκρασιών δημιουργείται:

- Για τις αρνητικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, με την πρόσθεση στην απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας αποθήκευσης καυσίμου, της μέγιστης των θερμοκρασιών
- Για τις θετικές θερμοκρασίες, με την αφαίρεση από τη μέγιστη των θερμοκρασιών της θερμοκρασίας αποθήκευσης.



Με την εφαρμογή του τύπου στα υπό εξέταση καύσιμα δημιουργείται ο παρακάτω πίνακας με δεδομένα από τις δημοσιεύσεις:

- “*Flammability limits: A review with emphasis on ethanol for aeronautical applications and description of the experimental procedure*” Christian J.R. Coronado, João A. Carvalho Jr., José C. Andrade, Ely V. Cortez, Felipe S. Carvalho, José C. Santos, Andrés Z. Mendiburu [[W-58](#)] και
- *Colonial Pipeline Company, SAFETY DATA SHEET Biodiesel (all grades)* [[W-59](#)].
- Και τον Πίνακα 3 (σελίδα 15).

Πίνακας 16: Όρια, εύρος, σημείο ανάφλεξης και συντελεστής ευφλεκτότητας.

	LFL	UFL	Εύρος ευφλεκτότητας	(Μ.Ο.) Σημείου ανάφλεξης °C	Κλίμακα Μ.Ο. θερμοκρασιών	Ευφλεκτότητα (C _{FI})
Low Sulfur Diesel	0,5	5,0	4,5	73,89	61,11	4,07
Biodiesel B100	0,5	4,4	3,9	135,00	0,00	3,52
Propane (LPG)	2,1	9,5	7,4	-87,22	222,22	3,05
Compressed Natural Gas (CNG)	5,0	15,0	10,0	-184,44	319,44	3,55
Liquefied Natural Gas (LNG)	5,0	15,0	10,0	-187,78	322,78	3,58
Ethanol/E100	3,3	19,0	15,7	12,28	122,72	2,30
Methanol (green)	6,0	36,0	30,0	11,11	123,89	2,75
Methanol (fossil)	6,0	36,0	30,0	11,11	123,89	2,75
Liquefied Ammonia (green)	15,0	28,0	13,0	132,00	3,00	0,75
Liquefied Ammonia (fossil)	15,0	28,0	13,0	132,00	3,00	0,75
Aluminum Powder	n.a.	n.a.	0,0	400,00	0,00	0,00
Aluminum Powder (recycled) *	n.a.	n.a.	0,0	400,00	0,00	0,00
Liquid Hydrogen (green)	4,0	75,0	71,0	-253,00	388,00	7,08
Liquid Hydrogen (fossil)	4,0	75,0	71,0	-253,00	388,00	7,08

*Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία δεδομένου ότι πρόκειται για μεταλλική σκόνη που δύσκολα δημιουργεί εύφλεκτο περιβάλλον και αναφλέγεται σε υψηλές θερμοκρασίες.

f. Συνθήκες αποθήκευσης καυσίμων

Από τη δημοσίευση “*Συγκριτική Ανασκόπηση Εναλλακτικών Καυσίμων για τον Ναυτιλιακό Τομέα: Οικονομικές, Τεχνολογικές και Πολιτικές Προκλήσεις για την Εφαρμογή Καθαρής Ενέργειας*”, Πίνακας 1, των Yifan Wang και Laurence A. Wright [[W-60](#)], λαμβάνουμε τις απαιτήσεις αποθήκευσης σε πλεύση των Biodiesel, LNG, LH₂, LAmmonia και Μεθανόλης. Οι απαιτήσεις αποθήκευσης της Αιθανόλης είναι οι ίδιες με αυτές της Μεθανόλης.

Από τη δημοσίευση “*Liquefied petroleum gas (LPG)*”, U.S. National Fire Chiefs Council [[W-61](#)], λαμβάνουμε τις απαιτήσεις αποθήκευσης του LPG.

Από τη “Μελέτη των επιπτώσεων των τύπων αποθήκευσης στην απόδοση των πρατηρίων ανεφοδιασμού CNG”, Buffer storage system, των Mahmood Farzaneh-Gord, Mahdi Deymi-Dashtebayaz και Hamid Reza Rahbari [W-62], λαμβάνουμε τις απαιτήσεις αποθήκευσης του CNG.

Είναι γνωστό ότι το Low Sulfur Diesel και η σκόνη Αλουμινίου αποθηκεύονται σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Θεωρώντας εξίσου σημαντικές τις πιέσεις και θερμοκρασίες αποθήκευσης εφαρμόζουμε τον παρακάτω τύπο για τον υπολογισμό του συντελεστή αποθήκευσης (C_S):

$$C_S = \frac{10 \times \frac{F_T}{\max F_T} + 10 \times \frac{F_P}{\max F_P}}{2}$$

όπου:

F_T = Το σημείο του καυσίμου στην κλίμακα θερμοκρασιών

$\max F_T$ = Η μεγαλύτερη τιμή στην κλίμακα θερμοκρασιών

F_P = Η πίεση αποθήκευσης του καυσίμου

$\max F_P$ = Η μεγαλύτερη πίεση αποθήκευσης των εξεταζόμενων καυσίμων

Η κλίμακα θερμοκρασιών δημιουργείται:

- Για τις αρνητικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, με την πρόσθεση στην απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας αποθήκευσης καυσίμου, της μέγιστης των θερμοκρασιών
- Για τις θετικές θερμοκρασίες, με την αφαίρεση από τη μέγιστη των θερμοκρασιών της θερμοκρασίας αποθήκευσης.



Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δημιουργείται ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 17: Συγκριτικής αξιολόγησης συνθηκών αποθήκευσης

	°C	Κλίμακα θερμοκρασιών	Bar	(Cs) Συνθήκες αποθήκευσης
<i>Low Sulfur Diesel</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Biodiesel B100</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Propane (LPG)</i>	20,0	6,9	7,0	0,29
<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	26,9	0,0	205,0	5,00
<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	-163,0	189,9	1,0	3,42
<i>Ethanol/E100</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Methanol (green)</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Methanol (fossil)</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Liquefied Ammonia (green)</i>	21,0	5,9	8,8	0,32
<i>Liquefied Ammonia (fossil)</i>	21,0	5,9	8,8	0,32
<i>Aluminum Powder</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Aluminum Powder (recycled)</i>	20,0	6,9	1,0	0,15
<i>Liquid Hydrogen (green)</i>	-252,8	279,7	1,0	5,02
<i>Liquid Hydrogen (fossil)</i>	-252,8	279,7	1,0	5,02

g. Τοξικότητα – επικινδυνότητα διαχείρισης

Η δυνητική ανθρώπινη τοξικότητα (human toxicity potential - HTP), είναι ένας δείκτης που αντανακλά την πιθανή βλάβη στον άνθρωπο, μιας χημικής ουσίας που απελευθερώνεται στο περιβάλλον και βασίζεται τόσο στην εγγενή τοξικότητα μιας ένωσης όσο και στην πιθανή δόση της (*National Library of Medicine, U.S. Department of Health – [W-63]*).

Στη σελίδα πόρων της λίστας προτεραιότητας ουσίας (SPL), του *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) [W-65]*, αναρτάται μεταξύ άλλων και ένα Microsoft Excel πλήρες υπολογιστικό φύλλο "*SPL 2019'*" [ZIP – 4,3 MB] [W-66] με λεπτομερείς αναφορές για κάθε στοιχείο που περιλαμβάνει, καθώς και πρόσθετες υποστηρικτικές πληροφορίες και ένα PDF με σημειώσεις εξωφύλλου για τη χρήση των δεδομένων. Επίσης αναρτάται *ένα έγγραφο υποστήριξης στη λίστα προτεραιότητας ουσιών 2022* το οποίο περιγράφει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της λίστας προτεραιότητας ουσιών [W-67].

Στο έγγραφο υποστήριξης αναφέρεται ότι οι ουσίες που εξετάζονται για τον Κατάλογο Προτεραιότητας Ουσιών 2022 προέρχονται από τη σειρά ουσιών που υπάρχουν σε τοποθεσίες National Priorities List (NPL), όπως υποδεικνύεται στην επιστημονική βάση δεδομένων του ATSDR είτε από την αξιολόγηση υγείας είτε από πληροφορίες αρχείου τοποθεσίας.

Στη δημοσίευση "*ATSDR's Substance Priority List'*" [W-64], υπογραμμίζεται ότι: «... αυτή η λίστα προτεραιότητας δεν είναι μια λίστα με τις «πιο τοξικές» ουσίες, αλλά μια

ιεράρχηση ουσιών με βάση έναν συνδυασμό της συχνότητας, της τοξικότητάς τους και της πιθανότητας έκθεσης του ανθρώπου σε τοποθεσίες NPL».

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΟΥΣΙΩΝ = ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ NPL + ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ + ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΕΚΘΕΣΗ

Στο κεφάλαιο 3.4, "Βαθμολόγηση συνιστωσών τοξικότητας", Πίνακας 4, του παραπάνω εγγράφου υποστήριξης, περιγράφεται η διαδικασία βαθμολόγησης της τοξικότητας των ουσιών.

Πίνακας 18:

Toxicity Component Scoring

RQ or TES	Ordinal Rank	Cumulative Ordinal Rank (COR)	2/3 Raised to Exponent of COR	Toxicity Points (2/3 ^{COR} x 600)
1	0	0	1.0000	600
10	1	1	0.6667	400
100	2	3	0.2963	178
1,000	3	6	0.0878	53
5,000	4	10	0.0173	10

Από τον παραπάνω κατάλογο του Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) και από τη στήλη "Toxicity Points" λαμβάνουμε τους δείκτες τοξικότητας των εξεταζόμενων εναλλακτικών καυσίμων.

Οι ουσίες πετρελαιοειδούς προέλευσης ρυθμίζονται από νομοθεσία διαφορετική, από την CERCLA (the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act), και δεν περιλαμβάνονται στον αναφερόμενο κατάλογο.

Για τις ουσίες πετρελαιοειδούς προέλευσης λαμβάνονται επιβιοηθικά πληροφορίες από τη δημοσίευση "ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ, ΥΓΕΙΑΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ", του Υπουργείου Μεταφορών Η.Π.Α. [W-68], στην οποία εξετάζονται ζητήματα που σχετίζονται με τη μεταφορά χύδην και την αποθήκευση εναλλακτικών καυσίμων και μεταξύ αυτών θέματα προβλημάτων υγείας. Ειδικότερα:

Σύμφωνα με τη δημοσίευση "Για τις περισσότερες επιπτώσεις στην υγεία των καυσίμων, η εισπνοή ατμών καυσίμου είναι η πιο πιθανή οδός έκθεσης. Η οριακή τιμή κατωφλίου (threshold limit value - TLV) των ατμών καυσίμου είναι ένα μέτρο της τοξικότητας των καυσίμων" (EXECUTIVE SUMMARY – B).

Στο πνεύμα αυτό, στο κεφάλαιο 3.3.1.2 της δημοσίευσης αναφέρεται, "Ευτυχώς, το καύσιμο ντίζελ είναι σχετικά μη πτητικό σε κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος, επομένως η έκθεση στους ατμούς δεν είναι σημαντικό ζήτημα".

Στο κεφάλαιο 3.3.6.3 αναφέρεται, "Επειδή ουσιαστικά δεν παράγονται ατμοί σε κανονικές θερμοκρασίες μεταφοράς και αποθήκευσης, το καθαρό ή αγνό βιοντίζελ μπορεί να θεωρηθεί μόνο ως πιθανός κίνδυνος για την υγεία λόγω της κατάποσης. Το καθαρό βιοντίζελ μοιάζει και μυρίζει σαν προϊόν διατροφής και μπορεί να καταποθεί".

Επίσης, στο κεφάλαιο 3.3.5.3 αναφέρεται "Δεδομένου ότι το προπάνιο είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων, η τοξικότητα του καυσίμου είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Το κύριο συστατικό, το καθαρό προπάνιο, θεωρείται απλό ασφυξιακό από το ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) και δεν έχει καθορισμένο TLV.

Ο OSHA (Occupational Safety and Health Administration) έχει ορίσει PEL 1000 ppm για το προπάνιο (LPG), με την απαίτηση ότι η έκθεση σε περισσότερο από το ήμισυ αυτού του επιπέδου απαιτεί τη θέσπιση ενός προγράμματος ιατρικής παρακολούθησης. Εκτός από αυτήν την απαίτηση OSHA, δεν υπάρχει άλλη υπηρεσία ή φορέας που να έχει καθορίσει όριο έκθεσης για το προπάνιο (LPG).

Στο κεφάλαιο 3.4.4 ως όριο TLV της αιθανόλης δίδονται τα 1.000 ppm.

Έχοντας υπόψη μας τις παραπάνω πληροφορίες δεχόμαστε την ίδια βαθμολόγηση τοξικότητας για το LPG με αυτήν της Αιθανόλης.

Στο κεφάλαιο 3.4.4.3 δίδεται η πληροφορία ότι «η Αμερικανική Διάσκεψη Κυβερνητικών Βιομηχανικών Υγιεινιστών (ACGIH) θεωρεί αυτά τα αέρια (μεταξύ των οποίων το LNG – CNG - Μεθάνιο) ως απλά ασφυξιογόνα, τα οποία αποτελούν κίνδυνο για την υγεία απλώς και μόνο επειδή μπορούν να εκτοπίσουν το οξυγόνο σε ένα κλειστό περιβάλλον».

Στο κεφάλαιο 3.4.7.3 δίδεται η πληροφορία ότι «Το υδρογόνο δεν θεωρείται τοξικό. Ωστόσο, είναι ένα απλό ασφυξιακό που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία γιατί μπορεί να εκτοπίσει το οξυγόνο σε κλειστό περιβάλλον».

Επομένως, το φυσικό αέριο και το υδρογόνο εξομοιώνονται βαθμολογικά ως απλά ασφυξιακά.

Έχοντας υπόψη τα δεδομένα *Excel Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)* [W-66] για το Αλουμίνιο και το οξείδιο του Αλουμινίου, γίνεται η στάθμιση του ανακυκλούμενου αλουμινίου στον πίνακα 19.

Πίνακας 19: Στάθμιση τοξικότητας ανακυκλούμενου αργιλίου

<i>Μορφές αλουμινίου</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Toxicity Points</i>
<i>Σκόνη αλουμινίου</i>	<i>1,0</i>	<i>10,0</i>
<i>Οξείδιο του αλουμινίου</i>	<i>1,3</i>	<i>53,0</i>
<i>Ανακυκλούμενο αλουμίνιο</i>	<i>2,3</i>	<i>34,2</i>

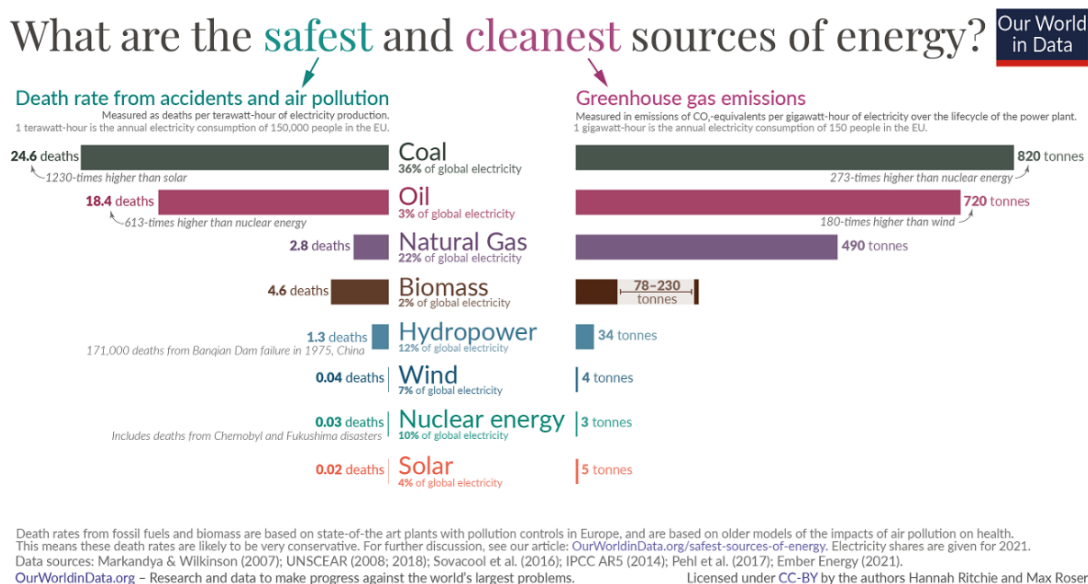
Έχοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα (Excel Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) [W-66]) και τις επιβοηθητικές πληροφορίες (παραπάνω [W-68]) διαμορφώνεται ο πίνακας συγκριτικής αξιολόγησης τοξικότητας των εναλλακτικών καυσίμων.

Πίνακας 20: Συγκριτική αξιολόγηση τοξικότητας εναλλακτικών καυσίμων

	Toxicity Points	Επικινδυνότητα / Τοξικότητα (C _T)
Low Sulfur Diesel	1,0	0,06
Biodiesel B100	1,0	0,06
Propane (LPG)	10,0	0,56
Compressed Natural Gas (CNG)	53,0	2,98
Liquefied Natural Gas (LNG)	53,0	2,98
Ethanol/E100	53,0	2,98
Methanol (green)	10,0	0,56
Methanol (fossil)	10,0	0,56
Liquefied Ammonia (green)	178,0	10,00
Liquefied Ammonia (fossil)	178,0	10,00
Aluminum Powder	10,0	0,56
Aluminum Powder (recycled)	34,2	1,92
Liquid Hydrogen (green)	53,0	2,98
Liquid Hydrogen (fossil)	53,0	2,98

Όσον αφορά την παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας, από τα παρακάτω στοιχεία μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα ποιοτικά, μη ποσοτικοποιούμενα για τις ανάγκες της εργασίας, συμπεράσματα.

