

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



**Μελέτη και διερεύνηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών  
ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών  
συμβατικών πλοίων και η εφαρμογή τους στην πρόωση μέσω  
υβριδικών συστημάτων**

---

**Ευάγγελος Αγγελίδης**

**Επιβλέπων : Ι. Προυσαλίδης**

**ΑΘΗΝΑ  
2019**



# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

Σύνοψη.....	5
Εισαγωγή.....	6

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

Συμβατικές μορφές ενέργειας στη ναυτιλία.....	10
1.1 Ναυτικοί κινητήρες .....	10
1.2 Ναυτιλιακά καύσιμα.....	10
1.3 Αγορά ναυτιλιακών καυσίμων.....	13
1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	14
1.5 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή.....	17
1.6 Η λύση της μετάβασης σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας .....	19

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

Διεθνείς κανονισμοί μείωσης εκπομπών και αερίων του θερμοκηπίου.....	20
2.1 Ιστορικό.....	20
2.2 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) .....	21
2.3 Marpol Annex VI.....	22
2.4 Κανονισμοί ρύπων οξειδίων του αζώτου (NOx).....	26
2.5 Κανονισμοί ρύπων οξειδίων του θείου (SOx).....	28
2.6 Αέρια Φαινομένου Θερμοκηπίου.....	31
2.7 EEDI .....	34
2.8 SEEMP.....	36

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.....	38
3.1 Αιολική ενέργεια.....	41
3.1.1 Μαλακά πανιά.....	42
3.1.2 Σταθερά πανιά.....	43
3.1.3 Ρότορες.....	47
3.1.4 Πανιά τύπου χαρταετού.....	50
3.1.5 Ανεμογεννήτριες.....	54
3.2 Κυματική ενέργεια.....	55
3.3 Χρήση υδρογόνου-κυψέλες καυσίμου.....	56
3.4 Βιοκαύσιμα –βιομάζα .....	60
3.4.1 Βιοκαύσιμα στη ναυτιλία.....	63
3.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης των βιοκαυσίμων στη ναυτιλία.....	70
3.5 Ηλιακή ενέργεια.....	75
3.5.1 Το παράδειγμα του Blue Star Delos.....	78

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

Ηλεκτροκίνητα πλοία.....	85
4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης.....	88

4.2 Cold Ironing –ηλεκτροδότηση του πλοίου από την ξηρά.....	89
4.3 Ηλεκτρικές μπαταρίες.....	91

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

Συνδυαστικά και Υβριδικά Συστήματα Πρόωσης.....	99
5.1 E/S Orcelle.....	101
5.2 Ηλιακά πανιά.....	103
5.3 NYK Containership.....	105
5.4 Aquarius MRE.....	106
5.5 Υβριδικό φορτηγό πλοίο B9 Shipping.....	108
5.6 Ferry Happiness.....	109
5.7 Yara Birkeland» το πρώτο αυτόνομο ηλεκτρικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	113
5.8 Ocean Phoenix 360.....	114
5.9 Επιπλέον παραδείγματα.....	115

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

Συμπεράσματα.....	120
6.1 Απόδοση και κόστη.....	120
6.2 Κίνητρα και δυναμικό.....	122
6.3 Περιορισμοί και εμπόδια.....	127
6.4 Εναλλακτικές λύσεις συμμόρφωσης – μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	132

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ.....	136
-------------------------	-----

## Σύνοψη

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η διερεύνηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών συμβατικών πλοίων, καθώς και η εφαρμογή τους στην ηλεκτροπρόωση.

Συγκεκριμένα θα εξεταστεί η ενεργειακή τροφοδότηση από ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά στοιχεία), αιολικά συστήματα, βιοκαύσιμα, κυματική ενέργεια, μπαταρίες και υπερ-πυκνωτές για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτρογεννήτριες και ηλεκτροκινητήρες, καθώς και η πιθανή εφαρμογή και η εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων αποτελούμενα από συνδυασμούς των παραπάνω στοιχείων.

Επίσης θα αναδειχθεί ο σημαντικός ρόλος τους στην μετάβαση προς μία ναυτιλία καθαρής ενέργειας, καθώς το ενδιαφέρον για την προστασία του περιβάλλοντος διαρκώς αυξάνεται και αυξάνονται ταυτόχρονα οι απαιτήσεις για μειωμένες εκπομπές ρύπων και μειωμένη κατανάλωση καυσίμου. Τέλος, θα γίνει μια ανασκόπηση στις τεχνολογικές εξελίξεις στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης καθώς και στην προσπάθεια για την κατασκευή πλήρως εξηλεκτρισμένων και αυτόνομων πλοίων.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ναυτιλιακή βιομηχανία αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου και μια σωτηρία για τις νησιωτικές κοινότητες, που μεταφέρουν περίπου το 90% της χωρητικότητας όλων των εμπορεύσιμων αγαθών, όπως εκτιμά το Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο. Σύμφωνα με τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD), η παγκόσμια ναυτιλιακή ποσότητα που φορτώθηκε ετησίως αυξήθηκε από 2,6 δισεκατομμύρια σε 9,5 δισεκατομμύρια τόνους μεταξύ 1970 και 2013. Η ζήτηση για ναυτιλία προβλέπεται να αυξηθεί περαιτέρω λόγω της μεταβαλλόμενης διαμόρφωσης της παγκόσμιας την αυξανόμενη σημασία των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού και την αναμενόμενη αύξηση σε πολλές οικονομίες. Επίσης, στο προσεχές μέλλον, τα ποντοπόρα πλοία θα συνεχίσουν να μεταφέρουν το μεγαλύτερο μέρος αυτού του εμπορίου. Η πηγή ενέργειας για την προώθηση των πλοίων έχει υποστεί σημαντικούς μετασχηματισμούς τα τελευταία 150 χρόνια, ξεκινώντας με τα πανιά (ανανεώσιμη ενέργεια) μέσω της χρήσης άνθρακα σε βαρύ μαζούτ (HFO) και θαλάσσης πετρελαίου ντίζελ (MDO), που είναι πλέον το κυρίαρχο καύσιμο για αυτόν τον τομέα. Η κατανάλωση αυτών των καυσίμων αυξάνεται με την πάροδο των ετών σύμφωνα με την αυξανόμενη ζήτηση για ναυτιλία. Σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), μεταξύ του 2007 και του 2012, ο ναυτικός στόλος παγκοσμίως κατανάλωσε μεταξύ 250 και 325 εκατομμύρια τόνους καυσίμων ετησίως, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 2,8% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Ωστόσο, σε σύγκριση με άλλους τρόπους μεταφοράς, η ναυτιλία παράγει τις χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά τόνο ανά χιλιόμετρο. Ωστόσο, οι εκπομπές αναμένεται να αυξηθούν με τη ζήτηση από τη ναυτιλία και θα μπορούσαν να τριπλασιαστούν έως το 2050 εάν δεν έχουν ελεγχθεί. Οι εκπομπές από τον ναυτιλιακό τομέα πρέπει να περιοριστούν, προκειμένου να μειωθούν οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής. Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL) έχει ορίσει υποχρεωτικά τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα, τα οποία απαιτούν αποτελεσματικότερη χρήση της θαλάσσιας ενέργειας και συγχρόνως λιγότερες εκπομπές. Οι εν λόγω κανονισμοί άρχισαν να ισχύουν το 2013. Ο ίδιος ο κλάδος έχει θέσει στόχους για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20% έως το 2020 και κατά 50% μέχρι το 2050. Επομένως, οι φορείς εκμετάλλευσης πρέπει να εξετάσουν τα καθαρότερα καύσιμα και τις εναλλακτικές δυνατότητες, για την επίτευξη αυτών των στόχων. Επιπλέον, οι αυξανόμενες τιμές των καυσίμων των καυσίμων, σε μια παγκοσμίως ασταθής αγορά, αποτελούν έναν άλλο σημαντικό λόγο για την κλιμάκωση των σύγχρονων λύσεων ναυτιλίας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές και τεχνολογίες.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να μετατρέψουν τον παγκόσμιο ναυτιλιακό στόλο σε όλα τα επίπεδα και σε ποικίλα μεγέθη, όπως: διεθνείς και εσωτερικές μεταφορές αγαθών, ανθρώπων και υπηρεσιών. αλιεία; τον τουρισμό και άλλες θαλάσσιες δραστηριότητες. Οι εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε πλοία όλων των μεγεθών περιλαμβάνουν επιλογές πρωτογενούς, υβριδικής ή / και βοηθητικής πρόωσης, καθώς και ενεργειακή χρήση στην ξηρά και στην ξηρά. Οι πιθανές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις εφαρμογές της ναυτιλίας περιλαμβάνουν τον άνεμο (π.χ. μαλακά πανιά, σταθερά πτερύγια, ρότορες, χαρταετούς και συμβατικές ανεμογεννήτριες), ηλιακά φωτοβολταϊκά, βιοκαύσιμα, ενέργεια κυμάτων και χρήση υπερσυμπιεστών φορτισμένων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτές οι λύσεις καθαρής ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν με εκσυγχρονισμό του υπάρχοντος στόλου ή να ενσωματωθούν σε νέα ναυπηγεία και σχεδιασμό, με μικρό αριθμό νέων πλοίων που επιδιώκουν τεχνολογία ανανεώσιμης ενέργειας 100% ή μηδενικές εκπομπές για

πρωτογενή προώθηση. Η μετάβαση σε έναν κλάδο θαλάσσιων μεταφορών με καθαρή ενέργεια απαιτεί σημαντική μεταστροφή από τις μεταφορές με ορυκτά καύσιμα σε ενεργειακά αποδοτικά σχέδια και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αρχής γενομένης σήμερα. Ωστόσο, η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα του ναυτιλιακού τομέα είναι περιορισμένη σε μεσοπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη βάση - ακόμη και υπό αισιόδοξες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, οι προγραμματιστές ενισχύουν όλο και περισσότερο τα σχέδια των πλοίων και τους πιλότους απόδειξης ιδεών που καταδεικνύουν σημαντική εξοικονόμηση σε ορισμένες εφαρμογές. Η ανάπτυξη λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας για τη ναυσιπλοΐα έχει παρεμποδιστεί από την υπερβολική προσφορά ναυσιπλοΐας που τροφοδοτείται με ορυκτά καύσιμα τα τελευταία χρόνια και τη σχετική υποβαθμισμένη αγορά επενδύσεων. Τα κύρια εμπόδια για την αυξημένη διείσδυση των λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας για τη ναυτιλία παραμένουν: 1) η έλλειψη εμπορικής βιωσιμότητας τέτοιων συστημάτων · και, βεβαίως, 2) την ύπαρξη αποσπασματικών κινήτρων μεταξύ των πλοιοκτητών και των φορέων εκμετάλλευσης, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα περιορισμένο κίνητρο για την ανάπτυξη λύσεων καθαρής ενέργειας σε αυτόν τον τομέα. Τελικά, οι δυνάμεις της αγοράς που εργάζονται στο πλαίσιο αυστηρότερου ρυθμιστικού καθεστώτος θα καθορίσουν την ταχύτητα υιοθέτησης της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη ναυτιλία, αν και αυτό θα μετριαστεί και από τους μηχανισμούς κλειδώματος υποδομών και άλλους μη εμπορικούς παράγοντες. Ως εκ τούτου, πρέπει να καταργηθεί ένα σύνολο οργανωτικών / διαρθρωτικών, συμπεριφορικών, εμπορικών και μη εμποδίων, προτού οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλουν ουσιαστικά στις ενεργειακές ανάγκες του ναυτιλιακού τομέα. Κυρίως, η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στην καθαρή ενέργεια για τη ναυτιλία πρέπει να προγραμματιστεί προσεκτικά.

Πρέπει τώρα να εφαρμοστούν σημαντικές προσπάθειες και μέτρα στήριξης για να αποδειχθεί και να αυξηθεί ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών στη ναυτιλία. Ειδικότερα, οι πολιτικές υποστήριξης και τα κίνητρα για την προώθηση της έρευνας, της καινοτομίας και των παραδειγμάτων αποδεικτικών στοιχείων είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη εμπορικής βιωσιμότητας των λύσεων αποστολής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για λύσεις με γρήγορη επίδοση, η στήριξη θα πρέπει να επικεντρωθεί σε μικρά πλοία (λιγότερο από 10.000 νεκρά βάρους τόνους), τα οποία επικρατούν παγκοσμίως, μεταφέροντας λιγότερο το συνολικό φορτίο, αλλά εκπέμποντας περισσότερο από τα αέρια θερμοκηπίου ανά μονάδα φορτίου και απόσταση που διανύθηκε σε μεγαλύτερα πλοία. Αυτή η τεχνολογική σύνοψη συνοψίζει την τρέχουσα κατάσταση και τις εφαρμογές λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας για τη ναυτιλία, μαζί με τα εμπόδια και τις ευκαιρίες για περαιτέρω ανάπτυξη. Παρέχει συστάσεις προς τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για την προώθηση ρεαλιστικών λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορούν να υποστηρίξουν την αποδοτικότητα και τη μείωση των εκπομπών στον σημαντικό, αναπτυσσόμενο κλάδο της ναυτιλίας.

Επί του παρόντος, οι επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (RE) εξετάζονται για τον παγκόσμιο ναυτιλιακό στόλο σε όλα τα επίπεδα και σε ποικίλα μεγέθη, όπως: διεθνείς και εσωτερικές μεταφορές αγαθών, ανθρώπων και υπηρεσιών. αλιεία; τον τουρισμό και άλλες θαλάσσιες δραστηριότητες. Οι ανανεώσιμες επιλογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλοία όλων των μεγεθών για την παροχή πρωτογενούς, υβριδικού και / ή βοηθητικού κινήτρου, καθώς και για την ενεργειακή χρήση στην ξηρά και στην ξηρά. Αυτές οι λύσεις καθαρής ενέργειας ενσωματώνονται μέσω της ανακατασκευής του υπάρχοντος στόλου ή ενσωματώνονται στη νέα ναυπηγική βιομηχανία και το σχεδιασμό, με τις περισσότερες εφαρμογές να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης

δέσμης μέτρων για την αποδοτικότητα. Ο σημερινός στόχος της εφαρμογής ανανεώσιμης ενέργειας στη ναυτιλία αφορά κυρίως :

- **Αιολική ενέργεια**: για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας: μαλακά πανιά, όπως το φορτηγό Greenheart 75 dwt, το B9 Shipping 3000 dwt και το Dykstra / Fair Transport 7000 dwt Ecoliner. σταθερά ιστία, όπως στο UT Wind Challenger και το έργο EffShip. Furttner Rotors, όπως στο E-Ship 1 του Alcyone και του Enercon 12.800 dwt, kite ιστία, όπως στο MS Beluga Skysails καθώς και ανεμογεννήτριες (μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν επιτυχημένα πρωτότυπα)
- **Ηλιακά φωτοβολταϊκά** (κυρίως σε υβριδικά μοντέλα με άλλες πηγές ενέργειας σε μικρά πλοία, όπως ο Auriga Leader της NYK και η SolarSailor από την OCIUS Technology (πρώην Solar Sailor Holdings Ltd) και
- **Βιοκαύσιμα**, όπως το πλοίο Meri, το οποίο ισχυρίζεται ότι είναι το πρώτο του μεγέθους, το οποίο χρησιμοποιεί 100% βιο-πετρέλαιο).

Οι **κυψέλες καυσίμου υδρογόνου** χρησιμοποιήθηκαν επίσης ως τεχνολογία καθαρής ενέργειας για ναυτιλία: για παράδειγμα, στο FCS Alsterwasser, ένα επιβατηγό πλοίο με κινητήρα κυψελών καυσίμου 100 ατόμων με έδρα το Αμβούργο (Γερμανία), καθώς και ορισμένα άλλα μικρά πορθμεία και ποταμόπλοια. Το 2012, στο πλαίσιο του έργου FellowSHIP, μια κυψέλη καυσίμου 330 kW δοκιμάστηκε επιτυχώς στο πλοίο παράκτιας προμήθειας, η Viking Lady, που λειτουργεί για περισσότερες από 7000 ώρες. Αυτή ήταν η πρώτη μονάδα κυψελών καυσίμου που λειτουργούσε σε εμπορικό πλοίο, με την ηλεκτρική απόδοση να εκτιμάται ότι ήταν 44,5% (όταν ελήφθη υπόψη η εσωτερική κατανάλωση), χωρίς εκπομπές NOx, SOx και αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter -PM).

Άλλα συστήματα πρόωσης ανανεώσιμης ενέργειας περιλαμβάνουν τον προτεινόμενο από τον WWL φιλόδοξο μεταφορέα αυτοκινήτων "Orcelle", ο οποίος θα χρησιμοποιεί μια σειρά από υποβρύχια πτερύγια, με βάση την μοντελοποίηση της κίνησης της ουράς των δελφινιών Irtawaddy, για να δημιουργήσουν πρόωση και να παράγουν ηλεκτρισμό και υδραυλική ισχύ για το πλοίο.

Η τεράστια ποικιλία των παγκόσμιων τύπων πλοίων, χρήσης και διαδρομών σημαίνει ότι διαφορετικές εφαρμογές ευνοούν τη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας και τεχνολογιών. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την τρέχουσα κατάσταση και το δυναμικό των λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας για αυτές τις διαφορετικές κατηγορίες πλοίων.



Table 1: Summary of renewable energy technology applications and potentials for the shipping industry

Renewable energy type	Retrofit (RF)/ New Build (NB)	Vessel category, application and potential				
		< 400 tonnes e.g., recreation, artisanal/small fishery, tourism, passenger, break, landing craft, barges, research, coastal patrol and security	400 - <10 000 tonnes e.g., large landing craft, small-medium fishery, domestic Ro-Ro, break bulk, bulk, container, tanker, tramp	10 000 - <50 000 tonnes e.g., Ro-Ro, deep sea fishery, bulk, container, tanker, car carrier, cruise liner	>50 000 tonnes e.g., Very Large Crude Carrier (VLCC), Panamax, Aframax, large container ships	
Wind	Soft sails	RF	●●●	●●●	●●●	●●
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	Fixed wings	RF	●●	●●	●●	●
		NB	●●	●●●	●●●	●●
	Rotors	RF	●●	●●	●●	●●
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	Kites	RF/NB	●●	●●	●●	●
Turbines	RF/NB	●	●	●	●	
Solar photovoltaics	Main propulsion	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
		NB	●	N/A	N/A	N/A
	Auxiliary propulsion	RF	●●	N/A	●	N/A
		NB	●●	N/A	●	N/A
	Ancillary power	RF/NB	●●	N/A	●	N/A

Σύνοψη των τεχνολογιών και των εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία (πηγή: IRENA, 2015)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Συμβατικές μορφές ενέργειας στη ναυτιλία

### 1.1 Ναυτικοί κινητήρες

Η αρχή της μηχανής πετρελαίου ήταν το 1892 από τον Rudolf Diesel, ενώ δώδεκα χρόνια αργότερα κατασκευάστηκε και η πρώτη τετράχρονη diesel μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την πρόωση πλοίου. Αργότερα, το 1930 άρχισαν να κατασκευάζονται δίχρονοι μηχανές diesel, μεγαλύτερες και με πολύ καλύτερη απόδοση.

Οι **ναυτικοί κινητήρες Diesel** είναι ο επικρατέστερος τύπος μηχανής στη ναυτιλία τόσο για την κίνηση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα σε μέγεθος, ποντοπόρα, φορτηγά πλοία, χρησιμοποιούν κυρίως για την κίνηση τους μηχανές Diesel χαμηλών και μεσαίων στροφών, ενώ κάποια επιβατηγά ή πολεμικά πλοία, στα οποία η αυξημένη ταχύτητα είναι επιθυμητή, είναι εξοπλισμένα με αμμοστροβίλους ή αεριοστροβίλους. Ο αριθμός των πλοίων αυτών είναι ιδιαίτερα μικρός, καθώς αυτού του τύπου οι μηχανές δεν είναι αποδοτικές, συγκρινόμενες με τις μηχανές Diesel.

Οι κινητήρες Diesel στη ναυτιλία ξεχωρίζουν ως προς τον αριθμό των στροφών τους σε:

- **Diesel χαμηλών στροφών**, 70 έως 140 rpm. Είναι δίχρονοι και ογκώδεις και διαθέτουν συνήθως 4-12 κυλίνδρους. Οι κινητήρες αυτοί είναι μεγάλοι σε διαστάσεις ώστε το έμβολο να εκτελεί μεγαλύτερη διαδρομή και να επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση μέσω του μεγαλύτερου λόγου συμπίεσης. Οι πιο σύγχρονοι κινητήρες αυτού του τύπου παράγουν ισχύ μεγαλύτερη από 4000 kW/κύλινδρο. Οι χαμηλές ταχύτητες προσφέρουν σχεδιαστικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπουν την επιτυχή καύση του βαρέως πετρελαίου, παρέχοντας επαρκή χρόνο για την καλή ανάμειξη του μίγματος αέρα-καυσίμου. Επιπλέον, οι χαμηλές στροφές καθιστούν δυνατή την απευθείας σύνδεση του στροφάλου με την προπέλα, χωρίς να απαιτείται μειωτήρας. Η κατασκευή του κινητήρα είναι με αυτόν τον τρόπο απλούστερη και συνεπώς οικονομικότερη και συμβάλει στη μείωση των πιθανών σφαλμάτων που μπορούν να εμφανιστούν κατά την λειτουργία του. Οι κινητήρες τέτοιου τύπου, χάρη στην απλότητα τους, έχουν μεγάλη μακροζωία και προτιμούνται από τους πλοιοκτήτες που επιθυμούν πλοία με μία μηχανή. Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά των δίχρονων κινητήρων σε συνδυασμό με την δυνατότητα λειτουργίας με τα οικονομικότερα βαρέα καύσιμα (HFO-heavy fuel oil), τους καθιστούν την καλύτερη επιλογή για όλα σχεδόν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος πλοία. Αποτελούν μια απλή και αξιόπιστη μηχανή, εύκολη στον χειρισμό και στην συντήρηση που καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις των πλοίων αυτών.

- **Diesel μεσαίων στροφών**, αυτοί είναι συνήθως τετράχρονοι με ταχύτητες 400-1000 rpm με έως και 12 κυλίνδρους σε σειρά ή έως 20 κυλίνδρους σε σχηματισμό "V". Οι σύγχρονοι κινητήρες τέτοιου τύπου, παράγουν ισχύ μεταξύ 100-2000 kW/κύλινδρο και χρησιμοποιούνται τόσο για την κίνηση των πλοίων όσο και την ηλεκτροπαραγωγή. Στις εφαρμογές πρόωσης στα πλοία, συνήθως δεν χρησιμοποιούνται ως μονάδες, αλλά σε εγκαταστάσεις πολλών μηχανών που συνδέονται με τις έλικες του πλοίου μέσω μειωτήρα.

### 1.2 Ναυτιλιακά καύσιμα

Το 1950 μια σειρά καινοτομιών που εφαρμόστηκαν, επέτρεψε τη χρήση heavy fuel oil σε ναυτικούς κινητήρες (M/V "Princess of Vancouver"), καθώς χρησιμοποιήθηκαν λιπαντικά

ιδιαίτερα αλκαλικά, ικανά να ουδετεροποιήσουν τα οξέα που παράγονται κατά την καύση καυσίμων με υψηλό αριθμό θείου (residual fuels).

Οι περισσότεροι μεγάλοι ναυτικοί κινητήρες Diesel έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με καύσιμα διαφόρων ποιότητων (από ελαφρύ καύσιμο απόσταξης έως βαρύ υπόλειμμα χαμηλής ποιότητας). Η επιλογή ενός συγκεκριμένου καυσίμου είναι θέμα κυρίως οικονομικό, που επηρεάζεται όμως από παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα του συγκεκριμένου τύπου, οι δυνατότητες επεξεργασίας του καυσίμου στο πλοίο και η αντοχή του κινητήρα στις επιβλαβείς προσμίξεις και στις αλλαγές ιδιοτήτων του κάθε καυσίμου, σε σχέση πάντα και με το κόστος συντήρησης. Συνήθως οι κατασκευαστές δίνουν επιτρεπτά όρια των χαρακτηριστικών του καυσίμου για κάθε τύπο κινητήρα. Σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό του παγκοσμίου στόλου της εμπορικής Ναυτιλίας κινείται με τα υπολείμματα της απόσταξης του αργού πετρελαίου (HFO), τα οποία έχουν τη χαμηλότερη τιμή πώλησης.

Η ποιότητα των καυσίμων έχει σημαντική επίδραση στη λειτουργία, κυρίως όταν είναι μεταβαλλόμενη. Οι μηχανές (γενικά, αλλά κυρίως οι μεγάλοι κινητήρες) μπορούν να ρυθμιστούν να λειτουργούν ικανοποιητικά με καύσιμα ιδιαίτερα χαμηλής ποιότητας. Στα πλοία, που εφοδιάζονται με καύσιμο από διάφορα μέρη του κόσμου και προμηθευτές, αυτό είναι πολύ δύσκολο. Τα χαρακτηριστικά του ίδιου τύπου καυσίμου, από το ίδιο σημείο ανεφοδιασμού, για δυο διαφορετικές ημερομηνίες, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Επίσης το ίδιο το καύσιμο από διαφορετικές πηγές συνήθως διαφέρει σημαντικά. Έτσι τυχόν προσπάθεια να αναμιχθούν καύσιμα από δυο ανεφοδιασμούς τα οποία πιθανόν να έχουν προβλήματα συμβατότητας μπορεί να έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα. Καλύτερη γνώση των χαρακτηριστικών του καυσίμου επιτρέπει τη σωστή ρύθμιση του συστήματος καυσίμου του πλοίου και βοηθά στην αποθήκευση και επεξεργασία του καθώς και στη σωστή ρύθμιση και λειτουργία των διαχωριστών.

## Τύποι ναυτιλιακών καυσίμων

Οι μεγάλες σε μέγεθος δίχρονες μηχανές Diesel που χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικές γεννήτριες και κινητήρες πλοίων, μπορούν να λειτουργήσουν με μία ποικιλία καυσίμων ή και ανάμιξη αυτών. Οι μηχανές αυτές μπορούν να κάψουν κάθε προϊόν της απόσταξης του αργού πετρελαίου από φυσικό αέριο και βενζίνη μέχρι και τα κατάλοιπα της απόσταξης του.

Πιο αναλυτικά τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα από αυτού του τύπου μηχανές τόσο στην ναυτιλία όσο και στην ηλεκτροπαραγωγή είναι τα εξής (1):

- **Diesel Oil (distillate oil).** Το καύσιμο Diesel είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων που προέρχεται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου. Το Diesel Oil αποτελεί το παραδοσιακό καύσιμο των κινητήρων Diesel. Για την χρήση του, δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία, διαχωρισμός ή προθέρμανση πριν την καύση, αν και οι ιδιότητές του βελτιώνονται με την προσθήκη ουσιών με σκοπό την καλύτερη απόδοση του κινητήρα. Είναι το βασικό καύσιμο των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα των μικρότερων μονάδων και των ναυτικών κινητήρων. Η τιμή του αυξάνεται συνήθως κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών λόγω της αυξημένης χρήσης του στην οικιακή θέρμανση. Αύξηση της τιμής του έχουν προκαλέσει επίσης και τα νέα όρια εκπομπών οξειδίων του θείου που επιβάλλουν στα διυλιστήρια περαιτέρω επεξεργασία του καυσίμου, ώστε να μειώνεται το ποσοστό θείου σε αυτό.

- **Heavy Fuel Oils (HFO).** Τα καύσιμα αυτά αποτελούν τα κατάλοιπα της διύλισης του αργού πετρελαίου, η ποιότητα των οποίων ποικίλει ανάλογα με την διαδικασία διύλισης που ακολουθείται και την σύνθεση του ακατέργαστου πετρελαίου που χρησιμοποιείται. Τα

καύσιμα HFO έχουν μεγάλο ιξώδες και υψηλό ποσοστό θείου. Εξαιτίας του μεγάλου ιξώδες τους απαιτούν προθέρμανση πριν την εισαγωγή τους στον θάλαμο καύσης, καθώς επίσης την διατήρηση συγκεκριμένης θερμοκρασίας κατά την αποθήκευσή τους. Τα αρνητικά αυτά χαρακτηριστικά τους επιτρέπουν την χρήση τους, μόνο από τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία.

- **Emulsified Fuels (γαλακτοποιημένα καύσιμα).** Αποτελούν βαριά κλάσματα υδρογονανθράκων και προέρχονται είτε από φυσικές πηγές με την μορφή της πίσσας, είτε είναι προϊόντα διύλισης, τα οποία υφίστανται επεξεργασία με νερό ώστε να ομογενοποιηθούν. Χρησιμοποιούνται από τους ίδιους κινητήρες που χρησιμοποιούν καύσιμα HFO.

Η κατάταξη των ναυτιλιακών καυσίμων γίνεται με βάση το πρότυπο ISO 8217-2017. Η πρώτη τυποποίηση για τα καύσιμα έγινε το 1982 από τον B.S.I. (British Standards Institute) και ακολούθησαν και οι υπόλοιποι οργανισμοί τυποποίησης. Το πρότυπο ISO 8217-2017 είναι αναθεώρηση των προηγούμενων ISO 8217-2005 και ISO 8217-2012.4 Τα ναυτιλιακά καύσιμα, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Το περιεχόμενο του ναυτιλιακού πετρελαίου σε άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 84,9% και 87,4%.

Με βάση το ISO 8217, τα ναυτιλιακά καύσιμα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με τις φυσικές του ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης τους. Όμως για λειτουργικούς και οικονομικούς λόγους, στις προωστήριες εγκαταστάσεις με μηχανές diesel χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών εναλλάξ, είτε σε μείγματα σε διάφορες αναλογίες, Πίνακας 1.1.6 Το γράμμα D στην αρχή της ονομασίας υποδηλώνει πως το καύσιμο αυτό είναι προϊόν απόσταξης (Distillate fuel). Το γράμμα R στην αρχή της ονομασίας υποδηλώνει πως το καύσιμο είναι υπόλειμμα (Residual fuel). Το γράμμα M δηλώνει πως πρόκειται για ναυτιλιακό καύσιμο (Marine fuel) (2).

- **Residual Oil (RO).** Αποτελεί το βαρύτερο κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου και εξαιτίας του μεγάλου ιξώδους του απαιτεί προθέρμανση πριν την εισαγωγή του στον θάλαμο καύσης ώστε να είναι δυνατή η σωστή ροή του. Τείνει να έχει υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, μεταξύ αυτών και θείου και είναι το πιο φθηνό υγρό καύσιμο στην αγορά.

- **Intermediate Fuel Oil (IFO).** Το καύσιμο αυτό αποτελεί μείγμα 2% Diesel Oil και 98% HFO και ονομάζεται IFO380 ή μείγμα 12% Diesel και 88% HFO και ονομάζεται IFO180. Το IFO180 είναι πιο ακριβό από το IFO380 καθώς περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό Diesel Oil.

- **Marine Diesel Oil (MDO).** Αποτελούνται κυρίως από Diesel Oil και περιέχουν χαμηλό ποσοστό θείου. Το MDO έχει μικρότερο ποσοστό θείου από τα IFO 180, IFO 380 και RO αλλά μεγαλύτερο από τα MGO.

- **Marine Gas Oil (MGO).** Οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούνταν στις μηχανές diesel λόγω του χαμηλού ιξώδους του και του υψηλού βαθμού καθαρότητας που εξασφαλίζει καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα. Αποτελεί απόσταγμα καθαρού πετρελαίου (distillate fuel), ανήκει δηλαδή στα ευγενή προϊόντα του και κατατάσσεται στα καλύτερα και ακριβότερα καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης. Το gasoil οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι, ουσιαστικά, πρόκειται για έλαιο που με εξαερίωση παράγει αέριο. Το MGO έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο από όλους τους τύπους καυσίμων.

- **Liquefied Natural Gas (LNG).** Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και ένα πολύ μικρό ποσοστό σε αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο. Βρίσκεται σε υγρή μορφή για λόγους ευκολίας για την αποθήκευση και τη μεταφορά του. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο καταλαμβάνει περίπου το 1/600 του όγκου του φυσικού αερίου σε αέρια κατάσταση (3).

### 1.3 Αγορά ναυτιλιακών καυσίμων

Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων πρέπει να ελέγχονται κατά την παραλαβή (bunkering) από το πλήρωμα για εξακρίβωση της σύνθεσης τους και την καταλληλότητα ανάμειξης τους με παλαιότερα καύσιμα που πιθανόν να βρίσκονται στις δεξαμενές. Σε σχέση με τις προδιαγραφές των καυσίμων για χρήση σε Ναυτικούς κινητήρες, τα υπάρχοντα καύσιμα στην παγκοσμία αγορά είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ISO.