Ποσοστό θανάτων από ατυχήματα και ατμοσφαιρική ρύπανση ανά πηγή ενέργειας

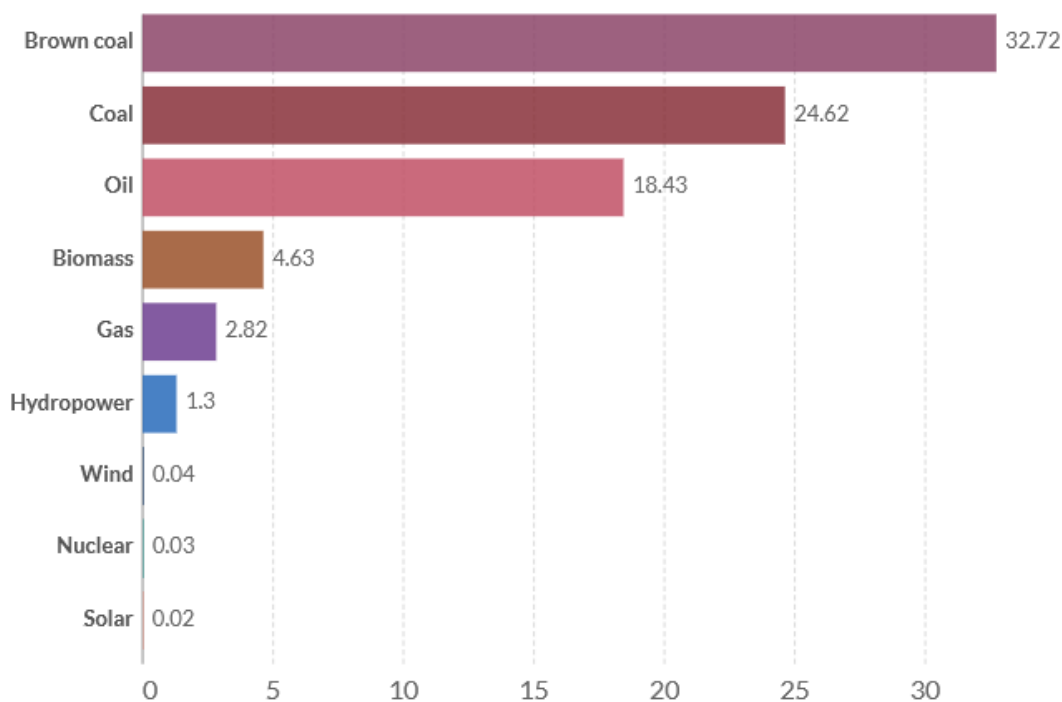


Σχήμα 20: Πηγή, Our World in Data, Ποιες είναι οι ασφαλέστερες και καθαρότερες πηγές ενέργειας [W-41]

Ποσοστό θανάτων από ατυχήματα και την ατμοσφαιρική ρύπανση,
ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ανά πηγή ενέργειας

Death rates per unit of electricity production

Death rates are measured based on deaths from accidents and air pollution per terawatt-hour (TWh) of electricity.



Source: Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool et al. (2016); UNSCEAR (2008; & 2018)
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Σχήμα 28: Πηγή, Our World in Data, Ποσοστά θανάτων ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [W-70]

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι:

- Τα ορυκτά καύσιμα, με την εξαίρεση του φυσικού αερίου, έχουν μεγαλύτερους κινδύνους διαχείρισης στον όλο κύκλο ζωής τους από τις υπόλοιπες πηγές πρωτογενούς ενέργειας.
- Η διαχείριση της βιομάζας έχει μεγαλύτερους κινδύνους από το φυσικό αέριο, ίσως γιατί η διαχείρισή της αφορά και σε πολλές διάσπαρτες μικρές περιφερειακές μονάδες με μειωμένη εξειδίκευση και μέτρα ασφαλείας.

h. Ποιοτική βαθμολόγηση παραμέτρων – συντελεστές βαρύτητας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, (κεφάλαιο D6, σελίδα 40), η κάθε παράμετρος έχει διαφορετική βαρύτητα, όσον αφορά στα κριτήρια επιλογής του επιθυμητού εναλλακτικού καυσίμου από τη ναυτιλία. Για το λόγο αυτό ζητήθηκε από αριθμό ναυτιλιακών επιχειρήσεων η ποιοτική βαθμολόγηση των παραμέτρων, μέσω ερωτηματολογίου ([Παράρτημα IV](#) – Ερωτηματολόγιο).

Ο αριθμός των ναυτιλιακών που συμμετείχαν απαντώντας στο ερωτηματολόγιο κρίνεται μικρός. Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι, το πρώτο εξάμηνο του έτους είναι ο χρόνος εφαρμογής του IMO DCS καθώς και του EU & UK MRV και της έκδοσης των αναγκαίων πιστοποιητικών για κάθε πλοίο, σε συνεργασία με τους νηογνώμονες, μέσα σε στενά χρονικά περιθώρια. Ένας τεράστιος όγκος δουλειάς, ιδίως για τις μεγάλες ναυτιλιακές, πρόσθετος στις τρέχουσες υποχρεώσεις.

Για το λόγο αυτό, οι αρμόδιες τεχνικές διευθύνσεις των ναυτιλιακών εταιριών δεν διέθεταν τον χρόνο να ασχοληθούν με το αίτημα, να κατανοήσουν και να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο.

Επιπρόσθετα, ναυτιλιακές εισηγμένες ή και απλά πιστοποιημένες, δεν είχαν τον χρόνο να τηρήσουν τις εσωτερικές προβλεπόμενες διαδικασίες για να απαντήσουν επίσημα στο ερωτηματολόγιο. Στον μικρό αριθμό των ναυτιλιακών που συμμετείχαν στη διαδικασία, το 60% αριθμητικά και το 91,68% όσον αφορά το μέγεθός τους, δεν συμμετέχουν με το πραγματικό όνομα της εταιρίας, για τους παραπάνω λόγους.

Τα παραπάνω δεν μειώνουν την αξία της συμμετοχής των ναυτιλιακών στην διαδικασία βαθμολόγησης των παραμέτρων. Θα ήταν όμως χρήσιμο να επιδιωχθεί μεγαλύτερη συμμετοχή σε μελλοντική ανάλογη εργασία.

Οι απαντήσεις των ναυτιλιακών σταθμίζονται με το μέγεθος του στόλου της κάθε επιχείρησης και δημιουργούνται συντελεστές βαρύτητας ανά παράμετρο (W_{Par}). Ο μεγαλύτερος συντελεστής είναι ο πιο επιβαρυντικός (Πίνακας 21 παρακάτω).

Ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε παραμέτρου πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή αξιολόγησης της παραμέτρου του κάθε καυσίμου και τα γινόμενα αθροίζονται ανά καύσιμο (βαθμολόγηση καυσίμου):

$$\sum_{i=1}^7 C_i^j \times W_i$$

Όπου:

$i =$ παράμετροι 1 έως 7, $j =$ καύσιμα 1 έως 14, $C =$ συντελεστής αξιολόγησης καυσίμου, $W =$ συντελεστής βαρύτητας παραμέτρου

ή

$\Sigma_{LSD} =$

$$= 1C_{EIO} \times W_{EIO} + 1C_{EIB} \times W_{EIB} + 1C_{Env} \times W_{Env} + 1C_P \times W_P + 1C_{FI} \times W_{FI} + 1C_S \times W_S + 1C_T \times W_T$$

.

.

.

$\Sigma_{LH2f} =$

$$= 14C_{EIO} \times W_{EIO} + 14C_{EIB} \times W_{EIB} + 14C_{Env} \times W_{Env} + 14C_P \times W_P + 14C_{FI} \times W_{FI} + 14C_S \times W_S + 14C_T \times W_T$$

όπου:

$1C_{EIO} =$ Ο συντελεστής EIO του καυσίμου (1), LSD

- $1C_{EIB}$ = Ο συντελεστής ΕΙΒ του καυσίμου (1),
 $1C_{Env}$ = Ο συντελεστής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης του καυσίμου (1),
 $1C_P$ = Ο συντελεστής ωρίμανσης της τεχνολογίας πρόωσης του καυσίμου (1),
 $1C_{FI}$ = Ο συντελεστής ευφλεκτότητας του καυσίμου (1),
 $1C_S$ = Ο συντελεστής απαιτούμενων συνθηκών αποθήκευσης του καυσίμου (1),
 $1C_T$ = Ο συντελεστής τοξικότητας του καυσίμου (1),

κ.ο.κ για όλα τα υπό εξέταση δεκατέσσερα καύσιμα.

Ο αριθμός που προηγείται του κάθε συντελεστή είναι ο δείκτης που προσδιορίζει το καύσιμο στο οποίο αναφέρεται (πίνακες 23 & 24 παρακάτω).

- W_{EIO} = Ο συντελεστής βαρύτητας του ΕΙΟ (αφορά τις τιμές ΕΙΟ όλων των καυσίμων)
 W_{EIB} = Ο συντελεστής βαρύτητας του ΕΙΒ,
 W_{Env} = Ο συντελεστής βαρύτητας της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης,
 W_P = Ο συντελεστής βαρύτητας της ωρίμανσης της τεχνολογίας πρόωσης,
 W_{FI} = Ο συντελεστής βαρύτητας της ευφλεκτότητας,
 W_S = Ο συντελεστής βαρύτητας απαιτούμενων συνθηκών αποθήκευσης,
 W_T = Ο συντελεστής βαρύτητας τοξικότητας καυσίμων,

Οι κατά τα παραπάνω βαθμολογήσεις των καυσίμων ($\Sigma_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}$) συγκρίνονται μεταξύ τους και υπολογίζεται ο συντελεστής καυσίμου ($E_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}$). Ως μέγεθος σύγκρισης λαμβάνεται η μεγαλύτερη τιμή βαθμολόγησης μεταξύ των καυσίμων ($\max \Sigma_{ΚΑΥΣΙΜΟΥ}$) και τα αποτελέσματα της σύγκρισης εκφράζονται ως ποσοστά του δέκα (10), με την εφαρμογή για κάθε καύσιμο του τύπου συγκριτικής αξιολόγησης των βαθμολογιών:

$$E_{LSD} = 10 \times \frac{\Sigma LSD}{\Sigma max}$$

.
.
.

$$E_{LH_2f} = 10 \times \frac{\Sigma LH_2f}{\Sigma max}$$

όπου:

Σ_{LSD} , ..., Σ_{LH_2f} τα αθροίσματα των βαθμολογιών σύμφωνα με τα παραπάνω

Σ_{max} , η μέγιστη βαθμολογία καυσίμου

E_{LSD} , ..., E_{LH_2f} , η αξιολόγηση του κάθε καυσίμου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαμορφώνονται οι τρεις παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 21: Στάθμιση αξιολόγησης παραμέτρων από ναυτιλιακές εταιρίες- υπολογισμός συντελεστών βαρύτητας

Ναυτιλιακή εταιρία	Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος (E.I.O.)	Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος (EIB)	Περιβαλλοντική επιβάρυνση	Τεχνολογία πρώτης	Ευφλεκτότητα	Συνθήκες αποθήκευσης	Επικινδυνότητα / Τοξικότητα	Deadweight tonnage στόλου ναυτιλιακής	Ποσοστό του συνόλου %
<i>Oil Tanker Company</i>	2	4	1	3	6	2	6	15.664.265	7,79
<i>Ιωάννης Πλατσιδάκης, Επίτιμος Πρόεδρος της Intercargo</i>	1	3	2	1	1	1	1	2.473.759	1,23
<i>Atlantic Bulk Carriers Management Ltd</i>	3	3	1	2	4	6	8	1.200.000	0,60
<i>VRONTADOS S.A.</i>	3	3	1	1	2	3	2	472.127	0,23
<i>Small Dry Bulk Carrier Company</i>	1	2	7	1	1	1	1	290.000	0,14
Σταθμισμένοι συντελεστές βαρύτητας	1,95	3,76	1,21	2,62	5,10	2,12	5,34	20.100.151	10,00

*Η κατάταξη των ναυτιλιακών είναι φθίνουσα ως προς το DWT των στόλων

Πίνακας 22: Συντελεστές συγκριτικής ποιοτικής αξιολόγησης παραμέτρων εναλλακτικών καυσίμων και Low Sulfur Diesel

	<i>Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος (C_v)</i>	<i>Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος (C_w)</i>	<i>Περιβαλλοντική επιβάρυνση (C_{En})</i>	<i>Τεχνολογία πρώσης (C_p)</i>	<i>Ευφλεκτότητα (C_H)</i>	<i>Συνθήκες αποθήκευσης (C_s)</i>	<i>Επικινδυνότητα / Τοξικότητα (C_T)</i>
<i>(1) Low Sulfur Diesel</i>	<i>2,42</i>	<i>2,53</i>	<i>3,27</i>	<i>1,00</i>	<i>4,07</i>	<i>0,15</i>	<i>0,06</i>
<i>(2) Biodiesel B100</i>	<i>2,60</i>	<i>2,91</i>	<i>0,87</i>	<i>1,00</i>	<i>3,52</i>	<i>0,15</i>	<i>0,06</i>
<i>(3) Propane (LPG)</i>	<i>3,66</i>	<i>2,25</i>	<i>2,71</i>	<i>1,00</i>	<i>3,05</i>	<i>0,29</i>	<i>0,56</i>
<i>(4) Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>9,15</i>	<i>2,26</i>	<i>2,55</i>	<i>1,00</i>	<i>3,55</i>	<i>5,00</i>	<i>2,98</i>
<i>(5) Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>4,03</i>	<i>2,13</i>	<i>2,74</i>	<i>1,00</i>	<i>3,58</i>	<i>3,42</i>	<i>2,98</i>
<i>(6) Ethanol/E100</i>	<i>4,09</i>	<i>4,03</i>	<i>0,87</i>	<i>1,00</i>	<i>2,30</i>	<i>0,15</i>	<i>2,98</i>
<i>(7) Methanol (green)</i>	<i>5,37</i>	<i>5,32</i>	<i>0,44</i>	<i>1,00</i>	<i>2,75</i>	<i>0,15</i>	<i>0,56</i>
<i>(8) Methanol (fossil)</i>	<i>5,37</i>	<i>5,32</i>	<i>3,48</i>	<i>1,00</i>	<i>2,75</i>	<i>0,15</i>	<i>0,56</i>
<i>(9) Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>7,61</i>	<i>5,70</i>	<i>2,62</i>	<i>3,00</i>	<i>0,75</i>	<i>0,32</i>	<i>10,00</i>
<i>(10) Liquefied Ammonia (fossil)</i>	<i>7,61</i>	<i>5,70</i>	<i>8,95</i>	<i>3,00</i>	<i>0,75</i>	<i>0,32</i>	<i>10,00</i>
<i>(11) Aluminum Powder</i>	<i>1,03</i>	<i>3,46</i>	<i>10,00</i>	<i>10,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,15</i>	<i>0,56</i>
<i>(12) Aluminum Powder (recycled)</i>	<i>2,35</i>	<i>10,00</i>	<i>0,25</i>	<i>10,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,15</i>	<i>1,92</i>
<i>(13) Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>10,00</i>	<i>0,88</i>	<i>0,48</i>	<i>6,00</i>	<i>7,08</i>	<i>5,02</i>	<i>2,98</i>
<i>(14) Liquid Hydrogen (fossil)</i>	<i>10,00</i>	<i>0,88</i>	<i>4,36</i>	<i>6,00</i>	<i>7,08</i>	<i>5,02</i>	<i>2,98</i>

Πίνακας 23: Συγκριτική ποιοτική βαθμολόγηση και αξιολόγηση εναλλακτικών καυσίμων και Low Sulfur Diesel

	Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος (E.I.O.)	Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος (EIB)	Περιβαλλοντική επιβάρυνση	Τεχνολογία πρώσης	Ευφλεκτότητα	Συνθήκες αποθήκευσης	Επικινδυνότητα / Τοξικότητα	Συνολική βαθμολογία ανά καύσιμο		Συγκριτική αξιολόγηση (E)
Συντελεστής βαρύτητας	W_{EIO}	W_{EIB}	W_{env}	W_P	W_F	W_S	W_T	ΣΚΑΥΣΙΜΟΥ		ΕΚΑΥΣΙΜΩΝ
	1,95	3,76	1,21	2,62	5,10	2,12	5,34			
(1) Low Sulfur Diesel	4,70	9,54	3,95	2,62	20,75	0,31	0,30	Σ_{LSD}	42,17	3,72
(2) Biodiesel B100	5,05	10,95	1,05	2,62	17,93	0,31	0,30	Σ_{Bds}	38,22	3,37
(3) Propane (LPG)	7,12	8,48	3,28	2,62	15,55	0,62	3,00	Σ_{LPG}	40,88	3,60
(4) Compressed Natural Gas (CNG)	17,81	8,50	3,09	2,62	18,09	10,62	15,89	Σ_{CNG}	76,81	6,77
(5) Liquefied Natural Gas (LNG)	7,85	8,02	3,32	2,62	18,23	7,26	15,89	Σ_{LNG}	63,41	5,59
(6) Ethanol/E100	7,97	15,18	1,05	2,62	11,71	0,31	15,89	Σ_{Eth}	54,73	4,82
(7) Methanol (green)	10,44	20,03	0,53	2,62	14,03	0,31	3,00	Σ_{gMeth}	50,95	4,49
(8) Methanol (fossil)	10,44	20,03	4,21	2,62	14,03	0,31	3,00	Σ_{fMeth}	54,64	4,81
(9) Liquefied Ammonia (green)	14,80	21,45	3,16	7,85	3,81	0,68	53,38	Σ_{gLAm}	105,34	9,28
(10) Liquefied Ammonia (fossil)	14,80	21,45	10,82	7,85	3,81	0,68	53,38	Σ_{fLAm}	113,49	10,00
(11) Aluminum Powder	2,00	13,03	12,10	26,18	0,00	0,31	3,00	Σ_{Al}	56,62	4,99
(12) Aluminum Powder (recycled)	4,57	37,65	0,30	26,18	0,00	0,31	10,25	Σ_{AIR}	79,27	6,98
(13) Liquid Hydrogen (green)	19,46	3,33	0,58	15,71	36,12	10,68	15,89	Σ_{LH2G}	101,76	8,97
(14) Liquid Hydrogen (fossil)	19,46	3,33	5,27	15,71	36,12	10,68	15,89	Σ_{LHF}	106,45	9,38

7. Κρίσεις και σχόλια αναφορικά με τα καύσιμα

Κατατάσσοντας τα εναλλακτικά καύσιμα και το Low Sulfur Diesel κατά αύξουσα σειρά αξιολόγησης, γίνεται ευκολότερη η εξαγωγή συμπερασμάτων. Ειδικότερα:

Πίνακας 24: Αύξουσα σειρά αξιολόγησης εναλλακτικών καυσίμων & L.S.D.

<i>Biodiesel B100</i>	<i>3,37</i>
<i>Propane (LPG)</i>	<i>3,60</i>
<i>Low Sulfur Diesel</i>	<i>3,72</i>
<i>Methanol (green)</i>	<i>4,49</i>
<i>Methanol (fossil)</i>	<i>4,81</i>
<i>Ethanol/E100</i>	<i>4,82</i>
<i>Aluminum Powder</i>	<i>4,99</i>
<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	<i>5,59</i>
<i>Compressed Natural Gas (CNG)</i>	<i>6,77</i>
<i>Aluminum Powder (recycled)</i>	<i>6,98</i>
<i>Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>8,97</i>
<i>Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>9,28</i>
<i>Liquid Hydrogen (fossil)</i>	<i>9,38</i>
<i>Liquefied Ammonia (fossil)</i>	<i>10,00</i>

- Το Βιοντίζελ, το LPG, η Μεθανόλη (green & fossil) και η Αιθανόλη λαμβάνουν τις καλύτερες αξιολογήσεις. Η προσθήκη κλάσματος εναλλακτικών καυσίμων στα ναυτιλιακά καύσιμα είναι μια ενδιαφέρουσα πρακτική για την μείωση των GHG, κατά την περίοδο μετάβασης.
- Η σκόνη Αλουμινίου, λαμβάνει άριστες αξιολογήσεις εκτός της ωρίμανσης της τεχνολογίας πρόωσης. Απαιτούνται πρωτοβουλίες και συνέργειες φορέων για την ερευνητική και τεχνολογική ωρίμανση μεθόδου πρόωσης κατάλληλης για την εμπορική ναυτιλία. Οι ενδείξεις τιμής της σκόνης Αλουμινίου συνηγορούν στην εκδήλωση ενδιαφέροντος από την Ελληνική ναυτιλία, τα Πανεπιστημιακά ιδρύματα, τα ναυπηγεία και τους Έλληνες παραγωγούς Αλουμινίου.
- Τα LNG & CNG, η υγροποιημένη Αμμωνία, το υγροποιημένο Υδρογόνο λαμβάνουν τις υψηλότερες βαθμολογίες εξ αιτίας, κυρίως, των απαιτούμενων ειδικών συνθηκών διαχείρισης (κρυογενικές συνθήκες ή και υψηλές πιέσεις αποθήκευσης) και της επικινδυνότητάς τους.

Πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η παραπάνω λίστα αύξουσας κατάταξης περιορίζεται αισθητά σε περίπτωση εξάντλησης των ορυκτών και αφαίρεσης των περιβαλλοντικά επιβαρυντικών καυσίμων.

Πίνακας 25: Αύξουσα σειρά αξιολόγησης ανανεώσιμων καυσίμων

<i>Biodiesel B100</i>	<i>3,37</i>
<i>Methanol (green)</i>	<i>4,49</i>
<i>Ethanol/E100</i>	<i>4,82</i>
<i>Aluminum Powder (recycled)</i>	<i>6,98</i>
<i>Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>8,97</i>
<i>Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>9,28</i>

Η αξιοποίηση των πάσης φύσεως οργανικών αποβλήτων, και για λόγους απορρύπανσης του περιβάλλοντος, η περιορισμένη παραγωγή βιολογικών καυσίμων, η αξιοποίηση αγροτοδασικών προϊόντων και φυτικών υπολειμμάτων, μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά για την επίλυση προβλημάτων κίνησης σε πολλούς τομείς μικρότερων καταναλώσεων. Τα βιοκαύσιμα μπορεί να είναι μέρος της λύσης, μόνα τους ή σε συνδυασμό με άλλα υγρά καύσιμα, αλλά δεν προβλέπεται να είναι σε θέση να ικανοποιήσουν όλη τη ζήτηση.

Επομένως, η σταδιακή εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, σε συνδυασμό με τις περιορισμένες οργανικές πηγές παραγωγής βιολογικών καυσίμων, επιβάλλουν σαν τα πιθανότερα μελλοντικά ανανεώσιμα καύσιμα για την ναυτιλία ή την ανακυκλούμενη σκόνη αργιλίου ή την υγροποιημένη πράσινη αμμωνία ή το υγροποιημένο υδρογόνο, που παράγονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας – Πηγή: "Hydrogen Production Processes", U.S. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy [W-71]. Η πυρηνική ενέργεια τέταρτης γενιάς μπορεί να εξετασθεί σαν αξιολογη μελλοντική λύση πρόωσης.

Απαιτείται ιδιαίτερη συγκριτική τεχνική αξιολόγηση.

8. Ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση επικρατέστερων μελλοντικών ανανεώσιμων καυσίμων

Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας υγροποίησης υδρογόνου καταναλώνει ισχύ 12 kWh/kg. Αυτό ισοδυναμεί με το 36% της χρησιμοποιήσιμης ενέργειας που περιέχεται σε 1 kg υδρογόνου (33,33 kWh/kg) – Πηγή: "Liquid Hydrogen Outline", IDEALHY [W-72], παράγοντας πολύ επιβαρυντικός για την επιλογή του υγροποιημένου υδρογόνου ως καύσιμο της ναυτιλίας.

Την ίδια στιγμή η πράσινη υγροποιημένη αμμωνία, με σημαντικά μικρότερο όγκο και αποδεκτό βάρος αποθήκευσης, συνθήκες αποθήκευσης αποδεκτές και τεχνολογία πρόωσης προσιτή, δείχνει να κερδίζει όχι μόνο ως μεταβατικό αλλά και ως μελλοντικό καύσιμο. Απαιτείται βεβαίως ιδιαίτερη προσοχή διαχείρισης.

Η ανακυκλούμενη σκόνη Αλουμινίου εάν επιλυθούν τα ζητήματα τεχνολογίας πρόωσης θα μπορεί να είναι μια φθηνή εναλλακτική επιλογή σαν καύσιμο στη ναυτιλία (Κεφάλαιο D2c, Πίνακας 10, Σχήμα 24).

Πίνακας 26: Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση επικρατέστερων ανανεώσιμων καυσίμων

	<i>Liquefied Ammonia (green)</i>	<i>Liquid Hydrogen (green)</i>	<i>Aluminum Powder (recycled)</i>
Όγκος αποθήκευσης	Ο δεύτερος καλύτερος των τριών	Ο μεγαλύτερος όλων	Ο καλύτερος των τριών
Βάρος καυσίμου	Αποδεκτό	Το καλύτερο των τριών	Πολύ μεγάλο
Τοξικότητα - επικινδυνότητα	Τοξικότερο	Επικίνδυνο αέριο	Ουδεμία
Ευφλεκτότητα	Πολύ υψηλή	Η υψηλότερη όλων	Μη εύφλεκτο
Συνθήκες αποθήκευσης	Αποδεκτές	Κρυογενικές, κατανάλωση ενέργειας	Οι καλύτερες των τριών
Τεχνολογία πρόωσης	Προσιτή	Γνωστή	Υπό ανάπτυξη

Ε. Προβληματισμοί της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

1. Των πλοιοκτητών – εταιριών διαχείρισης

Ας υποθέσουμε ότι μια πλοιοκτήτρια εταιρία έχει ένα πλοίο ηλικίας 25 ετών το οποίο πρέπει να αποσυρθεί και θέλει να το αντικαταστήσει. Αν παραγγείλει άμεσα ένα νεότευκτο πλοίο θα το παραλάβει σε δύο χρόνια, δηλαδή το 2025. Το νέο πλοίο θα είναι ενεργό κατά τη διάρκεια όλων των σταδιακά αυξανόμενων αυστηρών ρυθμίσεων του κανονιστικού πλαισίου έως το 2050. Ακόμη και εάν η διαχειρίστρια εταιρία τηρήσει ευλαβικά τις απαιτούμενες λειτουργικές διαδικασίες, θα πρέπει το πλοίο να διαθέτει από κατασκευής τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά, που θα εξασφαλίσουν την ενεργό παραμονή του σε λειτουργία, σε όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του. Με την προϋπόθεση διαχείρισης του πλοίου σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο, τα κύρια ερωτήματα που προκύπτουν είναι:

- Ποιο είναι το καύσιμο που θα επιλέξει, με κύριο κριτήριο την επίτευξη των απαιτούμενων στόχων εκπομπών του κανονιστικού πλαισίου.
- Η γεωγραφικά κατανεμημένη διαθεσιμότητα και επάρκεια του καυσίμου.
- Η αξιοπιστία της τεχνολογίας πρόωσης και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου.
- Το συγκριτικό πλεονέκτημα κτήσης και λειτουργίας ενός πλοίου με τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε σχέση με άλλες λύσεις.

Τα παραπάνω ερωτήματα παραμένουν, λιγότερο πειστικά ίσως, εάν το πλοίο είναι 20 ετών, έχει δηλαδή υπολειπόμενη διάρκεια ζωής άλλα 5 χρόνια. Σε αυτήν την περίπτωση, με τις εντελώς απαραίτητες τεχνικές βελτιώσεις και προσαρμογές και φυσικά καλή συντήρηση και στρατηγική λειτουργίας (ταχύτητα πλεύσης, πληρότητα φορτίου κ.λπ.), μπορεί να παρατείνει κάποιος τον χρόνο λήψης καίριων αποφάσεων.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο εάν η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής ενός πλοίου είναι άλλα 10 ή και 15 χρόνια. Στις περιπτώσεις αυτές, δεδομένου ότι τα απαιτούμενα των κανονισμών στο μεταξύ αυστηροποιούνται, οι απαραίτητες τεχνικές βελτιώσεις και προσαρμογές θα σημαίνουν εκτεταμένη ανακατασκευή του πλοίου, το κόστος της οποίας και οι αποσβέσεις ίσως να μην δικαιολογούνται από τα δεδομένα της εποχής. Και βέβαια ένα πλοίο το οποίο θα κατασκευαστεί μετά από 5 ή 10 χρόνια θα πρέπει να καλύπτει πλήρως τους στόχους των μηδενικών εκπομπών από την πρώτη ημέρα.

Το *World Shipping Council*, διατυπώνει τις θέσεις της ναυτιλιας γραμμής (containers) σε ανάρτησή του στο site του, επιγραμματικά και κάτω από τον τίτλο «Τα έξι κρίσιμα μονοπάτια για μηδενικό άνθρακα στην ναυτιλία» [W-73].

- Παγκόσμια τιμή άνθρακα
- Ανάπτυξη Εφοδιασμού Καυσίμων
- Νέα Πρότυπα Ναυπήγησης
- Πράσινοι διάδρομοι
- Κύκλος ζωής καυσίμου
- R&D Επενδύσεις

Ανάλογους προβληματισμούς αλλά και *προτάσεις για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία*, κατέθεσε η *INTERTANKO* κατά την 79^η σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (MEPC/79/7/3) [W-74]

2. Των κατασκευαστών τεχνολογιών πρόωσης & των ναυπηγείων

Ο ναυπηγικός κλάδος έχει να απαντήσει σε δυο καίρια ερωτήματα:

- Ποιο είναι το καλύτερο μεταβατικό καύσιμο και η τεχνολογία πρόωσης για την αναβάθμιση / ανακατασκευή του υπάρχοντος στόλου.
- Ποιο είναι το καύσιμο και η τεχνολογία πρόωσης του μέλλοντος.

Ήδη τα τμήματα R&D των μεγάλων εταιριών των τεχνολογιών πρόωσης και των ναυπηγείων, σε συνεργασία με πανεπιστήμια και εξειδικευμένα ινστιτούτα, εργάζονται εντατικά πάνω στα παραπάνω δύο θεμελιώδη ερωτήματα και ετοιμάζουν τις προτάσεις τους. Το πόσο ρεαλιστικές θα είναι και πότε θα είναι διαθέσιμες για ευρεία εφαρμογή, θα το διαπιστώσουμε στο χρόνο.

3. Των προμηθευτών καυσίμων και των λιμένων

Οι προμηθευτές καυσίμων έχουν να απαντήσουν, σε συνεργασία και με τις οργανώσεις των λιμένων σε δύο ζητήματα:

- Διαθεσιμότητα και οργάνωση διαχείρισης μεταβατικού καυσίμου.
- Διαθεσιμότητα και οργάνωση διαχείρισης καυσίμου του μέλλοντος.

Είναι βέβαια αντιληπτό ότι εάν το μεταβατικό καύσιμο με αυτό του μέλλοντος ταυτίζονται, τα ζητήματα απλοποιούνται. Όπως επίσης είναι αντιληπτό ότι τα ζητήματα περιπλέκονται εάν τα καύσιμα γίνουν περισσότερα του ενός κατά περίπτωση. Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι οτιδήποτε νέο, θα οικοδομείται, για μια μεγάλη περίοδο, πρόσθετα στην υπάρχουσα δομή διανομής καυσίμων.

4. Της βιομηχανίας παραγωγής καυσίμων

Οι επενδύσεις και ο χρόνος που θα απαιτηθούν για την αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής, είναι μεγέθη τα οποία για να διατεθούν θα πρέπει να υπάρχει ορατό μέλλον για την παραγωγή ενός καυσίμου. Δεν είναι δυνατόν να γίνει αποδεκτό από κανένα χρηματοδοτικό σχήμα ότι θα επενδυθούν τεράστια κεφάλαια σε ένα καύσιμο μεταβατικού χαρακτήρα. Θα πρέπει η υπάρχουσα υποδομή να μπορεί να καλύψει τις πρόσθετες απαιτήσεις της ναυτιλίας.

Αυτό πρέπει να είναι και το κύριο ζήτημα το οποίο θα λάβει υπόψη του ο ερευνητικός και ναυπηγικός τομέας στις έρευνες και δοκιμές που είναι σε εξέλιξη.

Βεβαίως, δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο, μεγάλες ναυτιλιακές εταιρίες γραμμών (containers) να επιλέξουν λύσεις καυσίμων και τεχνολογιών πρόωσης, για χρήση των πλοίων τους και μόνο, υπογράφοντας δεσμευτικές συμβάσεις για την προμήθεια καυσίμων, με συγκεκριμένα λιμάνια και προμηθευτές - παραγωγούς. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν είναι εύκολο να γενικευθεί σε όλους τους τύπους των πλοίων, σε όλα τα λιμάνια.

F. Συζήτηση / Συμπεράσματα

Η επίδραση του κανονιστικού πλαισίου στις ναυτιλιακές επιχειρήσεις, στον ναυτιλιακό κλάδο αλλά και στη βιομηχανία καυσίμων είναι καταλυτική.

Η εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου όσον αφορά τις λειτουργικές μετρήσεις από τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις είναι ζήτημα σύντομης εκπαίδευσης και ρουτίνας. Οι σχεδιαστικές προσαρμογές και οι τεχνικές επίτευξης αποδεκτής βαθμολογίας και απόκτησης των επιθυμητών πιστοποιητικών, μεταθέτουν αλλά δεν λύνουν το πρόβλημα. Το ουσιαστικό μέρος του ελέγχου των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου είναι αυτό που βαρύνει.

Η εκπομπή των αερίων θερμοκηπίου δεν αντιμετωπίζεται πλέον, και πολύ σωστά, ως πρόβλημα της ναυτιλίας, αλλά ως ζήτημα των καυσίμων και των εκπομπών τους. Από το 2025 τα καύσιμα θα επιβαρύνονται, τουλάχιστον από την ΕΕ, άμεσα ή έμμεσα με φόρους ανάλογα με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο σύνολο του κύκλου ζωής τους. Κατά συνέπεια είναι κρίσιμη η απάντηση όχι μόνο στο ποιο καύσιμο θα χρησιμοποιηθεί αλλά και η πρώτη ύλη και η πρωτογενής ενέργεια παραγωγής του.

Στο πλαίσιο αυτό είναι ουσιαστική προϋπόθεση να αποδειχθεί ρεαλιστικός ο σχεδιασμός, σε πολιτικό επίπεδο, σε επίπεδο δηλαδή διεθνών οργανισμών και κρατών, που αφορά στο ενεργειακό μέλλον της πρωτογενούς ενέργειας της ανθρωπότητας. Η παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα είναι καταλυτική. Πυρηνική ενέργεια 4^{ης} γενιάς, πυρηνική σύντηξη ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας;

Ταυτόχρονα, η επιλογή των κατάλληλων εναλλακτικών καυσίμων για την ναυτιλία, χωρίς να δημιουργούνται επισιτιστικές ή άλλες πιέσεις, θα είναι η προϋπόθεση για να συνεχίσουν το διεθνές εμπόριο, και κατ' επέκταση η ναυτιλία, να υφίστανται όπως τα γνωρίζουμε.

Και φυσικά θα πρέπει, οι σωστές επιλογές να έχουν παγκόσμια εφαρμογή και να συνοδευτούν με τις κατάλληλες ενημερώσεις, με ενίσχυση της έρευνας και των επενδύσεων.

Το κανονιστικό πλαίσιο, η αυστηρότητά του και η πίεση εφαρμογής του μπορεί και πρέπει να είναι το εργαλείο επιβολής μιας ρεαλιστικής πολιτικής. Η πίεση εφαρμογής ενός αυστηρού κανονιστικού πλαισίου που δεν είναι σε αντιστοίχιση με ρεαλιστικές λύσεις παγκόσμιας εφαρμογής, μπορεί να επιφέρει τα αντίθετα των αναμενόμενων αποτελέσματα.

Η Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών συνοψίζει την παραπάνω επιφύλαξη σε μια φράση:

“Η αντιμετώπιση του παγκόσμιου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής απαιτεί παγκόσμιες λύσεις. Η ΕΕΕ υποστηρίζει ότι αξιόπιστα μέτρα για τη ναυτιλία μπορεί να συμφωνηθούν και να εφαρμοστούν μόνο μέσω του ΙΜΟ” [[W-75](#)].