Για αποσταγμένα καύσιμα όπως το Marine diesel oil και το Marine gas oil το ιξώδες τους στους 40 °C είναι το ελάχιστο έως και 1.40 cSt. Η χαμηλή τιμή αυτή για το ιξώδες είναι και ο λόγος που δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα στο μηχανοστάσιο. Η βιομηχανία καυσίμων ερευνά το θέμα από την δική της πλευρά και καταβάλλει προσπάθειες για την παραγωγή ενός καυσίμου που να είναι συμβατό και ασφαλές με τα υπάρχοντα συστήματα και δίκτυα στα πλοία. Η προσπάθεια έχει κατεύθυνση προς τη δημιουργία ενός καυσίμου που να έχει το προδιαγραφόμενο ποσοστό σε θείο με μεγαλύτερη όμως τιμή ιξώδους.

Η τιμή ωστόσο αυτού του καυσίμου αλλά και η διαθεσιμότητα του στα λιμάνια τουλάχιστον που ισχύουν οι κανονισμοί είναι κάποια από τα ζητήματα που απασχολούν τις πλοιοκτήτριες εταιρείες. Οι λόγοι είναι ότι οι εταιρείες πρέπει να επιβαρυνθούν όχι μόνο το επιπλέον κόστος του συγκεκριμένου καυσίμου αλλά και τις τυχόν καθυστερήσεις του πλοίου στο λιμάνι για να προμηθευτεί το καύσιμο αφού εάν μόνο λίγες εταιρείες το διαθέτουν στην αγορά τότε αναπόφευκτα θα υπάρξει συνωστισμός.

Εκτός από τις απαιτήσεις που περιορίζουν την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου, το παράρτημα VI της MARPOL 73/78 περιλαμβάνει απαιτήσεις που εμποδίζουν την ενσωμάτωση των δυνητικά επιβλαβών ουσιών, και ιδίως τα ρεύματα αποβλήτων (π.χ. χημικά απόβλητα), σε μαζούτ. Δελτία παραδόσεως (Bunkering), πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για τουλάχιστον τρία χρόνια και πρέπει να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τις ακόλουθες πληροφορίες: όνομα και αριθμός IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα, το λιμάνι ανεφοδιασμού καυσίμων, την ημερομηνία έναρξης ανεφοδιασμού, την επωνυμία, διεύθυνση, αριθμός τηλεφώνου του προμηθευτή, την ονομασία προϊόντος, την ποσότητα (σε μετρικούς τόνους), την πυκνότητα στους 15°C (kg/m<sup>3</sup>) και την περιεκτικότητα σε θείο (% m/m).

Μια υπογεγραμμένη δήλωση πρέπει να δίνεται από τον προμηθευτή του καυσίμου ή εκπρόσωπο του ότι το καύσιμο είναι απαλλαγμένο από ανόργανα οξέα και δεν περιλαμβάνει καμία προστιθέμενη ουσία ή χημικά απόβλητα τα οποία θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των πλοίων, επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση της μηχανής, είναι επιβλαβής για το προσωπικό, και συνεισφέρουν συνολικά στην πρόσθετη ρύπανση του αέρα.

Τα δείγματα πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για τουλάχιστον 12 μήνες και η ετικέτα στο κάθε δείγμα πρέπει να αναγράφει τα ακόλουθα: η θέση στην οποία ευρίσκονται, και τη μέθοδο με την οποία πήραν το δείγμα, η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε ο ανεφοδιασμός, η ονομασία του δεξαμενοπλοίου / εγκατάσταση καυσίμων, το όνομα και ο αριθμός IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα, οι υπογραφές και τα ονόματα του προμηθευτή και εκπροσώπου του πλοίου και τέλος λεπτομέρειες σχετικά με σφραγίδα ταυτοποίησης.

Οι διαδικασίες φορτοεκφόρτωσης πρέπει να υπολογίζουν την πιθανή διαφυγή αερίων λόγω χαμηλής πίεσης και η μεταφορά των πετρελαιοειδών από και προς τις δεξαμενές πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα στραγγαλισμού και ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων ρευστού στις σωληνώσεις (4).

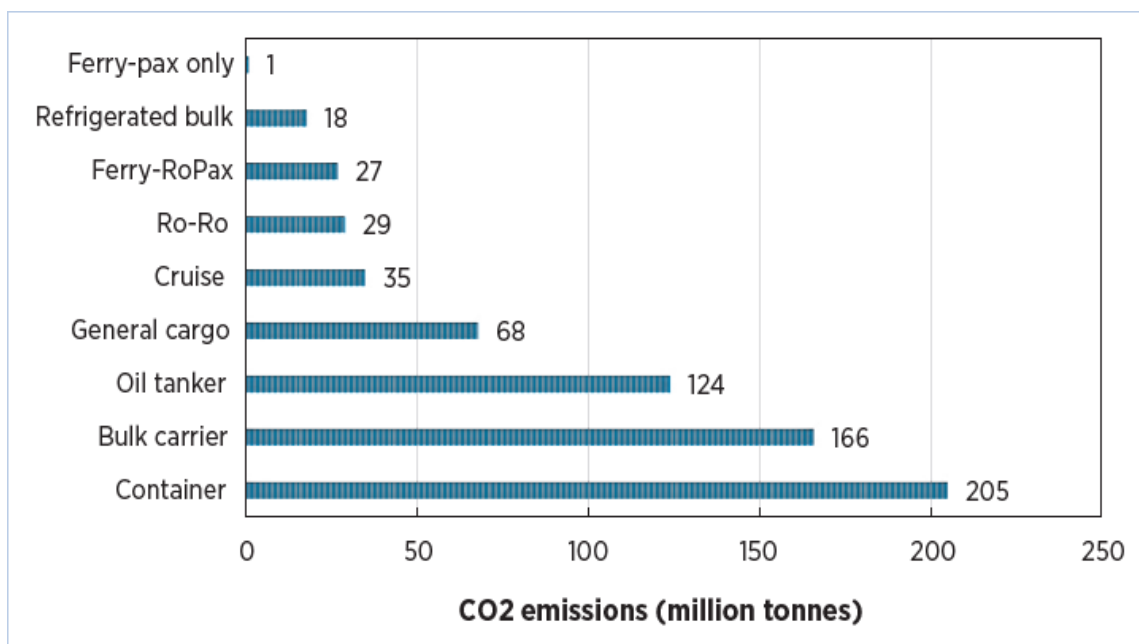
## 1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η εμπορική ναυτιλία είναι μείζονος σημασίας για το διεθνές εμπόριο και τη διεθνή οικονομία παρόλα αυτά είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό ποσοστό του παγκόσμιου προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η ναυτιλία καταναλώνει 335 εκ. τόνους καύσιμο/έτος, ενώ μεταφέρει το περίπου 90% του παγκόσμιου εμπορίου. (2) Η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, υπολογίζει ότι παρά τις διεθνείς συμβάσεις που τίθενται σε εφαρμογή, η προερχόμενη από το θαλάσσιο χώρο ατμοσφαιρική ρύπανση θα έχει ισοσκελίσει έως το 2020, την αντίστοιχη χερσαία ρύπανση εντός της Ε.Ε.

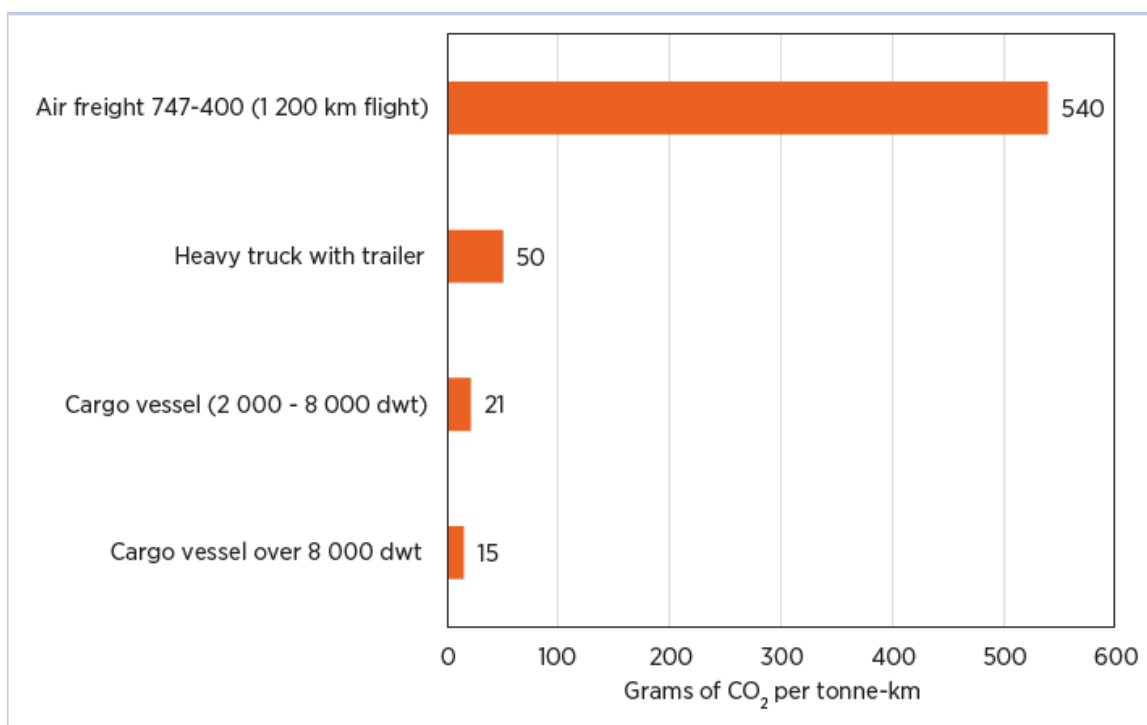
Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD) εκτιμά ότι η παγκόσμια ναυτιλιακή ποσότητα που φορτώνεται ετησίως αυξήθηκε από 2,6 δισεκατομμύρια σε μόλις 9,5 δισεκατομμύρια τόνους μεταξύ 1970 και 2013 (UNCTAD, 2014). Αυτή η χωρητικότητα έχει ελάχιστα ή καθόλου εναλλακτικά μέσα μεταφοράς στο προσεχές μέλλον. Πράγματι, η ζήτηση για ναυτιλία αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω, λόγω της μεταβαλλόμενης διαμόρφωσης της παγκόσμιας παραγωγής, της αυξανόμενης σημασίας των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού και της αναμενόμενης ανάπτυξης σε πολλές οικονομίες. Παράλληλα με την προβλεπόμενη αύξηση της ναυτιλίας, αναμένεται αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από αυτόν τον τομέα. Στα τέλη του 2012, ο συνολικός παγκόσμιος εμπορικός στόλος περιλάμβανε 86.942 πλοία, από τα οποία 1.1176 πετρελαιοφόρα, 9512 φορτηγά πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, 21114 φορτηγά γενικού φορτίου, 5109 εμπορευματοκιβώτια και 40.031 άλλες κατηγορίες (UNCTAD, 2013).

Σύμφωνα με την τρίτη μελέτη GHG του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού για το 2014 (Smith et al., 2014b), από το 2007 έως το 2012 ο ναυτικός στόλος παγκοσμίως κατανάλωσε 250-325 εκατομμύρια τόνους καυσίμων, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 2,8% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (3,1% ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub>).

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τους επιλεγμένους τύπους πλοίων το 2012 που παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα βασίζονται στα αποτελέσματα αυτής της μελέτης. Ωστόσο, όπως φαίνεται παρακάτω, σε σύγκριση με άλλους τρόπους μεταφοράς, η ναυτιλία παράγει πολύ χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο που μεταφέρεται ανά χιλιόμετρο.



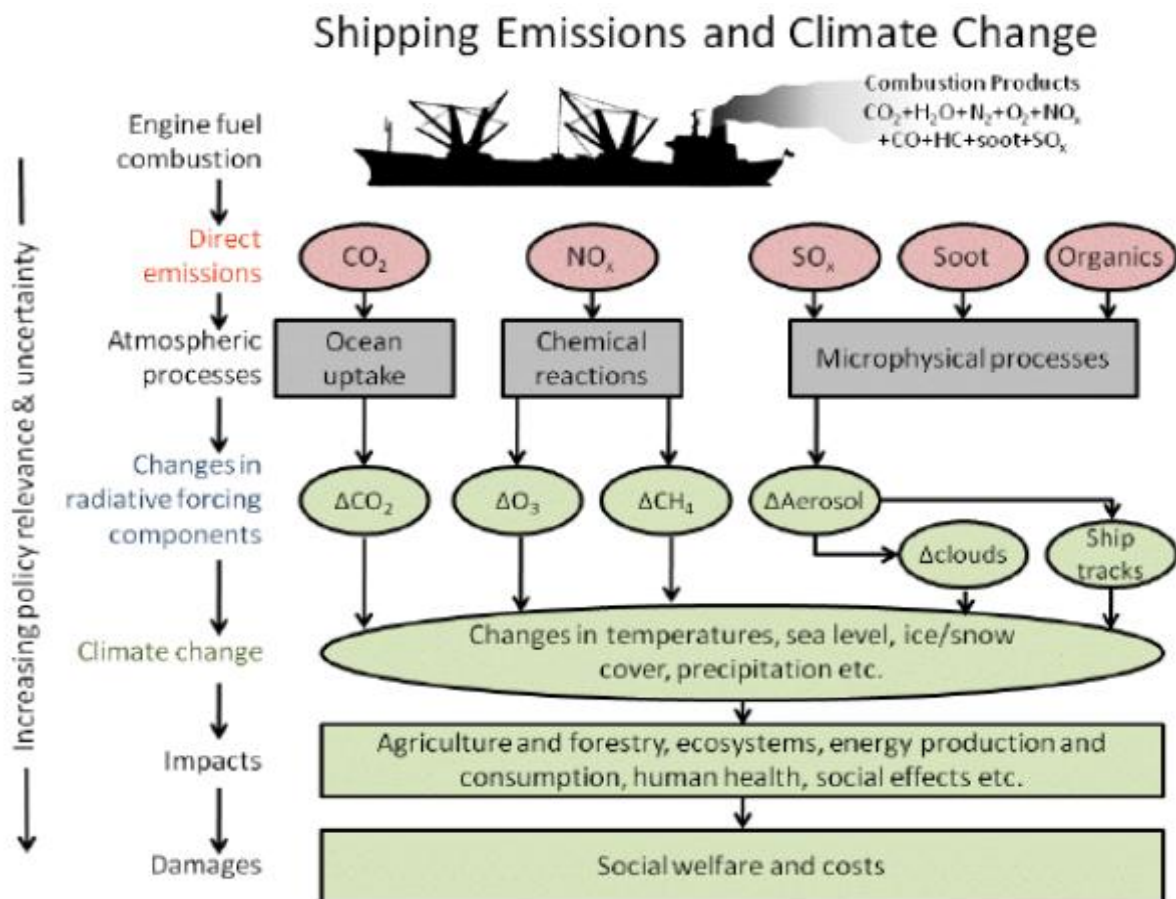
**Εκπομπές CO<sub>2</sub> επιλεγμένων τύπων πλοίων** (πηγή: *International Maritime Organisation's Third Greenhouse Gas Study 2014 (Smith et al., 2014b)*)



**Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανάλογα με μέσο μεταφοράς**, (πηγή: *International Chamber of Shipping ICS, 2013*)

Αντίστοιχα όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, περισσότερο από το 3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να αποδοθεί στα ποντοπόρα πλοία. Πρόκειται για ένα ποσό συγκρίσιμο με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των μεγάλων χωρών (6). Στην πραγματικότητα, εάν η παγκόσμια ναυτιλία ήταν χώρα, θα ήταν ο έκτος μεγαλύτερος παραγωγός εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Επιπλέον, τα σενάρια για τις μελλοντικές δραστηριότητες της ναυτιλίας υποδηλώνουν κάποια πιθανότητα για σημαντικές αυξήσεις στην κατανάλωση ενέργειας και εκπομπών. Τα σενάρια για τις ναυτιλιακές εκπομπές CO<sub>2</sub> για το 2050 συνδυάζουν διαφορετικά ποσοστά ανάπτυξης και διάφορες υποθέσεις σχετικά με την πρόσληψη τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών. Σε γενικές γραμμές, όλα τα σενάρια δείχνουν μια ανάπτυξη στη θαλάσσια δραστηριότητα, με αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Μια αναφορά του United Nations Environmental Programme δείχνει ότι, το 2050, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> θα κυμαίνονται από 1,25 Gt μέχρι 3,5 Gt.



Σχηματικό διάγραμμα των αερίων ρύπων από την ναυτιλία (7)

Τα SO<sub>x</sub> οφείλονται στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων. Σήμερα, τα ναυτιλιακά καύσιμα παγκοσμίως περιέχουν κατά μέσο όρο 2,7% κ.β. θείο ή 27.000 ppm. Συγκριτικά, το όριο σε θείο για το πετρέλαιο κίνησης είναι 10 ppm, σύμφωνα με την οδηγία 2003/17/EK. Το θείο που περιέχουν τα καύσιμα οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης στη μηχανή σε οξείδια του θείου, κυρίως SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub>. Τα οξείδια του θείου αναφέρονται ως SO<sub>x</sub>. Το SO<sub>3</sub> αντιδρά με την υγρασία (H<sub>2</sub>O) και δημιουργεί σωματίδια θειικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) μικροσκοπικού μεγέθους, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα). Ο κλάδος της ναυτιλίας βρίσκεται μεταξύ των κορυφαίων εκπομπών SO<sub>x</sub>. Οι εκπομπές SO<sub>x</sub> από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό μεταξύ 5% και 8% του συνόλου των εκπομπών SO<sub>x</sub> του κόσμου (8). Μετά την εφαρμογή των νέων κανονισμών που τέθηκαν σε εφαρμογή το 2010 και το 2015 παρατηρείται μια ελαφριά μείωση των εκπομπών SO<sub>x</sub> η οποία θα κορυφωθεί από το 2020 οπότε και θα τεθούν αυστηρά όρια περιεκτικότητας σε θείο σε παγκόσμια εμβέλεια.



Το άζωτο (N<sub>2</sub>) του ατμοσφαιρικού αέρα είναι χημικά αδρανές υπό κανονικές θερμοκρασίες και δεν αντιδρά με το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) του αέρα. Μέσα όμως στις μηχανές εσωτερικής καύσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται σε οξειδία του αζώτου, NO<sub>x</sub>. Τα NO<sub>x</sub> μπορεί επίσης να σχηματιστούν (σε μικρότερο ποσοστό) από την καύση συστατικών των καυσίμων που περιέχουν άζωτο (fuel NO<sub>x</sub>). Άρα λοιπόν, και σε αντίθεση με τα SO<sub>x</sub>, ο έλεγχος των NO<sub>x</sub> δεν μπορεί να γίνει με βελτιώσεις στη σύσταση των καυσίμων, αλλά με βελτιώσεις στη διαδικασία της καύσης. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν περίπου το 15% του συνόλου των εκπομπών NO<sub>x</sub> του κόσμου. Με την πάροδο των χρόνων και με τις νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στους δίχρονους κινητήρες diesel εμφανίζεται μια τάση μείωσης των NO<sub>x</sub> η οποία όμως αντιστράφηκε τα έτη 2013-2015 με μια αύξηση της τάξης του 3,5%. (9) Η εφαρμογή των νέων κανονισμών του IMO που εφαρμόζεται σε πλοία που χτίζονται από 01/01/2016 αναμένεται να επιφέρει μια δραματική μείωση στον συγκεκριμένο ρύπο, η οποία όμως δεν έχει ακόμη παρατηρηθεί λόγω του ότι ακόμα και σήμερα χτίζονται καράβια με πιστοποιητικά που έχουν εκδοθεί πριν την 01/01/2016.

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αποτελούν ένα σύνθετο μίγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών και περιλαμβάνουν ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη, πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς, άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά και υγρασία. Ειδικά στις εξατμίσεις των πλοίων, παράγονται κυρίως σωματίδια θειικών και καπνιάς.

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις εντοπίζονται κυρίως στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων. Στην περίπτωση αυτή οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds) είναι μίγματα ελαφρών υδρογονανθράκων (μεθάνιο έως οκτάνιο) που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα κυρίως κατά τη φόρτωση δεξαμενόπλοιων με αργό και προϊόντα πετρελαίου. Σε όλα τα παραπάνω μπορεί να υπάρχει αδρανές αέριο, υδρόθειο και άλλες ανόργανες ενώσεις. Το μεθάνιο αποτελεί αέριο που συντελεί στο φαινόμενο θερμοκηπίου σε βαθμό πολλαπλάσιο σε σχέση με το CO<sub>2</sub> ενώ τα άλλα βαρύτερα αέρια όπως το προπάνιο και βουτάνιο συντελούν στη δημιουργία όζοντος χαμηλά στην ατμόσφαιρα που είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία.

Η επίδραση των αέριων ρύπων από τη Ναυτιλία δεν έχει τοπικό χαρακτήρα αφού τα πλοία βρίσκονται σε συνεχή κίνηση ανά τον κόσμο. Όπως γίνεται φανερό, οι εκπομπές ρύπων εξαιτίας της λειτουργίας των πλοίων δεν είναι ισομερώς κατανομημένες αλλά συγκεντρώνονται στις ακτογραμμές και στις θαλάσσιες οδούς. Τα πλοία ακόμα και όταν δεν κινούνται στα ανοικτά πελάγη, παράγουν αέριους ρύπους. Το γεγονός αυτό έγκειται στην ανάγκη που υπάρχει για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και παραγωγή ατμού για ποικίλες εφαρμογές επί του πλοίου.

Μελέτες σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή της ναυτιλιακής κίνησης έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνουν χώρα στο βόρειο ημισφαίριο, εντός ενός καλά προσδιορισμένου συστήματος διεθνών θαλάσσιων οδών. Επίσης, εκτιμάται ότι περίπου το 70% των εκπομπών από την ναυτιλία συμβαίνουν εντός 200 ν.μ., με το 44% αυτών σε απόσταση 50 ν.μ. από την ξηρά. (7)

## **1.5 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή**

Οι βλαβερές επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στον άνθρωπο είναι ο βασικότερος λόγος των προσπαθειών που καταβάλλονται για την πλήρη κατανόηση και τον έλεγχο των πηγών εκπομπής ρύπων. Μπορούμε να διακρίνουμε τις επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό με συντελεστή το επίπεδο έκθεσης, σε ισχυρές επιδράσεις, όπου οι ρύποι επιδρούν για μικρό

χρονικό διάστημα και σε δόσεις σχετικά υψηλές, και σε χρόνιες επιδράσεις, όπου οι ρύποι συναντώνται σε μικρές δόσεις, ανεπαρκείς για να δημιουργήσουν μια άμεση δηλητηρίαση, αλλά με έναν επαναλαμβανόμενο τρόπο. Οι ισχυρές επιδράσεις προκαλούν συχνά το θάνατο και δημιουργούνται συνήθως σε εσωτερικούς χώρους ή έχουν σχέση με τοξικά αέρια τα οποία απελευθερώνονται σε εξαιρετικές περιστάσεις (π.χ. βιομηχανικά ατυχήματα).

### **Μονοξείδιο του άνθρακα**

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο, ελαφρύτερο από τον αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Παράγεται από την ατελή καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα αλλά και από ορισμένες βιολογικές και βιομηχανικές διεργασίες. Κύρια πηγή του είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης και η καύση της βιομάζας. Εμφανίζει μεγάλη τάση να ενωθεί με την αιμογλοβίνη του αίματος και να σχηματίσει ανθρακυλαιμοσφαιρίνη ελαττώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει ικανή ποσότητα οξυγόνου στους ιστούς με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα ανοξίας.

### **Διοξείδιο του θείου**

Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) είναι ένας από τους κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας. Είναι αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειώδες οξύ. Σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO<sub>3</sub>, το οποίο μετατρέπεται σε θειικό οξύ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, κύριο συστατικό της όξινης βροχής.

Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιαγγειακές και χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις (όπως η βρογχίτιδα ή το εμφύσημα), τα άτομα που πάσχουν από άσθμα, καθώς και τα μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Εισπνεόμενο προκαλεί ερεθισμό του βλεννογόνου, του ρινοφάρυγγα, του λάρυγγα και των βρόγχων, σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκληθεί σπασμός του λάρυγγα και πνευμονικό οίδημα.

### **Οξείδια του Αζώτου**

Το άζωτο, που αποτελεί το 78 % του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξείδια του αζώτου κατά την καύση σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσεως (π.χ. πλοία). Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που σχηματίζεται. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα το διοξείδιο έχει δριμεία μυρωδιά και κόκκινο - κίτρινο - καστανό χρώμα. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και δημιουργεί τη φωτοχημική αιθαλομίχλη (φωτοχημικό νέφος). Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου λόγω της περιορισμένης διαλυτότητας τους διεισδύουν βαθιά στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα και προκαλούν έντονο ερεθισμό του τραχειοβρογχικού βλεννογόνου και του αναπνευστικού επιθηλίου.

Τα SO<sub>2</sub> και τα NO<sub>x</sub> μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια των ανέμων και να δημιουργήσουν **όξινη βροχή** χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους. Συχνά, οι χώρες που υφίστανται τις επιπτώσεις της όξινης βροχής δεν είναι εκείνες που παρήγαγαν την αρχική ρύπανση. Το νερό της βροχής φυσιολογικά έχει pH 6,5 έως 5,6. Το pH είναι το μέγεθος που δηλώνει αν ένα διάλυμα είναι ουδέτερο (pH=7), όξινο (pH μικρότερο του 7) ή αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7). Το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4,6 και 4, ενώ κατά καιρούς μετριούνται και πιο ακραίες τιμές του pH (έως και 2,4). Φυσικά, συνδυασμός SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> αποτελεί τον πρόδρομο εμφάνισης της όξινης βροχής, η οποία

σχετίζεται με την όξυνση του εδάφους, των λιμνών και ρεμάτων-χειμάρρων, την επιτάχυνση της διάβρωσης κτιρίων και μνημείων, καθώς και τη μείωση της ορατότητας.

Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης εναπόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά. Επιπλέον, το ίδιο το έδαφος υποβαθμίζεται, γιατί τα οξέα που φτάνουν σ' αυτό σε μεγάλη ποσότητα καταστρέφουν τους ωφέλιμους μικροοργανισμούς, διαλύουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων που κατόπιν απομακρύνονται με το νερό της βροχής και απελευθερώνουν τοξικά για τα φυτά βαρέα μέταλλα (κυρίως ιόντα αργιλίου και μαγγανίου). Η όξινη βροχή επίσης καταστρέφει κτήρια, μνημεία και αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), που απορροφά το  $\text{SO}_2$  και μετατρέπεται σε γύψο ( $\text{CaSO}_4$ ).

### **Αιωρούμενα Σωματίδια**

Με βάση την ταξινόμηση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος (σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα) και σε συσχέτιση με την διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό, γίνεται η εισαγωγή δύο νέων ρυπαντικών παραμέτρων, των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  και των σωματιδίων  $\text{PM}_{2.5}$ . Ο αυστηρός ορισμός των  $\text{PM}$  όπως τον αναφέρει η ΕΕ στις οδηγίες της είναι (10):

$\text{PM}_{10}$  νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου  $10\mu\text{m}$ .

$\text{PM}_{2.5}$  νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου  $2,5\mu\text{m}$ .

Η επίδραση που έχει στην ανθρώπινη υγεία η έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση καθορίζεται από το μέγεθος, τη συγκέντρωση και τη χημική σύσταση των σωματιδίων. Συνοπτικά λοιπόν, τα συμπτώματα που μπορούμε να εντοπίσουμε είναι κυρίως προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα και ενδεχόμενες καρδιακές παθήσεις. Τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από  $10\mu\text{m}$  παγιδεύονται στη μύτη ή τον φάρυγγα και στην συνέχεια απομακρύνονται ή καταπίνονται χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα. Τα μικρότερα όμως σωματίδια, και ιδιαίτερα εκείνα με διάμετρο μικρότερη των  $2,5\mu\text{m}$ , εισέρχονται στους πνεύμονες, όπου και, και είναι δύσκολη η απομάκρυνσή τους, με αποτέλεσμα την πρόκληση πνευμονικών προβλημάτων. Είναι γενικά παραδεκτό ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μειώσει τη διάρκεια της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο.

## **1.6 Η λύση της μετάβασης σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας**

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε ταχύρρυθμα μεταξύ 1990-2018. Τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, φυσικό αέριο και πετρέλαιο) καταλαμβάνουν περίπου το 80% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η πρόβλεψη για τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες είναι ότι αυτές αυξάνονται ταχύτατα, κυρίως λόγω της αύξησης των αναπτυσσόμενων οικονομιών (Κίνα, Ινδία) και του σχετικά χαμηλού βαθμού ενεργειακής τους απόδοσης. Έως το 2030 τουλάχιστον, οι απαιτήσεις αυτές θα συνεχίσουν να ικανοποιούνται κατά κύριο λόγο από κατανάλωση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, αέριο). Η εξέλιξη αυτή θα έχει αρνητικές συνέπειες με επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής, περαιτέρω επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τάχιστα μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων.

Η διαφαινόμενη εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων του πλανήτη μας (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, σχάσιμα υλικά) σε συνδυασμό με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, αλλά και την βαθμιαία επιδείνωση των

περιβαλλοντικών προβλημάτων, οδήγησε τις σύγχρονες κοινωνίες να στραφούν αφενός σε τεχνικές εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αφετέρου στην αξιοποίηση εναλλακτικών ή ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Οι τεχνολογίες αξιοποίησης των εναλλακτικών και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στον τομέα της Ναυτιλίας με σκοπό τη συμμόρφωση με τους διεθνείς κανονισμούς ρύπων αποτελούν μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει ο κλάδος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **Διεθνείς κανονισμοί μείωσης εκπομπών και αερίων του θερμοκηπίου**

#### **2.1 Ιστορικό**

Ο IMO είναι ένας οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών με έδρα το Λονδίνο, που λειτουργεί μέσω ενός αριθμού εξειδικευμένων επιτροπών και υποεπιτροπών, καθεμιά από τις οποίες αποτελείται από αντιπροσώπους των κρατών μελών. Η Επιτροπή για τη Ναυτιλιακή Ασφάλεια (Maritime Safety Committee – MSC) είναι η παλιότερη από αυτές. Η Επιτροπή για την Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee – MEPC) ιδρύθηκε το 1973 και είναι υπεύθυνη για τον συντονισμό των δραστηριοτήτων του IMO για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τη ναυτιλία. Στον IMO συμμετέχουν επιπλέον ως παρατηρητές χωρίς ψήφο, και επηρεάζουν τις αποφάσεις παρέχοντας στοιχεία ή έχοντας συμβουλευτικό ρόλο, πάνω από 40 διακυβερνητικές και 60 μη κυβερνητικές οργανώσεις, που εξυπηρετούν διάφορες ομάδες της ναυτιλιακής βιομηχανίας (π.χ. πλοιοκτήτες), των νομικών και περιβαλλοντικών οργανώσεων. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η ταχύτητα αναπτυσσόμενη οικονομία απαιτούσε τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Το 1948 τα Ηνωμένα Έθνη συγκάλεσαν μια Ναυτιλιακή Διάσκεψη στη Γενεύη, στην οποία, μεταξύ άλλων, ιδρύθηκε ο IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization) που αποτέλεσε πρόδρομο του IMO (International Maritime Organization) (συγκεκριμένα, ο IMCO μετονομάστηκε σε IMO το 1982). Παραδοσιακές ναυτιλιακές χώρες, όπως η Μεγάλη Βρετανία, έβλεπαν με καχυποψία τις αρμοδιότητες ενός τέτοιου οργανισμού και ήθελαν η δράση του να είναι απλώς συμβουλευτική, με αποτέλεσμα η ιδρυτική σύμβασή του να τεθεί σε ισχύ, μόλις το 1958. Παράλληλα, όμως, οι ίδιες χώρες επιθυμούσαν ένα διεθνές πλαίσιο ελέγχου της ναυτιλιακής ρύπανσης, διότι τα κράτη που θα έπαιρναν μονομερώς αυστηρά εθνικά μέτρα θα μείωναν την ανταγωνιστικότητά τους. Εκείνες τις εποχές, οι κύριοι συντελεστές της ναυτιλιακής βιομηχανίας είχαν την έδρα τους στις αναπτυγμένες χώρες, οι οποίες και επηρέαζαν σημαντικά τις αποφάσεις του νεοσύστατου οργανισμού (5).

Η εξέλιξη των πολιτικών για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκινά από την δεκαετία του 1970, όπου με τη Διάσκεψη της Στοκχόλμης τέθηκαν οι βάσεις της περιβαλλοντικής πολιτικής σε διεθνές επίπεδο, έως σήμερα. Το σημαντικότερο γεγονός στην εικοσαετία που μεσολάβησε από τη Σύνοδο της Στοκχόλμης ήταν η δημοσίευση, το 1987, από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του ΟΗΕ, της έκθεσης με τίτλο «Το κοινό μας μέλλον». Η έκθεση αυτή είναι περισσότερο γνωστή και ως έκθεση Brundtland, από το όνομα της

πρωθυπουργού της Νορβηγίας και προέδρου της επιτροπής Gro Harlem Brundtland. Η Επιτροπή αποτελούνταν από 21 μέλη, τα περισσότερα προέρχονταν από τις αναπτυσσόμενες χώρες και ήταν κυρίως πολιτικοί αλλά και εκπρόσωποι της επιστημονικής κοινότητας και του επιχειρηματικού κόσμου. Στο πλαίσιο λειτουργίας της, τα μέλη της επιτροπής έπρεπε να δράσουν σύμφωνα με τις ιδιότητές τους και όχι ως εκπρόσωποι των κυβερνήσεων τους. Από την άλλη, παρά την ανεξαρτησία της, η επιτροπή λειτουργούσε βάσει συγκεκριμένων κατευθύνσεων και σε συνεργασία με το UNEP (United Nations Environment Programme) Για την υλοποίηση της περιβαλλοντικής πολιτικής, κατά τη δεκαετία του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά κανονισμοί που έθεταν όρια στις εκπομπές των ρύπων και επέβαλλαν πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος, διεργασιών και τεχνολογιών.

## 2.2 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO)

Παρατηρούμε ότι η αλλαγή του κλίματος είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Ένα φαινόμενο στο οποίο οι θαλάσσιες μεταφορές και η ναυτιλία γενικότερα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαιώνισή του. Λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό ποσοστό αύξησης της θαλάσσιας κίνησης, είναι ουσιαστικό να αντιμετωπιστούν οι εκπομπές αερίων από τη ναυτιλία ως ένας μείζον παράγοντας ρύπανσης. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που οι αρνητικές του συνέπειες φαίνονται στις μέρες μας. Τα αέρια του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>) που εκπέμπονται από τα πλοία συντελούν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον οι λεγόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), επηρεάζουν αρνητικά τόσο περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η σύγχρονη τεχνολογία σε συνδυασμό με την ευαισθητοποίηση, δημιουργούν ένα σύγχρονο νομοθετικό πλαίσιο και μηχανισμούς ελέγχου που δίνουν τη δυνατότητα να βελτιώσουμε την περιβαλλοντική ασφάλεια των θαλάσσιων δρόμων, να μειώσουμε τα περιστατικά ρύπανσης και να αποτρέψουμε τα ναυτικά ατυχήματα. Υπάρχουν πια θαλάσσιες περιοχές και διαδρομές, όπου παρατηρείται μεγάλη κίνηση σκαφών κάθε είδους, με συνέπεια να μιλάμε σήμερα για θαλάσσιους δρόμους και θαλάσσιες λεωφόρους.

Η χρήση τεχνολογίας για βελτίωση της περιβαλλοντικής ασφάλειας των θαλάσσιων δρόμων και περιοχών, γενικότερα, είναι αντικείμενο μελέτης παγκοσμίως. Στο πλαίσιο αυτό, η διεθνής πολιτική έχει εντάξει τον έλεγχο των αερίων ρύπων σε όλους τους τομείς δράσης της επιδιώκοντας τους εξής στόχους: βελτίωση της αποδοτικότητας της κατανάλωσης ενέργειας, μείωση των παραγόμενων ρύπων, ανάπτυξη φιλικότερων προς το περιβάλλον και πιο ισορροπημένων συστημάτων μεταφορών, ενίσχυση της υπευθυνότητας των επιχειρήσεων κατά τρόπο ώστε να μη θίγεται η ανταγωνιστικότητά τους, υπαγωγή στις επιταγές της προστασίας του περιβάλλοντος και δημιουργία ενός πλαισίου ευνοϊκού για την έρευνα και την καινοτομία.

Η σημαντικότερη σύμβαση που ρυθμίζει και που αποτρέπει τη θαλάσσια μόλυνση από τα πλοία είναι η διεθνής Συνθήκη του IMO για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, του 1973, όπως τροποποιείται από το πρωτόκολλο του 1978 που αφορά την επιπλέον MARPOL 73/78. Καλύπτει την τυχαία και λειτουργική ρύπανση από πετρέλαιο καθώς επίσης τη μόλυνση από τις χημικές ουσίες, αγαθά σε συσκευασμένη μορφή, τα λύματα, τα απορρίμματα και την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η Συνθήκη του IMO βεβαιώνει το δικαίωμα ενός παράκτιου κράτους να λάβει τα σχετικά μέτρα για να αποτρέψει, να μετριάσει ή να εξαλείψει τον κίνδυνο στην ακτή του από ένα

θαλάσσιο ατύχημα. Η διεθνή συνθήκη International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation (OPRC), 1990 παρέχει ένα παγκόσμιο πλαίσιο για διεθνή συνεργασία στην καταπολέμηση σημαντικών γεγονότων ή απειλών θαλάσσιας ρύπανσης. Ένα πρωτόκολλο σε αυτήν την σύμβαση (HNS πρωτόκολλο) καλύπτει τη θαλάσσια μόλυνση από τις επικίνδυνες και επιβλαβείς ουσίες. Ο IMO έχει επίσης ευθύνες γραμματείας για τη Συνθήκη σχετικά με την πρόληψη της θαλάσσιας μόλυνσης από το απόρριψη των αποβλήτων και άλλων ουσιών (LDC) 1972 (13), γενικά γνωστή ως London Convention, η οποία έχει ενημερωθεί από το πρωτόκολλο του 1996.

Η Επιτροπή για την Προστασία του Θαλασσιού Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO στα μέσα του 1980 αναθεώρησε την ποιότητα των καυσίμων σε σχέση με τις απαιτήσεις εκκένωσης του Παραρτήματος I και το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είχε αρχίσει να συζητείται. Το 1988, η MEPC συμφώνησε να συμπεριλάβει το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο πρόγραμμα εργασίας του ακολουθώντας το υπόμνημα της Νορβηγίας για την κλίμακα του προβλήματος. Επιπλέον, η δεύτερη διεθνής συνδιάσκεψη για την προστασία της Β. θάλασσας, τον Νοέμβριο του 1987, εξέδωσε διακήρυξη με την οποία οι κυβερνήσεις των κρατών της Β. θάλασσας συμφώνησαν να ξεκινήσουν ενέργειες μαζί με τους κατάλληλους οργανισμούς, όπως ο IMO, «που θα οδηγήσουν στην βελτίωση των ποιοτικών στάνταρτ των βαρέων καυσίμων και στην ενεργό υποστήριξη των δράσεων που στοχεύουν στην μείωση της θαλάσσιας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης». Στην επόμενη σύνοδο της MEPC, τον Μάρτιο του 1989, διάφορες χώρες υπέβαλλαν επιστημονικές εργασίες σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων και την ατμοσφαιρική ρύπανση και συμφώνησαν να εκφράσουν τις απόψεις τους για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία, όπως και για την ποιότητα των καυσίμων στα πλαίσια του μακροπρόθεσμου προγράμματος εργασιών της επιτροπής, που άρχισε το Μάρτιο του 1990.

Το 1990 η Νορβηγία υπέβαλλε έναν αριθμό επιστημονικών εργασιών στην MEPC δίνοντας μια γενική επισκόπηση της αέριας ρύπανσης από πλοία. Στις εργασίες αυτές σημειώνονταν ότι:

- Οι εκπομπές θείου από τα καυσαέρια πλοίων εκτιμούνταν σε 4,5 ως 6,5 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο, περίπου 4% των παγκόσμιων εκπομπών θείου. Οι εκπομπές στις ανοιχτές θάλασσες διαχέονται και έχουν μέτριες επιδράσεις, όμως σε σταθερές διαδρομές οι εκπομπές δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από πλοία ανέρχονταν σε περίπου 5 εκατομμύρια τόνους ανά έτος, περίπου 7 % των παγκόσμιων εκπομπών. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου προκαλούν ή επιδεινώνουν τα τοπικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένης της όξινης βροχής και προβλήματα υγείας σε περιοχές όπως τα λιμάνια.

### **2.3 Marpol Annex VI**

Οι εκπομπές μη-αερίων του θερμοκηπίου ρυθμίζονται από τον IMO. Η πιο σημαντική σύμβαση, η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL) εκδόθηκε το 1973 και στοχεύει σε αρκετές πτυχές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από πλοία. Το Παράρτημα VI, που προστέθηκε στην Σύμβαση το 1997, αναφέρει εκπομπές καυσαερίων, όπως τα SO<sub>x</sub>, τα NO<sub>x</sub> και των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και περιοχές ελέγχου των εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων στα δεξαμενόπλοια (12).

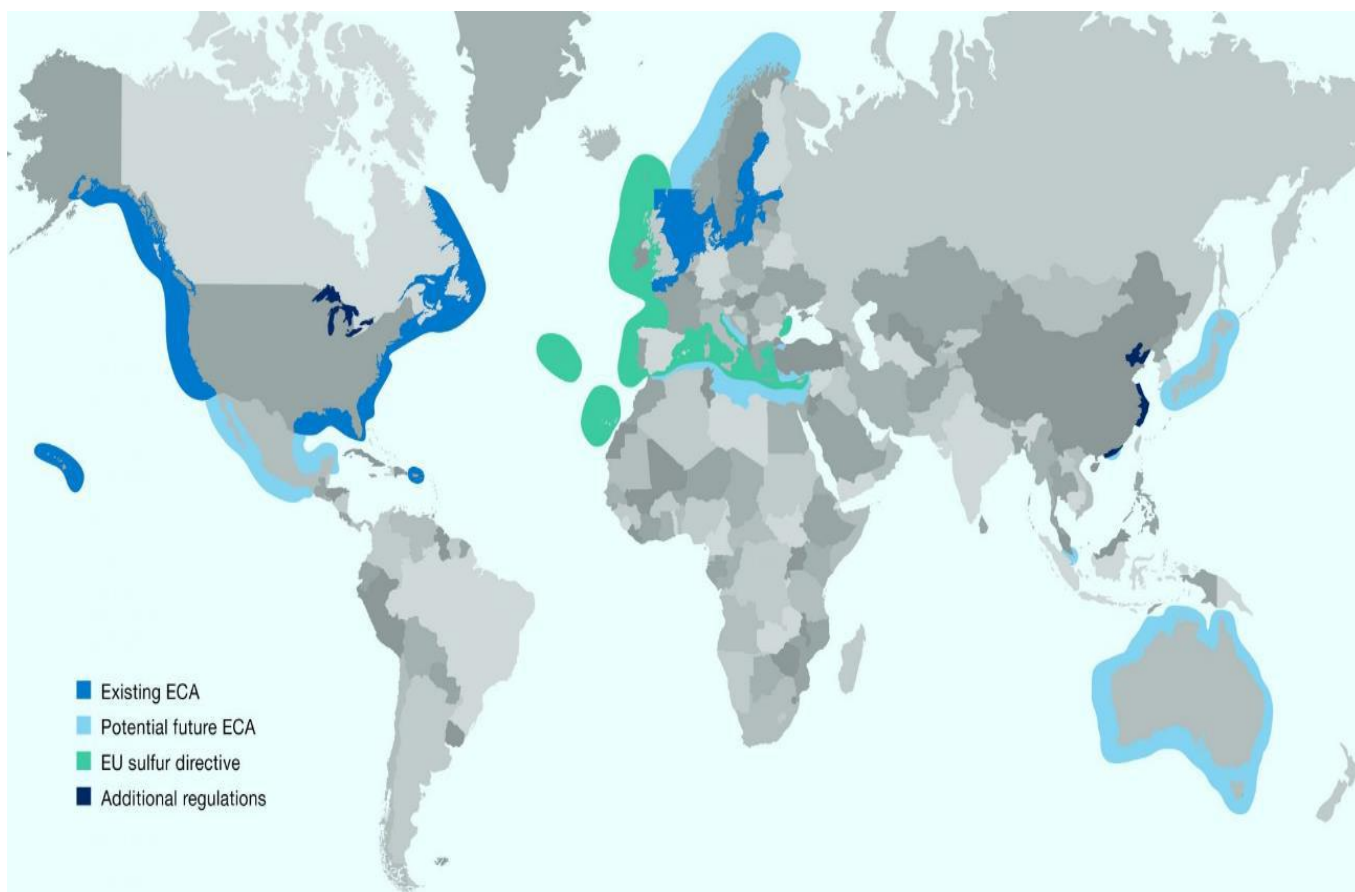
Το Παράρτημα VI της MARPOL ρυθμίζει επίσης τη διάλυση του πλοίου και τις εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων από τα δεξαμενόπλοια (14). Μετά την έναρξη ισχύος του

Παραρτήματος VI της MARPOL στις 19 Μαΐου 2005, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), κατά την 53η σύνοδό της (Ιούλιος 2005), συμφώνησε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI της MARPOL με στόχο τη σημαντική αύξηση των ορίων εκπομπών υπό το πρίσμα των τεχνολογικών βελτιώσεων και της έως τώρα εμπειρίας. Ως αποτέλεσμα τριετούς μελέτης, η MEPC 58 (Οκτώβριος 2008) εξέδωσε το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL και το σχετικό Τεχνικό Κώδικα NOx του 2008, η οποία τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2010.

Τον Οκτώβριο του 2008, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) στην 58η σύνοδό της ενέκρινε τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL, σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία. Οι βασικές αλλαγές αναφέρονται στην σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων θείου (SOx) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο του θείου να μειώνεται αρχικά σε 3,50% (από 4,50%), από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σταδιακά σε 0,50 %, από την 1η Ιανουαρίου 2020, υπό τον όρο ότι μία μελέτη σκοπιμότητας θα έχει ολοκληρωθεί το αργότερο έως το 2018. Η μελέτη αυτή υπέδειξε την αναγκαιότητα του μέτρου αυτού και τον βαθμό εφικτότητας του και είχε ως συμπέρασμα την επιβεβαίωση της λήψης του συγκεκριμένου μέτρου. Από την 1η Ιανουαρίου 2015 τα όρια στις περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου SECAs (Sulphur Emissions Control Areas) μειώθηκαν στο 0,1%. Με τον όρο SECA, χαρακτηρίζονται οι θαλάσσιες περιοχές, στις οποίες τα διερχόμενα πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Ο IMO έχει υλοποιήσει τρεις βαθμίδες ρυθμιστικού πλαισίου για τη μείωση των εκπομπών NOx από τη ναυτιλία. Το πρώτο στάδιο της μείωσης NOx, γνωστό και ως IMO Tier I, τέθηκε σε ισχύ το 2000 και το επόμενο στάδιο, IMO Tier II, τέθηκε σε ισχύ το 2011, αναφέροντας μείωση της τάξεως του 20 τοις εκατό από τα επίπεδα του IMO Tier I. Το επόμενο βήμα, IMO Tier III, κάνει λόγο για ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις, της τάξης του 80 τοις εκατό από τα επίπεδα του IMO Tier I (7).

Ο χάρτης που ακολουθεί παρουσιάζει τις τρέχουσες και τις επερχόμενες Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs). Ορισμένες νέες ECAs στην περιοχή της Μεσογείου, της Σιγκαπούρης και της Ιαπωνίας μπορεί να τεθούν σε ισχύ τα επόμενα χρόνια.



(πηγή: IRENA, 2015)

Οι πρόσφατοι κανονισμοί του IMO έχουν στόχο τη μείωση του αζώτου και των ενώσεων θείου (NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub>), καθώς και του CO<sub>2</sub>. Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μπορεί να επιτυγχάνεται μέσω της μειωμένης κατανάλωσης μαζούτ ή της μεγαλύτερης απόδοσης.

Η Ελλάδα ως κράτος-μέλος της παγκόσμια Ναυτιλιακής κοινότητας έχει επικυρώσει όλα τα παραρτήματα και τις τροποποιήσεις της διεθνούς σύμβασης MARPOL 73/78.

Οι διατάξεις του εν λόγω Παραρτήματος VI της MARPOL 73/78 για την πρόληψη ρύπανσης του αέρα, εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία, σύμφωνα με τις επιμέρους απαιτήσεις. Θεσπίζονται ενιαίοι κανόνες που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Ειδικότερα, μεταξύ των λοιπών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται ρυθμίσεις, υπό μορφή κανονισμών, με τις οποίες καθορίζονται:

**α.** οι ανώτατα επιτρεπόμενες περιεκτικότητες σε θείο του καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα πλοία,

**β.** τα επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου για μηχανές diesel πλοίων,

**γ.** τα ληπτέα μέτρα σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την υποδοχή δεξαμενοπλοίων στα οποία μπορεί να απαιτηθεί η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs),

**δ.** Απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών από πλοία.



**ε.** επιθεωρήσεις - Κανονισμός 5: Σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 gt και άνω και κάθε μόνιμη και πλωτή εγκατάσταση εξόρυξης πετρελαίου και άλλες πλατφόρμες, διενεργούνται οι ακόλουθες επιθεωρήσεις από τον αρμόδιο Νηογνώμονα που έχει επιλέξει ο πλοιοκτήτης (16).

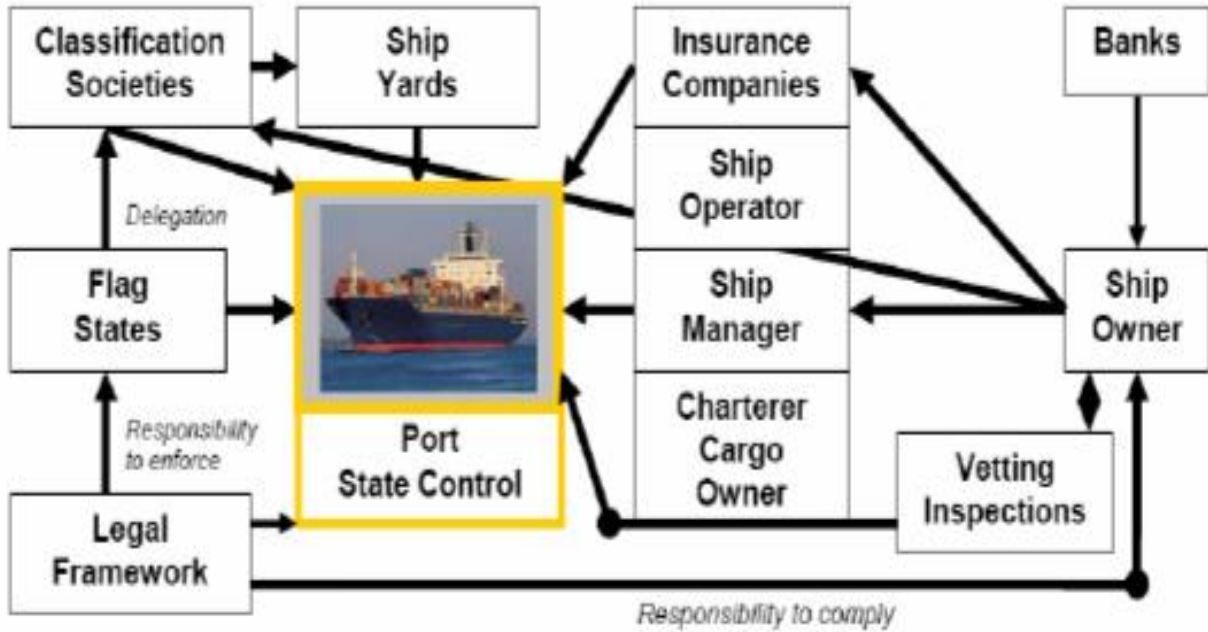
- i) αρχική επιθεώρηση: διενεργείται πριν το πλοίο τεθεί σε λειτουργία ή πριν την αρχική έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (IAPPC),
- ii) περιοδικές επιθεωρήσεις: διενεργούνται σε χρόνο που καθορίζεται από την Αρχή, χωρίς να υπερβαίνουν τα πέντε (5) έτη (συνήθως κατά τη διάρκεια του «Special Survey» του πλοίου),
- iii) τουλάχιστον μία ενδιάμεση επιθεώρηση: στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα μόνο μία τέτοια επιθεώρηση κατά τη διάρκεια των πέντε ετών, αυτή θα πραγματοποιείται μέσα σε χρονικό διάστημα έξι μηνών πριν ή μετά την ημερομηνία του μέσου της περιόδου αυτής («Intermediate Survey»).

Οι παραπάνω επιθεωρήσεις πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις και υλικά συμμορφώνονται πλήρως με τις εφαρμοζόμενες απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών και είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Οι επιθεωρήσεις των υπόχρεων πλοίων γίνονται είτε από επιθεωρητές της Αρχής είτε από Αναγνωρισμένους Οργανισμούς -συνήθως από επιθεωρητές του Νηογνώμονα του πλοίου. Εφόσον, κατά τη διενέργεια της επιθεώρησης, κριθεί από τον επιθεωρητή ότι ο εξοπλισμός του πλοίου δεν ανταποκρίνεται στα στοιχεία του Πιστοποιητικού, θα λαμβάνεται μέριμνα προκειμένου να διασφαλίζεται ότι έχουν ληφθεί ενέργειες αποκατάστασής του, με παράλληλη ενημέρωση της Αρχής. Για οποιεσδήποτε αλλαγές στον εξοπλισμό, συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις ή υλικά που καλύπτονται από την επιθεώρηση, απαιτείται η προηγούμενη έγκριση της Αρχής.

**στ.** Έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (ΔΠΠΡΑ) International Air Pollution Prevention Certificate (IAPPC) - Κανονισμός 6

- i) Τα πλοία και οι πλατφόρμες ή εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου που υποχρεούνται σύμφωνα με τον επισυναπτόμενο Πίνακα να έχουν ΔΠΠΡΑ και κατασκευάσθηκαν πριν την 19η Μαΐου 2005 (υπάρχοντα πλοία), θα εφοδιάζονται με Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα, που θα χορηγείται όχι αργότερα από την πρώτη προγραμματισμένη επιθεώρηση στην ξηρά, μετά την 19η Μαΐου 2005 αλλά σε καμία περίπτωση μετά την 19η Μαΐου 2008.
- ii) Το ΔΠΠΡΑ εκδίδεται είτε από την Αρχή είτε από Αναγνωρισμένο Οργανισμό.
- iii) Ο τύπος του Πιστοποιητικού θα ανταποκρίνεται στο υπόδειγμα που παρατίθεται στο Προσάρτημα I του Παραρτήματος του εν λόγω Πρωτοκόλλου και θα συντάσσεται στην Ελληνική και Αγγλική γλώσσα.
- iv) Το εν λόγω Πιστοποιητικό έχει διάρκεια ισχύος πέντε έτη από την ημερομηνία έκδοσής του.

Σύμφωνα με τους εννοιολογικούς προσδιορισμούς του υπόψη Νόμου, ως «εκπομπή» νοείται οποιαδήποτε απελευθέρωση ουσιών από πλοία στον αέρα ή στη θάλασσα, που υπόκειται σε έλεγχο από το Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78.



Επιβλέποντες οργανισμοί νομοθετικού πλαισίου για την ναυτιλία (17)

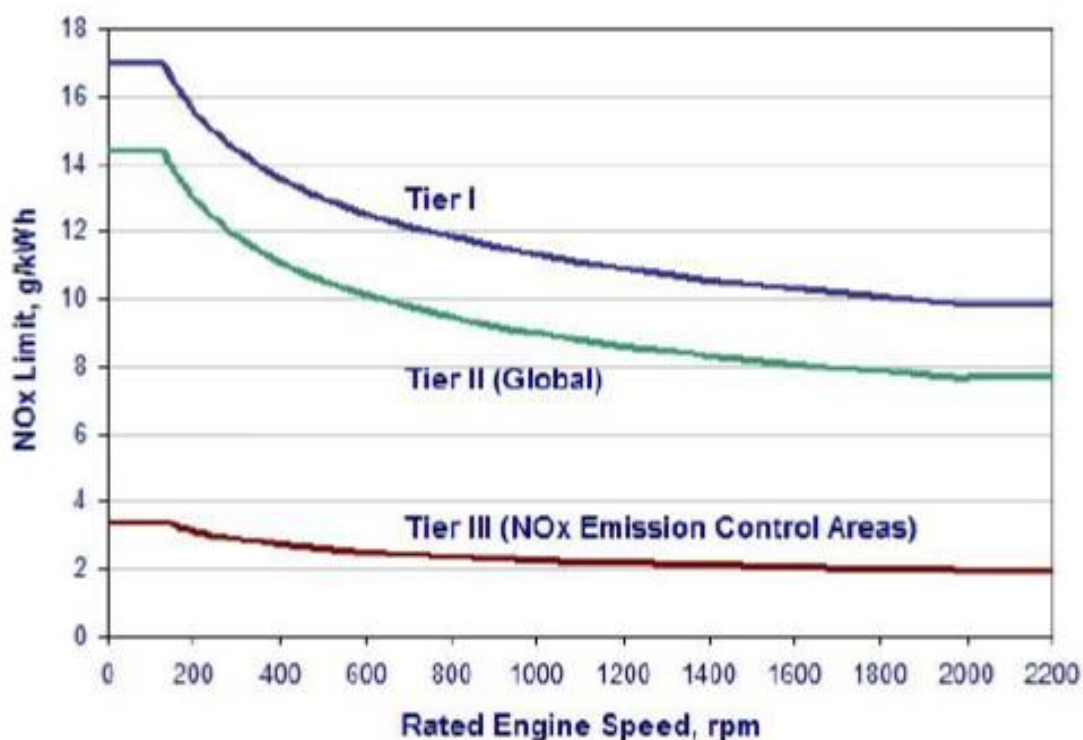
## 2.4 Κανονισμοί ρύπων οξειδίων του αζώτου (NOx)

Ο κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε κάθε μηχανή diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, σε όλα τα υπάρχοντα πλοία και σε όσα αναμένεται να κατασκευαστούν τα επόμενα χρόνια. Ο Κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται σε: Μηχανές diesel έκτακτης ανάγκης - Emergency diesel generator, μηχανές πρόωσης σωσίβιων λέμβων και σε οποιαδήποτε συσκευή ή εξοπλισμό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Η λειτουργία μιας μηχανής diesel επιτρέπεται επίσης όταν λειτουργεί ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NOx ή εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη μέθοδος, εγκεκριμένη από την Αρχή, για τη μείωση των εκπομπών NOx στο πλοίο, τουλάχιστον μέχρι τα όρια που παρατίθενται παρακάτω.- Προδιαγραφές εκπομπών NOx για καινούριες μηχανές:

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).



### Όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου βάση του κανονισμού 13 της MARPOL (πηγή : IMO)

Ο Κανονισμός 13 καθορίζει τις ποσότητες των NOx τις οποίες επιτρέπεται ένα πλοίο να εκπέμπει ανά kWh. Οι ποσότητες εξαρτώνται από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (Σχήμα 2-4). Υπάρχουν τρία επίπεδα εκπομπών, τα Tier I-III. Όσο νεότερο είναι ένα πλοίο τόσο αυστηρότερα είναι τα όρια. Οι προβλέψεις του Επιπέδου I (Tier I) αφορούν μηχανές εγκατεστημένες σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά ή μετά την 1/1/2000, ενώ τα όρια εκπομπών του Επιπέδου II (Tier II) αφορούν μηχανές εγκατεστημένες σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά ή μετά την 1/1/2011. Τα όρια του Επιπέδου III (Tier III) είναι τα αυστηρότερα και θα ισχύσουν μόνο στις Ειδικές Περιοχές για τα NOx (NOx Emission Control Areas – NECAs), για μηχανές σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά ή μετά την 1/1/2016. Συγκεκριμένα, τα όρια Tier III είναι κατά 80% αυστηρότερα σε σύγκριση με τα όρια Tier I.

## 2.5 Κανονισμοί ρύπων οξειδίων του θείου (SOx)

Στις αρχές Οκτωβρίου 2008 σε συνεδρίαση που έλαβε χώρα στο Λονδίνο, ο διεθνής θαλάσσιος οργανισμός (IMO) των Ηνωμένων Εθνών ο οποίος απαριθμεί 168 μέλη-κράτη έλαβε την απόφαση για την περαιτέρω μείωση των επιβλαβών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) από τα σκάφη μέσω ενός χρονοδιαγράμματος τουλάχιστον έως το 2015 (MEPC 58).

Με τον Κανονισμό αυτό καθιερώνεται ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου, το 0,5% κατά βάρος από το 2010. (9) Περαιτέρω, για τα πλοία που βρίσκονται εντός των προαναφερόμενων περιοχών SECA ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου, ορίζεται το 0,1% κατά βάρος. Γενικότερα, θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστον μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις (19):

1. Η περιεκτικότητα του θείου στο καύσιμο πετρέλαιο δεν υπερβαίνει το 0,1% κ.β. για περιοχές SECA ή 0,5% κ.β. για τον υπόλοιπο κόσμο
2. Υπάρχει σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο από την Αρχή, που εφαρμόζεται στη μηχανή του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των κύριων ή βοηθητικών μηχανών πρόωσης, για τη μείωση των ολικών εκπομπών οξειδίων του θείου. Το συνολικό βάρος εκπομπής διοξειδίου του θείου δεν θα υπερβαίνει τα 6 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (συνολικό βάρος εκπομπής  $\leq 6,0 \text{ g SOx/KWh}$ ) ή
3. Εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη τεχνολογική μέθοδος για τον περιορισμό των εκπομπών SOx, εντός των παραπάνω ορίων, εγκεκριμένη από την Αρμόδια Αρχή. Για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου ( $S \leq 0,5\%$  κ.β. είτε  $S \leq 0,1\%$  κ.β. σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SOx), αυτή θα αναφέρεται στο δελτίο παράδοσης του.



Όρια SOx από IMO και ΕΕ (πηγή IRENA, 2015)

Η πλέον αναγνωρισμένη διαδικασία για την επίτευξη του στόχου αυτού, είναι η χρήση των Scrubbers. Το εκάστοτε σύστημα απόπλυσης πρέπει να είναι αποδεκτό και πιστοποιημένο από το Νηογώμονα του πλοίου ώστε να πληροί τις προδιαγραφές, όπως αυτές καθορίζονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Επίσης, προβλέπεται ο περιοδικός έλεγχος της απόδοσης του συστήματος για την διασφάλιση της σωστής λειτουργίας. Οι οδηγίες

περιλαμβάνουν τις δοκιμές, τις επιθεωρήσεις και την τελική έκδοση του πιστοποιητικού. Exhaust Gas Scrubber μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε μηχανή εσωτερικής καύσης και σε οποιοδήποτε μηχάνημα χρησιμοποιεί καύσιμο που υπάρχει στο πλοίο, δηλαδή στην Κύρια Μηχανή, στις Ηλεκτρογεννήτριες και στον Λέβητα. Εξαιρείται το incinerator (κλίβανος αποτέφρωσης), η χρήση του οποίου, εντός των περισσότερων λιμένων απαγορεύεται (20).

Ο Κανονισμός απαιτεί η κάθε μονάδα απόπλυσης να συνοδεύεται από ένα τεχνικό εγχειρίδιο, στο οποίο θα καταγράφονται οι προδιαγραφές του μηχανήματος. Το εγχειρίδιο αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει την διαδικασία επαλήθευσης και επιθεώρησης της σωστής λειτουργίας του μηχανήματος. Η διαδικασία αυτή δεν πρέπει να απαιτεί την χρήση ειδικού εξοπλισμού ή την ειδικευμένη γνώση για την μονάδα. Αν χρειαστούν βοηθητικά μηχανήματα αυτά πρέπει να συνοδεύουν τη μονάδα. Η βασική αρχή της μεθόδου επιθεώρησης είναι ότι, αν εξεταστούν όλες οι παράμετροι λειτουργίας όλων των μηχανημάτων που αποτελούν τη μονάδα και οι ρυθμίσεις τους βρεθούν σύμφωνες με τις τιμές που αναγράφονται στο τεχνικό εγχειρίδιο, τότε δεν απαιτείται η μέτρηση των εκπομπών καυσαερίων. Η επιθεώρηση του συστήματος μπορεί να γίνεται σε τακτικά διαστήματα, τόσο από τον Νηογνώμονα, όσο και από τις τοπικές αρχές Port State Controls.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων από πλοία είναι υψηλότερα από αυτά των χερσαίων μέσων μεταφοράς. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών στις ευρωπαϊκές θάλασσες προέρχεται από πλοία μεγαλύτερα των 500 GRT. Περίπου το 45% των εκπομπών προέρχεται από πλοία με ευρωπαϊκή σημαία και κατ'επίκρουση το 20% παρατηρείται εντός των 12 ναυτικών μιλίων από την ακτή.

Σημειώνεται, ότι για την είσοδο του πλοίου σε Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών SO<sub>x</sub> (ΠΕΕΘ), όπως η Βαλτική, η Βόρεια Θάλασσα και η Μάγνη θα καταγράφονται στοιχεία που αφορούν τον όγκο του καυσίμου πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (μικρότερης ή ίσης του 0,1% κ.β. σε περιεχόμενο θείο ως το 2015) σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία εναλλαγής του καυσίμου. Ενδεικτικά η σχετική εγγραφή μπορεί να γίνεται στο ημερολόγιο γεφύρας ή μηχανής του πλοίου.