F. Discussion / Conclusions

The impact of the regulatory framework on shipping companies, the shipping industry and the fuel industry is catalytic.

Implementation of the operational measurement regulatory framework by shipping companies is a matter of short training and routine. Design adjustments and techniques to achieve an acceptable score and obtain the desired certificates shift but do not solve the problem. The essential part of controlling greenhouse gas emissions is the weight.

The emission of greenhouse gases is no longer treated, and quite rightly, as a shipping problem, but as a fuel and emissions issue. From 2025, fuels will be taxed, at least by the EU, directly or indirectly according to their lifetime greenhouse gas emissions. Consequently, the answer is critical not only to which fuel will be used but also the raw material of its production.

In this context, it is an essential condition for the planning to prove realistic, at a political level, that is, at the level of international organizations and states, regarding the energy future of humanity's primary energy. The generation of cheap electricity without greenhouse gas emissions will be a catalyst. Nuclear power 4th generation, nuclear fusion or renewable energy?

At the same time, the selection of suitable alternative fuels for shipping, without creating food or other pressures, will be the condition for international trade to continue, and by extension shipping, to exist as we know it.

And of course, the right choices should have global application and be accompanied by the appropriate updates, by strengthening research and investments.

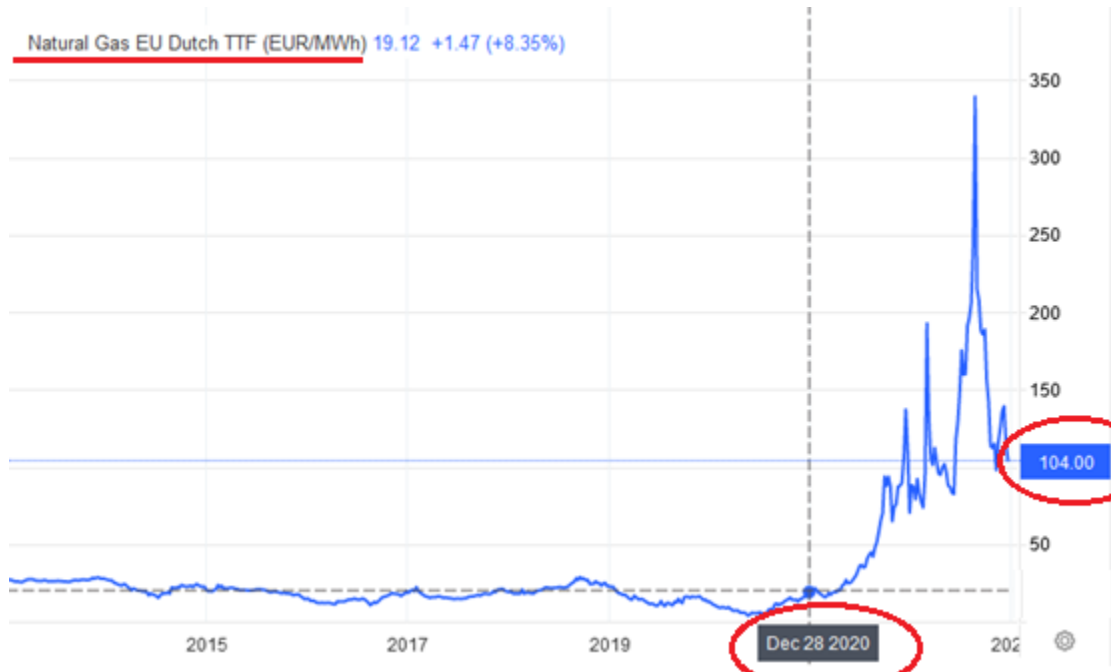
The regulatory framework, its rigor and enforcement pressure can and should be the tool to enforce a pragmatic policy. The pressure to apply a strict regulatory framework that is not matched with realistic solutions of global application can bring about the opposite of the expected results.

The Union of Greek Shipowners summarizes the above reservation in one sentence:

"Addressing the global problem of climate change requires global solutions. The EEA maintains that credible shipping measures can only be agreed and implemented through the IMO" [[W-75](#)].

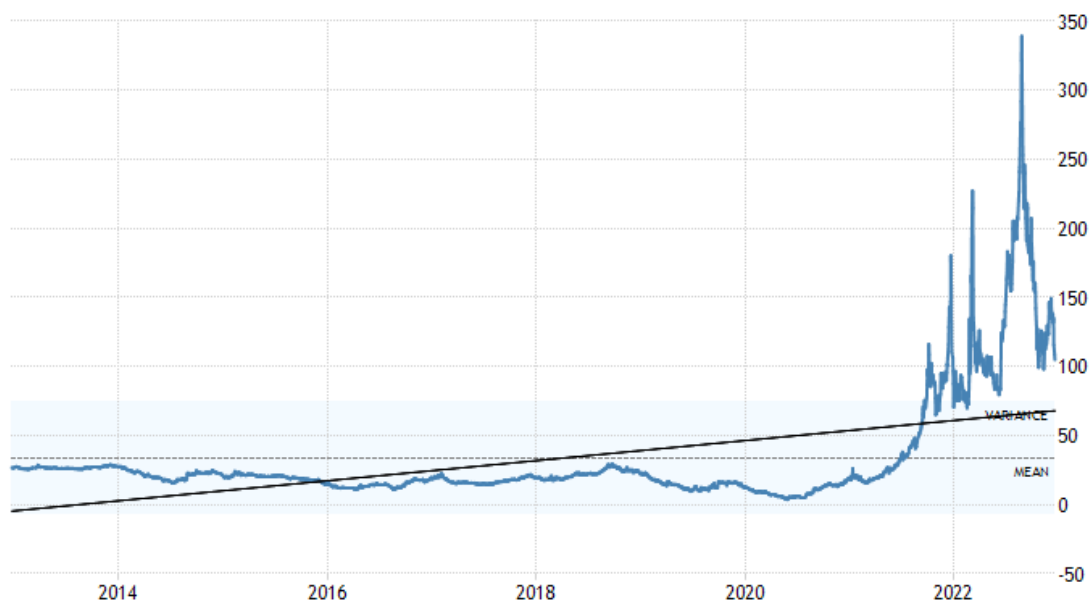
Παράρτημα Ι – Διαγράμματα τιμών καυσίμων και τάσεων
τιμών δεκαετίας

Πηγή: Trading Economics



*Dec 27 2021, 70.34 (EUR/MWh)

Natural Gas



Natural Gas 10 Years Trend



*Dec 27 2021, 74.88 (USD/Bbl)

Crude Oil



Crude Oil 10 Years Trend



*Dec 27 2021, 169.60 (USD/T)

Coal



Coal 10 Years Trend



*Dec 29 2021, 2,807.50 (USD/T)

Aluminum



Aluminum 10 Years Trend



*Dec 28 2021, 3.020 (USD/Gal)

Ethanol



Ethanol 10 Years Trend



*Dec 29 2021, 2,577 (CNY/T)

Methanol



Methanol 10 Years Trend



*Dec 28 2021, 698.83 (USD/T)

Naphtha⁵



Naphtha 10 Years Trend

⁵ Δεν ανακοινώνονται τιμές Υδρογόνου ή υγρού Υδρογόνου. Για την παραγωγή Υδρογόνου χρησιμοποιείται κυρίως η Νάφθα ή το φυσικό αέριο



*Dec 27 2021, 595 (EUR/MT)

Urea⁶



Urea 10 Years Trend

⁶ Δεν ανακοινώνονται τιμές Αμμωνίας ή υγρής Αμμωνίας. Η Ουρία περιέχει μεγάλη ποσότητα Αμμωνίας

Παράρτημα II

Αναδημοσίευση των βιβλιογραφικών αναφορών της μελέτης των,

Δρ. Linda Finska και του επικεφαλής της έρευνας Henrik Ringbom, του Πανεπιστημίου Åbo Akademi, «Ρύθμιση αερίων του θερμοκηπίου από πλοία - Σχετικά με τη διαθέσιμη διακριτική ευχέρεια για ρυθμιστικές λύσεις σε μια μελέτη ευρωπαϊκής και φινλανδικής προοπτικής, 10/2/2022»

References

¹ See e.g. the Fourth IMO GHG Study, submitted to the IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC) in July 2020, as document IMO Doc. MEPC 75/7/15.

² In the climate change framework, the principle of 'common but differentiated responsibility' (CBDR) has been the guiding principle from the outset. (See the 1992 United Nations' Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Art. 3(1)). In the 1997 Kyoto Protocol, the main part of the obligations were limited to (developed) States listed in Annex 1. In the Paris Agreement, the CBDR principle features in Arts. 2(2) and 4, but is moderated as the Agreement includes all States in mitigation efforts. By contrast, the IMO has traditionally relied on the principle that all ships should be treated in the same way. many key IMO conventions establish that there shall be no difference in treatment between ships flying the flag of parties and non-parties to the conventions when visiting ports of States Parties. See, e.g. MARPOL, Art. 5(4).

³ UNFCCC refers to contribution by "all economic sectors", and even includes certain references to transport in some of the key provisions (Arts. 3 and 4(1)(c)). In Art. 2(2) of the 1997 Kyoto Protocol matters relating to bunker fuel from shipping and aviation was specifically left for the IMO and the International Civil Aviation Organization (ICAO) to regulate, but such a provision no longer features in the 2015 Paris Agreement.

⁴ Paris Agreement, Art. 2(1).

⁵ Paris Agreement Art. 4(1).

⁶ See J. Scott, T. Smith, N. Rehmatulla, B. Milligan, 'The promise and limits of private standards in reducing greenhouse gas emissions from shipping' (2017) 29 *Journal of Environmental Law*, 235.

⁷ See also A. O'Leary & J. Brown, 'Legal bases for IMO Climate Change Measures', Report by Environmental Defense Fund, Columbia Law School, 2018, available at <http://columbiaclimatelaw.com/files/2018/06/OLeary-and-Brown-2018-06-IMO-Climate-Measures.pdf>

⁸ Ref. e.g. art 211

⁹ The use of the word 'organization' in the singular in some parts of UNCLOS that deal with ship-source pollution (e.g. Art. 211(1)), does not preclude that several organizations are competent for different aspects of the topic (note e.g. the division of competence between the IMO and ILO on different aspects of regulation of seafarers). It is also to be noted that the reference is frequently coupled with the phrase "or general diplomatic conference"(e.g. Arts. 211(2)). This addition was made originally made to UNCLOS precisely to preclude a monopoly for a single organization. See e.g. D. Bodansky 'Protecting the Marine Environment from Vessel-Source Pollution', 18 *Ecology Law Quarterly*, 1991, 772.

¹⁰ In particular the 'tacit acceptance' procedure, under which existing IMO conventions may be amended with the effect for all parties, unless they explicitly opt out of the amendment. See e.g. MARPOL Art. 16(2). The 'no more favourable treatment clause which exists in many IMO conventions, including in MARPOL Art. 5(4), has similar effects with respect to non parties.

¹¹ B. Martinez Romera, 'The Paris Agreement and the regulation of international bunker fuels' 25(2) *Review of European Community & International Environmental Law*, 2016, 221.

¹² See J. Scott et al., p. 234.

¹³ *Ibid.*. See also the Third IMO GHG Study (2014), made available in IMO Doc. MEPC 67/INF.3 and the somewhat moderated predictions made in the Fourth IMO study referred to in n. 1 above.

¹⁴ See e.g. various presentations available at www.imo.org/en/About/Events/Pages/Symposium-alternative-low-carbon-and-zero-carbon-fuels.aspx

¹⁵ <https://www.dnv.com/maritime/hub/decarbonize-shipping/fuels/future-fuels.html>

¹⁶ IMO Doc. MEPC 62/24/Add.1

¹⁷ IMO Resolution MEPC.278(70) introducing a new Reg. 22A to Marpol Annex VI, including two new appendices. See also Resolution MEPC 293(71) containing the 2017 Guidelines for the development and management of the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database and Resolution MEPC.292(71)) including guidance for shipowners. See also www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/04MARPOLamendments.aspx

¹⁸ www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Market-Based-Measures.aspx

¹⁹ IMO Doc. MEPC 65/22, 44.

²⁰ ICAO Assembly Resolution 39-3 setting up the 'Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation' (CORSIA). The scheme enters its pilot phase in 2021, but individual reduction obligations, which represent the real incentive for air operators to reduce their emissions, will only apply as from 2030. Nevertheless, it is clear that its establishment has contributed to a convergence of regimes governing international and national emissions and that that many of the arguments relating to the impossibility to find solutions for international bunker fuels have weakened along the way.

²¹ IMO Doc. MEPC 70/18/Add.1, Annex 11. See also IMO Doc. MEPC 70/7/8.

²² MEPC 70/18/Add.1, Annex 11. (11 November 2016) 1.

²³ MEPC 70/18/Add.1, Annex 11. (11 November 2016) 1-2.

²⁴ IMO Assembly, 30th Session, 'Strategy, Planning and Reform' (2017) A 30/7. Annex 1 'Strategic Plan for the Organization for the Six-Year Period 2018-2023. 5.

²⁵ IMO Resolution MEPC.304(72).

²⁶ The legal status of the Initial Strategy was boosted through the 2021 revision of MARPOL Annex VI, which included a new Regulation, outlining the goal of the relevant chapter as being "to reduce the carbon intensity of international shipping, working towards the levels of ambition set out in the Initial IMO Strategy". IMO Doc. Resolution MEPC.328(76), Annex, (Revised MARPOL Annex VI), Reg. 20.

²⁷ IMO Resolution MEPC.304(72), para. 3.1.3.

²⁸ *Ibid.*, para. 3.2.1.

²⁹ *Ibid.*, para. 4.8.3. The only candidate longer-term measures (beyond 2030) listed in para. 4.9 are to "pursue the development and provision of zero-carbon or fossil-free fuels to enable the shipping sector to assess and consider decarbonization in the second half of the century" and to "encourage and facilitate the general adoption of other possible new/innovative emission reduction mechanism(s)."

³⁰ MEPC 73/19/Add.1, Annex 9 Programme of Follow-Up Actions of the Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships up to 2023. (October 2018)

³¹ MEPC/76/15/Add.2, Annex 14 'Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures as a Follow-Up of the Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions' (June 2021).

³² MEPC 73/19/Add.1, Annex 9 Programme of Follow-Up Actions of the Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships up to 2023. 2.

³³ Resolution MEPC.203(62), Annex 19. Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, As Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto (Inclusion of Regulations on Energy Efficiency for Ships in MARPOL Annex VI) (Adopted 15 July 2011)

³⁴ A Fakhry and B Bulut, 'MARPOL Energy Efficiency: Verging on Legal Inefficiency' in AI Ölcer et al. (eds) Trends and Challenges in Maritime Energy Management (2018) 6 WMU Studies in Maritime Affairs. 20.

³⁵ B Garcia et al., 'Net Zero for the International Shipping Sector? An Analysis of the Implementation and Regulatory Challenges of the IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions' (2021) 33 Journal of Environmental Law. 89.

³⁶ MARPOL, Annex VI, chapter 4, regulations 19–21. See also the 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships, IMO Doc. MEPC 66/21 (25 April 2014), Annex 5.

³⁷ MARPOL Annex VI, Regulation 21, as amended in 2011.

³⁸ Regulation 20, Resolution MEPC.203(62), Annex 19. Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, As Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto (Inclusion of Regulations on Energy Efficiency for Ships in MARPOL Annex VI) (Adopted 15 July 2011).

³⁹ H Ringbom, 'Regulating Greenhouse Gases from Shipping: Some Light at the End of the Tunnel?' in E Johansen et al. (eds) The Law of the Sea and Climate Change (Cambridge University Press 2021) 139.

⁴⁰ In 2011 seven ship types were included (bulk carriers, gas carriers, tankers, container ships, general cargo ships, refrigerated cargo ships and combination carriers), which were thought to cover 70 per cent of the total shipping emissions. In 2014, five new ship types were added (LNG carriers, vehicle carriers, ro-ro cargo ships, ro-ro passenger ships and cruise passenger ships with non-conventional propulsion systems), bringing the percentage up to an estimated 85 per cent. However, the regime applies only to new ships and to ships above 400 gross tonnage.

⁴¹ MARPOL, Annex VI, Regulation 19. See also 2014 guidelines on survey and certification of EEDI, Resolution MEPC.254(67) as amended by IMO resolution MEPC.309(73).

⁴² MARPOL, Annex VI, Regulation 10(5)

⁴³ See IMO's web page on energy efficiency measures, at www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx.

⁴⁴ The EEDI originally covered only the largest and most energy intensive segments of the world merchant fleet,

i.e. tankers, bulk carriers, gas carriers, general cargo ships, container ships, refrigerated cargo carriers and combination carriers. In 2014, Marpol Annex VI was amended to extend the scope of EEDI to: LNG carriers, ro-ro cargo ships (vehicle carriers), ro-ro cargo ships; ro-ro passenger ships and cruise passenger ships having non-conventional propulsion. For certain ship types the implementation dates were strengthened in May 2019. See IMO Doc. MEPC 74/18.

⁴⁵ See e.g. GEF-UNDP-IMO GloMEEP Project and members of the GIA, 2020: Just In Time Arrival Guide – Barriers and Potential Solutions (available at <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/GIA-just-in-time-hires.pdf>)

⁴⁶ Second IMO GHG study, 54 and 58. See, however, also Fourth IMO GHG Study (MEPC 75/715), 276, concluding that “it is difficult to achieve IMO’s mid-term target by energy-saving technologies and speed reduction of ships only.”

⁴⁷ The EEOI is a simple calculating tool that indicates the ratio between CO₂ emissions and transport work (cargo carried × distance). See also IMO Doc. MEPC.1/Circ. 684 (17 August 2009).

⁴⁸ MARPOL Annex VI, Reg. 22. see also MEPC.1/Circ.684 (Guidelines for voluntary use of the EEOI for new and existing ships).

⁴⁹ Regulation 22, Resolution MEPC.203(62), Annex 19. Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, As Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto (Inclusion of Regulations on Energy Efficiency for Ships in MARPOL Annex VI) (Adopted 15 July 2011)

⁵⁰ IMO, Resolution MEPC.282(70) The 2016 Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan.