Επίσης, η αλλαγή του καυσίμου, σε καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, θα πρέπει να γίνεται μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα, αρκετά πριν από τα όρια της ελεγχόμενης περιοχής, ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης απόπλυση του συστήματος πετρελαίου από το HFO. Η διαδικασία fuel oil change-over procedure, πρέπει να είναι καταγεγραμμένη, για κάθε πλοίο ξεχωριστά, διότι επηρεάζεται από τις δεξαμενές και τον τύπο της μηχανής του εκάστοτε πλοίου. Για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου ( $S \leq 3,5\%$  κ.β. είτε  $S \leq 1\%$  κ.β. σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SO<sub>x</sub>), αυτή θα αναφέρεται στο δελτίο παράδοσης του καυσίμου (bunker delivery note), με ευθύνη του προμηθευτή.

Όταν η μηχανή γυρίζει από χρήση καυσίμου HFO σε MGO ή MDO όπου δεν απαιτείται προθέρμανση, λόγω της υπολειμματικής θερμότητας στο κύκλωμα καυσίμου, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλήματα στις αντλίες από εξαέρωση του ελαφρού καυσίμου εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας. Πρέπει λοιπόν να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το γύρισμα από HFO σε MGO ή MDO.

Οι κανονισμοί πλέον απαιτούν κατά τον ελλιμενισμό την χρήση καυσίμου με την περιεκτικότητα σε θείο 0,1%. Είναι προφανές ότι το μόνο καύσιμο που πληροί αυτούς τους όρους είναι το MGO. Είναι όμως πιθανό ότι θα υπάρχουν διαρροές καυσίμου από τις αντλίες

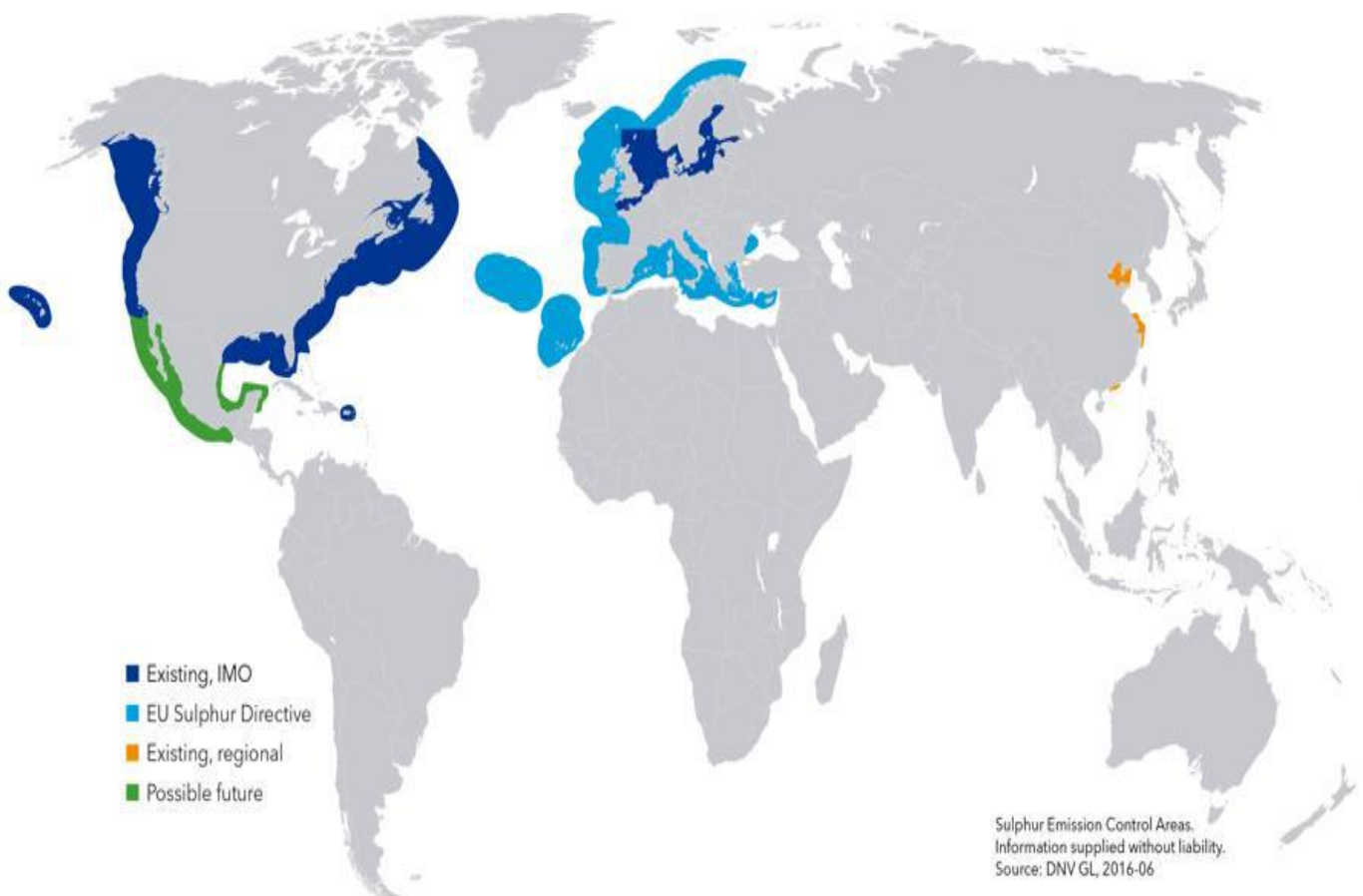
εφόσον οι αντλίες είναι σχεδιασμένες για ιξώδη 10 – 20 mm<sup>2</sup>/s ενώ τα χαμηλού θείου καύσιμα έχουν ιξώδη από 1 – 3 mm<sup>2</sup>/s.

Τα κάτωθι μπορούν να συμβούν ως επακόλουθο των διαρροών: 1. Πτώση της πίεσως στις αντλίες, 2. Περιορισμός στην ποσότητα εκχύσεως καυσίμου, 3. Φαινόμενα Εξαερώσεως, 4. Διαρροές καυσίμου, 5. Βραδυπορία στην ανάφλεξη για μηχανές που έχουν σχεδιασθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς NOX.

Από την άλλη, η ανάμειξη του καυσίμου με το λιπαντικό της μηχανής θα επιφέρει και τα κάτωθι προβλήματα: 1. Πτώση του ιξώδους του λιπαντελαίου, 2. Πτώση του Σημείου Αναφλέξεως. Αυτό μπορεί να γίνει και αιτία ανάφλεξης, 3. Επειδή το καύσιμο αυτό έχει χαμηλά αρωματικά δεν είναι φιλικό σε πολλά λάστιχα στεγανοποίησης και αυτό μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στεγανοποίησης στο κύκλωμα καυσίμου.

### - California Air Resources Board (CARB)

Η πολιτεία της Καλιφόρνιας στην Αμερική έχει θεσπίσει επιπλέον μέτρα και πιο αυστηρά για της εκπομπές οξειδίων του θείου από αυτές που περιγράφονται στην MARPOL Annex VI. Τα μέτρα αυτά απευθύνονται στα ποντοπόρα πλοία που ταξιδεύουν εντός 24 μιλίων από τις ακτές της Καλιφόρνιας και περιλαμβάνουν τις εκπομπές των κυρίων μηχανών πρόωσης, των βοηθητικών γεννητριών και των βραστήρων.



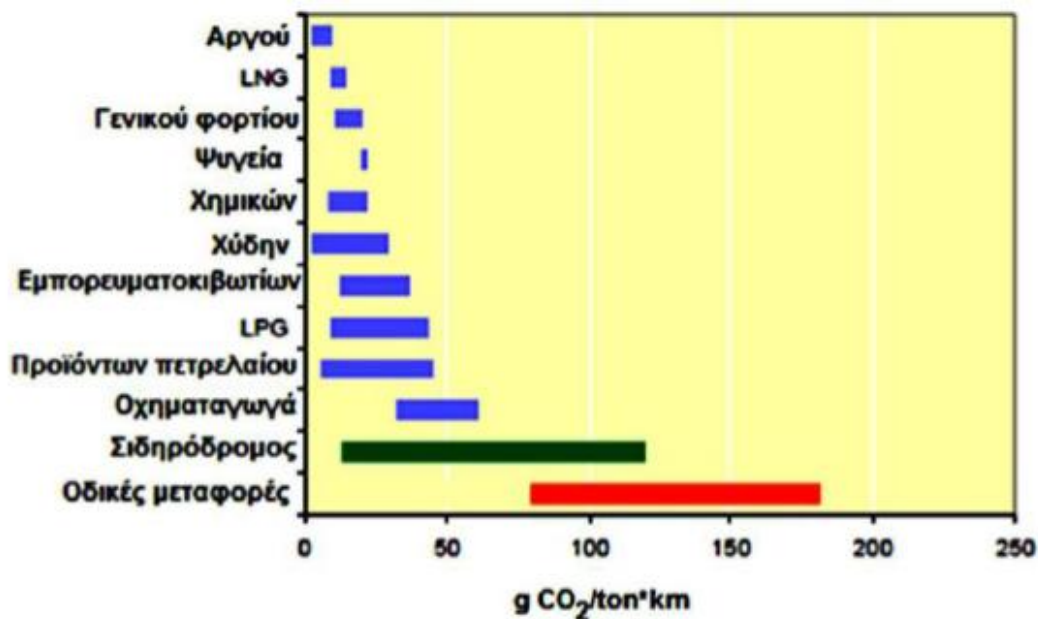
Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών οξειδίων του θείου ανά τον Κόσμο (πηγή IRENA, 2015)

## 2.6 Αέρια Φαινομένου Θερμοκηπίου

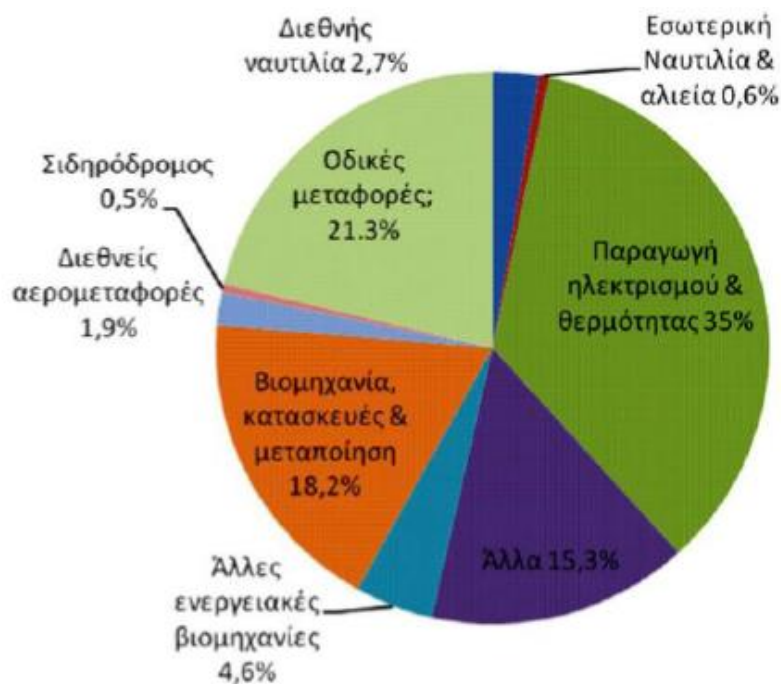
Η πρώτη μελέτη του IMO για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, η οποία δημοσιεύτηκε το 2000, εκτιμούσε ότι τα πλοία που χρησιμοποιούνταν στο διεθνές εμπόριο το 1996 συνεισέφεραν με ποσοστό περίπου 1,8% του παγκόσμιου συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η δεύτερη παρόμοια μελέτη του IMO, που δημοσιεύτηκε το 2009, εκτιμούσε ότι η διεθνής ναυτιλία εξέπεμψε 870 εκ. τόνους, δηλαδή περίπου 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> του 2007. Η δεύτερη μελέτη του IMO, για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία προσδιορίζει ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, αλλάζοντας τη σχεδίαση και τη λειτουργία του πλοίου.

Η τρίτη μελέτη GHG του 2014 (21), του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας δείχνει ότι μεταξύ του 2007 και του 2012, ο παγκόσμιος ναυτιλιακός στόλος κατανάλωσε 250-325 εκατομμύρια τόνους καυσίμου, αποτελώντας το 2.8% των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως (3.1% των ετήσιων εκπομπών CO<sub>2</sub>).

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί πλέον ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της ανθρωπότητας τα αρνητικά αποτελέσματα της οποίας είναι ορατά σε ολόκληρο τον πλανήτη. Η ναυτιλία αποτελεί έναν περιβαλλοντικά φιλικό μέσο μεταφοράς αγαθών ως προς τις επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα μεταφορικού έργου είναι σχετικά χαμηλές και μπορεί να συγκριθούν μόνο με τις αντίστοιχες εκπομπές των σιδηροδρομικών μεταφορών εκφράζονται όμως φόβοι ότι οι συνολικές εκπομπές από τη ναυτιλία μπορεί να τριπλασιαστούν μέχρι το 2050, εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα. Οι εκπομπές διοξειδίου το άνθρακα από διάφορες κατηγορίες πλοίων, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές φαίνονται στο σχήμα (πηγή:IMO) που ακολουθεί.



Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τους άλλους τομείς δραστηριότητας σε παγκόσμιο επίπεδο.



(πηγή: IMO)

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 και έχουν όγκο μικρότερο από 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα σημαντικότερα είναι οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>). Κάθε μεταβολή στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων, διαταράσσει το ενεργειακό ισοζύγιο, προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου κλιματικές αλλαγές.

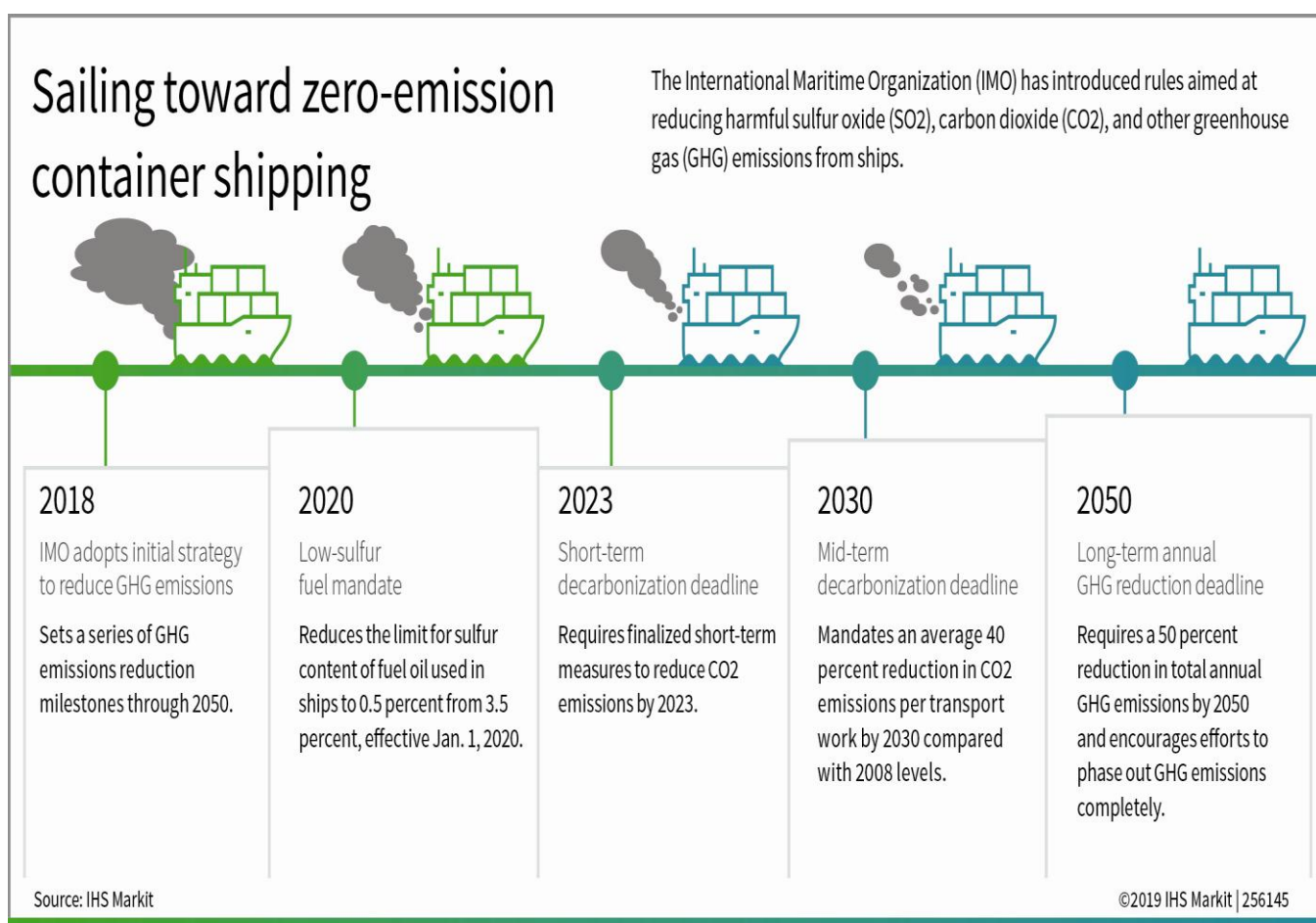
Αναφορικά με τη συνεισφορά των υπόλοιπων ρύπων της ναυτιλίας στην παγκόσμια θέρμανση ισχύουν τα ακόλουθα: Τα ίδια τα NO<sub>x</sub> δεν απορροφούν ούτε ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, είναι δηλαδή κλιματικά ουδέτερα. Όμως συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις στην κατώτερη ατμόσφαιρα (φωτοχημικό νέφος) που έχουν ως συνέπεια την παραγωγή όζοντος (O<sub>3</sub>), το οποίο αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου. Από την άλλη πλευρά, τα NO<sub>x</sub> συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις διάσπασης του μεθανίου (CH<sub>4</sub>), το οποίο αποτελεί ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Οι δύο αυτές δράσεις είναι παρόμοιου μεγέθους και αλληλοεξουδετερώνονται. Συνεπώς, η καθαρή έμμεση επίδραση των NO<sub>x</sub> στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι αμελητέα.

Τα οξείδια του θείου στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν σωματίδια θεικών, τα οποία έχουν την ιδιότητα να σκεδάζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, περιορίζοντας το ποσοστό που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Συνεπώς μειώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου ψύχοντας την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, η ναυτιλία εκπέμπει **αιθάλη** ως μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων. Η αιθάλη, όταν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, λόγω του μαύρου χρώματός της, ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξάνοντας την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας ενώ παράλληλα σκιάζει και ψύχει την επιφάνεια της γης που βρίσκεται από κάτω. Όταν η αιθάλη πέσει σε ανοιχτόχρωμες περιοχές του πλανήτη (π.χ. Αρκτική) μειώνει την ανακλαστικότητά τους, συντελώντας στη θέρμανση (22).



Παρόλο που η ανάπτυξη νέων σχεδιασμών πλοίων που χρησιμοποιούν ηλεκτροκίνητες, υβριδικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις υπερατλαντικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων είναι ακόμη στα σπάργα, πολλοί ειδικοί της βιομηχανίας είναι σίγουροι για την ικανότητά τους να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) ναυτιλία μακροπρόθεσμα, με βάση εν μέρει τις πρόσφατες εξελίξεις σε εναλλακτικά σχέδια για εμπορικές συναλλαγές μικρών αποστάσεων.

Το 2018, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) ξεκίνησε την αρχική του στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, περιγράφοντας μια σειρά βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων ορόσημων για να επιτύχει τον τελικό στόχο της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008.



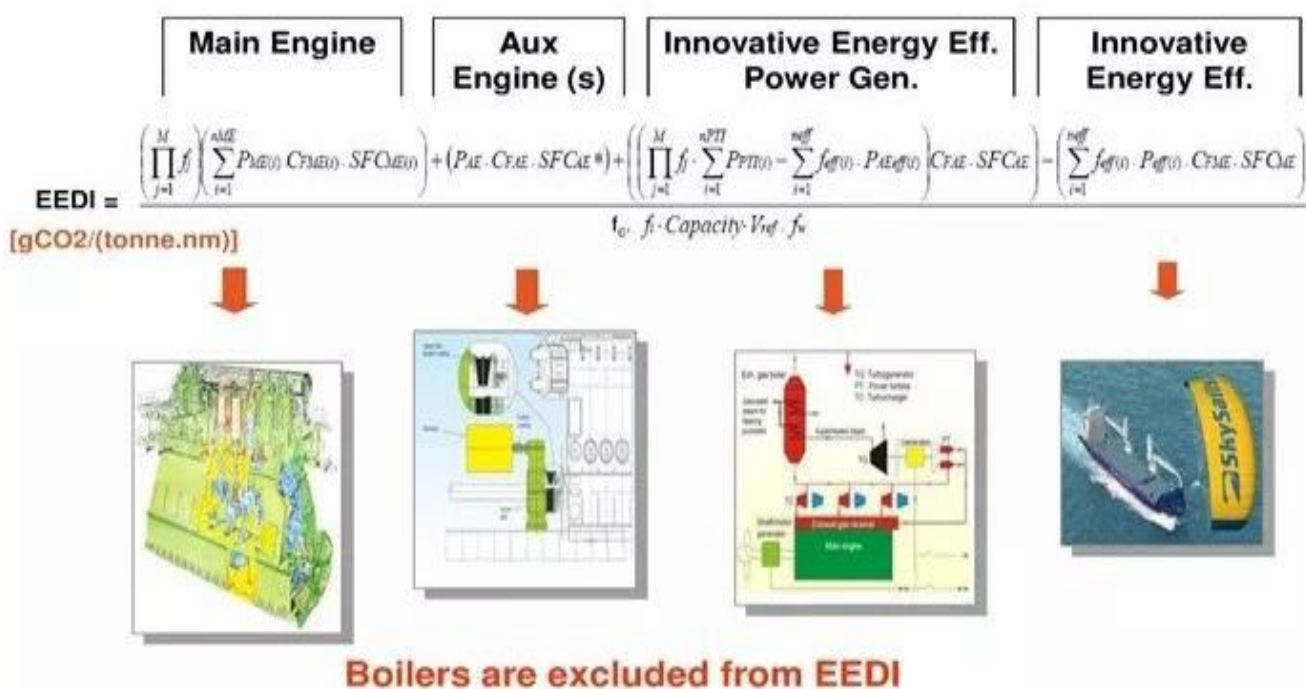
**Στρατηγική μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με τον IMO (πηγή IRENA, 2015)**

Παρά τις δυνατότητες χαμηλών εκπομπών των νέων σχεδίων πλοίων, υπάρχουν ακόμα σημαντικά εμπόδια στην υλοποίηση, δηλαδή ότι υπάρχουν πάνω από 50.000 σκάφη στον παγκόσμιο στόλο και δεν μπορούν απλώς να αντικατασταθούν ή να τροποποιηθούν μέσα σε ένα βράδυ.

Την 1η Ιανουαρίου 2013 τέθηκαν σε ισχύ οι προβλέψεις του νέου Κεφαλαίου 4 του Παραρτήματος VI της MARPOL, το οποίο εισάγει μέτρα που έχουν στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ναυτιλίας, ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές CO<sub>2</sub>. Στον Κανονισμό 21 του Κεφαλαίου 4 εισάγεται ο **Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI)**, ο οποίος αφορά κυρίως τεχνικά μέτρα και είναι υποχρεωτικός για τα νέα πλοία, ενώ στον Κανονισμό 22 εισάγεται και ένα υποχρεωτικό εργαλείο διαχείρισης (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP), το οποίο αφορά λειτουργικά κυρίως μέτρα, για όλα τα πλοία (νέα και υπάρχοντα). Για να μπορέσει ένα πλοίο να αποκτήσει το **Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate – IEEC)**, θα πρέπει να τηρεί τις απαιτήσεις για τον EEDI και το SEEMP.

## 2.7 EEDI

Στο πλαίσιο των κατευθυντήριων οδηγιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, η MEPC (Marine Environment Protection Committee), μετά από αριθμό συνεδριάσεων ανέπτυξε τον **Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index, EEDI)**. Ο EEDI αποτελεί ένα μαθηματικό τύπο, ο οποίος εκφράζει την αναλογία μεταξύ του κόστους (δηλαδή εκπομπής CO<sub>2</sub>) και του κέρδους που παράγεται, το οποίο εκφράζεται ως ικανότητα μεταφοράς αγαθών, από τη λειτουργία του πλοίου.



Απλοποιημένη σχηματική αναπαράσταση της βασικής αρχής του EEDI και τύπος υπολογισμού του (πηγή: IMO)

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> θεωρείται ότι προέρχονται από τις κύριες μηχανές και από τις βοηθητικές μηχανές, μετά την αφαίρεση των εκπομπών που αναλογούν στην ισχύ που προσφέρεται από τη χρήση αντίστοιχων καινοτόμων τεχνολογιών. Το κέρδος που παράγεται θεωρείται ότι αποτελείται από το μεταφερόμενο φορτίο επί την ταχύτητα του πλοίου. Ο δείκτης EEDI εκφράζει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από ένα πλοίο κάτω από ειδικές συνθήκες (π.χ. φορτίο μηχανών, έλξη, αέρας, κύματα κτλ) σε σχέση με ένα ονομαστικό ποσοστό μεταφοράς. Η μονάδα EEDI είναι «γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά χωρητικότητα – μίλι», όπου «χωρητικότητα» είναι μια έκφραση της ικανότητας μεταφοράς του φορτίου, για το οποίο το πλοίο έχει σχεδιαστεί να μεταφέρει. Για τα περισσότερα σκάφη, η «χωρητικότητα» εκφράζεται ως πρόσθετο βάρος (deadweight).

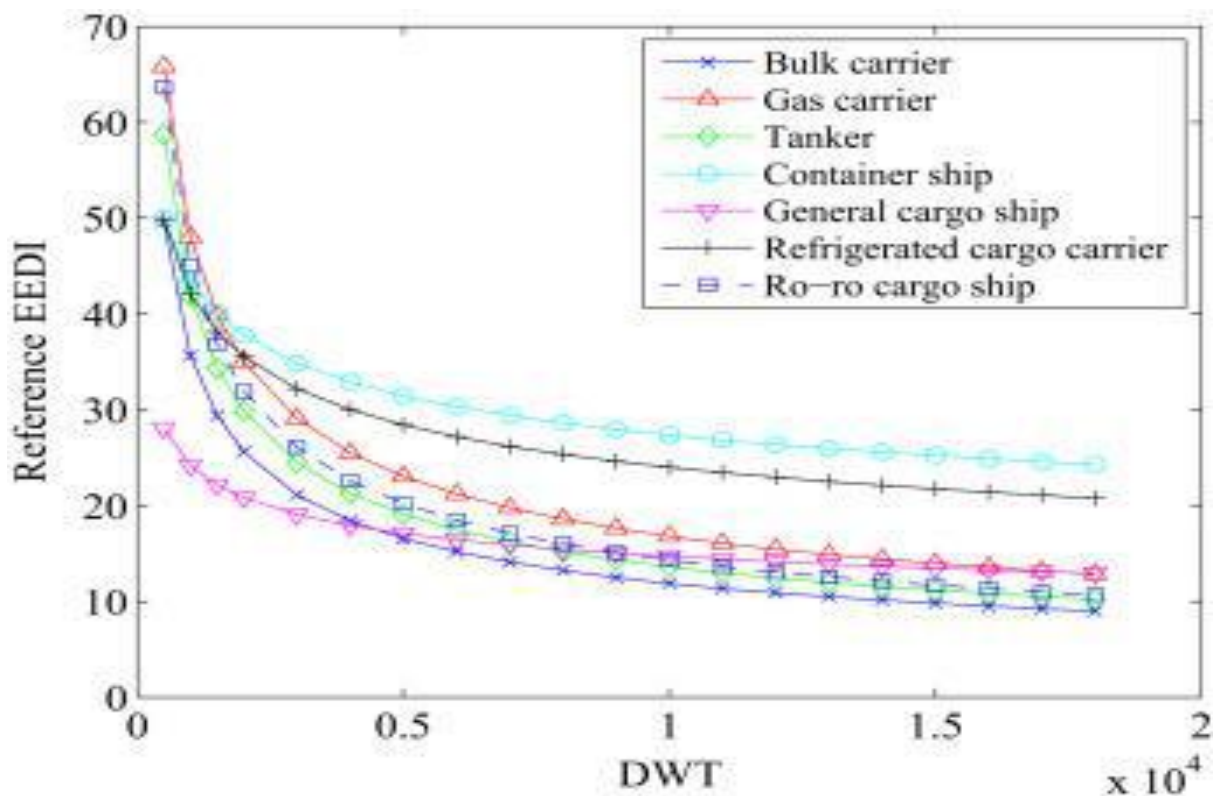
Ο πρωταρχικός σκοπός του EEDI είναι να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα των νέων κατασκευών. Βάσει της μεθοδολογίας αυτής, ο υπολογισθείς EEDI (ή επιτευχθείς EEDI) ενός νέου πλοίου με βάση τα σχεδιαστικά του χαρακτηριστικά και θαλάσσιες δοκιμές θα πρέπει να λαμβάνει χαμηλότερη τιμή από μια τιμή αναφοράς (τον απαιτούμενο EEDI), που προκύπτει με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων (ανάλυση παλινδρόμησης) σε τιμές EEDI υπαρχόντων πλοίων που χτίστηκαν μεταξύ 1999 και 2009 (γραμμή αναφοράς) και κάποιου ποσοστού μείωσης. Η βασική ιδέα είναι ότι η τιμή του EEDI ενός νέου πλοίου πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη από την απαιτούμενη τιμή (τιμή στόχο) του EEDI. Με βάση τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου, η ενεργειακή απόδοση του πλοίου θα μετράται με το ποσοστό μείωσης που μπορεί να επιτευχθεί από την γραμμή αναφοράς.

Κατά τη MEPC (2010) υπάρχουν τρεις απλές προσεγγίσεις για τη βελτίωση της τιμής του EEDI:

Αύξηση του DWT. Η αύξηση του DWT απαιτεί παράλληλα και μεγαλύτερη ισχύ των μηχανών του πλοίου. Γενικά, καθώς αυξάνεται το DWT, η αναγκαία αύξηση της ισχύος δεν είναι αναλογική, αλλά υψωμένη στη 2/3. Συνεπώς, η αύξηση στον παρονομαστή υπερβαίνει την αύξηση στον αριθμητή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ η αύξηση του DWT βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και μειώνει τον Επιτευχθέντα EEDI, παράλληλα είναι πιθανόν το πλοίο να υπόκειται σε μικρότερο απαιτούμενο EEDI, λόγω αύξησης της χωρητικότητας.

Μείωση της ταχύτητας (slow steaming). Η ισχύς της κύριας μηχανής είναι ανάλογη της ταχύτητας του πλοίου υψωμένης στην τρίτη δύναμη ( $PME = a \cdot v^3$ ). Συνεπώς, η μείωση της ταχύτητας θα μειώσει την απαιτούμενη ισχύ σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό, άρα θα μειώσει και την επιτευχθείσα τιμή του EEDI. Η μείωση της ταχύτητας του πλοίου θεωρείται πολύ αποτελεσματικό μέσο για τη βελτίωση της ενεργειακής του αποτελεσματικότητας.

Εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Αφορά τεχνικά εφικτές τεχνολογίες που έχουν εφαρμογή σε κάποιον τύπο πλοίου και έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζουν ή δεν θέτουν περιορισμούς σε λειτουργικές ή σχεδιαστικές του παραμέτρους, όπως η ταχύτητα και το DWT.



Γραμμή αναφοράς της απαιτούμενης τιμής EEDI ανάλογα με τον τύπο του πλοίου (πηγή: IMO)

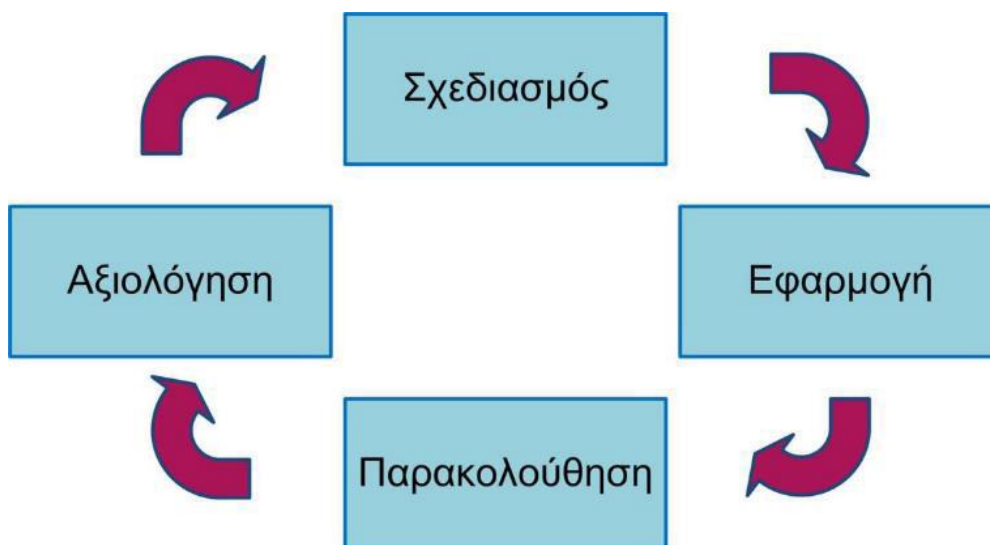
Ο EEDI αξιολογείται θετικά και αρνητικά σε μια έντονη συζήτηση που λαμβάνει χώρα αυτή την περίοδο. Πρόκειται για έναν δείκτη που μετράει την ενεργειακή απόδοση των πλοίων και δεν δεσμεύει για τις κατασκευαστικές βελτιώσεις και τεχνολογίες με τις οποίες θα επιτευχθεί η απαιτούμενη ενεργειακή αποδοτικότητα. Αυτό σημαίνει ότι κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων θα μπορούν να χρησιμοποιούνται κάθε φορά οι πιο σύγχρονοι και αποδοτικοί τρόποι συμμόρφωσης με τους κανονισμούς.