⁵¹ A Fakhry and B Bulut, ‘MARPOL Energy Efficiency: Verging on Legal Inefficiency’ in AI Ölcer et al. (eds) Trends and Challenges in Maritime Energy Management (2018) 6 WMU Studies in Maritime Affairs. 22.

⁵² Regulation 23(3), MARPOL Annex VI. MEPC 76/15/Add.1. Like for the EEDI, the scope of application of EEXI is all vessels above 400 gross tonnage coming within the scope of MARPOL Annex VI.

⁵³ Annex 7, Resolution MEPC.333(76).

⁵⁴ Annex 8, Resolution MEPC.334(76).

⁵⁵ Annex 9, Resolution MEPC.335(76).

⁵⁶ *Ibid*, Reg. 24.

⁵⁷ *Ibid*, Reg. 28.

⁵⁸ IMO Doc. MEPC76/WP.1/Rev.1, paras. 7.44 - 7.105, 49-73

⁵⁹ See e.g. B Garcia et al., ‘Net Zero for the International Shipping Sector? An Analysis of the Implementation and Regulatory Challenges of the IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions’ (2021) 33 Journal of Environmental Law. 109, noting that shipping companies face “increasing pressure from corporate customers and supply chain/logistics companies to offer low-carbon options.” For a concrete example involving maritime transport emission reductions, see e.g. Geof Stapledon and Fiona Wild, ‘Addressing Greenhouse Gas Emissions beyond Our Operations: Understanding the “Scope 3” Footprint of Our Value Chain’ (BHP, 2018) www.bhp.com/media-and-insights/prospects/2018/08/addressing-greenhouse-gas-emissions-beyond-our-operations.

⁶⁰ IMO Resolution MEPC.278(70) introducing a new Reg. 22A to Marpol Annex VI, including two

new appendices, which entered into force on 1 March 2018. See also www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/04MARPOLamendments.aspx and A Chircop et al., 'International Law and Policy Considerations for Shipping's Contribution to Climate Change Mitigation' (2018) A Special Report Commissioned by the Center for International Innovation (CIGI). 57.

⁶¹ *Ibid.*, para. 4.8.3. The only candidate longer-term measures (beyond 2030) listed in para. 4.9 are to "pursue the development and provision of zero-carbon or fossil-free fuels to enable the shipping sector to assess and consider decarbonization in the second half of the century" and to "encourage and facilitate the general adoption of other possible new/innovative emission reduction mechanism(s)."

⁶² The OECD has defined market-based measures more narrowly by stating that they "seek to address the market failure of 'environmental externalities' either by incorporating the external cost of production or consumption activities through taxes or charges on processes or products, or by creating property rights and facilitating the establishment of a proxy market for the use of environmental services." See <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=7214>. See also H.N. Psaraftis, 'Market-Based Measures for Greenhouse Gas Emissions from Ships: A Review', 11(2) *WMU Journal of Maritime Affairs*, 2012, 211.

⁶³ MEPC/76/15/Add.2, Annex 14 Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures as a Follow- Up of the Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions. 1.

⁶⁴ Report of the Tenth Meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 10) (25.10.2021) ISWG-GHG/WP.1/Rev.1, Annex 2 Agenda Item 5: Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long- Term measure, Non-Exhaustive Collation of Views Expressed. 17-27

⁶⁵ MEPC 76/7/12

⁶⁶ ISWG-GHG 10/5/2.

⁶⁷ Report of the Tenth Meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 10) (25.10.2021) ISWG-GHG/WP.1/Rev.1, Annex 2 Agenda Item 5: Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long- Term measure, Non-Exhaustive Collation of Views Expressed. 17.

⁶⁸ ISWG-GHG 10/5/2: A Levy-Based MBM, per Tonne of CO₂ Emissions, to Expedite the Uptake and Deployment of Zero-Carbon Fuels, 3.

⁶⁹ The IMO Research and Development Fund (IMRF) initiative set out in document MEPC 76/7/7 (Denmark et al.)

⁷⁰ ISWG-GHG 10/5/2: A Levy-Based MBM, per Tonne of CO₂ Emissions, to Expedite the Uptake and Deployment of Zero-Carbon Fuels, 5.

⁷¹ ICS and INTERCARGO, 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: A Levy-Based MBM, per Tonne of CO₂ Emissions, to Expedite the Uptake and Deployment of Zero-Carbon Fuels. 2.

⁷² ICS and INTERCARGO, 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: A Levy-Based MBM, per Tonne of CO₂ Emissions, to Expedite the Uptake and Deployment of Zero-Carbon Fuels. 2.

⁷³ Report of the Tenth Meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 10) (25.10.2021) ISWG-GHG/WP.1/Rev.1, Annex 2 Agenda Item 5: Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long- Term measure, Non-Exhaustive Collation of Views Expressed.

⁷⁴ Report of the Tenth Meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 10) (25.10.2021) ISWG-GHG/WP.1/Rev.1, Annex 2 Agenda Item 5: Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long- Term measure, Non-Exhaustive Collation of Views Expressed. 18.

⁷⁵ Norway, 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: Proposal for regulatory mechanisms for the uptake of sustainable low-carbon and zero-carbon fuels' (3.9.2021) ISWG-GHG 10/5/6.4.

⁷⁶ Norway, 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: Proposal for regulatory

mechanisms for the uptake of sustainable low-carbon and zero-carbon fuels' (3.9.2021) ISWG-GHG 10/5/6.

⁷⁷ *Ibid.*

⁷⁸ MEPC 60/4/22 (2010)

⁷⁹ Report of the Tenth Meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 10) (25.10.2021) ISWG-GHG/WP.1/Rev.1, Annex 2, 18.

⁸⁰ Norway, 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: Proposal for regulatory mechanisms for the uptake of sustainable low-carbon and zero-carbon fuels' (3.9.2021) ISWG-GHG 10/5/6. 20-21.

⁸¹ ISWG-GHG 10/5/6.

⁸² ISWG-GHG 10/5/3, based on MEPC 76/7/15. See also pending case C-161/20 at the Court of Justice of the European Union, where the competence for making submission in this field (by Member States or the EU as a whole) is under dispute.

⁸³ ISWG-GHG 10/5/3, 2.

⁸⁴ Austria et al., 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: Comments on document MEP/7/15 proposing a Low GHG Fuel Standard for International Shipping' (3.9.2021) ISWG-GHG 10/5/3. 2, 5, 6.

⁸⁵ Norway, 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: Proposal for regulatory mechanisms for the uptake of sustainable low-carbon and zero-carbon fuels' (3.9.2021) ISWG-GHG 10/5/6.

⁸⁶ Austria et al., 'Consideration of Mid-Term GHG Reduction Measures in the Context of Phase I of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures: Comments on document MEP/7/15 proposing a Low GHG Fuel Standard for International Shipping' (3.9.2021) ISWG-GHG 10/5/3. 2.

⁸⁷ Resolution MEPC 323(74).

⁸⁸ IMO, Ship-Port Interface Guide: Practical Measures to Reduce GHG Emissions (2021).

⁸⁹ C-WC Hsieh and C Felby, 'Biofuels for the Marine Shipping Sector' (IEA Bioenergy 2017) 86.

⁹⁰ J Dankwa Ampah et al., 'Reviewing Two Decades of Cleaner Alternative Marine Fuels: Towards IMO's Decarbonization of the Maritime Transport Sector' () 2.

⁹¹ ISWG-GHS 9/2/6, Further Consideration of Concrete Proposals to Encourage the Uptake of Alternative Low- Carbon and Zero-Carbon Fuels, Including the Development of Lifecycle GHG/Carbon Intensity Guidelines for All Relevant Types of Fuels and Incentive Schemes, as Appropriate – Sustainable Criteria and Lifecycle GHG Emission Assessment Methods and Standards for Alternative Marine Fuels, 3 August 2021. 2.

⁹² ISWG-GHS 9/2/6, Further Consideration of Concrete Proposals to Encourage the Uptake of Alternative Low- Carbon and Zero-Carbon Fuels, Including the Development of Lifecycle GHG/Carbon Intensity Guidelines for All Relevant Types of Fuels and Incentive Schemes, as Appropriate – Sustainable Criteria and Lifecycle GHG Emission Assessment Methods and Standards for Alternative Marine Fuels, 3 August 2021. 2.

⁹³ 2023 is not only the time for the review of IMO's GHG Strategy, but also the year for the first global stocktake of the Paris Agreement and the deadline set by the EU for IMO measures that 'duly contribute' to achieving the climate goals of the Paris Agreement under recital No 4 of Directive 2018/410.

⁹⁴ For criticism of the IMO in this respect, see e.g. www.transportenvironment.org/news/shipping-body's-climate-plan-ignores-paris-agreement (30.10.2020).

⁹⁵ MEPC 57/21 (2008), paragraphs 4.73 to 4.77.

⁹⁶ At least one such project is currently underway in Finland. See www.eslshipping.com/en/news/esl-shipping-attracts-and-viking-line-are-developing-models-for-reducing-emissions-in-shipping-together-with-åbo-akademi-and-pbi-research-institute

⁹⁷ MEPC 76/7/11 (2021), para. 21.

⁹⁸ See e.g. COM (2013) 479 final, at p. 7 and COM (2019) 38 final, p. 1.

⁹⁹ See e.g. third recital of Directive 2009/29 amending Directive 2003/87/EC: "All sectors of the economy should contribute to achieving these emission reductions, including international maritime shipping and aviation ... In the event that no international agreement which includes international maritime emissions in its reduction targets through the International Maritime Organization has been

approved by the Member States or no such agreement through the UNFCCC has been approved by the Community by 31 December 2011, the Commission should make a proposal to include international maritime emissions according to harmonised modalities in the Community reduction commitment, with the aim of the proposed act entering into force by 2013. Such a proposal should minimise any negative impact on the Community's competitiveness while taking into account the potential environmental benefits."

¹⁰⁰ See e.g. COM strategy in COM(2013) 479 final.

¹⁰¹ Recital No 4 of Directive 2018/410, amending Directive 2003/87 (the ETS Directive), provides that: "The adoption of an ambitious emission reduction objective as part of this initial strategy has become a matter of urgency and is important for ensuring that international shipping contributes its fair share to the efforts needed to achieve the objective of well below 2 °C agreed under the Paris Agreement. The Commission should keep this under regular review, and should report at least once a year to the European Parliament and to the Council on the progress achieved in the IMO towards an ambitious emission reduction objective, and on accompanying measures to ensure that the sector duly contributes to the efforts needed to achieve the objectives agreed under the Paris Agreement. Action from the IMO or the Union should start from 2023, including preparatory work on adoption and implementation and due consideration being given by all stakeholders.

¹⁰² Recital 4, Directive (EU) 2018/410 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2018 amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reductions and low-carbon investments, and Decision (EU) 2015/814.

¹⁰³ COM(2013) 479 final.

¹⁰⁴ While only MBMs are discussed in the strategy itself, the EU has subsequently highlighted the importance of strengthening the requirements linked to the EEDI and SEEMP, e.g. by increasing the reduction targets or by revising the reference lines altogether. Such measures need to be taken at IMO, so there is no regional alternative available, even if IMO would fail to deliver this type of measures by 2023. Among the other measures listed in para. 4.7 of IMO's initial strategy, new operational measures on the basis of new indicators is regarded as particularly important. For an example, see e.g. IMO Doc. MEPC 66/4/6.

¹⁰⁵ The EU's legislation on the regional emission trading system was amended by Directive 2008/101 to include aviation within the scope of the EU ETS as from 2012. However, due to strong protests from third countries, it was decided to postpone application of this amendment for flights between the EU and third countries. Intra-EU flights remain included in the ETS, while the future inclusion of flights to and from third countries will depend on regulatory progress made at ICAO. See https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en. The application of EU rules to non-EU flights raised legal concerns, too, but in Case C-366/10, *Air Transport Association of America and Others v Secretary of State for Energy and Climate Change* 2011 ECR I-13755, the Court of Justice of the European Union, considered that the extension did not amount to a breach of international law. The judgment has been criticized in legal literature for being too superficial on the question of extraterritorial jurisdiction. See e.g. G. De Baere & C. Ryngaert, 'The ECJ's Judgment in Air Transport Association of America and the International Legal Context of the EU's Climate Change Policy', 18 *European Foreign Affairs Review*, 2013, 402.

¹⁰⁶ EU Regulation 2017/757. In preambular para. no. 34 it is considered that the EU MRV system also should serve as a model for the implementation of a global system. See also Delegated Regulation 2016/2071 (amendment of Regulation), Delegated Regulation 2016/2072 (on verification and accreditation activities) and Implementing Regulations 2016/1972 (on templates) and 2016/1928 (on the definition of cargo carried for certain ship categories).

¹⁰⁷ See e.g. www.verifavia-shipping.com/shipping-carbon-emissions-verification/press-media-eu-mrv-vs-imo-fuel-consumption-data-collection-system-155.php and COM (2019) 38 final.

¹⁰⁸ EU Regulation 2017/757, article 2(1).

¹⁰⁹ In COM(2019) 38 final it is proposed, *inter alia*, to harmonize the use of certain key definitions to ensure that same entities are in charge of the monitoring and reporting obligations under the two regimes. Alignment is also made relating to the calculation of distance and cargo as well as the reporting period and the minimum requirements for monitoring plans. An alignment between the EU and (a future) IMO reporting schemes was already foreseen in article 22 of the MRV Regulation (Regulation 2015/757). Alignment proposal COM (2019) 38 final is still being discussed among the EU institutions (Procedure 2019/0017 (COD))

¹¹⁰ Under the Commission's proposal, the MRV system will be revised in order for the EU to take "appropriate account" of the IMO's global data collection system "with a view to allow for streamlining and reducing administrative effort for companies and administrations as possible [sic], while preserving the objectives of the EU MRV Regulation." COM (2019) 38 final, p. 2.

¹¹¹ The European Parliament added a number of amendment to the proposal that relate to a more general climate policy for shipping and the link to IMO's work. In September 2020, the proposal to amend the MRV Regulation was sent back by the Plenary of European Parliament to the Committee responsible for further inter-institutional negotiations and has not been further discussed since then.

¹¹² See e.g. 'EC funding gives green light to ambitious IMO energy-efficiency project', Press Release by IMO of 12 January 2016 (www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/01-2016-MTCC.aspx).

¹¹³ EC, 'Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of Regions: The European Green Deal' (Brussels 11.12.2019) COM(2019) 640 Final. 2.

¹¹⁴ *Ibid.* 4.

¹¹⁵ EC, 'Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality' (Brussels 14.7.2021) COM(2021) 550 Final. 1, 3

¹¹⁶ *Ibid.* 6.

¹¹⁷ See e.g. https://ec.europa.eu/clima/news-your-voice/news/commissioners-bulg-and-arias-canete-welcome-imo-agreement-co2-reductions-maritime-sector-2018-04-13_en

¹¹⁸ EC, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757 (Brussels 14.7.2021) COM(2021) 551 Final, 5.

¹¹⁹ COM(2021) 551 final, p. 4. See also at note 111 above.

¹²⁰ COM(2021) 551 Final 2.

¹²¹ COM(2021) 551 Final 16

¹²² COM(2021) 551 Final (14).

¹²³ COM(2021) 551 Final 51.

¹²⁴ COM(2021) 551 Final 16.

¹²⁵ Commission Decision 2011/278/EU determining transitional Union-wide rules for harmonised free allocation of emission allowances pursuant to article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council.

¹²⁶ See also CE Delft & DLR, 'Research for TRAN Committee – Maritime Shipping, Aviation and the EU ETS: Challenges and Impacts, Final Report' (2021) European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies. 12, 43.

¹²⁷ A flag-based approach refers to the nationality of the ship or where the company has been registered, and was not chosen as it could lead to evasion through reflagging of ships and distortion of competition. See e.g. ETS Proposal COM (2021) 551 Final, p. 48.

¹²⁸ COM(2021) 551 Final. 49.

¹²⁹ CE Delft & DLR, 'Research for TRAN Committee – Maritime Shipping, Aviation and the EU ETS: Challenges and Impacts, Final Report' (2021) European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies. 43.

¹³⁰ COM(2021) 551 Final. 17.

¹³¹ N Wissner et al., 'Integration of Maritime Transport in the EU Emissions Trading System (Öko-Institut e.V. and Transport and Environment, Berlin/Brussels July 2021) 17, 19.

¹³² COM(2021) 551 Final. 16.

¹³³ EC, 'Union Registry' https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry_sv

¹³⁴ EC, 'Impact Assessment Report' (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 2/4. 150.

¹³⁵ COM(2021) 551 Final. 16.

¹³⁶ ETS Proposal, Recital 21.

¹³⁷ For details, see https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

¹³⁸ EC, 'Impact Assessment Report' (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 2/4. 141-142.

¹³⁹ *Ibid.* 142.

¹⁴⁰ EC, 'Impact Assessment Report' (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 1/4. 50-51.

¹⁴¹ EC, 'Impact Assessment Report' (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 2/4. 142.

¹⁴² ECSA, 'ECSA Policy Paper on the EU ETS Proposal' (October 2021) 2.

¹⁴³ *ibid.* 3.

¹⁴⁴ World Shipping Council, ‘EU ETS – the WSC Perspective’ (3 November 2021) 3. See also EC, ‘Impact Assessment Report’ (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 2/4. 143.

¹⁴⁵ World Shipping Council, ‘EU ETS – the WSC Perspective’ (3 November 2021) 3.

¹⁴⁶ EC, ‘Impact Assessment Report’ (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 2/4. 143.

¹⁴⁷ *ibid.*

¹⁴⁸ See: www.worldshipping.org/news/european-parliament-proposed-amendments-to-eu-ets-put-green-deal-goals-at-risk

¹⁴⁹ EC, ‘Impact Assessment Report’ (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 1/4. 94.

¹⁵⁰ CE Delft & DLR, ‘Research for TRAN Committee – Maritime Shipping, Aviation and the EU ETS: Challenges and Impacts, Final Report’ (2021) European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies. 81.

¹⁵¹ EC, ‘Impact Assessment Report’ (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 1/4. 94-96.