## 2.8 SEEMP

Το **Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου** είναι ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο το οποίο καθιερώνει έναν μηχανισμό βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το SEEMP έγινε υποχρεωτικό από τον IMO για όλα τα πλοία πάνω από 400 GT σε διεθνείς πλόες από την 1/1/2013 και απαιτείται για την έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate – IEEC).

Κάθε πλοίο θα πρέπει να διαθέτει ένα SEEMP επί του σκάφους, που θα έχει εκπονηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Το SEEMP δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια ακόμη γραφειοκρατική διαδικασία, αλλά ως ιδανική ευκαιρία για τον διαχειριστή του πλοίου να μειώσει το κόστος του καυσίμου, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποτελεσματικότητα του πλοίου.

Η κυκλική διαδικασία της ανάπτυξης και εφαρμογής του SEEMP παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα



### Στάδια εφαρμογής του SEEMP

Ενώ το SEEMP είναι ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο για όλα τα πλοία, μπορεί παράλληλα να θεωρηθεί μη δεσμευτικός κανονισμός (soft regulation), υπό την έννοια ότι δεν υπάρχει μηχανισμός που να επιβάλλει ή να δίνει κίνητρα στους διαχειριστές του πλοίου να εφαρμόσουν το SEEMP που έχει εκπονηθεί για κάθε πλοίο τους. Η επιβολή του κανονισμού περιορίζεται στην εξακρίβωση (για παράδειγμα κατά τον έλεγχο του πλοίου από το κράτος λιμένα) ότι το SEEMP υπάρχει επί του πλοίου ως μέρος των επίσημων εγγράφων του και ότι έχει εκπονηθεί βάσει των οδηγιών.

Επισημαίνεται ότι η ύπαρξη Δήλωσης Συμμόρφωσης (Statement of Compliance – Fuel Oil Consumption Reporting”) στα υπόχρεα πλοία θα αποτελεί αντικείμενο ελέγχου κατά τις επιθεωρήσεις των πλοίων στα λιμάνια (Port State Control).

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου που αφορούν σε υπόχρεο πλοίο θα πρέπει να συλλέγονται και να υποβάλλονται από τις Διαχειρίστριες Εταιρείες συγκεντρωτικά (aggregated), στην Αρχή της σημαίας ή σε εξουσιοδοτημένο Οργανισμό, εντός τριμήνου από τη λήξη του ημερολογιακού έτους αναφοράς (reporting period). Στις συγκεντρωτικές αναφορές, σύμφωνα με το υπόδειγμα του νέου Προσαρτήματος ΙΧ, περιλαμβάνονται υποχρεωτικά τα στοιχεία του πλοίου (IMO number, τεχνικά στοιχεία (GT, DWT, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για κύριες και βοηθητικές μηχανές με ιπποδύναμη άνω των 130 kW ο σχεδιαστικός δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας (EEDI) (εάν είναι διαθέσιμος), ο χαρακτηρισμός Ice Class (εάν υπάρχει) κ.α.) Επιπρόσθετα, αναφέρονται αθροιστικά η μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο καυσίμου ανάλογα με τη μέθοδο συλλογής δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου που χρησιμοποιείται στο πλοίο, π.χ. με βάση τα δελτία παράδοσης καυσίμου (BDN) και την περιοδική καταμέτρηση περιεχομένου δεξαμενών καυσίμου, η συνολική διανυθείσα απόσταση, καθώς και οι συνολικές ώρες λειτουργίας του πλοίου.

Η περίοδος αναφοράς (reporting period) αφορά στη χρονική περίοδο συλλογής και αναφοράς δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου για υπόχρεο πλοίο, εφόσον αυτό διατηρεί την ίδια σημαία ή λειτουργεί υπό την ευθύνη ίδιας διαχειρίστριας εταιρείας.

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου επαληθεύονται με βάση τις διαδικασίες που έχει θεσπίσει η Αρχή της σημαίας του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές Κατευθυντήριες Γραμμές του IMO (9). Εφόσον επαληθευτεί από την αρμόδια Αρχή της σημαίας ή

εξουσιοδοτημένο από αυτήν Οργανισμό ότι τα δεδομένα πληρούν τις απαιτήσεις του νέου Κανονισμού, εκδίδεται Έντυπο Δήλωσης Συμμόρφωσης σχετικά με την αναφορά κατανάλωσης καυσίμου (Statement of Compliance – Fuel Oil Consumption Reporting), όχι αργότερα από τη λήξη του πενταμήνου από την έναρξη του ημερολογιακού έτους για το υπόχρεο πλοίο. Σε κάθε περίπτωση, η αρμόδια Αρχή της σημαίας διατηρεί ακέραη την ευθύνη για την έκδοση της Δήλωσης Συμμόρφωσης ακόμα και στην περίπτωση έκδοσής της από εξουσιοδοτημένο από αυτήν Οργανισμό.

Η Δήλωση Συμμόρφωσης με την οποία εφοδιάζονται τα υπόχρεα πλοία, πιστοποιεί ότι έχουν υποβληθεί στην Αρχή της σημαίας ή σε εξουσιοδοτημένο Οργανισμό τα δεδομένα (κατανάλωσης καυσίμου) που απαιτούνται σύμφωνα με το νέο Κανονισμό 22Α (MARPOL, Annex VI). Επίσης, πιστοποιεί όχι μόνο ότι τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν, αλλά και ότι για αυτά υποβλήθηκαν έγκαιρα οι προβλεπόμενες αναφορές σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τις διαδικασίες που περιγράφονται στο Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του πλοίου (SEEMP).

Τα δεδομένα και πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο Προσάρτημα ΙΧ υποβάλλονται συγκεντρωτικά από την Αρχή της σημαίας για συμπερίληψη στη Βάση Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμου Πλοίου του ΙΜΟ εντός μηνός από την έκδοση Δήλωσης Συμμόρφωσης για υπόχρεο πλοίο, με προβλεπόμενο τύπο (standardized format) και ακολουθώντας την προβλεπόμενη διαδικασία (via electronic communication).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 150 ετών, οι τεχνολογίες πρόωσης στην ναυτιλία υπέστησαν σημαντικές αλλαγές ξεκινώντας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τη χρήση ιστίων (αιολική ενέργεια), πέρασαν στον ατμό (άνθρακας) τα βαρέα καύσιμα (HFO) και το ναυτιλιακό πετρέλαιο (MDO) με τα τελευταία να αποτελούν καύσιμα υψηλών εκπομπών ρύπων και να είναι οι κυρίαρχες πηγές ισχύος για την πρόωση των πλοίων. Κατά την ίδια χρονική περίοδο η απόδοση των εμπορικών πλοίων που κινούνται από κινητήρες diesel έχει βελτιωθεί φτάνοντας τιμές θερμικής απόδοσης στο 55% για κινητήρες χαμηλής ταχύτητας. Για παράδειγμα στο σχήμα 1 βλέπουμε ότι μεταξύ του 1855 και του 2006 η αύξηση στην αποδοτικότητα είναι ραγδαία και φαίνεται να σταθεροποιείται τα τελευταία 15 έτη της περιόδου αυτής.



(Πηγή : *Stopford, 2010*)

Οι εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε πλοία όλων των μεγεθών περιλαμβάνουν επιλογές πρωτογενούς, υβριδικής ή / και βοηθητικής πρόωσης, καθώς και ενεργειακή χρήση στην ξηρά. Οι πιθανές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις εφαρμογές της ναυτιλίας περιλαμβάνουν τον άνεμο (μαλακά πανιά, σταθερά πτερύγια, ρότορες, χαρταετούς και συμβατικές ανεμογεννήτριες), ηλιακά φωτοβολταϊκά, βιοκαύσιμα, ενέργεια κυμάτων και χρήση συσσωρευτών φορτισμένων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτές οι λύσεις καθαρής ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν με εκσυγχρονισμό του υφιστάμενου στόλου ή ενσωματωμένες στη νέα ναυπηγική βιομηχανία και το σχεδιασμό, με ένα μικρό αριθμό νέων πλοίων που επιδιώκουν την ανανεώσιμη ενέργεια των 100% ή την τεχνολογία μηδενικών εκπομπών για πρωταρχική πρόωση.

Η έρευνα και ανάπτυξη (E & A) στην ναυτιλία στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υστερεί σε μεγάλο βαθμό από τις επενδύσεις σε άλλους τομείς ενεργειακών χρηστών. Παραδοσιακά, η καινοτομία διευθύνεται από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ). Ωστόσο, δύο μετασχηματισμοί είναι πιθανό να κυριαρχήσουν στο πρώτο μισό του 21ου αιώνα: οι γεωπολιτικές αναδιαρθρώσεις της παγκόσμιας οικονομίας και η μετάβαση από τις οικονομίες υψηλής έως χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Οι προσπάθειες για τη μείωση του άνθρακα στον τομέα της ναυτιλίας καθίστανται όλο και πιο εμφανείς, όπως καταδεικνύεται από το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα πράσινα πλοία στη Νότια Κορέα, το επίκεντρο της ναυπηγικής βιομηχανίας της Κίνας για την ενίσχυση της τεχνολογικής καινοτομίας και της ικανότητας σχεδιασμού και των στρατηγικών εταιρικών σχέσεων μεταξύ ευρωπαϊκών και ασιατικών εταιρειών για την ανάπτυξη καινοτόμων πράσινων πλοίων. Στην ΕΕ, η πρωτοβουλία LeaderSHIP στοχεύει στη διασφάλιση του μέλλοντος της ευρωπαϊκής ναυπηγικής βιομηχανίας μέσω καινοτόμων, πράσινων και ενεργειακά αποδοτικών σχεδίων πλοίων και διαφοροποιημένων αγορών.

## Παρελθόν και μέλλον της χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας στην ναυτιλία

Η μετάβαση από τα μαλακά πανιά στα ορυκτά καύσιμα που προωθούσαν τη ναυτιλία στα τέλη του 19ου και του πρώτου μισού του 20ού αιώνα δεν ήταν ομαλή αλλά ακολούθησε μια σειρά ενεργειακών κρίσεων και ναυτιλιακών εμποδίων. Η ανανεώσιμη ενέργεια επανεξετάστηκε κατά τη διάρκεια κάθε σημαντικής ενεργειακής κρίσης. Για παράδειγμα, τα ζητήματα ενεργειακής ασφάλειας μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο οδήγησαν στην ανάπτυξη της τεχνολογίας ρότορα Flettner, η εξέλιξη της οποίας περιορίστηκε με τη συντριβή της Wall Street του 1929 και την εισαγωγή φθηνών καυσίμων και κινητήρων στα τέλη της δεκαετίας του 1920. Η σχετικά σύντομη διάρκεια τέτοιων γεγονότων σήμαινε ότι οι εναλλακτικές λύσεις ανανεώσιμης ενέργειας δεν απέκτησαν έλξη παρά την απόδειξη της ιδέας. Αυτή η έλλειψη έλξης στην αγορά επανεμφανίστηκε στην πετρελαϊκή κρίση του 1979 όταν μια σειρά από πολλά υποσχόμενες δοκιμές τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώθηκαν σύντομα μετά την πτώση των τιμών του πετρελαίου το 1986. Τέτοιες δοκιμές περιλάμβαναν μετασκευή πλωτών οχημάτων σε φορτηγά / επιβατηγά πλοία χωρητικότητας 300 τόνων στα Φίτζι, τα καταμαράν στην Ινδονησία και τα βοηθητικά δεξαμενόπλοια σταθερής πέρυγας και φορτηγά οχήματα χωρητικότητας 600-31000 τόνων στην Ιαπωνία. Τέτοια πειράματα πραγματοποιούσαν εξοικονόμηση καυσίμων μεταξύ 10-30%, αλλά οι πτώση των τιμών του πετρελαίου περιόρισαν αυτές τις προσπάθειες. Τα «διδάγματα» από την περίοδο αυτή - εκτός από την επιβεβαίωση της ουσιαστικής εξοικονόμησης στην κατανάλωση καυσίμων, στη φθορά των κινητήρων και στην έλκα, στη σταθερότητα και την άνεση των σκαφών, ήταν ότι οι αρχικές ανησυχίες για την τελική σταθερότητα των σκαφών, τη μείωση της ταχύτητας και του περιθωρίου ελιγμών αποδείχθηκαν αβάσιμες.

Οι πρωταρχικές, υπονήφιες για προσεχή μελλοντική χρήση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι: η αιολική, η ηλιακή, τα βιοκαύσιμα / αέρια και η ενέργεια κύματος. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί μια λειτουργική μετατόπιση παραδείγματος, όπως ο καιρός και η εποχιακή δρομολόγηση, για τη μεγιστοποίηση της έκθεσης στις πηγές πρωτογενούς ενέργειας (στην περίπτωση αυτή, τον ήλιο, τον άνεμο και τα κύματα). Αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική απόδοση και για την δημιουργία νέων λειτουργικών διαδικασιών και συστημάτων. Υπάρχουν ποικίλες απόψεις σχετικά με το πόσο σημαντικό ρόλο θα διαδραματίσει η ανανεώσιμη ενέργεια στο μέλλον.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναδειχθεί πολλές καινοτόμες τεχνολογικές εφαρμογές, αρκετές από τις οποίες εκμεταλλεύονται ώριμες τεχνολογίες, με δυνατότητες σημαντικής εξοικονόμησης καυσίμων, ανάλογα με τον τύπο πλοίου, τη διαδρομή και την ταχύτητα. Αυτά τα σχέδια αποσκοπούν επίσης στη μείωση της ανάγκης για ορυκτά καύσιμα για κύρια και βοηθητική ισχύ.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι για την εισαγωγή λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας για τη ναυτιλία: **1)** ως μετασκευές για το υπάρχον στόλο, ή **2)** ενσωματώνοντάς τα σε νέα σχέδια κατασκευής. Πολλές νέες σχεδιαστικές έννοιες για πλοία όλων των κλιμάκων περιλαμβάνουν επιλογές ανανεώσιμης ενέργειας για βοηθητική και βοηθητική χρήση ενέργειας, ενώ μικρότερος αριθμός στοχεύει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών για πρωτογενή προώθηση (π.χ. B9, Ecoliner, Greenheart, Orcelle). Οι περισσότερες εφαρμογές προβλέπουν την ανανεώσιμη ενέργεια ως μέρος μιας ολοκληρωμένης δέσμης μέτρων για την αποτελεσματικότητα. Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει επίσης πιθανή εφαρμογή στην υποδομή της ξηράς, κυρίως για την εναλλακτική παραγωγή ηλεκτρισμού.



Οι εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας μπορούν να είναι πρωταρχική πρόωση (π.χ. Greenheart, B9, OCIUS), βοηθητική πρόωση (π.χ. UT Wind Challenger, E Ship 1, SkySails) ή βοηθητική αντικατάσταση ισχύος (π.χ. Auriga Leader και παραγωγή ηλεκτρισμού από την ξηρά). Κατά την εξέταση της ενεργειακής απόδοσης του ναυτιλιακού κλάδου στο σύνολό του, είναι σημαντικό να υιοθετηθεί μια ολιστική προσέγγιση που να υπολογίζει το «ενεργειακό αποτύπωμα» κάθε τεχνολογίας καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής ενός σκάφους και να λαμβάνει υπόψη επίσης την κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε. Η πτυχή "ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" πρέπει να εξετάσει την κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται (24). Για παράδειγμα, όταν η χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική, η αιολική ή η ηλιακή, τότε αυτές μπορούν να θεωρηθούν εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όχι όμως όταν η ενέργεια που εισάγεται στις κυψέλες καυσίμου προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές.

### 3.1 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Αποτελεί σημαντική λύση στο πρόβλημα της **ηλεκτροπαραγωγής**. Ο άνεμος δημιουργείται λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας του αέρος που δημιουργεί, διαφορές βαρομετρικής. Αν σε δυο συνεχόμενες περιοχές παρατηρηθεί να μην έχουν ίδια θερμοκρασία τότε η ατμοσφαιρική πίεση της περισσότερο ψυχρής θα είναι μεγαλύτερη της θερμότερης με αποτέλεσμα να κινηθεί αέρια μάζα από την ψυχρότερη στη θερμότερη περιοχή. Γενικά οι χρήσεις της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνουν εκτός από την ηλεκτροπαραγωγή και την άντληση νερού. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται είναι οι **ανεμογεννήτριες** οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για τα αιολικά πάρκα.

Είναι ήπιας μορφής ενέργεια και περιλαμβάνεται στις «καθαρές πηγές», στις πηγές δηλ. που δεν εκπέμπουν και δεν προκαλούν ρύπους. Δεν εκλύονται αέρια του θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο **φθηνή** από όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές. Με τη χρήση της παρέχεται η ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών καθώς μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση για την εξοικονόμηση πετρελαιο, ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής, ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλοία με διαφορετικό βαθμό αποτελεσματικότητας, που εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες.

Πριν από την εμφάνιση της ατμομηχανής, τα πανιά μονοπώλησαν την ανοικτή θάλασσα, προωθώντας σχετικά μικρά πλοία με μεγάλα πληρώματα. Εξάλλου, ο άνεμος είναι μια εύκολα διαθέσιμη, αν και κυμαινόμενη, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι καλά κατανοητή. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι οι διακυμάνσεις της δύναμης του ανέμου και η δυσκολία στην αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού προώθησης κατά την πλεύση στον αέρα ή κοντά στον άνεμο. Οι τρέχουσες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν την υιοθέτηση διαφόρων τύπων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που στοχεύουν σε μια σειρά τύπων πλοίων από μικρά χωματουργικά πλοία έως μεγάλους μεταφορείς φορτίου, τόσο ως

πρωτεύουσα όσο και ως βοηθητική πρόωση. Η πρόωση του ανέμου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στις τεχνολογίες μαλακών πανιών (soft-sail), σταθερών πανιών-ιστιοφόρου, σε πανιά τύπου χαρταετού, σε ρότορες και ανεμογεννήτριες.

Η χρήση ιστιοφόρων σκαφών εξακολουθεί στις μέρες μας αλλά κυρίως στον τομέα της αναψυχής. Αν λάβουμε υπόψη μας το μέγεθος των σύγχρονων εμπορικών πλοίων, (όπως πχ τα δεξαμενόπλοια ULCC -Ultra Large Crude Carrier), είναι εύκολα αντιληπτό ότι η χρήση πανιών είναι τεχνικά μια αδύνατη λύση. Επιπλέον πέρα από τους περιορισμούς μεγέθους, απαιτήσεις υψηλών ταχυτήτων αλλά και θέματα εργονομίας και σχεδίασεως, δεν επιτρέπουν τη χρήση ιστίων από τα σύγχρονα εμπορικά σκάφη. Παρόλα αυτά έχουν γίνει πολλές προσπάθειες εφαρμογής και χρήσης πανιών σε εμπορικά πλοία. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι αιολικές εγκαταστάσεις επί του πλοίου δεν αλληλεπιδρούν με τις κύριες λειτουργίες του πλοίου.

### **3.1.1 Μαλακά πανιά**

Τα πανιά (κάποτε η μόνη πηγή πρόωσης), θεωρούνται και σήμερα μια ενδιαφέρουσα μέθοδος για την παροχή πρόσθετης συμπληρωματικής ισχύος. Τα συμβατικά μαλακά πανιά προσφέρουν μια αποδεδειγμένη, ώριμη τεχνολογία, ικανή να εκμεταλλευτεί άμεσα την προωθητική δύναμη του ανέμου. Στον αντίποδα η χρήση των παραδοσιακών πανιών επιβάλλει ροπές κάμψης στο σκάφος, με αποτέλεσμα το πλοίο να παίρνει κλίση.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στις βιομηχανίες των super yacht και των αγωνιστικών yacht μπορούν τώρα να ενσωματωθούν στη βιομηχανική χρήση. Τα ιστία μπορούν να αναπτυχθούν είτε ως πρωτογενή είτε ως βοηθητική πρόωση και μπορούν είτε να είναι εκ των υστέρων προσαρμοσμένα σε ορισμένα υφιστάμενα περιουσιακά στοιχεία είτε να ενσωματωθούν στο νέο σχεδιασμό των κατασκευών.

Οι σημερινοί ηγέτες της αγοράς συμπεριλαμβάνουν το φορτηγό 75 dwt της Greenheart, το φορτηγό B9 Shipping 3000 dwt και το 7000 dwt Ecoliner της Dykstra / Fair Transport. Τα τελευταία δύο μοντέλα διαθέτουν εκδόσεις των συστημάτων Dyna-Rig (τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στο super yacht Maltese Falcon) τα οποία λειτουργούν αυτόματα από τη γέφυρα, επιτρέποντας την ευκολότερη αξιοποίηση του ανέμου, διατηρώντας τα μεγέθη του πληρώματος συγκρίσιμα με τα πλοία με ορυκτά καύσιμα και επιτρέποντας εύκολη πρόσβαση σε καταπακτές για φόρτωση και εκφόρτωση φορτίων. Το φορτηγό πλοίο της Greenheart θα αναπτύξει έναν πιο συμβατικό συνδυασμό φλόκου (jib) και κυρίως ιστίου (mainsail). Η ιταλική ναυτιλιακή εταιρία καινοτομίας, η Seagate, έχει κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας δελτοειδή wing sails για μετασκευή σε υπάρχοντα πλοία, συμπεριλαμβανομένων Ro-Ro, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και μεταφορείς αυτοκινήτων. Υπάρχουν επίσης διάφορες διαμορφώσεις δοκών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φορτηγά μικρής κλίμακας και καταμαράν για τοπική χρήση, ειδικά στις νησιωτικές κοινότητες ή ως βοηθητική δύναμη σε ένα ευρύ φάσμα υφιστάμενων μικρής κλίμακας συνηθισμένων (μηχανοκίνητων) σκαφών. Τα εν λόγω πλοία παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



(α) Greenheart



(β) B9 Shipping



(γ) Dykstra/Fair Transport Ecoliner



(δ) Seagate Delta Wing Sails

(πηγή: IRENA, 2015)

### 3.1.2 Σταθερά πανιά

Τα σταθερά πανιά είναι ουσιαστικά άκαμπτα «πτερύγια» σε έναν περιστρεφόμενο ιστό (κατάρτι). Με τη χρήση των ιστίων αυτών δύναται να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμων μέχρι 21% για δεξαμενόπλοια, 8,5% για οχηματαγωγά και 20% για πλοία μεταφοράς αυτοκινήτων. Οι τρέχουσες προτάσεις περιλαμβάνουν τη χρήση σε μεγάλα πλοία (π.χ. το **UT Wind Challenger** και το έργο **EffShip5**, το οποίο περιλαμβάνει τη χρήση άκαμπτων πανιών με τηλεσκοπικούς ιστούς που μπορούν να μαζευτούν σε καταστάσεις δύσκολων καιρικών συνθηκών ή σε λιμένες).



**EffShip5 model**



**UT Wind Challenge**

(πηγή: IRENA, 2015)

Διάφορες μορφές σταθερών περυγίων έχουν προταθεί από τα ιαπωνικά πειράματα στη δεκαετία του '80. Αυτές περιλαμβάνουν το Walking Wingsail, το οποίο τοποθετήθηκε στο Ashington των 6 500 dwt, το 1986. Οι δοκιμές στη συνέχεια δεν κατέδειξαν σημαντικές εξοικονομήσεις και ορισμένα τεχνικά εμπόδια δεν κατέστη δυνατό να ξεπεραστούν με αυτήν την προσέγγιση σχεδιασμού. Άλλα τέτοια παραδείγματα από εκείνη την εποχή αποτελούν το 16.000 dwt tanker **Shin Aitoku Maru** και το 26.000 dwt bulk/log carrier **Usuki Pioneer**.

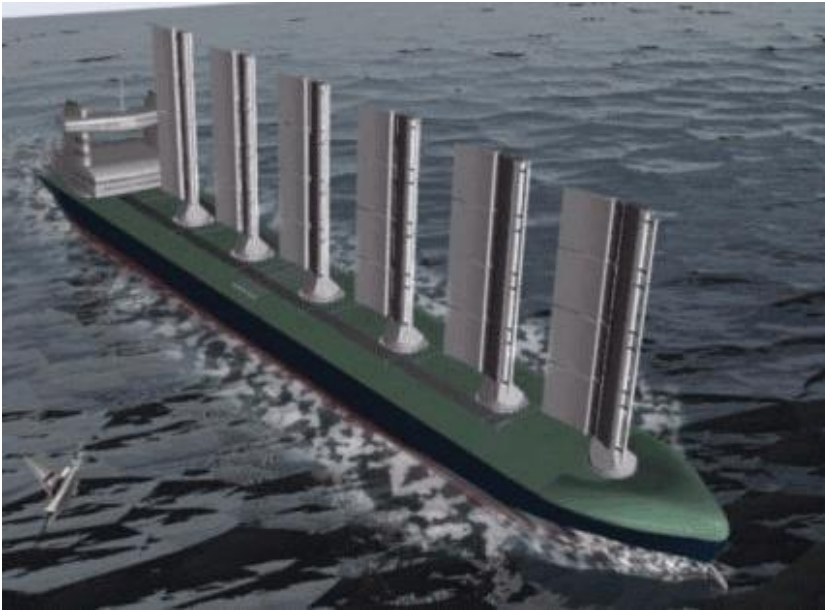


16.000 dwt tanker Shin Aitoku Maru (πηγή :[shipspotting.com](http://shipspotting.com))



26.000 dwt bulk/log carrier Usuki Pioneer (πηγή :[shipspotting.com](http://shipspotting.com))

Το 1995, το Δανέζικο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας χρηματοδότησε μία μελέτη του συμβούλου της Εταιρείας Naval Architects and Marine Engineers, η οποία διερεύνησε στις πιθανότητες για εμπορικά πλοία που θα υποβοηθούνταν από πανιά. Έτσι αναπτύχθηκε, μεταξύ 1995-1999, ένα σχέδιο το οποίο ονομάστηκε «**Modern Windship**», για ένα εμπορικό πλοίο διακοσίων μέτρων και 50.000 τόνων, του οποίου η εικόνα φαίνεται παρακάτω.



**Modern windship** (πηγή: IRENA, 2015)

Μια εταιρεία του Ηνωμένου Βασιλείου, η **Oceanfoil**, έχει επανεξετάσει την χρήση των wing sails και προσφέρει μια νέα πατέντα για ένα αναθεωρημένο και βελτιωμένο σχέδιο που είναι διαθέσιμο για μετασκευή από τις αρχές του 2015. Η Propelwind αναπτύσσει πολλά υποσχόμενα νέα εμπορικά σχέδια προσαρμοσμένα από τον τομέα των αγωνιστικών σκαφών. Επίσης, η Γερμανική Εταιρεία **Sail Log** ερευνήσε τη χρήση πανιών 20.000 m<sup>2</sup> σ' ένα Panamax bulker 50.000 dwt. Παραδοσιακά τετράγωνα πανιά έχουν επιλεγεί από την εταιρεία διότι είναι γνωστό ότι μπορούν να δουλέψουν ικανοποιητικά. Οι μακριές διαδρομές χύδην φορτίου (όπου δεν υπάρχει η ανάγκη για γρήγορο service), έχουν προσδιοριστεί από την Sail Log σαν πιο κατάλληλες για χρήση πανιών ως υποβοήθηση ή ακόμα και για πλήρη χρήση. Η εταιρεία υποστηρίζει ότι τα λειτουργικά κόστη ενός πλοίου χύδην φορτίου που χρησιμοποιεί αυτόματο σύστημα υποβοήθησης με πανιά θα μπορούσαν να είναι 22% χαμηλότερα από εκείνα ενός πλοίου που χρησιμοποιεί diesel. Βεβαίως πρέπει να τονισθεί ότι τα στοιχεία ποικίλουν δραματικά αναλόγως της πηγής. Η αυστραλιανή εταιρεία, OCIUS Technology Ltd, χρησιμοποιεί σταθερά πτερύγια σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελ για να τροφοδοτήσει ενεργειακά harbor ferries. Το **OCIUS** έχει πρόσφατα κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μια μοναδική μορφή σταθερού πανιού ικανό να αναδιπλώνεται για να συμπληρώσει διαφορετικές συνθήκες ανέμου. Προβλέπει ότι η τεχνολογία θα είναι χρησιμοποιήσιμη σε όλα τα μεγέθη σύγχρονων πλοίων. Η φιλοσοφία σχεδιασμού του πλοίου **Vindskip** της της νορβηγικής LadeAS είναι ένα υβριδικό εμπορικό σκάφος με σύστημα πρόωσης που χρησιμοποιεί LNG για καύσιμο και ένα αεροδυναμικό κύτος που λειτουργεί ως γιγάντιο ιστίο.



**Oceanfoil** (πηγή: IRENA, 2015)

Σαν γενικό συμπέρασμα από τις περισσότερες μελέτες που έχουν διεξαχθεί από διάφορες εταιρίες και ερευνητικούς φορείς προκύπτει γενικά ότι η χρήση πανιών σε τυπικές οδούς μεταφοράς προϊόντων είναι κατά κύριο λόγο **αντιοικονομική**. Το κόστος αυξάνεται περίπου 10% σε σύγκριση με ίδιου μεγέθους παραδοσιακά εμπορικά πλοία μεταφοράς προϊόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι χαμηλώνοντας τη μέση ταχύτητα ενός παραδοσιακού πλοίου κατά ένα κόμβο, μπορεί να επιτευχθεί μείωση στην κατανάλωση καυσίμων περίπου 25%. Ωστόσο, με το να προστεθεί εξοπλισμός πανιών, επιπλέον τρεις τόνοι καυσίμου ανά 24 ώρες θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν σε μέρες με πιο πολύ αέρα. Αυτό ανταποκρίνεται στο 10% - 15% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου. Επιπλέον, και από οικονομικής άποψης τα αποτελέσματα δεν είναι θετικά. Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι το εμπορικό πλοίο μεταφοράς προϊόντων δεν είναι η κατάλληλη επιλογή για τη χρήση πανιών. Αντίθετα, υπάρχει μία αύξηση κόστους περίπου 10%. Ακόμα χειρότερα, η εξοικονόμηση καυσίμων ήταν οριακή και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ένα πλοίο με πανιά καταναλώνει περισσότερο καύσιμο από ένα παραδοσιακό πλοίο. Ορισμένες μελέτες επίσης καταλήγουν ότι με προσεκτική δρομολόγηση, η οποία θα εκμεταλλεύεται τις καιρικές εναλλαγές και μείωση της ταχύτητας, τότε η χρήση πανιών θα μπορούσε να αποδειχθεί περιβαλλοντολογικά και οικονομικά ευεργετική.

### 3.1.3 Ρότορες

Οι **ρότορες** ή **κινητήρες τύπου Flettner** είναι κατακόρυφοι περιστρεφόμενοι ρότορες, εγκαταστημένοι επί του πλοίου, που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε πρόωση σε διεύθυνση κάθετη του ανέμου, εκμεταλλευόμενοι το **Φαινόμενο Magnus**, που δημιουργείται όταν ο αέρας περνά πάνω από ένα ήδη περιστρεφόμενο κύλινδρο. Αυτό σημαίνει ότι το πλοίο επωφελείται από την πρόσθετη ώση, με αποτέλεσμα την μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.