¹⁵² N Wissner et al., ‘Integration of Maritime Transport in the EU Emissions Trading System (Öko-Institut e.V. and Transport and Environment, Berlin/Brussels July 2021) 13.

¹⁵³ EC, ‘Impact Assessment Report’ (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 1/4. 96.

¹⁵⁴ *ibid.* 97.

¹⁵⁵ S Parker et al., ‘Harnessing the EU ETS to Reduce International Shipping Emissions: Assessing the Effectiveness of the Proposed Policy Inclusion of Shipping in the EU ETS to Reduce International Shipping Emissions’ (8 December 2021) UMAS/Environmental Defense Fund Europe. 36.

¹⁵⁶ EC, ‘Impact Assessment Report’ (Brussels 14.7.2021) SWD(2021) 601 Final. Part 1/4. 98.

¹⁵⁷ *ibid.*

¹⁵⁸ Interpol, ‘Guide to Carbon Trading Crime’ (2013) 24-25.

¹⁵⁹ EC, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low- carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC (Brussels 14.7.2021) COM(2021) 562 Final, 2.

¹⁶⁰ COM(2021) 562 Final.

¹⁶¹ COM(2021) 562 Final 1.

¹⁶² COM(2021) 562 Final 4.

¹⁶³ COM(2021) 562 Final 5.

¹⁶⁴ COM(2021) 562 Final 5.

¹⁶⁵ COM(2021) 562 Final 5.

¹⁶⁶ Article 2(c), see also recital 4.

¹⁶⁷ Article 2, COM(2021) 562 Final.

¹⁶⁸ COM(2021) 562 Final (12)-(13).

¹⁶⁹ U Einemo, ‘Fuel EU Maritime, EU ETS and bunker tax proposals raise many questions’ (2.8.2021) IBIA: <https://ibia.net/2021/08/02/ibia-has-studied-the-european-commissions-fit-for-55-package-of-proposals/>

¹⁷⁰ COM(2021) 562 Final, Article 1.

¹⁷¹ COM(2021) 562 Final, Article 4.

¹⁷² COM (2021) 562 Final, Article 4(3).

¹⁷³ COM (2021) 562 Final, Article 1.

¹⁷⁴ COM (2021) 562 Final, Article 5(1)-5(2).

¹⁷⁵ COM (2021) 562 Final, Article 5(3)

¹⁷⁶ COM (2021) 562 Final, Article 5(4).

¹⁷⁷ Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council (AFIR).

¹⁷⁸ Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council (Brussels 14.7.2021) COM(2021) 559 Final. 3-4.

¹⁷⁹ COM (2021) 562 Final, Article 6(1).

¹⁸⁰ COM (2021) 562 Final, Article 6(2)-6(4).

¹⁸¹ COM (2021) 562 Final, Article 7.

¹⁸² COM (2021) 562 Final, Articles 10, 11, 13.

¹⁸³ COM (2021) 562 Final.

¹⁸⁴ COM (2021) 562 Final, Article 15.

¹⁸⁵ COM (2021) 562 Final, Article 17.

¹⁸⁶ COM (2021) 562 Final, Article 18.

¹⁸⁷ COM (2021) 562 Final, Article 19.

¹⁸⁸ There is some discrepancy between the definitions in this regard. The definition of Regulation 757/2015 is shorter and does not refer to ISM Code. Yet the 6th recital of the FuelEU proposal refers to exactly the same wording as that of the ETS proposal discussed above.

¹⁸⁹ ECSA, 'ECSA Position Paper on the FuelEU Maritime Proposal' (October 2021) 3.

¹⁹⁰ *Ibid.* 2.

¹⁹¹ U Einemo, 'Fuel EU Maritime, EU ETS and bunker tax proposals raise many questions' (2.8.2021) IBIA: <https://ibia.net/2021/08/02/ibia-has-studied-the-european-commissions-fit-for-55-package-of-proposals/>

¹⁹² *Ibid.*

¹⁹³ ECSA&ICS, 'FuelEU Maritime – Avoiding Unintended Consequences: Efficacy and implications of potential measures, including new EU fuel standards, to help decarbonize international shipping' (May 2021) 12.

¹⁹⁴ COM (2021) 562 Final, Article 20.

¹⁹⁵ COM (2021) 562 Final, Article 21.

¹⁹⁶ ECSA, 'ECSA Position Paper on the FuelEU Maritime Proposal' (October 2021) 3.

¹⁹⁷ ECSA&ICS, 'FuelEU Maritime – Avoiding Unintended Consequences: Efficacy and implications of potential measures, including new EU fuel standards, to help decarbonize international shipping' (May 2021) 14.

¹⁹⁸ *Ibid.* 13.

¹⁹⁹ *Ibid.*

²⁰⁰ MARPOL Annex VI, Regulations 16, 18 and Appendix 6 in particular.

²⁰¹ Directive 2016/82 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels.

²⁰² Proposal for a Council Directive Restructuring the Union Framework for the Taxation of Energy Products and Electricity (recast) (Brussels 14.7.2021) COM(2021) 563 Final. 1.

²⁰³ COM(2021) 563 Final, 2.

²⁰⁴ EC, Revision of the Energy Taxation Directive (ETD): Questions and Answers (14 July 2021) 2.

²⁰⁵ Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta neuvoston direktiiviksi energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehyksen uudistamisesta (uudelleenlaadittu energiaverodirektiivi) (Helsinki, 7.10.2021) U 56/2021 vp. 3.

²⁰⁶ COM(2021) 563 Final 13.

²⁰⁷ COM(2021) 563 Final 3. Regarding the interpretation challenges, two treaties are mentioned in the proposal that may cause such issues, the revised Mannheim Convention of 17 October 1868 for the Navigation of the Rhine ("the Mannheim Convention") and the Agreement on Customs and Tax Regime for Gas Oil Applicable to the Stores of Vessels in Rhine Navigation, adopted in Strasbourg on 16 May 1952 (the Strasbourg Agreement). However, as per Article 351(2) TFEU, if Member States have entered into treaties with third countries that are incompatible with EU law, they have to take necessary measures to eliminate such incompatibilities. In this regard, the proposal's Recital 23 notes: "fuel used for waterborne navigation, including fishing, should also be taxed, and the Member States party to international agreements providing for the exemption of that fuel, have to, by the date of the application of this Directive, ensure they eliminate the incompatibilities." However, Finland is not a party to these treaties and thus the interpretation challenges are not a concern here.

²⁰⁸ COM(2021) 563 Final, Article 15(1).

²⁰⁹ COM(2021) 563 Final, Article 15(3).

²¹⁰ COM(2021) 563 Final, 15-16.

²¹¹ COM(2021) 563 Final, Article 15(1) and Annex I.

²¹² COM(2021) 563 Final, Article 15(4).

²¹³ COM(2021) 563 Final, Recital 24, Article 15(1).

²¹⁴ COM(2021) 563 Final, Article 15(5).

²¹⁵ COM(2021) 563 Final, 16.

²¹⁶ COM(2021) 563 Final.

²¹⁷ Verohallinto, 'Excise taxation' <https://www.vero.fi/en/businesses-and-corporations/taxes-and-charges/excise-taxation/>

²¹⁸ Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta neuvoston direktiiviksi energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehyksen uudistamisesta (uudelleenlaadittu

- energiaverodirektiivi) (Helsinki, 7.10.2021) U 56/2021 vp. 3. 12.
- ²¹⁹ EC, Revision of the Energy Taxation Directive (ETD): Questions and Answers (14 July 2021) 3.
- ²²⁰ Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta neuvoston direktiiviksi energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehyksen uudistamisesta (uudelleenlaadittu energiaverodirektiivi) (Helsinki, 7.10.2021) U 56/2021 vp. 3. 13.
- ²²¹ EC, Revision of the Energy Taxation Directive (ETD): Questions and Answers (14 July 2021) 3.
- ²²² A Adamopoulos et al, 'EU Proposes tax on all shipping emissions and to limit polluting fuels' (14.7.2021) Lloyd's List. <https://loydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1137545/EU-proposes-tax-on-all-shipping-emissions-and-to-limit-polluting-fuels>
- ²²³ K O'Brien, 'No Pain, No Gain? Implementing the European Green Deal and Getting the EU Maritime Transport Sector "Fit for 55"' (29 July 2021) EU Law Analysis – Expert insight into EU law developments.
- ²²⁴ EC, 'Inception Impact Assessment' (4.3.2020) Ref. Ares(2020)1350088. 2.
- ²²⁵ ClientEarth, 'Energy Taxation Directive – Identifying the Appropriate Legal Basis' (June 2021) 3.
- ²²⁶ Proposal for a Council Directive Restructuring the Union Framework for the Taxation of Energy Products and Electricity (recast) (Brussels 14.7.2021) COM(2021) 563 Final. 1.
- ²²⁷ Case C-344/04 (IATA) at the CJEU.
- ²²⁸ See e.g. de Baere, G.; Ryngaert, C.M.J. 'The ECJ's Judgment in Air Transport Association of America and the International Legal Context of the EU's Climate Change Policy', (2013) *European Foreign Affairs Review*, Volume 18, issue 3, 389 – 409.
- ²²⁹ For more details, see e.g. H. Ringbom, 'Global Problem – Regional Solution? – International Law Reflections on an EU CO₂ Emissions Trading Scheme for Ships', *The International Journal for Marine and Coastal Law*, 2011, 613.
- ²³⁰ Ships that have entered the port as a place of refuge in distress are subject to somewhat different legal conditions, under customary international law.
- ²³¹ Internal matters, Place of refuge
- ²³² See e.g. R.R. Churchill & A.V. Lowe, *The Law of the Sea* (Manchester University Press, 1999), 65-69.
- ²³³ E.g. UNCLOS Arts. 21, 211 and 220.
- ²³⁴ E.g. UNCLOS Arts. 25(2), 211(3) and 255.
- ²³⁵ According to the final paragraph of the UNCLOS Preamble, "matters not regulated by this Convention continue to be governed by the rules and principles of general international law".
- ²³⁶ UNCLOS Art. 8.
- ²³⁷ *Case concerning Military and Paramilitary Activities In and Against Nicaragua* (Nicaragua v. United States of America), 27 June 1986, ICJ Reports 1986, para 213. See also A.V. Lowe, 'The Right of Entry into Maritime Ports in International Law' *San Diego Law Review*, 1977, 597-622, L. de la Fayette, 'Access to Ports in International Law' *International Journal of Marine and Coastal Law*, 1996, 1-22.
- ²³⁸ See also, to this effect, UNCLOS Arts. 25(2) and 211(3).
- ²³⁹ Generally, see B. Marten, *Port State Jurisdiction and the Regulation of International Merchant Shipping* (Springer, 2014); E.J. Molenaar, 'Port State Jurisdiction: Toward Comprehensive, Mandatory and Global Coverage', *Ocean Development & International Law*, 2007; H. Ringbom, *The EU Maritime Safety Policy and International Law* (Brill, 2008); C. Ryngaert & H. Ringbom, 'Introduction: Port State Jurisdiction: Challenges and Potential' 31 *International Journal of Marine and Coastal Law*, 2016, 379; R. Churchill 'Port State Jurisdiction Relating to the Safety of Shipping and Pollution from Ships—What Degree of Extra-territoriality?' 31 *International Journal of Marine and Coastal Law*, 2016, 454; S. Kopela, 'Port-State Jurisdiction, Extraterritoriality, and the Protection of Global Commons', 47 *Ocean Development & International Law*, 2016. ²⁴⁰ See also UNCLOS Arts. 227 and 300.
- ²⁴¹ E.g. UNCLOS Arts. 225 and 232. See also Final Report of the International Law Association's Committee on Coastal State Jurisdiction relating to Marine Pollution over Vessel-Source Pollution, 2000 ('the ILA Report') at 456, 495 and 497 and Ringbom 2008, n. 239 above, 228-229.
- ²⁴² The US requirements were introduced in the 1990 Oil Pollution Act (33 U.S.C. 2701-2761) in the aftermath of the *Exxon Valdez* oil spill in Alaska in 1989. The EU double hull requirements (EU Regulations 417/2002 and 1726/2003) were based on MARPOL' standards but accelerated the timetable, following the sinking of the *Erika* and *Prestige* tankers in European Atlantic waters in 1999 and 2002.

²⁴³ This is different with respect to passing ships. Coastal States' jurisdiction to regulate static features of foreign ships passing through the territorial sea is specifically limited in UNCLOS Art. 21(2) to 'generally accepted international rules or standards'. On the interpretation of this phrase, see. e.g. the ILA Report, note 241 above. 473-481.

²⁴⁴ See notably *Sellers v. Maritime Safety Inspector*, CA 104/98, Judgment by the Court of Appeal in New Zealand, 5 November 1998.

²⁴⁵ See e.g. the sources referred to in note 239 above.

²⁴⁶ See also, to this effect, T.L. McDorman, 'Port State Enforcement: A Comment on Article 218 of the 1982 Law of the Sea Convention', (1997) 28(2) *Journal of Maritime Law and Commerce* 314; E.J. Molenaar, 'Residual Jurisdiction under IMO Regulatory Conventions', in H. Ringbom (ed.), *Competing Norms in the Law of Marine Environmental Protection, Focus on Ship Safety and Pollution Prevention*, Kluwer Law International, 1997, 201- 216; L.S. Johnson, *Coastal State Regulation of International Shipping* (Oceana Publications, Inc., 2004) 40; A.E. Boyle, 'EU Unilateralism and the Law of the Sea' 21(1) *International Journal of Marine and Coastal Law*, 2006,

24; and Swedish Case No. M 8471-03, Svea Court of Appeal, Environmental Court of Appeal (Miljööverdomstolen), Judgment of 24 May 2006.

²⁴⁷ See e.g. Article 1(3) of the 2001 Anti-fouling Systems Convention; Article 2(3) of the 2004 Ballast Water Management Convention and MARPOL Regulation I/21(8)(2). See also Article 4(1)(b) of the 2009 FAO Agreement on Port State Measures to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing (FAO Doc. C 2009/LIM/11-Rev. 1).

²⁴⁸ In the specific context of vessel-source pollution, it could also be argued that UNCLOS Art. 218 (referred to in section 2.3.1 above) *a contrario* suggests that there is no such extra-territorial port State jurisdiction in this field.

²⁴⁹ E.g. Section 59C of the Australian Great Barrier Reef Marine Park Act 1975, under which the punishable offence is "to enter an Australian port after navigating without a pilot if (a) a regulated ship navigates without a pilot in the compulsory pilotage area; and (b) the ship enters an Australian port under the command of the master who was in command of the ship during the navigation referred to in paragraph (a)." Another example is the (now removed) Australian rule from 2001 obliging ships to exchange ballast water on the high seas before entering Australian ports. That rule was modified in 2015 to align it with the international rules that had become applicable in the meantime.

²⁵⁰ See e.g. the reporting and notification requirements of Directive 2002/59 establishing a Community vessel traffic monitoring and information system and Regulation 2015/757 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport. See also M. Bevan 'Port State Jurisdiction over Vessel Information: Territoriality, Extra Territoriality and the Future of Shipping Regulation', in 31 *International Journal of Marine and Coastal Law*, 2016, 470-498 and Kopela, n. 239 above, 96-102)

²⁵¹ The most widely recognized principles are: active personality principle; the passive personality principle; the protective principle and the universality principle. See e.g. Cedric Ryngaert, *Jurisdiction in International Law* (2nd ed, Oxford University Press 2015).

²⁵² Ryngaert, n. 251 above, ch 4.

²⁵³ See eg the Final Report of the ILA's Committee on Extra-territorial Jurisdiction, International Law Association, Report of the Sixty-Seventh Conference, Helsinki, Finland, International Law Association, London, 1996) 521– 22 and 525. See also Ryngaert, n. 251 above, ch 4.

²⁵⁴ J. Crawford Brownlie's *Principles of Public International Law* (9th ed., Oxford University Press, 2019) 441.

A.F. Lowenfeld, *International Litigation and the Quest for Reasonableness, Essays in Private International Law* (Clarendon Press, 1996) 228–32; R. Jennings and A. Watts (eds), *Oppenheim's International Law Ninth Edition, Volume I Peace, Introduction and Part 1* (Longman 1992) 457–58, 468. See also §211 of the US Restatement (Fourth) on Foreign Relations Law published in 2018 discussed in W.S. Dodge, 'Jurisdiction in the Fourth Restatement of Foreign Relations Law' (20+17) 18 *Yearbook of Private International Law*, 153.

²⁵⁵ See E.J Molenaar, note 239 above and *id.*, 'Port and Coastal States' in D.R. Rothwell, A.G. Oude Elferink,

K.N. Scott, T. Stephens (eds.) *The Oxford Handbook of the Law of the Sea* (Oxford University Press, 2015) 280. ²⁵⁶ In particular UNCLOS Arts. 226, 228 and 230, which provide for limitations on the inspections of ships in ports and on the penalties to be employed, but also establish a requirement not

unnecessarily to delay ships in ports, and a possibility for the flag State, under certain conditions, to take over the proceedings instituted by the port State.

²⁵⁷ *M/V Norstar* (Panama v. Italy) ITLOS Judgment No. 25, 10 April 2019.

²⁵⁸ *Norstar* concerned bunkering on the high seas. The decision has been widely criticized, see e.g. A. Honniball at <https://site.uit.no/nclos/2019/06/04/freedom-of-navigation-following-the-m-v-norstar-case/> and H. Ringbom, 'Ships in ABNJ – Broadening Jurisdictional Opportunities for Non-Flag States' in V. de Lucia et al. (eds.) *International Law and Marine Areas Beyond National Jurisdiction* (Brill, 2022), with further references.

²⁵⁹ This distinguishes them from e.g. the rules on sulphur in fuel requirements, which were based on the fuel actually in the tanks, further strengthened in 2020 by a prohibition to carry non-compliant fuel.

²⁶⁰ Article 2c in Fuel EU Maritime proposal, and Article 3g(1) in EU ETS proposal.

²⁶¹ Article 3g(1) Recital 17: "it is appropriate that the EU ETS covers a share of the emissions from voyages between a port under the jurisdiction of a Member State and port under the jurisdiction of a third country, with the third country being able to decide on appropriate action in respect of the other share of emissions". See also ETS proposal p. 155 on the coverage options considered by the Commission.

²⁶² Apart from this, Article 23(1) of the draft Regulation includes a generic sanction to be used for non-compliance with the Regulation more generally. This provision offers few details, e.g. on the relationship to penalties under Article 20, but only includes the standard EU law requirements that Member States shall lay down these sanctions and that the sanctions must be effective, proportionate and dissuasive.

²⁶³ See, e.g., the 1999 International Convention on the Arrest of Ships (UN Doc. A/CONF.188/6); Articles 1 and 2, which incidentally includes "damage or threat of damage caused by the ship to the environment . . . or related interests" among the valid claims for arrest.

²⁶⁴ Trelleborg, Sellers

²⁶⁵ Ministry of Transport and Communications, 'Government Resolution on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Maritime and Inland Waterway Transport' (2020) Publications of the Ministry of Transport and Communications. 8-9.

²⁶⁶ *Ibid.* 7.

²⁶⁷ *Ibid.* 22.

²⁶⁸ *Ibid.* 21.

²⁶⁹ Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi (päästökauppadirektiivin, markkinavakausvarantopäätöksen ja meriliikenteen MRV-asetuksen muuttaminen) sekä komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston päätökseksi (markkinavakausvarantopäätöksen muuttaminen) (Helsinki, 7.10.2021) U 60/2021 vp. 28.

²⁷⁰ Ministry of Transport and Communications, 'Government Resolution on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Maritime and Inland Waterway Transport' (2020) Publications of the Ministry of Transport and Communications. 7.

²⁷¹ *Ibid.*

²⁷² Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi (päästökauppadirektiivin, markkinavakausvarantopäätöksen ja meriliikenteen MRV-asetuksen muuttaminen) sekä komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston päätökseksi (markkinavakausvarantopäätöksen muuttaminen) (Helsinki, 7.10.2021) U 60/2021 vp. 28.

²⁷³ Ministry of Transport and Communications, 'Government Resolution on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Maritime and Inland Waterway Transport' (2020) Publications of the Ministry of Transport and Communications. 21.

²⁷⁴ Letter from Minister Timo Harakka to H.E. Frans Timmermans, Executive Vice-President for the European Green Deal, European Commission (Helsinki 8.7.2021) 1.

²⁷⁵ Seafarer's Unions, 'Finnish dependence on winter navigation must be taken into account by EU Emissions Trading' (27.10.2021) <https://www.smu.fi/uutiset/seafarers-unions-finnish-dependence-on-winter-shipping-must-be-taken-into-account-by-eu-emissions-trading/>

²⁷⁶ TRAFICOM & Swedish Transport Agency, 'Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules' (8.1.2019) 8-9.

²⁷⁷ *Ibid.* 6.

²⁷⁸ *ibid.* 11.

²⁷⁹ Kauppalaivatilasto 2018', Liikenteen turvallisuusvirasto. 9.

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Kauppalaivasto-2018-vuositolasto.pdf>

²⁸⁰ *ibid.* 17.

²⁸¹ H Busk and V Härmälä, 'Katsaus kauppamerenkulun tilanteeseen Suomessa' (2016) PTP raporteja 252. 44. ²⁸² Ministry of Transport and Communications, 'Government Resolution on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Maritime and Inland Waterway Transport' (2020) Publications of the Ministry of Transport and Communications. 11.

²⁸³ Declaration on Zero Emission Shipping by 2050, UN Climate Conference 2021 (COP26) (Glasgow, 1 November 2021. <https://em.dk/media/14312/declaration-on-zero-emission-shipping-by-2050-cop26-glasgow-1-november-2021.pdf>

²⁸⁴ The Clydebank Declaration for Green Shipping Corridors, UN Climate Conference 2021 (COP26) (Glasgow, 10.11.2021.) <https://ukcop26.org/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/>

²⁸⁵ *ibid.*

²⁸⁶ 6§ Ilmastolaki (609/2015); Hallituksen esitys eduskunnalle ilmastolaiksi (Luonnos 2.7.2021) https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/4592289f-ee2e-456e-a17b-66b71dd124bf/d46a96da-111c-43d3-a6cd-5272916ad733/LAUSUNTOPYYNTO_20210706110335.PDF

²⁸⁷ Ministry of Transport and Communications, 'Maritime Transport Strategy for Finland 2014-2022' (12 March 2014) Publications of the Ministry of Transport and Communications 24/2014. 3.

²⁸⁸ *ibid.* 61.

²⁸⁹ The Prime Minister's Office, 'Government Resolution on Finland's Maritime Policy Guidelines: From the Baltic Sea to the Oceans' (2019) Publications of the Prime Minister's Office 2019:7. 20-21.

²⁹⁰ Ministry of Transport and Communications, 'Government Resolution on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Maritime and Inland Waterway Transport' (2020) Publications of the Ministry of Transport and Communications. 11-12.

²⁹¹ *ibid.* 25.

²⁹² *ibid.*

²⁹³ *ibid.*

²⁹⁴ STTK, 'Merimiesliitot: EU:n päästökauppa ei saa koskettaa talvimerenkulkua' (26.10.2021) <https://www.sttk.fi/2021/10/26/merimiesliitot-eun-paastokauppa-ei-saa-koskettaa-talvimerenkulkua/>

²⁹⁵ EK, 'EU:n energia- ja ilmastolainsäädännön uudistaminen vuoteen 2030: Merenkulun päästökaupassa hyvitettävä talvivaikutus' (Toukokuu 2021) https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/05/Onepager_2021_5-EU-merenkulun-paastokauppa-lopullinen.pdf

²⁹⁶ Suomen Varustamot, 'Talvimerenkulun erityispiirteiden huomioiminen merenkulun päästökaupassa on välttämätöntä' (15.7.2021) <https://shipowners.fi/talvimerenkulun-erityispiirteiden-huomioiminen-merenkulun-paastokaupassa-on-valttamatonta/>

²⁹⁷ Metsäteollisuus, 'Keskuskauppakamari ja Metsäteollisuus: Suomen kilpailukyky tarvitsee selkeitä ratkaisuja EU: merenkulun päästökaupassa' (14.7.2021) <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/suomen-kilpailukyky-tarvitsee-selkeita-ratkaisuja-eu-n-merenkulun-paastokaupassa>

²⁹⁸ Ministry of Transport and Communications, 'Government Resolution on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Maritime and Inland Waterway Transport' (2020) Publications of the Ministry of Transport and Communications. 7.

²⁹⁹ Jussi Mälkiä, 'Emissions trading is needed to support carbon-neutral shipping' (8.10.2021) Meriaura Group Blog. <https://meriaura.fi/en/paastokauppa-tukemaan-hiilineutraalia-merenkulkua/>

³⁰⁰ EK, 'EU:n energia- ja ilmastolainsäädännön uudistaminen vuoteen 2030: Merenkulun päästökaupassa hyvitettävä talvivaikutus' (Toukokuu 2021) https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/05/Onepager_2021_5-EU-merenkulun-paastokauppa-lopullinen.pdf

³⁰¹ MEPC 76/3/5 (7 April 2021) 2.

³⁰² Resolution MEPC.245(66), as amended by Resolution MEPC.281(70); See also, e.g., T Mattson, 'Preedict – EEDI Power Correction Factors FJ for Ice Class Ships' (2020) Research Report No 105. Winter Navigation Research Board. 4.

³⁰³ EE-WG 2/2/9 (2 December 2011) 3.

³⁰⁴ MaritimeCyprys, 'Maritime Compliance: EEXI – Energy Efficiency Existing Ship Index' (3.2.2021) <https://maritimecyprus.com/2021/02/03/maritime-compliance-eexi-energy-efficiency-existing-ship-index/>

³⁰⁵ ISWG-GHG 8/J/7, '2021 Guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods (CII Guidelines, G1) (Adopted on 17 June 2021) 1.

³⁰⁶ MEPC 76/3/5 and 76/7/21.

³⁰⁷ MEPC 76/INF.67 (7 April 2021) 10.

³⁰⁸ MEPC, 76th Session, Report of the Marine Environment Protection Committee on its Seventy-Sixth Session. MEPC 76/15. 8; MEPC 76/3/5 (Estonia et al.)

³⁰⁹ Letter from Minister Timo Harakka to H.E. Frans Timmermans, Executive Vice-President for the European Green Deal, European Commission (Helsinki 8.7.2021) 1.

³¹⁰ *ibid.* 2.

³¹¹ *ibid.*

³¹² ACT concerning the conditions of accession of the Kingdom of Norway, the Republic of Austria, the Republic of Finland and the Kingdom of Sweden and the adjustments to the Treaties on which the European Union is founded, FINAL ACT - III. OTHER DECLARATIONS - C. Joint Declarations: The present Member States / Republic of Finland - 22. Joint Declaration on safeguarding Finland's transport links (29.8.1994) Official Journal C 241. 0390.

³¹³ See e.g., Perustuslakivaliokunnan lausunto 11/2003 vp. 1-2.

³¹⁴ Priority question for written answer P-002151/2021 to the Commission, Rule 138, Elsi Katainen (Renew), Subject: Navigation in ice conditions and emissions trading (21 April 2021).

³¹⁵ P-002151/202, Answer given by Executive Vice-President Timmermans on behalf of the European Commission (8.6.2021)

³¹⁶ EC, 'Inception Impact Assessment' (29.10.2020) Ref. Ares(2020)6081850. 4

³¹⁷ Since the FuelEU proposal targets the yearly average greenhouse gas intensity of the energy used on-board during a reporting period, it emphasizes the type of fuel used by the ships, much more than the quantity, and is therefore inappropriate for addressing this particular concern.

³¹⁸ A recent calculation by the Finnish Ministry of Transport and Communication of 3 February 2022, estimated the additional of ice-covered ships to represent 3-6% of the overall price increase of the three EU measures. <https://www.lvm.fi/-/siirtyma-vahapaastoiseen-meriliikenteeseen-eu-ssa-lisaa-kustannuksia-samalla-ilmastotoimet-luovat-liiketoimintaa-1650474>

³¹⁹ IA Report 4/4, SWD(2021) 601 final, p. 34: Based on a recent analysis (Ricardo 2021), carbon pricing would result in minor additional commodity prices for goods transported in ice-strengthened vessels, assuming 6 months of ice-navigation per year and a range of ad valorem transport costs between 1% and 15%, depending on the nature of the cargo. In view of this, the competitiveness of industry sectors reliant on maritime transport in Nordic and Arctic regions were not expected to be significantly affected in general terms.

³²⁰ See at note 306 above.

³²¹ Directive 2016/82 referred to in note 201 above. In this case the distinction was based in an international convention (Marpol Annex VI).

³²² See e.g. Wissner et al. quoted at note 152 above. In this respect it may be noted that since the overwhelming part of Finnish seaborne trade is to or from another EU port, the tactical avoidance of Finnish port is only partially effective. Even if the ship seeking to avoid the costs would choose a Russian port as a tactical measure before – or instead of – calling at a Finnish port, it would in most case still cover 50% of the voyage with EU ETS allowances.

³²³ The Prime Minister's Office, 'Government Resolution on Finland's Maritime Policy Guidelines: From the Baltic Sea to the Oceans' (2019) Publications of the Prime Minister's Office 2019:7. 20. See also *id.* at p. 11: "The international competitiveness of Finland's maritime industry is based on innovation, constant renewal and specialisation. ... The changing operating environment of logistics opens up new opportunities for the growth of the maritime cluster. Maintaining competitiveness and making use of opening markets are key growth factors for the maritime cluster ... "Finland's marine energy competence can be further developed, scaled and exported with the aim of creating ecological, sustainable and as carbon neutral energy production as possible."

Παράρτημα III

Ακαδημαϊκές εργασίες και δημοσιεύσεις ναυτιλιακών ενώσεων, σχετικά με τους κανονισμούς του IMO και της ΕΕ για τις εκπομπές GHG από πλοία και την εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου.

1	Influence of the European Union (EU) on International Maritime Organization (IMO) about the Market-based Measures on Emissions, Levent KIRVAL, Ufuk Yakup ÇALISKAN	<u>W</u>
2	Regulating international maritime shipping's air polluting emissions monitoring, reporting, verifying and enforcing regulatory compliance, Thomas L. Brewer, School of Business, Georgetown University, Washington, DC, USA	<u>W</u>
3	Monitoring the Carbon Footprint of Dry Bulk Shipping in the EU: An Early Assessment of the MRV Regulation, by George Panagakos(1), Thiago de Sousa Pessôa(1), Nick Dessypris(2), Michael Bruhn Barfod (1) and Harilaos N. Psaraftis(1), (1) Department of Technology, Management and Economy, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark & (2) Department of Hygiene, Epidemiology and Medical Statistics Medical School, National and Kapodistrian University of Athens, 11527 Athens, Greece	<u>W</u>
4	A comparative evaluation of market based measures for shipping decarbonization, Harilaos N. Psaraftis*, Thalís Zís, Sotiria Lagouvardou, Department of Technology, Management and Economics, Technical University of Denmark	<u>W</u>
5	Climate Regulations Are About to Disrupt Global Shipping by Willy C. Shih, Harvard Business Review	<u>W</u>
6	The potential for cost-effective air emission reductions from international shipping through designation of further Emission Control Areas in EU waters with focus on the Mediterranean Sea, International Institute for Applied Systems Analysis, by Janusz Cofala, Markus Amann, Jens Borken-Kleefeld, Adriana Gomez-Sanabria, Chris Heyes, Gregor Kiesewetter, Robert Sander, Wolfgang Schoepp, Mike Holland, Hilde Fagerli, Agnes Nyiri	<u>W</u>
7	Implications of application of the EU Emissions Trading System (ETS) to international shipping, and potential benefits of alternative Market-Based Measures (MBMs) by Dr Edmund Hughes for European Community Shipowners' Associations (ECSA) & International Chamber of Shipping (ICS)	<u>W</u>
8	FuelEU Maritime – Avoiding Unintended Consequences, Efficacy and implications of potential measures, including new EU fuel standards, to help decarbonise international shipping by Dr Edmund Hughes for European Community Shipowners' Associations (ECSA) & International Chamber of Shipping (ICS)	<u>W</u>
9	Assessing the costs and environmental benefits of IMO regulations of ship-originated SO _x and NO _x emissions in the Baltic Sea by Sari Repka, Anne Erkkilä-Välimäki, Jan Eiof Jonson, Maximilian Posch, Janne Törrönen & Jukka Pekka Jalkanen	<u>W</u>

10	A comparative analysis between EU MRV and IMO DCS – the need to adopt a harmonised regulatory system, Boviatsis M. ⁽¹⁾ , Tselentis B. ⁽²⁾ , ⁽¹⁾ PhD Candidate, University of Piraeus, Department of Maritime Studies, ⁽²⁾ Professor, University of Piraeus, Department of Maritime Studies	<u>W</u>
11	Achievements and challenges on the implementation of the European Directive on Port State Control Armando Graziano, Maximo Q. Mejia Jr., Jens-Uwe Schröder-Hinrichs, Maritime Risk and System Safety (MaRiSa) Research Group, World Maritime University, Malmö, Sweden	<u>W</u>
12	A review of law and policy on decarbonization of shipping, Junjie Dong, Jia Zeng, Yanbin Yang and Hua Wang, - Shenzhen University, China	<u>W</u>
13	Focus on ship responsibility: from Port State Control back to the flag state, Peter Harts, Universiteit Gent	<u>W</u>
14	Improving Port State Control (PSC) performance using a risk-based approach: An in-depth literature review, Iakovos-Marios Ventouris, Post Graduate studying program in shipping, Department of Marine Studies, University of Piraeus	<u>W</u>

Παράρτημα IV

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Βαθμολογίες από 1 έως 10. Καλύτερη βαθμολογία (ισχυρότερος συντελεστής βαρύτητας) το (1) και χειρότερη το (10), για κάθε παράμετρο παρακάτω.

(Είναι δυνατή η επιλογή της ίδιας βαθμολογίας σε περισσότερες της μιας παραμέτρους, καθώς και η βαθμολόγηση με δεκαδικούς αριθμούς).

Παράμετρος	Βαθμολόγηση
Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος (EIO)	
Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος (EIB)	
Περιβαλλοντική επιβάρυνση του όλου κύκλου ζωής	
Η ωρίμανση των τεχνολογιών πρόωσης	
Ευφλεκτότητα καυσίμου	
Συνθήκες αποθήκευσης – διανομής	
Τοξικότητα / επικινδυνότητα καυσίμων	

Για τη στάθμιση των απαντήσεων:

Dead weight tonnage του στόλου της εταιρείας σας	
--	--

Παρακαλώ βρείτε συνημμένα κείμενο επεξηγήσεων σχετικά με τις επιδιώξεις της εργασίας.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Παράμετρος	Βαθμολόγηση
Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος (EIO)	3
Ενεργειακά ισοδύναμο βάρος (EIB)	2
Περιβαλλοντική επιβάρυνση του όλου κύκλου ζωής	1
Η ωρίμανση των τεχνολογιών πρόωσης	7
Ευφλεκτότητα καυσίμου	2
Συνθήκες αποθήκευσης – διανομής	3

Dead weight tonnage του στόλου της εταιρείας σας	XXXXXXXX
--	----------

Ερμηνεία βαθμολόγησης: Το σημαντικότερο κριτήριο επιλογής σας ενός καυσίμου είναι η περιβαλλοντική συμβατότητά του. Η ωριμότητα για χρήση της τεχνολογίας πρόωσης βαραίνει λιγότερο στην κρίση σας.