Το φαινόμενο Magnus είναι μια δύναμη που ενεργεί σε ένα περιστρεφόμενο σώμα σε ένα κινούμενο ρεύμα αέρα, το οποίο ενεργεί κάθετα και προς την κατεύθυνση του ρεύματος αέρα και του άξονα του ρότορα. Ένας ρότορας Magnus που χρησιμοποιείται για να ωθήσει ένα πλοίο ονομάζεται *πανί ρότορα* και είναι τοποθετημένος με τον άξονά του κάθετο. Όταν ο

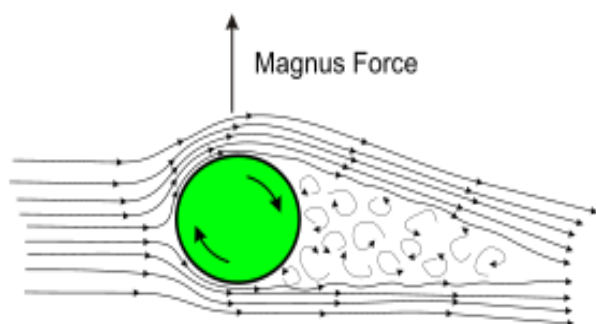
άνεμος φυσάει από τα πλάγια, το φαινόμενο Magnus δημιουργεί μια εμπρόσθια ώθηση. Έτσι, όπως και με οποιοδήποτε ιστιοπλοϊκό σκάφος, ένα πλοίο ρότορα μπορεί να κινηθεί προς τα εμπρός μόνο όταν φυσάει ο άνεμος. Η πιο συνηθισμένη μορφή πλωτήρα είναι ο ρότορας τύπου Flettner.

Λόγω της διευθέτησης των δυνάμεων, ένα πλοίο με ρότορα είναι σε θέση να πλεύσει πιο κοντά στον άνεμο από ένα συμβατικό ιστιοφόρο. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την ευκολία ελέγχου από προστατευμένους σταθμούς πλοήγησης και την έλλειψη απαιτήσεων στερέωσης σε καιρικές συνθήκες.

Ωστόσο, αν το σκάφος αλλάξει πλεύση, έτσι ώστε ο άνεμος να έρθει από την άλλη πλευρά, τότε η κατεύθυνση της περιστροφής πρέπει να αντιστραφεί αλλιώς το πλοίο θα οδηγηθεί προς τα πίσω.

Ο άνεμος δεν τροφοδοτεί τον ίδιο τον ρότορα, ο οποίος πρέπει να έχει τη δική του πηγή ενέργειας. Όπως και άλλα ιστιοπλοϊκά πλοία, τα πλοία ρότορα έχουν συχνά και μια μικρή συμβατική έλικα, για να παρέχουν ευκολία ελιγμών και πρόωσης σε χαμηλές ταχύτητες όταν ο άνεμος δεν φυσάει ή ο δρομέας σταματάει. Σε ένα υβριδικό πλοίο ρότορα η έλικα είναι η πρωταρχική πηγή προώθησης, ενώ ο ρότορας χρησιμοποιείται συμπληρωματικά και έτσι αυξάνει τη συνολική οικονομία καυσίμου.

Στην ελληνική ο ναυπηγικός αυτός τύπος δεν έχει λάβει ακόμη επίσημη ονομασία, ακολουθώντας τον διεθνή πλέον όρο "ρότορσιπ" (rotorship), που προς αποφυγή λανθασμένης αντίληψης κατά μετάφραση, ακολουθείται ως όρος "**πλοίο περιστρεφόμενων ιστίων**".



Αρχή λειτουργίας του φαινομένου Magnus (πηγή: wikipedia)

Πρώτος ναυπηγός που μελετώντας το εν λόγω φαινόμενο ναυπήγησε πλοίο εφαρμογής του φαινομένου ήταν ο **Γερμανός ναυπηγός Φλέττνερ** το 1923, που αντικατέστησε τα ιστία ιστιοφόρου πλοίου, και στη θέση τους τοποθέτησε κατακόρυφα μεγάλους κυλινδρωτούς ιστούς που περιστρεφόμενοι με μικρή ιπποδύναμη σε σύγκριση με μια μηχανή προσδίδουν έτσι (περιορισμένη) κίνηση στο σκάφος.

Αρχικά αποδείχθηκε στη δεκαετία του 1920 σε πολλά πλοία, συμπεριλαμβανομένων των 3000 dwt **Barbara**, ένα πλοίο με τρεις ρότορες που κατασκευάστηκε από το ναυπηγείο A.G. Weser στη Βρέμη. Η τεχνολογία ξεχάστηκε σε μεγάλο βαθμό μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '80 όταν ο ωκεανογράφος, ο καπετάνιος **Ζακ Κουστό** και η ομάδα του εισήγαγαν στο ερευνητικό σκάφος **Alcyone** το "**TurboSail**", ένα μη αντιστρεφόμενο σχεδιασμό με ανεμιστήρα. Το 1985, η αμερικανική εταιρεία, Windship Corporation, κυκλοφόρησε τα ευρήματα από μια λεπτομερή ανάλυση 75 ανεμογεννητριών που υποστηρίχθηκαν από εκτεταμένες πρακτικές δοκιμές, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο ρότορας είχε το μεγαλύτερο δυναμικό. Το 2010 η Enercon ξεκίνησε τις δοκιμές του **E-Ship 1** των 12 800 dwt



με τέσσερις ρότορες Flettner που τροφοδοτούνται αρχικά από τα καυσαέρια από τον κύριο συμβατικό κινητήρα στροβίλου. Η αναβάθμιση των δρομολογητών Flettner σε οχήματα και δεξαμενόπλοια μέχρι την τάξη VLCC εξετάζεται ενεργά, αν και η χρήση χώρου καταστρώματος για διαφορετικούς τύπους πλοίων αποτελεί βασικό παράγοντα. Υπάρχουν σήμερα μοντέρνα σχέδια σχεδιασμού που υιοθετούν ρότορες τύπου Flettner. Το 2018 η Norsepower άρχισε να δοκιμάζει την ιδέα του ρότορα με τη μεγαλύτερη ναυτιλιακή εταιρεία στον κόσμο, την **Maersk**. Το **Maersk Pelican**, ένα δεξαμενόπλοιο κατηγορίας LR2, έχει εφοδιαστεί με δύο φτερωτά φτερά Norsepower σε ετοιμότητα για δοκιμές. Ακολουθούν εικόνες των πλοίων που αναφέρθηκαν παραπάνω και που χρησιμοποιούν τεχνολογία ρότορα για την πρόωση.



**Alcyone**



**E-Ship 1**

(πηγή :IRENA, 2015)



Maersk Pelican (πηγή :IRENA, 2015)

### 3.1.4 Πανιά τύπου χαρταετού

Μια νέα τεχνολογία για τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι ο **χαρταετός ρυμούλκησης**, ο οποίος συνδέεται με την πλώρη του πλοίου με ένα καλώδιο και μπορεί να ρυθμιστεί σε κατάλληλο υψόμετρο ώστε να βελτιστοποιήσει τη χρήση των ισχυρών ανέμων στη θάλασσα.

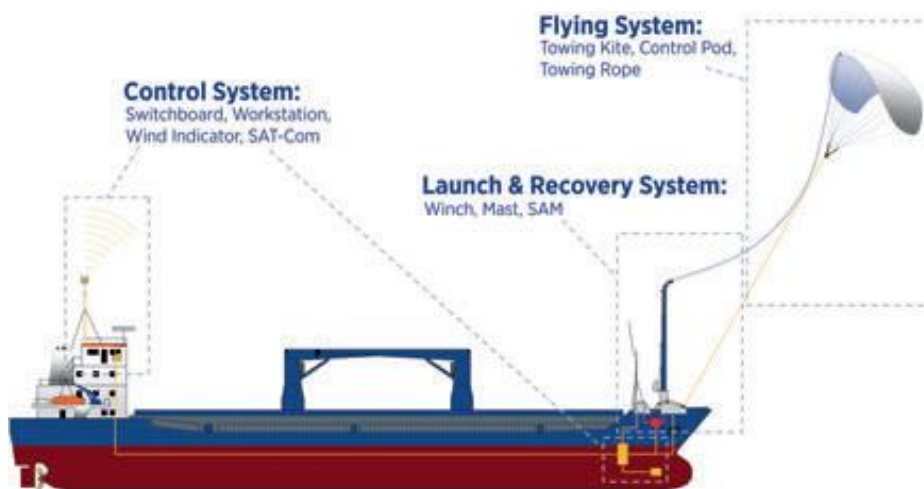


(πηγή: Skysails GmbH)

Οι ιστοί και τα πανιά τους καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στο κατάστρωμα ενός container. Η φόρτωση και η εκφόρτωση είναι δυσκολότερη, αφού οι γερανοί των containers πρέπει να δουλεύουν γύρω από τους ιστούς. Οι εταιρείες έχουν σχεδιάσει ψηλότερους ιστούς, μερικοί εκ των οποίων ξεπερνούν τα 100 μέτρα ύψος, για να μειώσουν την απώλεια χώρου αποθήκευσης. Όμως το κανάλι του Παναμά περιορίζει τους ιστούς στα 60 μέτρα και οι πτυσσόμενοι ιστοί έχουν μεγάλο κόστος παραγωγής, λειτουργίας και συντήρησης. Το κόστος

εφοδιασμού ενός εμπορικού πλοίου με μία σειρά ιστών και η ενδυνάμωση του κύτους και του καταστρώματος, εκτιμάται γύρω στο 10 εκατομμύρια ευρώ. Έτσι απαιτούνται τουλάχιστον 15 χρόνια, για την επιστροφή του αρχικού κόστους.

Ο στόχος της χρήσης χαρταετού ρυμούλκησης είναι να μειωθούν ή να αποφευχθούν τα παραπάνω θέματα εκμεταλλευόμενοι παράλληλα τα πλεονεκτήματα των δυνατότερων ανέμων που είναι διαθέσιμοι σε **ύψη μεγαλύτερα** (έως 300m) από όπου μπορούν να φθάσουν τα πανιά εξαιτίας της απουσίας αντίστασης από τις επιφάνειες του νερού και της γης. Τα "εναέρια πανιά" δεν καταλαμβάνουν χώρο στο κατάστρωμα, απαιτούν ελάχιστη μετατροπή, μπορούν να τοποθετούνται κάτω από τις γέφυρες κι να μαζεύονται όταν δεν χρησιμοποιούνται και μπορούν να προστεθούν σε ήδη υπάρχοντα πλοία. Μπορούν να αφαιρούνται για συντήρηση και ακόμα να χρησιμοποιούνται σε δεύτερο πλοίο. Η εγκατάσταση μπορεί να διεξαχθεί σε ναυπηγείο όπως επίσης και σε κάθε λιμάνι με επαρκή εξοπλισμό σε γερανούς. Το πλοίο μπορεί να παραμένει στο νερό κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης, η οποία απαιτεί μία με δύο εβδομάδες.

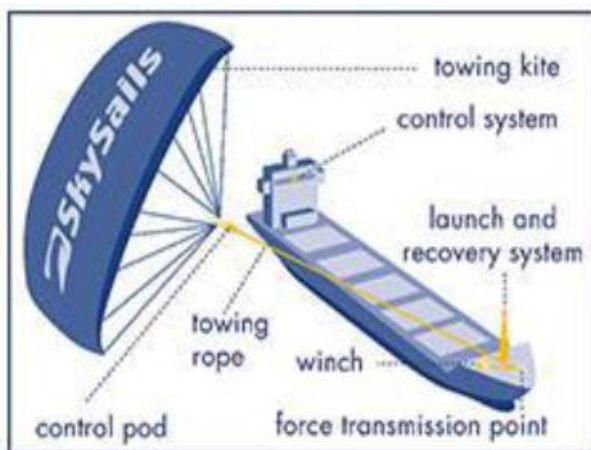


#### Σύστημα χαρταετού ρυμούλκησης (πηγή: *Skysails GmbH*)

Το εν λόγω σύστημα παράγει σημαντικά υψηλότερη ενέργεια πρόωσης ανά τετραγωνικό μέτρο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά αιολικά συστήματα πρόωσης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των τεχνικών δυνατοτήτων που προκύπτουν από το χωροταξικό διαχωρισμό του πλοίου και του εναέριου πανιού που το ρυμουλκεί. Οι παραπάνω παράγοντες ελαττώνουν το αρχικό κεφάλαιο και το λειτουργικό κόστος του εξοπλισμού των πανιών ενώ αυξάνουν τη ενεργειακή απόδοση. Επίσης συγκριτικά με ένα συμβατικό πανί και ένα κατάρτι, ένας χαρταετός ρυμούλκησης στην πλώρη ενός πλοίου ελαχιστοποιεί την κλίση του πλοίου που προκαλείται από τους ισχυρούς ανέμους. Παρόλα αυτά, τα παραπάνω συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο **υποβοηθητικά** και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τα συστήματα πρόωσης και παραγωγής ενέργειας σε μεγάλου μεγέθους πλοία.

Η ανύψωση αλλά και η αναδίπλωση του χαρταετού ρυμούλκησης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός **τηλεσκοπικού ιστού**. Αυτό βοηθάει στη γρήγορη και αποτελεσματική ανάπτυξη του αετού στο κατάλληλο ύψος και στην κατάλληλη θέση ως προς τον άνεμο, ώστε να επιτευχθεί γρήγορα η καλύτερη δυνατή ταχύτητα για το πλοίο. Η όλη διαδικασία ανάπτυξης και στη συνέχεια αναδίπλωσης του αετού κρατά 15-20'. Ο αετός ανυψώνεται και λειτουργεί σωστά μόνο όταν ο άνεμος έχει την απαραίτητη ένταση αλλιώς δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά και να δώσει στο πλοίο την απαιτούμενη πρόωση. Το πανί είναι **συνθετικό**, άρα ανθεκτικό σε αέρα και βροχή.

Οι χαρταετοί ρυμούλκησης διαφέρουν από τις άλλες ιδέες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, έχοντας μικρό αποτύπωμα κατά την εγκατάστασή τους και ως εκ τούτου είναι αρκετά εύκολο να γίνει η μετασκευή τοποθέτησής τους. Η εγκατάσταση ενός χαρταετού ρυμούλκησης για τα υπάρχοντα πλοία δεν θεωρείται δύσκολη ή δαπανηρή απαιτεί όμως πολύπλοκα συστήματα εκτόξευσης, ανάκτησης και ελέγχου. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει πολύ εύκολα από τη γέφυρα μέσω ενός πίνακα ελέγχου. Η διαδικασία καθέλκυσης και ανέλκυσης είναι ημιαυτόματη και απαιτεί μόνο λίγες ενέργειες από το πλήρωμα στο κατάστρωμα της πλώρης (25).



Σύστημα Skysails (πηγή: Skysails GmbH)

Η χρήση χαρταετών στα πλοία, που μπορεί να προσφέρει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 10-35% ανά πλοίο ανάλογα με το δρομολόγιο και τις συνθήκες του ανέμου. Η επιφάνεια του χαρταετού καθορίζει την ισχύ που μπορεί να προσφέρει. Μια επιφάνεια χαρταετού ίση με 160 m<sup>2</sup> αντιστοιχεί σε 600 kW, ενώ μια επιφάνεια ίση με 5.000 m<sup>2</sup> αντιστοιχεί σε 19.200 kW. Το ελάχιστο μήκος πλοίου στο οποίο μπορεί να εγκατασταθεί ένας χαρταετός είναι 30 m. Το κόστος επένδυσης εξαρτάται από την επιφάνεια, ενώ το λειτουργικό κόστος ανέρχεται στο 5-15% του κόστους επένδυσης.

Ένας μικρός αριθμός καινοτόμων εταιριών υποστηρίζει αυτήν την τεχνολογία για πάνω από μια δεκαετία. Το 2008 το **MS Beluga** Skysails ήταν το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων το οποίο μερικώς κινείται από ένα πανί τύπου χαρταετού, επιφάνειας 160 τ.μ.. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία «SKAYSAILS» με την χρήση των αετών μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 50% τις καλές ημέρες, με ετήσια μείωση καυσίμου από 10% έως 15% ενώ χάρη σε «δυναμικές μανούβρες», ο αετός θα παράγει 5 με 25 φορές περισσότερη ισχύ ανά τετραγωνικό συμβατικό πανί.



MS Beluga (πηγή :[www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com))

Το MV Beluga ανήκει στη γερμανική εταιρεία Beluga Fleet Management GmbH, θυγατρική της Beluga Shipping GmbH του Ομίλου Beluga και καθελκύθηκε στο Αμβούργο στο τέλος του 2007. Ξεκίνησε το ταξίδι του από το λιμάνι της Βρέμης με προορισμό το λιμάνι Guanta της Βενεζουέλας στις 22 Ιανουαρίου 2008. Το πλοίο μετέφερε φορτίο της DHL η οποία ήταν υποστηρικτής της όλης πρωτοβουλίας. Στις 6 Οκτωβρίου του ίδιου χρόνου, η Στρατιωτική Ναυτική Διοίκηση Θαλασσιών Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών ανακοίνωσε ότι είχε ναυλώσει το Beluga Skysails για τη μεταφορά προμηθειών, του στρατού και της πολεμικής αεροπορίας, από τρεις ευρωπαϊκούς λιμένες προς τις Ηνωμένες Πολιτείες.

Προς την κατεύθυνση αυτή κινήθηκε και η ελληνική εταιρία **Anbros Maritime**. Η Cargill μια απ' τις μεγαλύτερες εταιρείες στον κόσμο στην παραγωγή και προμήθεια τροφίμων, υπέγραψε συμφωνία με την Ελληνική Ναυτιλιακή εταιρεία Anbros Maritime S.A., για να εγκαταστήσει τον μεγαλύτερο χαρταετό στον κόσμο στο πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου «**Αγία Μαρίνα**». Το «Αγία Μαρίνα» τυπικά μεταφέρει φορτία γεωργικών και βιομηχανικών πρώτων υλών. Το 170 μέτρων μήκους μεταφορικό πλοίο χτίστηκε το 1994, και μπορεί να μεταφέρει περίπου 28.500 τόνους ξηρού φορτίου, είναι το μεγαλύτερο πλοίο που θα χρησιμοποιήσει την τεχνολογία αιολικής ενέργειας, που δημιουργείται από την SkySails GmbH (SkySails).

Τον Φεβρουάριο 2010 η Cargill ανακοίνωσε ότι υπέγραψε συμφωνία προμήθειας με την SkySails, που έχει ως στόχο να χρησιμοποιεί την τεχνολογία αιολικής ενέργειας για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα της Ναυτιλίας. Σύμφωνα με τους όρους της συμφωνίας: "Ο 320 τ.μ. αετός, θα τοποθετηθεί στο πλοίο «Αγία Μαρίνα». Για τα επόμενα πέντε χρόνια το «Αγία Μαρίνα», μακροπρόθεσμης ναύλωσης της Cargill, θα χρησιμοποιεί το σύστημα SkySails. Η SkySail θα είναι υπεύθυνη για την εκπαίδευση του πληρώματος του «Αγία Μαρίνα», στον τρόπο λειτουργίας της πρόωσης αετού. Ο αετός ρυμούλκησης της SkySails θα συνδέεται με το πλοίο με σχοινί και θα πετάει σε ορθόγωνα σχηματισμό σε ύψος μεταξύ 100 και 420 μέτρων.

### 3.1.5 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες εξετάζονται αρκετά χρόνια σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την πρόωση των πλοίων. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν επιτυχημένα πρωτότυπα εφαρμογής τους. Αυτό αντανακλά συστημικά ζητήματα με την τελική σταθερότητά τους και τις παραγόμενες δονήσεις, καθώς και την εγγενή ανεπάρκεια στην μετατροπή της ενέργειας σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Το πλεονέκτημα των ανεμογεννητριών είναι ότι μπορούν να συνεχίσουν να παράγουν ενέργεια ακόμα κι όταν το σκάφος πλέει στον άνεμο. Οι ανεμογεννήτριες θα μπορούσαν να πετύχουν σαν παραγωγοί ενέργειας για τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου ή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παράκτιες εγκαταστάσεις αντικαθιστώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές, μη ανανεώσιμες πηγές. Δεδομένης της τεράστιας προόδου στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν σημαντικά διδάγματα που θα πρέπει να μεταφερθούν και στον τομέα της ναυτιλίας.

Το πειραματικό καταμαράν **Revelation II**, που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, είναι ένα καταμαράν -μήκους 10,97 μέτρων- που χρησιμοποιεί μια έλικα μηχανικά συνδεδεμένη με μια ανεμογεννήτρια για να προωθήσει το σκάφος. Σε αντίθεση με ένα συμβατικό ιστιοφόρο, είναι ικανό να ταξιδεύει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Το σκάφος διαθέτει περιστρεφόμενο ιστό 30-ποδιών (9.14 μέτρα) με τρία πτερύγια ανθρακονημάτων 20 ποδιών (6.1 μέτρων). Μπορεί να παράξει ισχύ έως και 150 ίππους που μεταδίδονται μηχανικά μέσω γραναζιών σε μια τεράστια έλικα πέντε μέτρων (1,5 μ.) κάτω από το νερό. Τα πτερύγια μπορούν να ρυθμιστούν πλήρως για να αλλάξουν την ταχύτητα του σκάφους και όταν το σκάφος είναι αγκυροβολημένο, μπορούν να κλειδωθούν και να μαζευτούν.



catamaran **Revelation II** (πηγή :<http://news.bbc.co.uk>)

Μπορούν να κατασκευαστούν διάφοροι τύποι πλοίων, όπως για παράδειγμα υβριδικά πλοία που αποθηκεύουν αιολική ενέργεια από την ανεμογεννήτρια όταν το πλοίο δεν χρειάζεται να προωθείται. Για να μειωθεί η απαιτούμενη ενέργεια για την πρόωση του σκάφους, τα πλοία με ανεμογεννήτριες συχνά κατασκευάζονται με σχέδια γάστρας χαμηλής τριβής, όπως τα multihulls, ή τα υδροπτέρυγα (hydrofoils). Η δύναμη που παράγεται από τις γεννήτριες δεν

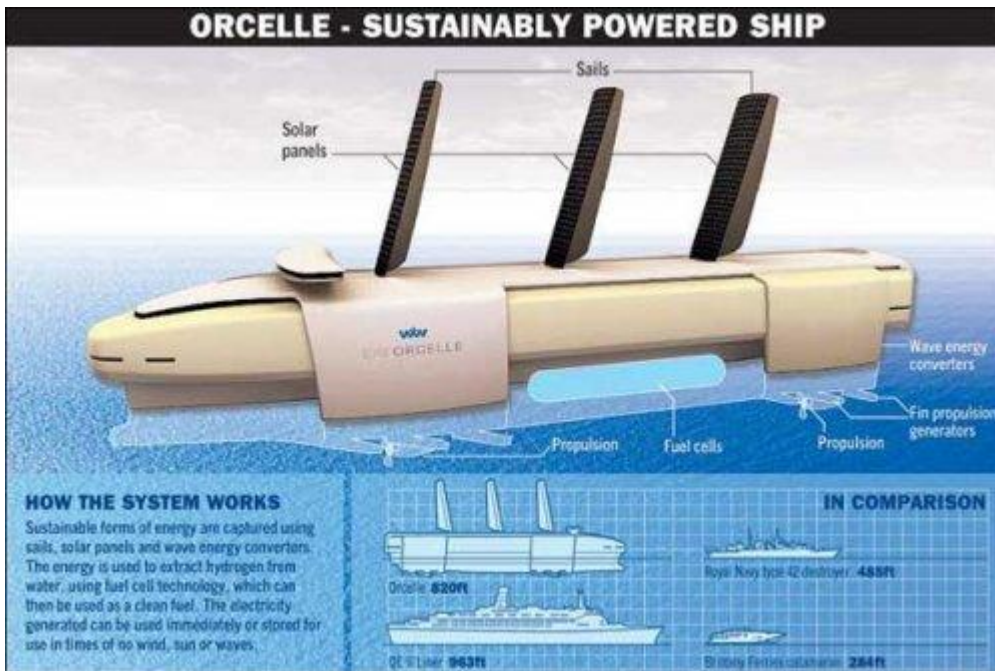
αρκεί από μόνη της για να προωθήσει το σκάφος. Σε αυτή την περίπτωση, οι ανεμογεννήτριες παρέχουν μόνο συμπληρωματική δύναμη σε συμβατικά πανιά ή άλλα συστήματα πρόωσης.

Προς το παρόν, η έρευνα συνεχίζεται και οι καλύτεροι τύποι δρομέα και πτερυγίων πρέπει να καθοριστούν. Για παράδειγμα, οι ανεμογεννήτριες υψηλού οριζόντιου άξονα αποδεικνύονται ότι καθιστούν το πλοίο λιγότερο σταθερό. Επομένως, μερικές φορές προτιμώνται οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα (π.χ. στρόβιλοι Savonius). Επίσης, η ανεμογεννήτρια πρέπει να είναι ιδιαίτερα ανθεκτική, καθώς τα θαλάσσια περιβάλλοντα τείνουν να την φθείρουν πιο γρήγορα από ό, τι είναι κοινό στην ξηρά.

Σύμφωνα με μελέτη και έρευνα που περιλάμβανε δοκιμές σε μοντέλα και που χρηματοδοτήθηκε από τον Σουηδικό Οργανισμό Ενέργεια σε συνεργασία με- μεταξύ άλλων- του Lloyd's Register, εκτιμήθηκε σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου βάσει δεδομένων και ρεαλιστικών υποθέσεων. Για ένα δεξαμενόπλοιο Panamax εφοδιασμένο με δύο ανεμογεννήτριες ενός Megawatt και με ένα σύνολο δεδομένων συνθηκών, υπολογίστηκε ετήσια εξοικονόμηση καυσίμων της τάξης του 16%. Δεδομένου ότι η τιμή HFO είναι 354 USD / mt, αυτό σημαίνει ότι το δυναμικό εξοικονόμησης θα μπορούσε να ανέλθει σε 590000 USD ετησίως για τη διαδρομή του Βόρειου Ατλαντικού. Βεβαίως, υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις για τις εποχές και τις διαδρομές και η έρευνα δείχνει επίσης ευκαιρίες για βελτιστοποίηση της τεχνολογίας, προτού να μπορέσει να εφαρμοστεί στο εμπόριο. Για να αποδειχθεί επιτυχής, η τεχνολογία πρέπει να υιοθετηθεί από το πλήρωμα και τα ενδιαφερόμενα μέλη. Γενικά, οι στάσεις και οι απόψεις σχετικά με την προτεινόμενη καινοτομία είναι θετικές, με κάποιες ανησυχίες για θέματα κατάρτισης και ασφάλειας του εργασιακού περιβάλλοντος. Πρέπει πάντως σε κάθε περίπτωση, να καταβληθούν προσπάθειες για να αποδειχθούν τα αποτελέσματα από πραγματικές μετρήσεις όσον αφορά την πραγματική εξοικονόμηση καυσίμου.

### 3.2 Κυματική Ενέργεια

Οι σημερινές κατασκευές των σταθμών κυματικής ενέργειας υποδηλώνουν ότι θα χρειαστεί μια εντελώς νέα σχεδιαστική φιλοσοφία για να εφαρμοστεί άμεσα στις ενεργειακές ανάγκες του ναυτιλιακού τομέα. Ο μικρός αριθμός των κατασκευαστών στο συγκεκριμένο πεδίο προσπαθεί να μάθει από την **βιολογία** και να μιμηθεί τον τρόπο με τον οποίο τα δελφίνια και τα πελαγικά ψάρια χρησιμοποιούν μυϊκή ενέργεια σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το φιλόδοξο **E/S Orcelle** μεταφοράς αυτοκινήτων της εταιρείας Wallenius Wilhelmsen Logistics (WWL), χρησιμοποιεί μια σειρά **23 υποβρύχιων flaps** (πτερύγια), εμπνευσμένων από **τις κινήσεις των ουρών των δελφινιών Irrawaddy**, για να αξιοποιήσουν και να μετατρέψουν την κυματική ενέργεια στον ωκεανό και να δημιουργήσουν πρόωση αλλά και για να παράγουν ηλεκτρική και υδραυλική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τα συστήματα του πλοίου. Εκτός από την κυματική ενέργεια το πλοίο θα χρησιμοποιεί ηλιακά πανιά που αποτελούν ένα συνδυασμό αξιοποίησης της αιολικής και ηλιακής ενέργειας καθώς και κυψέλες καυσίμου. Πρόκειται για το πρώτο απολύτως καθαρό πλοίο, με μόνα παράγωγα: θερμότητα και υδρατμούς και μάλιστα δεν θα έχει και θαλασινό νερό για έρμα. Επειδή το συγκεκριμένο σκάφος χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό τεχνολογιών και μορφών ενέργειας για την πρόωση και την τροφοδοσία του θα εξεταστεί αναλυτικότερα σε παρακάτω κεφάλαιο.



### E/S Orcele

(πηγή : <https://rense.com>)

## 3.3 Χρήση Υδρογόνου – Κυψέλες καυσίμου

Το υδρογόνο ήταν πολυσυζητημένο στα μέσα της δεκαετίας του 2000 ως το καύσιμο του μέλλοντος στην ναυτιλία και ακόμα υπάρχει η ελπίδα ότι θα αποτελέσει μια μακροπρόθεσμη λύση. Η καύση του υδρογόνου, σαν drop-in καύσιμο, σε κανονικούς κινητήρες diesel είναι πιθανή μόνο σε χαμηλά επίπεδα προσμίξεων χωρίς να παρουσιάζει ιδιαίτερα ρίσκα για βλάβες του κινητήρα. Οι δυνατότητες του υδρογόνου βρίσκονται στην χρήση του σε κυψέλες καυσίμου. Η ανάπτυξη κυψελών καυσίμου υδρογόνου έχει κάνει σημαντική πρόοδο και έχει προσελκύσει ένα υψηλό επίπεδο ενδιαφέροντος, ιδιαίτερα από τις αγορές των κρουαζιερόπλοιων, των επιβατηγών και των σκαφών υπεράκτιου εφοδιασμού.

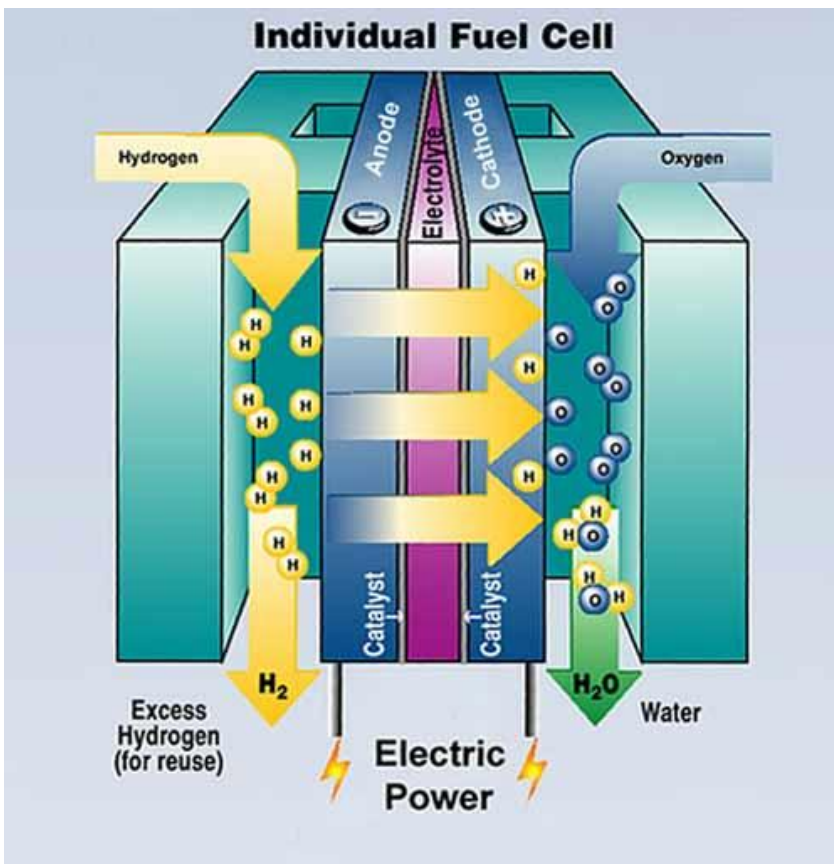
Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου βασίζεται σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις μέσω των οποίων η ενέργεια ενός καυσίμου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική. Απαιτείται ένα καύσιμο, όπως LNG, βιοκαύσιμο ή υδρογόνο, μαζί με κάποιο οξειδωτικό μέσο. Στο πλοίο μπορεί να εγκατασταθεί ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης, που να περιλαμβάνει μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μια κυψέλη καυσίμου. Εναλλακτικά, οι κυψέλες καυσίμου μπορεί να καλύπτουν τις ανάγκες ηλεκτρισμού του πλοίου.

Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος.

Και τα δύο χρησιμοποιούμενα Αντιδραστήρια, δηλ. το καύσιμο και το οξειδωτικό μέσο είναι αέρια ή υγρά που ευρίσκονται με την μορφή διαλύματος. Η βασική αρχή λειτουργίας των



στοιχείων καυσίμου δίνεται στο παρακάτω σχήμα που αναφέρεται στο απλούστερο, πλέον κλασικό, πλέον αποδοτικό και πλέον ανεπτυγμένο σήμερα στοιχείο που είναι αυτό του H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>.