A/A ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

1	European Commission: Reducing emissions from the shipping sector	W
2	Συμφωνία του Παρισιού	W
3	FuelEU Maritime Regulation	W
4	Fit for 55 package	W
5	Ρύθμιση αερίων του θερμοκηπίου από πλοία, Δρ. Linda Finska & Henrik Ringbom, επικεφαλής της έρευνας, Πανεπιστήμιο Åbo Akademi, 10/2/2022	W
6	DNV, «Collaboration is key to scale up fuel availability in time», IMO and EU regulatory framework for GHG emissions reduction from international shipping	W
7	IMO ACTION TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM INTERNATIONAL SHIPPING	W
8	Ο Ναυτιλιακός Τομέας και η Προβληματική του Απανθρακοποίηση: Μια Συστηματική Ανασκόπηση της Συμβολής των Εναλλακτικών Καυσίμων	W
9	Πώς να απανθρακοποιήσετε τη διεθνή ναυτιλία: επιλογές για καύσιμα, τεχνολογίες και πολιτικές”, Σελ. 14, Εικόνα 7, των Paul Balcombe, James Brierley, Chester Lewis, Line Skatvedt, Jamie Speirs, Adam Hawkes, Iain Staffell	W
10	U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Data Center, Fuel Properties Comparison	W
11	The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Hydrogen Storage	W
12	Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy, U.S. Department of Energy	W
13	Argus - independent media organisation	W
14	AGROENERGY – Βιοκαύσιμα	W
15	“Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants”, που εκπονήθηκε από την Nathalie BACHMANN, για την IEA Bioenergy	W
16	“Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability”, IEA Bioenergy	W
17	THE WORLD BANK, “Trends in Solid Waste Management”	W
18	Our World in Data, Per capita energy consumption	W
19	DNV, «Collaboration is key to scale up fuel availability in time», Εκτιμώμενα χρονοδιαγράμματα ωρίμανσης για μετατροπείς ενέργειας	W
20	Our World in Data, Energy Production and Consumption	W
21	Our World in Data, Years of fossil fuels reserves left,2020	W
22	Energy Reserves, Department of Energy and Mineral Engineering, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University	W
23	Euronews, Γενικός Γραμματέας του Φόρουμ Φυσικού Αερίου της Ανατολικής Μεσογείου (EMGF), Οσάμπα Μομπάρεζ	W
24	US E.I.A., What is the volume of world natural gas reserves	W
25	Hydrogen Production Processes, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy	W
26	Δημοσίευση “EUROPEAN ALUMINIUM A strategy for achieving aluminium’s full potential for circular economy by 2030”	W
27	U.S. Department of Energy (Reaction of Aluminum with Water to Produce Hydrogen - A Study of Issues Related to the Use of Aluminum for On-Board Vehicular Hydrogen Storage - Version 2 – 2010)	W
28	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY February 2019 (The Development and Characterization of Aluminum Fueled Power Systems and a Liquid Aluminum Fuel by Jason Zachary Fischman)	W
29	McGill University, Faculty of Engineering, Alternative Fuels Laboratory	W

30	Iowa State University, Michael V. Pak and Mark S. Gordon (Potential Energy Surfaces for the Al+O ₂ Reaction)	W
31	Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, M.S. Vlaskin, M.V. Gaykovich and A.O. Dudoladov (Modelling of Aluminium-fuelled Power Plant with Gas Turbine)	W
32	Aluminum-Water Energy System for Autonomous Undersea Vehicles των Nicholas B. Pulsone, Douglas P. Hart, Andrew M. Siegel, Joseph R. Edwards, and Kristen E. Railey	W
33	Reactive Metals as Energy Storage and Carrier Media: Use of Aluminum for Power Generation in Fuel Cell-Based Power Plants” Linda Barelli, Manuel Baumann, Gianni Bidini, Panfilo A. Ottaviano, Rebekka V. Schneider, Stefano Passerini and Lorenzo Trombetti	W
34	SHOCK INITIATION OF CRYSTALLINE BORON IN OXYGEN AND FLUORINE COMPOUNDS, Herman Krier, Rodney L. Burton and Stephen R. Pirman	W
35	"The Bioavailability and Toxicity of Aluminum in Aquatic Environments ", Robert W. Gensemer & Richard C. Playle.	W
36	NASA, Rocketology: NASA’s Space Launch System, Aluminum, By Beverly Perry	W
37	Recyclable metal fuels for clean and compact zero-carbon power, Jeffrey M. Bergthorson, Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Quebec, Canada	W
38	A dynamic state observer to control the energy consumption in aluminium production cells, Carlos Augusto P. Braga's - Joao Viana da Fonseca Netto's	W
39	Απόσπασμα δημοσίευσης κ. Πάνου Ζαχαριάδη, Τεχνικού Διευθυντή της Atlantic Bulk Carriers Management Ltd, Ναυτικά Χρονικά Ιανουάριος 2020, Τεύχος 226, σελίδα 86	W
40	World Nuclear Association	W
41	Our World in Data, Ποιες είναι οι ασφαλέστερες και καθαρότερες πηγές ενέργειας	W
42	"In search of price-feasible 'alternative' marine fuel", Stefka Wechsler, Argus Marine Fuels Editor, Lloyd's List, 28/8/2022	W
43	i.e.a. - International Energy Agency "Indicative shipping fuel cost ranges"	W
44	The World Ports Sustainability Program-What is LNG", World Port Sustainability Program	W
45	"Compressed Natural Gas (CNG)", UNITRONE	W
46	"Hydrogen Data", Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH	W
47	Ammonia as Effective Hydrogen Storage: A Review on Production, Storage and Utilization” των Muhammad Aziz, Agung Tri Wijayanta and Asep Bayu Dani Nandiyanto	W
48	AVCalc LLC	W
49	AVCalc LLC	W
50	The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel, Mustafa E. Tat and Jon H. Van Gerpen, Iowa State University, Ames, Iowa 50011	W
51	Decarbonization of Marine Fuels—The Future of Shipping, by Jerzy Herdzik, Marine Propulsion Plants Department, Gdynia Maritime University, Morska 81-87, 81-225 Gdynia, Poland.	W
52	"Εκπομπές και Απόδοση Υγροποιημένου Αερίου Πετρελαίου ως Καυσίμου Μεταφοράς: Ανασκόπηση", Πίνακας 3 σελ. 28, του Ross Ryskamp, Ph.D., Research Assistant Professor West Virginia University, Center for Alternative Fuels, Engines, and Emissions	W

53	Αξιολόγηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κύκλου ζωής για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων πλοίων: Μελέτη περίπτωσης πολύ μεγάλου μεταφορέα αργού (VLCC)", σελ. 12, Εικόνα 7, των Jinjin Huang, Hongjun Fan, Xiangyang Xu and Zheyu Liu.	W
54	"Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping", Table 2, των Joanne Ellis (SSPA Sweden AB) & Kim Tanneberger (LR EMEA), European Maritime Safety Agency (EMSA)	W
55	Alternative Fuels Insight", του Kristian Hammer, του DNV	W
56	ΑΡΧΗΓΕΙΟ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ, Α΄ ΚΛΑΔΟΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΥΛΙΚΑ	W
57	Explicit Equations to Estimate the Flammability of Blends of Diesel Fuel, Gasoline and Ethanol", Bardou, M., Pucher, G., Cracknell, R., Pellegrini, L. et al.	W
58	"Flammability limits: A review with emphasis on ethanol for aeronautical applications and description of the experimental procedure" Christian J.R. Coronado, João A. Carvalho Jr., José C. Andrade, Ely V. Cortez, Felipe S. Carvalho, José C. Santos, Andrés Z. Mendiburu	W
59	Colonial Pipeline Company, SAFETY DATA SHEET Biodiesel (all grades)	W
60	Συγκριτική Ανασκόπηση Εναλλακτικών Καυσίμων για τον Ναυτιλιακό Τομέα: Οικονομικές, Τεχνολογικές και Πολιτικές Προκλήσεις για την Εφαρμογή Καθαρής Ενέργειας, Πίνακας 1, των Yifan Wang και Laurence A. Wright	W
61	Liquefied petroleum gas (LPG), U.S. National Fire Chiefs Council	W
62	Μελέτη των επιπτώσεων των τύπων αποθήκευσης στην απόδοση των πρατηρίων ανεφοδιασμού CNG", Buffer storage system, των Mahmood Farzaneh-Gord, Mahdi Deymi-Dashtebayaz και Hamid Reza Rahbari	W
63	National Library of Medicine, U.S. Department of Health	W
64	ATSDR's Substance Priority List	W
65	Σελίδα πόρων της λίστας προτεραιότητας ουσίας (SPL), του Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)	W
66	"SPL 2019" of ATSDR	W
67	Έγγραφο υποστήριξης στη λίστα προτεραιότητας ουσιών 2022 (ATSDR)	W
68	"ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ, ΥΓΕΙΑΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ", του Υπουργείου Μεταφορών Η.Π.Α.	W
69	Ανάλυση Φυσικού Αερίου: Enbridge Gas, Canada	W
70	Our World in Data, Ποσοστά θανάτων ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	W
71	"Hydrogen Production Processes", U.S. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy	W
72	The IDEALHY Consortium, Liquid Hydrogen Outline	W
73	World Shipping Council,	W
74	Προβληματισμοί και προτάσεις για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, της INTERTANKO κατά την 79η σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (MEPC/79/7/3)	W
75	Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών για την αντιμετώπιση του παγκόσμιου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής	W
76	Προβαλλόμενα Κόστη Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας το 2020 σε σχέση με την πρωτογενή ενέργεια και τις τοπικές συνθήκες ανά περιοχή – i.e.a.	W

77	ELGIN RECYCLING, Scrap Aluminum Prices	W
78	Decarbonizing Maritime Transport: The Importance of Engine Technology and Regulations for LNG to Serve as a Transition Fuel, Elizabeth Lindstad, Gunnar S. Eskeland, Agathe Riialand and Anders Valland	W
79	"CSL concludes B100 biofuel tests with results showing 23% CO ₂ reduction", 10/12/2021, Ship Technology	W
80	CCS is a climate change technology	W

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΩΝ

ή <u>vi</u> ή <u>1</u> ή (6)	Σύμβολο ή αριθμός ή λέξη μπλε υπογραμμισμένα → → Παραπομπή σε σημείο ή σελίδα του κειμένου
<u>Πίνακας 1</u> <u>Σχήμα1</u>	Λέξη ή Αριθμός σε σχήμα ή πίνακα υπογραμμισμένα μπλε → → Επαναφορά στο σημείο παραπομπής του κειμένου
[W-59]	W - Έγγραφο ή Δημοσίευση στο Web/- αύξων αριθμός στις βιβλιογραφικές αναφορές
ΔΚΠ	Διεθνές Κανονιστικό Πλαίσιο - Το σύνολο των διεθνών συμβάσεων και ρυθμιστικών κανόνων
GHG	Αέρια θερμοκηπίου
EU Green Deal	Οι προσπάθειες να είναι η EU η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος
Fit for 55 package	Η επίτευξη του κλιματικού στόχου της EU για μείωση των εκπομπών της EU κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 καθίσταται νομική υποχρέωση
ETS	Emission Trading System - Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ένα σύστημα «ανώτατο όριο και εμπορία»
BMR	Biennial Monitoring Report - Διετής Έκθεση Παρακολούθησης
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation - Κανονισμός για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων
'at berth'	Ο ορισμός του «σε ελλιμενισμό»
OPS	Onshore Power Supply - Η παροχή χερσαίας (ηλεκτρικής) ενέργειας
NMFT	No More Favorable Treatment - Όχι πιο ευνοϊκή μεταχείριση
MEPC	Marine Environment Protection Committee - Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος
MEPC 76	Υιοθέτηση μέτρων μείωσης των εκπομπών GHG από τη ναυτιλία
MEPC 77	Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής - μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία
MEPC 78	Ανάπτυξη ενός καλαθιού μεσοπρόθεσμων μέτρων μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan - Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου
EEDI	Energy Efficiency Design Index - Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης
EEXI	Energy Efficiency Existing Ship Index - Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων
CII	Carbon Intensity Indicator - Δείκτης έντασης άνθρακα
RLCF	Renewable and Low-Carbon Fuels - Ανανεώσιμα καύσιμα και καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Αρίθμηση πίνακα - Θέμα	Σελίδα
Πίνακας 1: Συνοπτικός πίνακας μέτρων του IMO και της ΕΕ	4 & 5
Πίνακας 2: Αξιολόγηση καυσίμων από πηγές άνθρακα με βάση την ενεργειακή ογκομετρική πυκνότητα	14
Πίνακας 3: Αξιολόγηση καυσίμων από πηγές άνθρακα με βάση την φυσική κατάσταση και τις συνθήκες διαχείρισης	15
Πίνακας 4: Σύγκριση συνθηκών αποθήκευσης αερίων εναλλακτικών καυσίμων	16
Πίνακας 5: Πρώτες ύλες παραγωγής βιοκαυσίμων	19
Πίνακας 6: Παραγωγή βιοαερίου σε WWTP σε χώρες μέλη της Task 37	20
Πίνακας 7: Καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας 2001 / 2021 - Συγκρίσεις	25
Πίνακας 8: Σύγκριση τιμών ορυκτών καυσίμων	27
Πίνακας 9: Σύγκριση αυξητικών τάσεων τιμών ορυκτών καυσίμων	27
Πίνακας 10: Σύγκριση τιμών ορυκτών καυσίμων με σκόνη Αλουμινίου	33
Πίνακας 11: Εκτίμηση τιμής σκόνης Αλουμινίου από ανακύκλωση	33
Πίνακας 12: Ειδικά βάρη καυσίμων	43
Πίνακας 13: Ενεργειακά ισοδύναμος όγκος και βάρος	44
Πίνακας 14: Εκπομπές του όλου κύκλου ζωής εναλλακτικών καυσίμων – Περιβαλλοντική επιβάρυνση	47
Πίνακας 15: Συγκριτική αξιολόγηση ωρίμανσης τεχνολογίας πρόωσης	49
Πίνακας 16: Όρια, εύρος, σημείο ανάφλεξης και συντελεστής ευφλεκτότητας	52
Πίνακας 17: Συγκριτικής αξιολόγησης συνθηκών αποθήκευσης	54
Πίνακας 18: Βαθμολόγηση τοξικότητας συστατικών	55
Πίνακας 19: Στάθμιση τοξικότητας ανακυκλούμενου αργιλίου	56
Πίνακας 20: Συγκριτική αξιολόγησης τοξικότητας εναλλακτικών καυσίμων	57
Πίνακας 21: Στάθμιση αξιολόγησης παραμέτρων από ναυτιλιακές εταιρίες- υπολογισμός συντελεστών βαρύτητας	61
Πίνακας 22: Παράμετροι συγκριτικής ποιοτικής αξιολόγησης εναλλακτικών καυσίμων και Low Sulfur Diesel	62
Πίνακας 23: Συγκριτική ποιοτική βαθμολόγηση και αξιολόγηση εναλλακτικών καυσίμων και Low Sulfur Diesel	63
Πίνακας 24: Αύξουσα βαθμολογική κατάταξη εναλλακτικών καυσίμων	64
Πίνακας 25: Αύξουσα βαθμολογική κατάταξη ανανεώσιμων καυσίμων	64
Πίνακας 26: Συγκριτική ποιοτική αξιολόγηση επικρατέστερων μελλοντικών ανανεώσιμων καυσίμων	65

Σχήμα 1: Το ρυθμιστικό χρονοδιάγραμμα για την επικάλυψη ΕΕ και IMO	6
Σχήμα 2: Κανονιστικό πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών GHG από τη διεθνή ναυτιλία	7
Σχήμα 3: IMO2050 - Πώς θα επιτύχετε αυτούς τους φιλόδοξους στόχους	9
Σχήμα 4: Εναλλακτικά καύσιμα	11
Σχήμα 5: Βιβλιογραφικές εκτιμήσεις των συνολικών εκπομπών GHG κύκλου ζωής για διαφορετικές κατηγορίες καυσίμων.	12
Σχήμα 6: Σύγκριση ειδικής ενέργειας (ενέργεια ανά μάζα ή βαρυμετρική πυκνότητα) και ενεργειακής πυκνότητας (ενέργεια ανά όγκο ή ογκομετρική πυκνότητα) για πολλά καύσιμα με βάση τις χαμηλότερες τιμές θέρμανσης.	13
Σχήμα 7: Παραγωγή πράσινης Αμμωνίας	18
Σχήμα 8: Πρώτες ύλες παραγωγής βιοκαυσίμων	18
Σχήμα 9: Εκτιμώμενος χρόνος ωρίμανσης για μετατροπείς ενέργειας, ενσωματωμένες τεχνολογίες CCS και αντίστοιχοι κανονισμοί ασφαλείας για χρήση επί του σκάφους	23
Σχήμα 10: Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή	24
Σχήμα 11: Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά πηγή, σύγκριση καταναλώσεων 20ετίας	25
Σχήμα 12: Απομένοντα χρόνια αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, 2020	26
Σχήμα 13: Καυστήρας αλουμινίου σε περιβάλλον αέρα και ανάκτηση οξειδίων καύσης (α)	31
Σχήμα 14: Καυστήρας αλουμινίου σε περιβάλλον αέρα και ανάκτηση οξειδίων καύσης (β)	31
Σχήμα 15: Ιδέα για κινητήρα εσωτερικής καύσης με μέταλλο.	32
Σχήμα 16: Τιμές Αλουμινίου	32
Σχήμα 17: Ενδεικτική ανάλυση κόστους παραγωγής πρωτογενούς Αλουμινίου	33
Σχήμα 18: Πρώτες ύλες / πηγή ενέργειας - Εκπομπές GHG	35
Σχήμα 19: Πρώτες ύλες / πηγή ενέργειας – Περιορισμοί / Θετικά / Αρνητικά	35
Σχήμα 20: Ποσοστό θανάτων από ατυχήματα και ατμοσφαιρική ρύπανση ανά πηγή ενέργειας	36
Σχήμα 21: NW Europe alternative marine fuels vs VLSFO	37
Σχήμα 22: Asia & Middle East alternative marine fuels vs VLSFO	37
Σχήμα 23: US Gulf alternative marine fuels vs VLSFO	37
Σχήμα 24: Indicative shipping fuel cost range	38
Σχήμα 25: Ποσοστό του διεθνούς στόλου που χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα	48
Σχήμα 26: Σχηματική Αναπαράσταση Δεξαμενής Καυσίμου Οχημάτων	50
Σχήμα 27: Κατώτερα και ανώτερα όρια ευφλεκτότητας	50
Σχήμα 28: Ποσοστό θανάτων από ατυχήματα και την ατμοσφαιρική ρύπανση, ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ανά πηγή ενέργειας	58