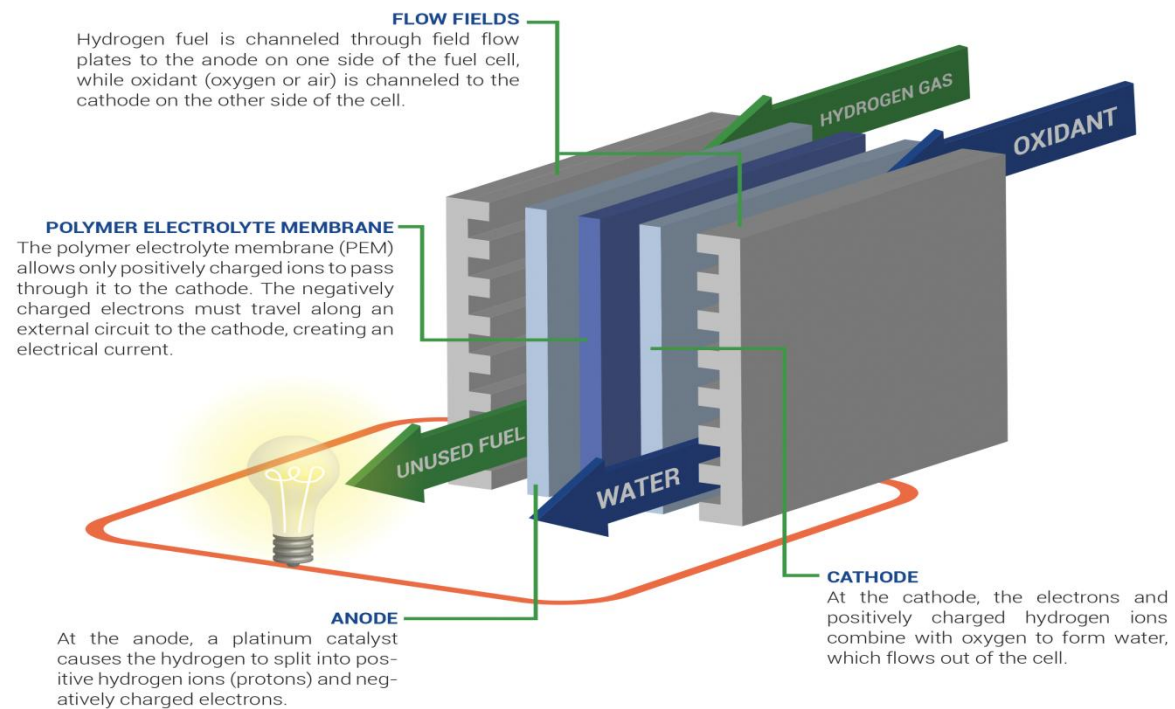


Κυψέλη καυσίμου  
(πηγή : wikipedia)

Όπως φαίνεται στη διάταξη του σχήματος, το H<sub>2</sub> προσάγεται σε μόνιμη ροή από τη μια πλευρά και έρχεται σε επαφή με την **άνοδο** εντός των πόρων της οποίας λαμβάνει χώρα με την μεσολάβηση κατάλληλου πολύ δραστικού **καταλύτη** η οξείδωση του H<sub>2</sub>. Τα δύο ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται στην άνοδο έρχονται μέσω του «καταναλωτή» (δηλ. ενός «ηλεκτρονικού αγωγού») R, στον οποίο αποδίδουν ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια, στην **κάθοδο** (ηλεκτρόδιο +), όπου απορροφώνται κατά τη λαμβάνουσα εκεί χώρα, πάλι παρουσία καταλλήλου δραστικού Καταλύτη, «αναγωγή» του O<sub>2</sub>. Τα ιόντα υδροξυλίου της καθόδου, διαβιβαζόμενα μέσω του Αλκαλικού Ηλεκτρολύτη (συνήθως πυκνού διαλύματος KOH) έρχονται προς την άνοδο, όπου ενώνονται με τα ιόντα υδρογόνου σχηματίζοντας νερό. Το παραγόμενο H<sub>2</sub>O απομακρύνεται από το στοιχείο συνεχώς ώστε να μην επηρεάζεται η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη. Ο τελευταίος πρέπει να έχει πάντοτε καλή αγωγιμότητα σε ιόντα, όπως έχει π.χ. το διάλυμα KOH σε OH<sup>-</sup>, κακή δε σε ηλεκτρόνια, των οποίων η κυκλοφορία μεταξύ ανόδου και καθόδου περιορίζεται στο εξωτερικό κύκλωμα. Επίσης δεν πρέπει να επιτρέπει την διάχυση των αντιδραστηρίων δια μέσω αυτού.

Σημαντικό τμήμα του στοιχείου αποτελούν και τα ηλεκτρόδια, που αποτελούν την έδρα των ηλεκτροχημικών δράσεων και τα στοιχεία συλλογής του ρεύματος. Ως εκ τούτου, αυτά πρέπει να πληρούν μια σειράν σοβαρών απαιτήσεων.

# HOW DO HYDROGEN FUEL CELLS WORK?



©Setra Systems, Inc.

www.setra.com

## Αρχή λειτουργίας κυψέλης υδρογόνου

Το **κόστος επένδυσης** και το λειτουργικό κόστος παραμένουν ακόμη υψηλά. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι το κόστος επένδυσης για κυψέλη καυσίμου είναι 2-3 φορές υψηλότερο από το κόστος μιας συμβατικής μηχανής. Σήμερα, υπάρχουν προγράμματα που δοκιμάζουν τη χρήση κυψελών καυσίμου σε πλοία.

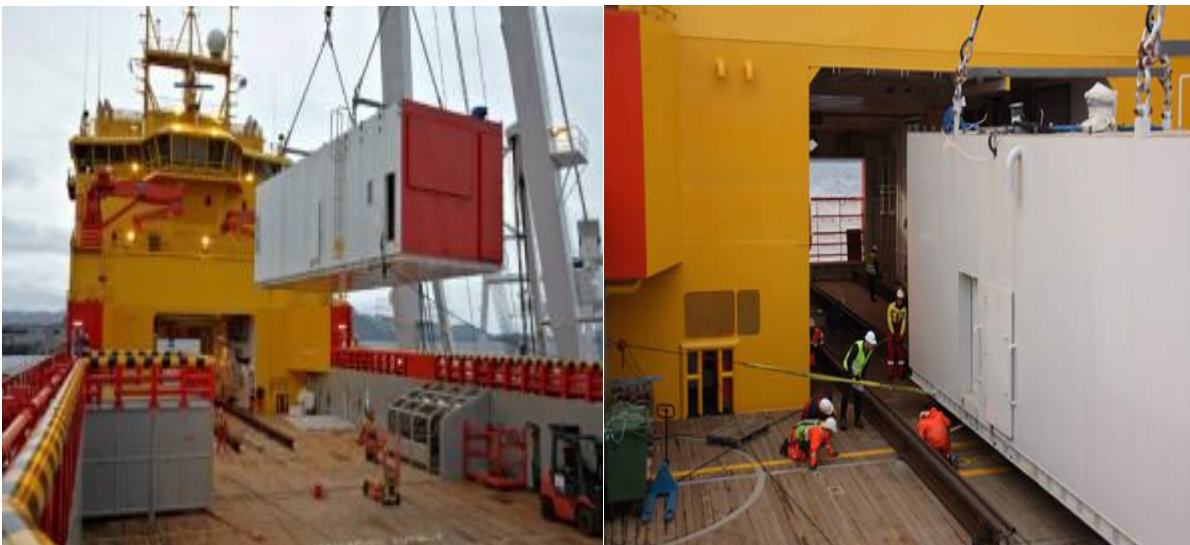
Το 2008, το **project Zemships** (Zero Emissions Ships) ανέπτυξε το **Alsterwasser**, ένα επιβατηγό 100 επιβατών, για χρήση σε πλωτές οδούς στην ενδοχώρα και έναν αριθμό άλλων μικρών ferries και ποταμόπλοιων ακολούθησαν. Το Zemships, που αργότερα ονομάστηκε FCS Alsterwasser, ήταν το πρώτο πλήρως κινούμενο από κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε. Τροφοδοτούνταν από δύο κυψέλες καυσίμου υδρογόνου χωρητικότητας 48kW η καθεμία. Το πλοίο χρησιμοποιήθηκε στο Αμβούργο μέχρι τα τέλη του 2013 οπότε και η δυσκολία οικονομικής λειτουργίας της υποδομής φόρτισης υδρογόνου το έθεσε εκτός λειτουργίας..

Το 2012, σαν μέρος του **FellowSHIP project**, ένα πλοίο τροφοδοτούμενο από μια κυψέλη καυσίμου 330kW δοκιμάστηκε επιτυχώς επί του πλοίου υπεράκτιας τροφοδοσίας **Viking Lady**, λειτουργώντας για περισσότερες από 7000 ώρες. Αυτή ήταν η πρώτη μονάδα κυψελών καυσίμου που λειτούργησε σε εμπορικό πλοίο, με την ηλεκτρική αποδοτικότητα να υπολογίζεται στο 44.5% (υπολογίζοντας και την εσωτερική καύση), και μηδενικές εκπομπές NOx, SOx και αιωρούμενων σωματιδίων. Όταν η θερμική επαναφορά ενεργοποιήθηκε, η ολική απόδοση του καυσίμου έφτασε το 55% με περιθώρια βελτίωσης. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε το FellowSHIP project ήταν ότι βελτιωμένη απόδοση του σκάφους, η μείωση του θορύβου και η βελτιωμένη ασφάλεια λόγω του ταχύτερου χρόνου απόκρισης είναι μερικά μόνο από τα οφέλη που επιτυγχάνονται συνδυάζοντας την ισχύ της μπαταρίας

με την κυψέλη καυσίμου και το LNG. Αλλά ίσως το πιο σημαντικό πλεονέκτημα αποδείχθηκε ότι είναι η μείωση των εκπομπών.



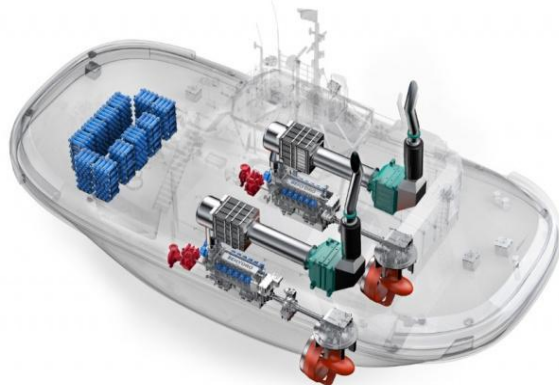
**Viking Lady**



**Τοποθέτηση της κυψέλης υδρογόνου πάνω στο Viking Lady**  
(πηγή :<https://www.ship-technology.com/projects/viking-lady/>)

Το «**Hydrogen Hybrid Harbour Tug**» (HHHT), αναπτύχθηκε από την «WorldWise Marine» μαζί με τους Ολλανδούς διαχειριστές ρυμουλκών Iskes και Smit. Πρόκειται για ένα ρυμουλκό 50 τόνων που είναι εξοπλισμένο με κυψέλες καυσίμου και υδρογόνου αποθηκευμένου υπό πίεση 430 bar. Η καινοτομία εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι κυψέλες καυσίμου σε συνδυασμό με μπαταρίες εξασφαλίζουν επαρκή ισχύ για να λειτουργεί το ρυμουλκό όταν είναι σε κατάσταση αναμονής που είναι το 85% του χρόνου λειτουργίας του ρυμουλκού. Το diesel χρησιμοποιείται όταν το ρυμουλκό έχει να φέρει σε πέρας μία αποστολή. «Μπορούμε να επιτύχουμε μία μείωση κατά 98% των εκπομπών οξειδίων του θείου και αζώτου και μέχρι 30% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος σε

σύγκριση με ένα συμβατικό ρυμουλκό», δήλωσε ο κ. Michiel Wijsmuller, διευθύνων σύμβουλος της «Offshore Ship Designers».



**Υβριδικό ρυμουλκό Hydrogen Hybrid Harbour Tug (HHHT)**  
(πηγή : <https://www.theengineer.co.uk>)

Το 2012 η Germanischer Lloyd παρουσίασε σχεδιαστικά concepts για ένα μηδενικών εκπομπών ρύπων Scandlines ferry 1500 επιβατών και ένα 1000TEU μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με ταχύτητα service 15 κόμβων, χρησιμοποιώντας υγρό υδρογόνο σαν καύσιμο για να παράγει ισχύ με ένα σύστημα που συνδυάζει κυψέλες καυσίμου και μπαταρίες. Παρόλα αυτά η βιωσιμότητα της παραγωγής υδρογόνου είναι ένα κρίσιμο ζήτημα, με όλες σχεδόν της τρέχουσες εμπορικές λύσεις παραγωγής να προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα. Δυνατότητες για ανανεώσιμη παραγωγή υδρογόνου θα υπάρξουν με την ηλεκτρόλυση θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας πηγές ενέργειας όπως ενέργεια που περισσεύει από υπεράκτια πάρκα αιολικής ενέργειας, άλλων τύπων προμήθειες ανανεώσιμης ενέργειας στη στεριά ή ανεμογεννήτριες τοποθετημένες πάνω σε πλοίο.

### 3.4 Βιοκαύσιμα-Βιομάζα

Τα **βιοκαύσιμα** αποτελούν επί του παρόντος τη σημαντικότερη εναλλακτική λύση για την αντικατάσταση ή την ανάμιξη με ορυκτά καύσιμα στον τομέα των μεταφορών. Ωστόσο, η εμπειρία με τη χρήση τους και η κλίμακα εφαρμογής τους στον τομέα της ναυτιλίας εξακολουθεί να είναι πολύ ελάχιστη.

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν **ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** που παράγονται από **βιομάζα** και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή **ισχύος** και **θερμότητας** αλλά και ως **καύσιμα μεταφοράς** σε ανάμιξη ή μη με άλλα παράγωγα του πετρελαίου. Είναι υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται κυρίως από την αξιοποίηση της βιομάζας. Η βιομάζα χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας, ξύλου, αστικά απόβλητα, τροφίμων και ζωοτροφών της βιομηχανίας) με σκοπό να αποδεσμεύσει την ενέργεια που δεσμεύτηκε από το φυτό κατά την φωτοσύνθεση. Κατά την καύση της

βιομάζας η δεσμευμένη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία.

Ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε οποιοδήποτε **οργανικό** υλικό φυτικής προέλευσης (συμπεριλαμβανομένων φυκών, δέντρων και καρπών) το οποίο σχηματίζει υλικό με εξολοκλήρου οργανική φύση. Με μια ευρύτερη έννοια, η βιομάζα ορίζεται ως ένα εξολοκλήρου οργανικό υλικό το οποίο παράγεται με βιολογικές διεργασίες, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλο εύρος πιθανών πηγών βιομάζας.

Κατά κύριο λόγο η βιομάζα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά: α) **Κυτταρίνη**, η οποία αποτελεί την κύρια μορφή άνθρακα που συναντάται στη βιομάζα, περίπου 40 – 60 % κ.β. ανάλογα την πηγή προέλευσης. β) **Ημικυτταρίνη**, που είναι ένας σημαντικός πολυσακχαρίτης, ο οποίος αποτελεί το 20 – 40 % του βάρους της βιομάζας. Έχει πιο σύνθετη δομή από την κυτταρίνη, καθώς αποτελείται από ποικιλία σακχάρων με πέντε ή έξι άτομα άνθρακα. γ) **Λιγνίνη**, ένα σύνθετο πολυμερές, το οποίο παρέχει δομική ενίσχυση στα φυτά και συνδέει μεταξύ τους τις ίνες κυτταρίνης. Αποτελεί το 10 – 20 % του βάρους της βιομάζας.

Ο όρος **βιομάζα** αναφέρεται σε **οργανική ύλη** (ζωντανή ή υπόλειμμα) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο υλικό ή ως πηγή παραγωγής ενέργειας, θερμότητας ή βιοκαυσίμου. Η πληθώρα πηγών από τις οποίες μπορεί να προέρχεται η βιομάζα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υλικών με πλήρως διαφορετική σύσταση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) έχει εκδώσει δυο πρότυπα, για την κατηγοριοποίηση και τη διασαφήνιση του όρου βιομάζα (EN 14961) και για τη διασφάλιση ποιότητας (EN 15234).

Βασίζόμενοι στην πηγή προέλευσης, η βιομάζα κατηγοριοποιείται σε τέσσερις ομάδες (13):

- *Ξυλώδη Φυτά*. Ξυλώδες φυτό είναι ένα αγγειακό φυτό το οποίο διαθέτει πολυετή βλαστό ο οποίος βρίσκεται πάνω από το έδαφος και καλύπτεται από πυκνό φλοιό. Τα ξυλώδη φυτά περιέχουν ξύλο, το οποίο αποτελείται από δομές ινών κυτταρίνης και λιγνίνης ισχυρά προσδεμένες μεταξύ τους (δέντρα, θάμνοι κλπ).
- *Ποώδη Φυτά*. Πρόκειται για φυτά των οποίων τα φύλλα βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους. Αυτά τα φυτά δε διαθέτουν ξύλο, συνεπώς η δομή τους αποτελείται από ίνες λιγνίνης και κυτταρίνης πιο χαλαρά συνδεδεμένων μεταξύ τους. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως το ποσοστό λιγνίνης είναι χαμηλότερο στη βιομάζα που προκύπτει από αυτή την κατηγορία (χορτάρι, δημητριακά, στάχια κλπ).
- *Υδροβία Φυτά*. Πρόκειται για φυτά που αναπτύσσονται κάτω από την επιφάνεια του νερού, όπως τα φύκη. Το ποσοστό υγρασίας στη βιομάζα που προκύπτει είναι συνήθως υψηλό.
- *Απόβλητα*. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν απόβλητα όλων των ειδών, όπως κοπριά, λάσπη αποχετεύσεων, απορρίμματα παραγωγής καυσίμων κ.α. Όπως και στην προηγούμενη κατηγορία, τα περισσότερα από αυτά τα απόβλητα έχουν αυξημένα ποσοστά υγρασίας.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων από βιομάζα αποτελεί μια τεχνολογία η οποία έχει αναπτυχθεί πρόσφατα και απέχει αρκετά από την πλήρη βελτιστοποίησή της. Οι κύριες πρώτες ύλες βιομάζας που χρησιμοποιούνται εμπορικά για παραγωγή ενέργειας (μέσω καύσης) είναι τα υπολείμματα από επεξεργασία ξυλείας, χάρτου ή αστικά υπολείμματα.

Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας είναι η καύση που ως προϊόν της έχει την παραγωγή θερμότητας, η πυρόλυση η οποία είναι μια θερμική διαδικασία (450-600 βαθμούς Κελσίου) όπου γίνεται η αποικοδόμηση της βιομάζας με απουσία του οξυγόνου. Όσον αφορά τα υγρά

βιοκαύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία της βιομάζας είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη. Το βιοντίζελ παράγεται από φυτικά έλαια κυρίως με μετεστερεοποίηση. Η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από την ζύμωση των αμυλούχων και σακχαρούχων συστατικών.

Με βάση την χρησιμοποιούμενη πηγή άνθρακα τα βιοκαύσιμα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **1ης γενιάς:** Η πηγή άνθρακα για το βιοκαύσιμο είναι ζάχαρη, λιπίδια ή άμυλο που εξάγεται απευθείας από ένα φυτό. Η καλλιέργεια δυνητικά θεωρείται ότι ανταγωνίζεται τα τρόφιμα. Κυρίως χρησιμοποιούνται καρποί από καλαμπόκι (για βιοαιθανόλη) και σόγια (για βιοντίζελ). Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι βιοαλκοόλες, η αιθανόλη, η προπανόλη, η βουτανόλη, το βιοαέριο κ.α.
- **2ης γενιάς:** Ο άνθρακας των βιοκαυσίμων παράγεται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη ή πηκτίνη. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει γεωργικά, δασικά απόβλητα ή υπολείμματα ή μη εδάδιμες πρώτες ύλες που προορίζονται για κατανάλωση (π.χ. ενεργειακές χλόες). Στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς ανήκουν τα συνθετικά βιοκαύσιμα που παράγονται από θερμοχημικές και καταλυτικές διεργασίες όπως πυρόλυση, εξαέρωση. Τέτοιο παράδειγμα είναι η βιομεθανόλη. Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκει και η βιοαιθανόλη που παράγεται από λιγνοκυτταρινικό υλικό, το οποίο δύσκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα. Το υδρογόνο από αέριο σύνθεσης καθώς και το βιοαέριο αποτελούν τα κύρια αέρια βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς. Η διεργασία παραγωγής βιοκαυσίμων Fischer-Tropsch αποτελεί μία ιδιαίτερα υποσχόμενη διεργασία. Είναι μία αρκετά ευέλικτη διεργασία τόσο ως προς τους τύπους βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όσο και ως προς το εύρος των προϊόντων και των αποδόσεών τους. Συγκεκριμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί φυτική βιομάζα ή αγροτικά απόβλητα, καθώς επίσης και βιολογικά αστικά και βιομηχανικά απόβλητα.
- **3ης γενιάς:** Ο άνθρακας βιοκαυσίμων προέρχεται από υδρόβιους αυτοτροφικούς οργανισμούς (π.χ. φύκια, άλγη). Τα φύκια θεωρούνται μονοκύτταροι παρίες των λιμνών και των θαλασσών και μπορούν να αναπτύσσονται ακόμη και μέσα σε λύματα και στο θαλασσινό νερό, όπου δεν χρειάζεται τίποτε άλλο για να ευδοκιμήσουν παρά το φως του ήλιου και το διοξείδιο του άνθρακα. Είναι χαμηλών εισροών, με υψηλή όμως απόδοση πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Το φως, το διοξείδιο του άνθρακα και τα θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της πρώτης ύλης "επεκτείνοντας" τον διαθέσιμο άνθρακα για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Αρκετές νέες εταιρίες δραστηριοποιούνται στον τομέα δοκιμάζοντας να μετατρέψουν τα φύκια σε καύσιμο.

Η Ευρώπη προωθεί τη χρήση βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντικατάσταση βενζίνης ή πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών. Αυτό προϋποθέτει τα μέλη της ΕΕ να θέτουν αυστηρούς όρους κατανάλωσης βιοκαυσίμων. Το 2009 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ψήφισε δυο σημαντικές οδηγίες σχετικά με την αύξηση τη χρήσης βιοκαυσίμων μέχρι το 2020. Η οδηγία **RED (Renewable Energy Directive)** υποχρεώνει ότι το 20 % όλης της χρήσης ενέργειας εντός της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένου τουλάχιστον 10 % όλης της ενέργειας για τις οδικές μεταφορές, θα παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως το 2020. Συμπληρωματικά με την παραπάνω οδηγία ψηφίστηκε η **FQD (Fuel Quality Directive)**, σύμφωνα με την οποία μέχρι το 2020 το μίγμα καυσίμων για οδική μεταφορά στην ΕΕ θα πρέπει να επιβαρύνει το περιβάλλον λιγότερο κατά 6 % ως προς τις εκπομπές άνθρακα σε σχέση με την απλή βενζίνη και το πετρέλαιο κίνησης (14).

Ένα ακόμη σημαντικό πεδίο εφαρμογής των βιοκαυσίμων είναι η **παραγωγή ενέργειας**. Γενικά η παραγωγή ηλεκτρισμού αποτελεί παγκόσμια τον μεγαλύτερο καταναλωτή καυσίμου. Το χρονικό διάστημα 2005 – 2010 υπολογίζεται ότι η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρισμού ήταν 20 TWh. Περίπου το 40 % της ενέργειας προήλθε από καύση άνθρακα, το 20 % από φυσικό αέριο ενώ το υπόλοιπο από μετατροπή υδροηλεκτρικής ενέργειας, πυρηνικής ενέργειας και πετρελαίου (15, 13 και 5 % αντίστοιχα). Από τα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν, μόνο το 40 % χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενέργειας, ενώ η υπόλοιπη «χάθηκε» ως θερμότητα στο περιβάλλον, καθώς λιγότερο από το 5 % της θερμότητας χρησιμοποιείται για συμπαραγωγή ενέργειας. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει πως 40 % από τα εκπεμπόμενα αέρια του θερμοκηπίου παγκοσμίως προέρχονται από βιομηχανικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, ενώ ο τομέας των μεταφορών έρχεται σε δεύτερη θέση. Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια –μερική τουλάχιστον- λύση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως σε κάθε άλλο βιοκαύσιμο, η ισορροπία της εξίσωσης αφορά την παραγωγή άνθρακα.

### 3.4.1 Βιοκαύσιμα στη ναυτιλία

#### Γενικά

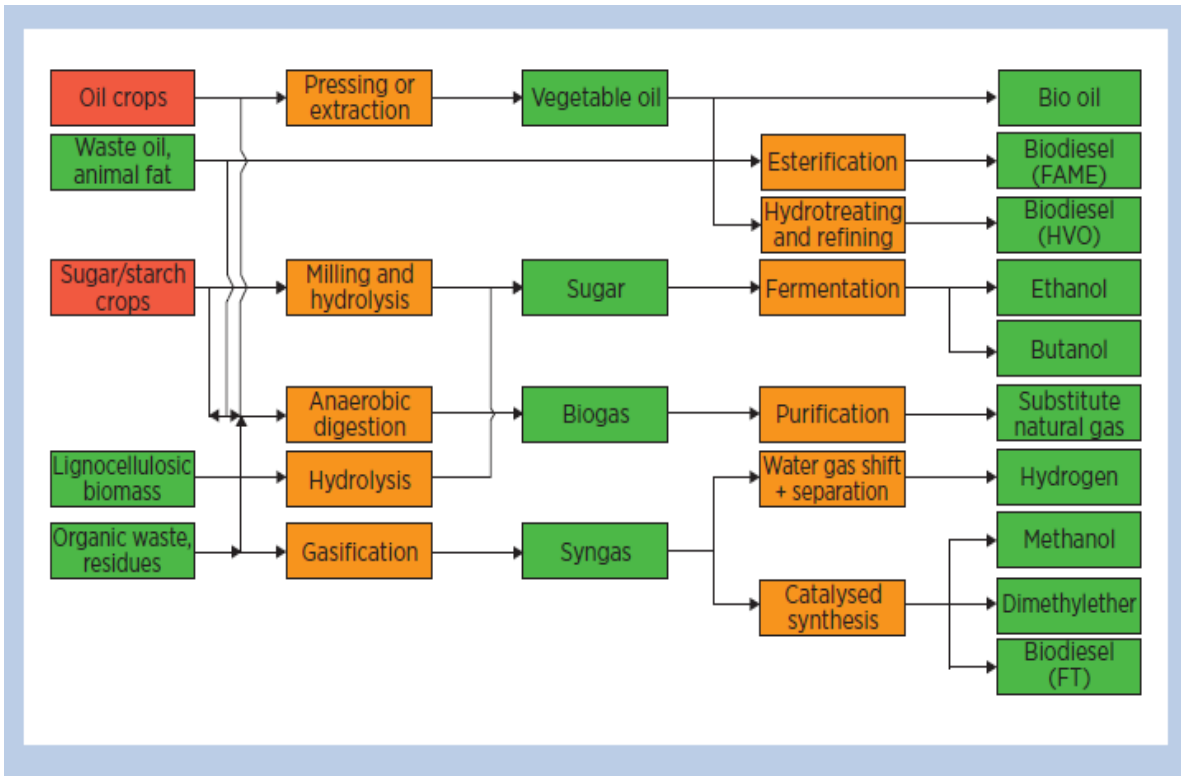
Η συνεχής αύξηση των διεθνών μεταφορών μέσω θαλάσσιων οδών έχει αυξήσει την παγκόσμια κατανάλωση ναυτικών καυσίμων. Υπολογίζεται πως 10 – 20 % της παγκόσμιας παραγωγής καυσίμων πετρελαϊκής προέλευσης καταναλώνονται στον τομέα της ναυτιλίας. Συνεπώς οι ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων από πλοία είναι αρκετά υψηλές για να αγνοηθούν, καθώς ευθύνονται για 4 – 9 %, 14 – 31 % και 3 – 6 % των παγκόσμιων εκπομπών οξειδίων του θείου, του αζώτου καθώς και διοξειδίου του άνθρακα αντίστοιχα (14). Η χρήση του βιοντίζελ είτε ως πρόσθετο είτε ως αυτόνομο καύσιμο για τη ναυτιλία, αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική.

Ωστόσο η εμπειρία από την χρήση αλλά και το εύρος των εφαρμογών τους στην ναυτιλία είναι ακόμη ελάχιστα. Η ναυτιλία πρέπει να αρχίσει να προετοιμάζεται για μια παγκόσμια στροφή προς τα βιοκαύσιμα, παρά τα αυξανόμενα επικριτικά σχόλια που θέτουν ερωτηματικά στο κατά πόσο συντελούν στην προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τον Lloyd's, το πιο μεγάλο εμπόδιο είναι η απουσία ενός θεσμοθετημένου πλαισίου διανομής αναφορικά ιδίως με την αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα πλοίων εφοδιασμού. Επίσης, σημαντική είναι και η απουσία ενός προτύπου, το οποίο να καλύπτει ζητήματα διασφάλισης ποιότητας για τα νέα οικολογικά καύσιμα.

Η αύξηση στη ζήτηση φορτίων βιοκαυσίμων θα ήταν ικανή να απαιτήσει την ναυπήγηση επιπρόσθετων 400 φορτηγών πλοίων με ωφέλιμο φορτίο 35,000 τόνους έως το 2030. Οι επιπτώσεις από την παραγωγή και διάθεση βιοκαυσίμων στην αγορά είναι ιδιαίτερα σημαντικές με τη ναυτιλία να βρίσκεται στο κέντρο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη για νέα καινοτόμα σχέδια σχετικά με τη ναυπήγηση πετρελαιοφόρων, τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα να μετατραπούν σε πλοία κατάλληλα για την παγκόσμια μεταφορά και διάθεση οικολογικών καυσίμων στο εγγύς ή απώτερο μέλλον.

Τα Βιοκαύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον κλάδο είναι για παράδειγμα βιοντίζελ, βιοιθανόλη, βιομεθάνιο, SVO (straight vegetable oil), Διμεθυλαιθέρας (DME), έλαιο πυρόλυσης (pyrolysis oil), υδρογονωμένα φυτικά έλαια HVO (hydrogenated vegetable

oil) ή κάποια άλλη παραλλαγή αυτών. Οι οδοί παραγωγής αυτών των καυσίμων από πρώτη ύλη με βάση τη βιομάζα συνοψίζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Διαδρομή παραγωγής συμβατικών και εξελιγμένων βιοκαυσίμων (πηγή: IRENA, 2015)

Οποιαδήποτε μορφή βιοκαυσίμου χρησιμοποιηθεί, η εφαρμογή θα είναι της μορφής **drop-in καυσίμων** (δηλ. χρησιμοποιείται ως άμεση αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων και είναι συμβατή με τα υφιστάμενα συστήματα υποδομής και κινητήρα) ή μέσω νέων ή επανασχεδιασμένων υποδομών και συστημάτων. Τα τεχνικά προβλήματα, όπως η αστάθεια των αποθηκευμένων καυσίμων, η διάβρωση και η βιομάζα που προέρχονται από τη χρήση ορισμένων βιοκαυσίμων στη ναυτιλία, είναι εύκολα ανυπολόγιστα (Ecofys, 2012b). Αν και το μερίδιο των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μείγμα της ναυτιλιακής βιομηχανίας είναι μικρό και κατά πάσα πιθανότητα θα παραμείνει βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, θα διαδραματίσει μακροπρόθεσμα σημαντικό ρόλο. Η τεχνογνωσία για την παραγωγή προηγμένης - ή δεύτερης και τρίτης γενιάς - βιοκαυσίμων αυξάνεται, κάνοντας αυτά τα καύσιμα την πιο βιώσιμη επιλογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με το υψηλότερο ποσοστό διεύθυνσης στον τομέα της ναυτιλίας μακροπρόθεσμα. Το υψηλό αυτό δυναμικό θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα βιώσιμων πρώτων υλών για την παραγωγή τους, η βιωσιμότητα του παγκόσμιου εμπορίου βιοκαυσίμων και ο τρόπος με τον οποίο το κόστος τους ανταγωνίζεται άλλες επιλογές καυσίμων χαμηλών εκπομπών.

Μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων για τις θαλάσσιες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων, περιλαμβάνεται στην έκθεση 41 του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA-AMF, 2013) σχετικά με την εφαρμογή της συμφωνίας προχωρημένων θαλάσσιων καυσίμων. Άλλες μελέτες έχουν επίσης αξιολογήσει την πιθανή χρήση βιοκαυσίμων στον τομέα της ναυτιλίας: Βλ., Για παράδειγμα, (DNV, 2014). (Lloyds Register και UCL, 2014). (Eff-Ship, 2013b). (Ecofys, 2012b) και (ZERO, 2007).



## Εφαρμογές

Τα υγρά βιοκαύσιμα μπορούν να καίγονται σε έναν κινητήρα ντίζελ και είναι δυνητικά εφαρμόσιμα σε όλους τους τύπους σκαφών, με μικρές μόνο τροποποιήσεις του κύριου κινητήρα που απαιτούνται.

Το ενεργειακό περιεχόμενο του **βιοντίζελ**, είναι ελαφρά χαμηλότερο από αυτό του συμβατικού ντίζελ - λόγω της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο σε ποσοστό 11% - με αποτέλεσμα η καύση του να οδηγεί σε μείωση της ροπής και της ισχύος του κινητήρα κατά ένα μικρό μόνο ποσοστό της τάξεως του 5% μόνο. Αυτή η μικρή απώλεια αντισταθμίζεται από τις αρκετά καλές λιπαντικές ικανότητες του βιοντίζελ και από τον υψηλό αριθμό κετανίων, χαρακτηριστικά τα οποία συντελούν σε αποδοτικότερη καύση κατά 7%. Η περιεκτικότητα σε στοιχεία επιβλαβή τόσο για την ατμόσφαιρα όσο και την ανθρώπινη υγεία, όπως ο άνθρακας και το θείο, είναι σημαντικά πιο περιορισμένη στο βιοντίζελ συγκριτικά με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα. Επίσης, η μικρότερη συγκέντρωση θείου, στα μίγματα βιοντίζελ-ντίζελ, μειώνει το μέγεθος της διάβρωσης λόγω συσσώρευσης θεικού οξέος στο στροφαλοθάλαμο με το πέρασμα του χρόνου. Η απουσία τοξικών και καρκινογόνων αρωματικών (βενζόλιο, τολουόλιο και ξυλόλιο) στο βιοντίζελ, καθιστά τις εκπομπές αυτού του καυσίμου λιγότερο επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Επιπλέον η πυκνότητα του βιοντίζελ βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα με τα συμβατικά καύσιμα, που σημαίνει παρόμοιους χώρους αποθήκευσης και δυνατότητα αποθήκευσης της ίδιας περίπου ποσότητας καυσίμου.

Το βιοντίζελ διαθέτει μια πολύ χρήσιμη ιδιότητα η οποία δύναται να δώσει ώθηση για την ακόμα εντατικότερη χρήση του ως καύσιμο. Αυτή η ιδιότητα είναι ότι το βιοντίζελ μπορεί να **αναμιχτεί** σε οποιονδήποτε βαθμό με το παραδοσιακό ορυκτό ντίζελ. Τα βιοκαύσιμα μπορούν να αναμιχθούν με συμβατικά καύσιμα ή να χρησιμοποιηθούν μόνα τους. Υπάρχουν κάποια τεχνικά θέματα που αφορούν τη χρήση του βιοντίζελ και αυξάνουν τον κίνδυνο διακοπής λειτουργίας κινητήρα, όπως η μειωμένη σταθερότητά του κατά την αποθήκευση, η ανάπτυξη μικροοργανισμών και φυκιών στη δεξαμενή καυσίμων και η αύξηση των αποθέσεων στον κινητήρα.

Οι ναυτιλιακές μηχανές έχουν προσδόκιμο ζωής που ποικίλει από τα δέκα έτη (για μηχανές πλοίων υψηλής ταχύτητας) μέχρι και πάνω από εικοσιπέντε χρόνια (για πλοία χαμηλής ταχύτητας). Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας προσφέρει τη δυνατότητα, παρά τις απώλειες που θα υπάρχουν στην απόδοση, να μείνουν λειτουργικές για έως πενήντα χρόνια – αν συντηρούνται σωστά. Διαφορετικά καύσιμα στον ίδιο τύπο μηχανής χρειάζονται μόνο μικρές αλλαγές στη μηχανή, στα φίλτρα και στους εγχυτήρες.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του βιοντίζελ, είναι ότι ανάλογα με τη σύσταση του μίγματος που χρησιμοποιείται, απαιτούνται μικρές έως καθόλου αλλαγές στους συμβατικούς κινητήρες καύσης ντίζελ και έτσι αποφεύγονται οι πολυδάπανες μετατροπές και οι κεφαλαιακές απαιτήσεις των νέων εγκαταστάσεων. Οι κατασκευαστές μηχανών παίζουν ρόλο – κλειδί στον τομέα αυτό, καθώς πρέπει να διασφαλίζουν τους χρήστες για την ασφαλή αλλαγή καυσίμων χωρίς φόβο βλάβης στις μηχανές, εφόσον τα καύσιμα διαθέτουν συγκεκριμένες ιδιότητες. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, οι νηξελοκινητήρες πλοίων είναι πλήρως συμβατοί με πλήθος βιοκαυσίμων, μεταξύ των οποίων βρίσκονται τα βιοντίζελ, DME (διμεθυλαιθέρες), GTL (gas-to-liquid), BTL (biomass-to-liquid) και HVO (hydrotreated vegetable oil).

Το **βιοαέριο** προέρχεται από την αναερόβια χώνευση οργανικού υλικού. Μπορεί να καθαριστεί με την απομάκρυνση ακαθαρσιών, όπως υγρασία, υδρόθειο και διοξείδιο του άνθρακα για να σχηματιστεί βιομεθάνιο που έχει την ίδια ποιότητα με το φυσικό αέριο. Ακριβώς όπως το φυσικό αέριο, το βιομεθάνιο μπορεί να υγροποιηθεί για να σχηματίσει **υγρό βιομεθάνιο (LBM)** και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφοράς. Το υγροποιημένο βιοαέριο (**LBG**) μπορεί να αντικαταστήσει το υγροποιημένο φυσικό αέριο (**LNG**) χωρίς να χρειάζεται τεχνικές τροποποιήσεις επί του σκάφους. Το βιοαέριο μπορεί να αναμιχθεί με φυσικό αέριο σε οποιοδήποτε βαθμό. Ο ναυτιλιακός τομέας ευνοεί το **υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)** ως **μεταβατικό καύσιμο** για ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα / χαμηλών εκπομπών και ένα κατάλληλο δίκτυο ανεφοδιασμού αναπτύσσεται ταχέως σε καθιερωμένες οδούς μεταφοράς.

Η περίπτωση του ναυτιλιακού τομέα να υιοθετήσει το LBM ως ανανεώσιμο καύσιμο της επιλογής του είναι ισχυρή. Συνδυασμός LBM με άλλες αποδεδειγμένες λύσεις ανανεώσιμης ενέργειας, όπως ο αέρας, όπως προτείνεται από την B9 Shipping, επιτρέπει τη βραχυπρόθεσμη λειτουργία 100% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο κινητήρας αερίου Rolls-Royce Bergen K πιστοποιήθηκε για την τροφοδότηση των πρώτων μεγάλων οχηματαγωγών και επιβατηγών οχηματαγωγών που κυκλοφορούν στο LNG και τώρα χρησιμοποιείται σε περισσότερα από 20 σκάφη. Η αυξημένη ανάπτυξη των εγκαταστάσεων αποθήκευσης LNG στους λιμένες θα διευκολύνει τη χρήση αυτής της τεχνολογίας και βιομεθανίου.

Οι πρώτες δοκιμές του 2006 κατέδειξαν την εμπορική και τεχνική σκοπιμότητα της χρήσης βιοκαυσίμων για θαλάσσιες εφαρμογές. Το 2006-2007, η Royal Caribbean Cruises εξέτασε το βιοντίζελ σε επιλεγμένα κρουαζιερόπλοια, συμπεριλαμβανομένου του 293m Jewel of the Seas, ξεκινώντας με 5% μίγματα (B5) και τελικά με βιοντίζελ 100% (B100). Από το Μάιο έως τον Οκτώβριο του 2006, το καναδικό έργο Bioship έτρεξε το φορτηγό πλοιο χωρητικότητας 17850 dwt, “Anna Desgagnes” σε ένα μείγμα B20 από τετηγμένα ζωικά λίπη και βιοντίζελ μαγειρέματος.

Ένα πρώτο χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης biodiesel συναντάται στο πλοίο **Earthrace**, το οποίο είναι ένα trimaran εβδομήντα οκτώ ποδών που χρησιμοποιεί εναλλακτικό καύσιμο. Το 2008 κατέρριψε το παγκόσμιο ρεκόρ διάπλου της γης αποκλειστικά με χρήση biodiesel. Το πλοίο χρησιμοποιεί μηχανές που έχουν ως καύσιμο μόνο biodiesel. Το συγκεκριμένο καύσιμο προέρχεται κυρίως από ζωικά λίπη, σόγια και άλλες μορφές biodiesel. Οι μηχανές του είναι δύο Cummins Mercruiser 540 hp και είναι φτιαγμένο από ανθρακονήματα. Το κόστος ανέρχεται σε 1,25 εκατομμύρια δολάρια και η χρηματοδότησή του έγινε κυρίως από σπόνσορες. Η αποστολή του πλοίου είναι να παρουσιάσει τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον του όπως το biodiesel, χαμηλές εκπομπές αερίων από τις μηχανές, αντιτοξικά χρώματα και αποδοτικό σχεδιασμό κύτους.



**Trimaran “Earthrace”** (πηγή : [www.wired.com](http://www.wired.com))

Πολλές περιπτώσεις χρήσεως biodiesel σε πλοία αφορούν σε εταιρείες ferries όπως η εταιρεία Washington State Ferries στις ΗΠΑ. Το 2004 η εταιρεία άρχισε να χρησιμοποιεί biodiesel για τα ferries της σκοπεύοντας σε ένα πιο καθαρό και υγιεινό αέρα σε περιοχές με μεγάλη ρύπανση. Η διαδρομή Fauntleroy-Southworth-Vashon επιλέχθηκε για τις αρχικές δοκιμές.

Αυτές οι δοκιμές ακολουθήθηκαν από τις δοκιμές εφικτότητας των βιοκαυσίμων από τις Maersk και Lloyd's για την περίοδο 2010-2011, χρησιμοποιώντας μείγματα βιοντίζελ (fatty acid methyl esters - FAME) στο 88669 dwt πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων Maersk Kalmar. Τα αποτελέσματα ήταν ελπιδοφόρα, αλλά δεν κατέληξαν στο συμπέρασμα, καθώς οι δοκιμές έτρεξαν μόνο για 160 ώρες. Οι δοκιμές σχετικά με τη χρήση βιοκαυσίμων τρίτης γενιάς βιολογικών καυσίμων στη ναυτιλία έχουν επίσης προχωρήσει. Τον Δεκέμβριο του 2011, η Maersk και το Ναυτικό των ΗΠΑ ανακοίνωσαν τη συνεργασία τους για τη δοκιμή βιοκαυσίμων με βάση τα φύκια στο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων **Maersk Kalmar**.



**Maersk Kalmar** (πηγή: <https://www.vesselfinder.com>)

Το 2012, το πλοίο της Meriaura Ltd, το Meri - ένα πλοίο πολλαπλών χρήσεων μήκους 105 m και 4359 dwt - παρέδωσε την πρώτη εμπορική αποστολή στον κόσμο με τη χρήση 100% βιοκαυσίμων (βιοκαύσιμα από απορρίμματα χαρτοπολτού) στη Φινλανδία. το πλοίο τροφοδοτήθηκε από τρία συστήματα γεννήτριας Wärtsilä που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το MDO ως εφεδρικό καύσιμο.

Η πρωτοβουλία Great Green Fleet του Αμερικανικού Πολεμικού Ναυτικού επιδιώκει να μειώσει τη χρήση ορυκτών καυσίμων στο στόλο της κατά 50% μέχρι το έτος 2020, ενώ η Maersk επιδιώκει να μειώσει τις εκπομπές της κατά 25% μέχρι το έτος 2020 σε σύγκριση με το 2007. Βιώσιμα, ανταγωνιστικά στο κόστος και τις τεχνολογίες βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Τον Ιούνιο του 2014, το Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α. διατύπωσε μια προσφορά που επιδιώκει τουλάχιστον 37 εκατομμύρια γαλόνια σταγόνων βιοκαυσίμων ως μέρος του ανεφοδιασμού καυσίμων πλοίων F-76 για το ντίτζελ πλοίων και του πυραύλου πλοίων JP-5. Η Maersk, η DONG Energy, η Haldor Topsoe, η MAN Diesel και η Turbo, η Novozymes, το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας και το Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης είναι εταίροι στο έργο Bioenergy for the 21st Century (B21st) που συγχρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Προηγμένης Τεχνολογίας της Δανίας μια τεχνολογική πλατφόρμα που αποσκοπεί στην ανάπτυξη βιομάζας για καύσιμα πλοίων και χημικές ουσίες. Τον Φεβρουάριο του 2013, η Maersk υπέγραψε συμφωνία με την Progression Industry για να αναπτύξει ένα καύσιμο πλοίων από λιγνίνη CyclOx, το οποίο είναι βιώσιμο, οικονομικά ανταγωνιστικό και τεχνικά υγιές και για το οποίο η Maersk δεσμεύεται να αγοράσει 50.000 τόνους καυσίμου αν πληροί αυτές τις προϋποθέσεις.

Η ευρωπαϊκή πλατφόρμα τεχνολογιών για τα βιοκαύσιμα παρέχει μια καλή περίληψη των άλλων δοκιμών των ανανεώσιμων βιοκαυσίμων για τη ναυτιλία, συμπεριλαμβανομένου του προγράμματος των Lloyds Register και Maersk σχετικά με τη χρήση βιοντίζελ σε θαλάσσιους κινητήρες, το πρόγραμμα TEN-T της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (με στόχο την υποστήριξη της κατασκευής και της αναβάθμισης της υποδομής μεταφορών η Ευρωπαϊκή Ένωση) που περιλαμβάνει έργα προτεραιότητας με στόχο τα εναλλακτικά καύσιμα για τις θαλάσσιες μεταφορές και το σχέδιο METHAPU (για την επικύρωση του ανανεώσιμου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το μεθανόλη για εμπορικά πλοία), μεταξύ άλλων.

Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τη βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων ως καυσίμων με μειωμένη κατανάλωση για θαλάσσιες εφαρμογές όσον αφορά τους τύπους των συστημάτων τους καύσης, καθώς και τις δυνατότητες άμεσης υποκατάστασής τους.

		Engine Applications	
		Drop-in fuel	Comment
Diesel cycle	Biodiesel (FAME)		<ul style="list-style-type: none"> <li>● High availability and variety of feedstock</li> <li>● Land use and food nexus issues for conventional biodiesel production</li> <li>● Standard well-understood specifications</li> <li>● Bio-fouling potential</li> <li>● Requires anti-corrosion seals and components in engine</li> <li>● Suitable for low to medium speed propulsion (e.g. small carriers and cargo ships)</li> </ul>
	Straight vegetable oil (SVO)		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Up to 100% replacement possible</li> <li>● Cheap and readily available</li> <li>● High viscosity requires pre-heating</li> <li>● Can be used in dual engines</li> <li>● Suitable for low-speed propulsion of all vessel sizes</li> </ul>
	Hydro-treated vegetable oil (HVO)		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Very high quality for shipping</li> <li>● High energy content</li> <li>● Land use and food nexus issues depending on feedstock used</li> <li>● Suitable for medium-speed propulsion of all vessel sizes</li> </ul>
	Dimethyl ether (DME)		<ul style="list-style-type: none"> <li>● High potential</li> <li>● Challenges with stability and storage</li> <li>● Limited availability, but can be produced from ethanol using on-board alcohol to ether (OBATE) technology</li> <li>● Requires fuelling infrastructure and anti-corrosion seals and components in engine</li> <li>● Takes up cargo space</li> <li>● Suitable for low-speed propulsion of all types of vessels</li> </ul>
	Biomass-based Fischer-Tropsch diesel		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Can use residues for feedstock</li> <li>● Limited availability, depends largely on gasification</li> <li>● Not yet commercially viable</li> <li>● Can be used for medium-speed propulsion of all vessel sizes</li> </ul>
	Pyrolysis oil		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Low cost and high availability potential</li> <li>● Corrosive</li> <li>● Low heating value and high viscosity</li> <li>● Difficult to store</li> <li>● Suitable for low-speed propulsion of all types of vessels</li> </ul>
Dual fuel Otto cycle	Liquefied bio-methane (LBM)		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Limited by availability of biomethane</li> <li>● Infrastructure and storage issues</li> </ul>
	Biomethanol		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Multiple pathways for production</li> <li>● Holds very high potential but is presently limited by technologies for syngas production</li> <li>● Suitable for high-speed auxiliary engines</li> </ul>
	Bioethanol		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mainly for blending</li> <li>● Land use and food nexus issues for conventional bioethanol production</li> <li>● Potential with second generation bioethanol</li> <li>● Standard specifications and well understood</li> <li>● Suitable for high-speed main or auxiliary engines</li> </ul>

**Τρέχουσα βιωσιμότητα επιλεγμένων βιοκαυσίμων για τον τομέα της ναυτιλίας (πηγή IRENA, 2015)**

Ο επόμενος πίνακας συνοψίζει την εφαρμογή των βιοκαυσίμων και τυχόν σχετικά ζητήματα σχετικά με τη θαλάσσια πρόωση όσον αφορά τις δυνατότητες κόστους, το σύστημα κινητήρων και καυσίμων, την προσφορά καυσίμων, τη μείωση των εκπομπών, την ασφάλεια και το έμμεσο κόστος.

Aspect	Blofuel			
	Biomass to liquid (advanced biofuels – e.g. via Fischer-Tropsch process)	HVO/SVO/FAME	Dimethyl ether (DME)	Liquid biomethane (LBM)
Engine and fuels system cost	Drop-in	Drop-in	Storage	Dual fuel cryotanks
Projected fuel cost	Refining	Land use	Infrastructure	Infrastructure
Emissions abatement cost				
Safety-related cost			Ventilation	Pressure / Temperature
Indirect cost		Water, energy, land and food nexus	Cargo space	Cargo space

■ Feasible solution   
 ■ Significant cost   
 ■ Serious impediment

Adapted from IEA-AMF, 2013

Σύνοψη εφαρμογών και ζητημάτων για τα βιοκαύσιμα στη ναυτιλία (πηγή IRENA, 2015)

### 3.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης των βιοκαυσίμων στη ναυτιλία

Η βιομάζα αποτελεί μια ελκυστική πηγή ενέργεια εξαιτίας της πληθώρας πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Τα σημαντικότερα οφέλη από τη χρήση των βιοκαυσίμων είναι κυρίως περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά. Καταρχάς η αξιοποίηση της ενέργειας από βιοκαύσιμα προσφέρει τη δυνατότητα περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η καύση βιοκαυσίμων απελευθερώνει περίπου την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα με τα ορυκτά καύσιμα, ωστόσο το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στα δεύτερα είχε

δεσμευτεί από τη φωτοσύνθεση εκατομμύρια χρόνια στο παρελθόν. Συνεπώς φαίνεται πως η βιομάζα δεν προσθέτει θετικά στην αύξηση της διακινούμενης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Επίσης, η μηδενική ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που ευθύνονται για την όξινη βροχή. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα το μηδενικό ισοζύγιο εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής των βιοκαυσίμων. Περαιτέρω, η αξιοποίηση της βιομάζας ως εγχώρια πηγή ενέργειας, μειώνει την εξάρτηση των χωρών για εισαγόμενα καύσιμα και βελτιώνει το εμπορικό τους ισοζύγιο, ενώ σε κοινωνικό επίπεδο αυξάνει τα επίπεδα απασχόλησης στις αγροτικές περιοχές και ενισχύει την οικονομική τους ανάπτυξη.

Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα μπορούν να θεωρηθούν ασφαλέστερα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα σε περιπτώσεις ατυχημάτων ή διαρροών. Η μικρή διαλυτότητα του βιοντίζελ και ο υψηλός ρυθμός βιοδιάσπασης, έχουν σαν αποτέλεσμα να θεωρείται περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικό. Θα ήταν λάθος να θεωρηθεί πως τα βιοκαύσιμα είναι πλήρως ασφαλή, καθώς διαρροή ποσότητάς τους σε υψηλές συγκεντρώσεις θα προκαλέσει ρύπανση νερού και εδάφους, καθώς και πιθανό θάνατο των οργανισμών που ζουν εκεί. Παρόλα αυτά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα είναι τάξεις μεγέθους μικρότερες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των ορυκτών καυσίμων. Επίσης τα βιοκαύσιμα αποτελούνται από βιομόρια, γεγονός που τα καθιστά σε μεγάλο βαθμό βιοαποικοδομήσιμα. Βακτήρια και άλλοι οργανισμοί που ζουν φυσικά στο έδαφος και στο νερό έχουν τη δυνατότητα να διασπάσουν τα χημικά μόρια που υπάρχουν στα βιοκαύσιμα και να τα αποδομήσουν προς αβλαβή παραπροϊόντα. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως ακόμη και αν υπάρξει κάποια μεγάλη διαρροή, η οποία θα είναι επιβλαβής ως προς τη γλωρίδα και την πανίδα της περιοχής, δε θα παραμείνει στο περιβάλλον ούτε θα συνεχίσει να προκαλεί βλάβες για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η τεχνολογία προχωρά με "σταθερά βήματα" για την υιοθέτηση των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα του βιοντίζελ. Το βιοντίζελ εκτός από το γεγονός ότι πλεονεκτεί ως ανανεώσιμο καύσιμο, εμφανίζει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες με το συμβατικό ντίζελ, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει και **καλύτερα χαρακτηριστικά** από αυτό όπως:

- μεγαλύτερο σημείο ανάφλεξης οπότε και ασφαλέστερο στη χρήση
- μικρότερη ποσότητα θείου
- μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα λόγω του οξυγόνου που περιέχει
- μεγαλύτερο αριθμό κετανίου

Η μείωση του περιεχομένου θείου, που επιβάλλεται στα ορυκτά καύσιμα, έχει αρνητική επίδραση στην λίπανση του κινητήρα λόγω της μείωσης των λιπαντικών ενώσεων του θείου στο βαθιά υδρογονοεπεξεργασμένο καύσιμο. Έτσι, τα διυλιστήρια κάνουν χρήση πανάκριβων και ταυτόχρονα μη βιοαποικοδομήσιμων πρόσθετων για την επαναφορά της λιπαντικής ικανότητας του καυσίμου. Η προσθήκη όμως του βιοντίζελ στο πετρελαϊκό ντίζελ, έστω και σε περιεκτικότητες μικρότερες από 1% κ.β. επαναφέρει την λιπαντική ικανότητα του καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατείνεται η ζωή του πετρελαιοκινητήρα, να προστατεύεται το περιβάλλον από τα πρόσθετα λίπανσης και να εξοικονομούνται αρκετά χρήματα από τα διυλιστήρια. Επίσης το βιοντίζελ είναι κατάλληλο για τους ήδη υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες, όπου δεν χρειάζεται να γίνει σχεδόν καμία μετατροπή ακόμη και αν χρησιμοποιηθεί αμιγές βιοντίζελ.

Όσον αφορά το θέμα της αποθήκευσης και της μεταφοράς, το βιοντίζελ υπερτερεί συγκριτικά με το συμβατικό ντίζελ καθώς διαθέτει υψηλότερο σημείο ανάφλεξης (127 °C σε αντίθεση με τους 52 °C του παραδοσιακού ντίζελ), που το καθιστά ασφαλέστερο καύσιμο.

Τα κύρια **μειονεκτήματα** του **βιοντίζελ** είναι:

- Η μικρότερη θερμογόνος δύναμη ( κατά 6% ) και υψηλότερο ιξώδες σε σχέση με αυτά του συμβατικού ντίζελ.
- Οι ελάχιστες μεγαλύτερες εκπομπές NOx από αυτές του συμβατικού ντίζελ.
- Το υψηλό κόστος σε σχέση με το κόστος του φθηνότερου ντίζελ. Σε αυτό συμβάλει το υψηλό κόστος της πρώτης ύλης (φυτικών ελαίων και ζωικών λιπών)
- Η παραγωγή γλυκερίνης ως παραπροϊόν.
- Η χρησιμοποίηση μεθανόλης για την παραγωγή του.

Η χρήση του βιοκαυσίμου εντείνει κάποια προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται, σε μικρότερο βαθμό, στους κινητήρες ντίζελ κατά την καύση του και παρεμποδίζουν ελαφρά τη βέλτιστη λειτουργία του. Τα προβλήματα αυτά έχουν να κάνουν με τις ιδιότητες του καυσίμου και τη συμπεριφορά του σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Έτσι για παράδειγμα ενώ οι κινητήρες που κάνουν χρήση συμβατικού ντίζελ αντιμετωπίζουν προβλήματα κατά την εκκίνηση τους σε επίπεδα θερμοκρασιών κοντά στους 7 C λόγω του φαινομένου της τήξης, η χρήση βιοντίζελ στους ίδιους κινητήρες θα οδηγήσει στην εμφάνιση του προβλήματος, δυστυχώς σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες, περίπου 8 C.

Το βιοντίζελ διαθέτει διαβρωτικές ικανότητες οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα στην μηχανή του πλοίου. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου συνιστάται είτε η παρέμβαση στην διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ, με την παραγωγή καυσίμου χαμηλής οξύτητας, είτε η παρέμβαση στη μηχανή του πλοίου με αντικατάσταση των ευπαθών τμημάτων και των άλλων μετάλλων που δρουν ως καταλύτες, με νέα αντιοξειδωτικού χαρακτήρα.

Το βιοντίζελ είναι υδρόφιλο και είναι ένα εξαιρετικό μέσο για μικροβιακή μόλυνση. Το νερό μπορεί να διαλυθεί στο πετρέλαιο-βιοντίζελ ειδικά σε θερμές και υγρές συνθήκες. Ακολουθώντας συμπυκνώνεται και συσσωρεύεται στον πυθμένα των δεξαμενών ή στα τοιχώματα των δεξαμενών και των σωλήνων και μπορεί να προκαλέσει διάβρωση. Θέμα εγείρεται για την ανάπτυξη μούχλας και βακτηρίων το οποίο είναι πιο σύνηθες φαινόμενο για το βιοντίζελ λόγω της οργανικής του φύσης, με αποτέλεσμα να απαιτείται η αποβολή όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του νερού για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, καθώς οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται στο νερό και όχι στα ίδια τα καύσιμα.

Οι μύκητες και οι μικροοργανισμοί βρίσκονται παντού και πολλαπλασιάζονται στην υδατική φάση του πετρελαίου ειδικά όταν υπάρχουν θρεπτικά υλικά από την προσθήκη Βιοντίζελ. Αυτή η διεργασία οδηγεί στον σχηματισμό ορατών αποικιών μυκήτων την ονομαζόμενη "βιολάσπη", οπότε και φράζουν τα φίλτρα και μπλοκάρουν τις μηχανές.

Το βιοντίζελ, ειδικά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, μπορεί να διαλύσει ορισμένα μη μεταλλικά υλικά όπως καπάκια, λάστιχα από καουτσούκ και φλάντζες. Μπορεί επίσης να αλληλεπιδράσει με ορισμένα μεταλλικά υλικά, όπως ο χαλκός και ο ορείχαλκος. Για ένα υπάρχον πλοίο, ενδέχεται να χρειαστεί να τροποποιηθεί το σύστημα καυσίμου και οι κινητήρες, αλλάζοντας τα ευπαθή εξαρτήματα με εξαρτήματα συμβατά με το βιοντίζελ για μια αβίαστη λειτουργία. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με κατάλληλη τροποποίηση του βιοντίζελ ή εναλλακτικά η ανάμιξή του με συμβατικό ντίζελ σε μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό ανάλογα με την περίοδο.

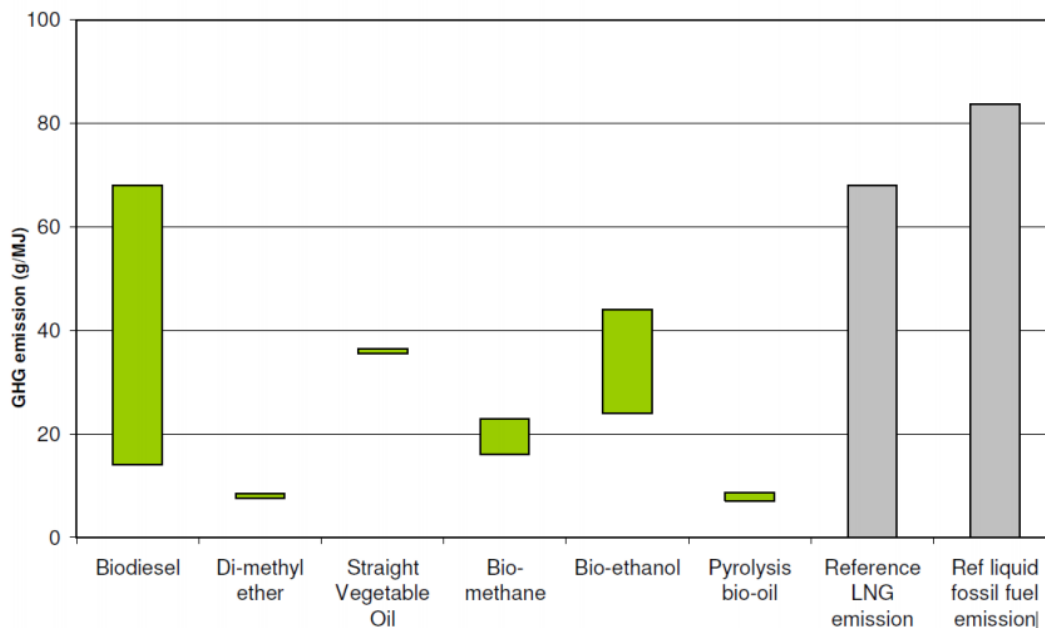


Στην περίπτωση των μηχανών των πλοίων στις οποίες χρησιμοποιείται ως καύσιμο το βιοντίζελ έχουμε την εμφάνιση του φαινομένου της **σπηλαιώσης (Vaporous cavitation)**, το οποίο εμφανίζεται στις αντλίες έκχυσης καυσίμου. Η τοπική αύξηση της ταχύτητας του καυσίμου οδηγεί στην τοπική πτώση της πίεσης του σε τιμές χαμηλότερες από το σημείο ατμοποίησης του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον βρασμό του καυσίμου, δηλαδή την δημιουργία φυσαλίδων, φαινόμενο το οποίο θα μπορούσε να παρατηρηθεί και στην περίπτωση της τοπικής αύξησης της θερμοκρασίας του. Η διαδικασία συνεχίζεται αν δεν μεταβληθούν οι συνθήκες και έτσι νέες φυσαλίδες δημιουργούνται ενώ οι πρώτες αυξάνουν το μέγεθός τους. Αφού παρασυρθούν από το καύσιμο, οι φυσαλίδες καταλήγουν σε σημεία όπου οι τιμές της πίεσης είναι υψηλές και έτσι αρχίζουν να καταρρέουν δηλαδή να επανυγροποιούνται. Το κενό που σχηματίζεται κατά την υγροποίηση τείνει να καλυφθεί, με ορμή από το υπόλοιπο υγρό, που "σφυρηλατεί" τα σημεία της αντλίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη απόδοση της αντλίας, τον υπερβολικό θόρυβο, την παρατήρηση δονήσεων και τελικά την φθορά της αντλίας η έκταση της οποίας μπορεί να κυμαίνεται από ένα μικρό ποσοστό μέχρι της πλήρης διάβρωσής της, σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

Υπάρχουν διάφορες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας και κυρίως υγρών καυσίμων μεταφοράς. Βασικό πρόβλημα είναι πως η παραγωγή βιομάζας είναι εποχιακή, ενώ οι απαιτήσεις για ενέργεια συνεχείς. Επίσης αποτελεί μια ιδιαίτερα περίπλοκη και ετερογενή πρώτη ύλη, οι ιδιότητές της μπορεί να ποικίλουν ανάλογα το είδος του φυτού, την τοποθεσία που έχει αναπτυχθεί, τις συνθήκες καλλιέργειας καθώς και τις συνθήκες θερισμού και αποθήκευσης. Τέλος, η βιομάζα παρουσιάζει μικρότερη πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα πρώτης ύλης για την κάλυψη ίδιων ενεργειακών αναγκών σε σχέση με ένα παραδοσιακό ορυκτό καύσιμο, γεγονός που κάνει την τεχνολογία αυτή να είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η παραγωγή των βιοκαυσίμων από μόνη της ως διαδικασία απαιτεί την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας συνεισφέροντας έμμεσα στην εκπομπή ρύπων. Επιπλέον, η εντατική καλλιέργεια ενδεχόμενα να οδηγήσει σε υποβάθμιση των βιοτόπων, να απειλήσει σοβαρά τη βιοποικιλότητα και να αποτελέσει αιτία για την αποψίλωση μεγάλων δασικών εκτάσεων, καθώς θα πρέπει να μειωθεί η έκταση της καλλιεργήσιμης γης. Τέλος σε κοινωνικό επίπεδο, η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη φαγητού για μεγάλη μερίδα πληθυσμού ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, από τη συνεπαγόμενη αύξηση των τιμών σε συγκεκριμένα βασικά είδη διατροφής όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

Γενικά επικρατεί μια δυσπιστία σχετικά με τη χρήση βιοκαυσίμων εξαιτίας των αυξημένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο έρευνες δείχνουν πως ακόμη και το βιοντίζελ, το οποίο θεωρείται το πιο επιβλαβές από τα βιοκαύσιμα όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, είναι αποδοτικότερο από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Εν αντιθέσει με τα υπόλοιπα «καθαρά καύσιμα» όπως το φυσικό αέριο (CNG) το βιοντίζελ και άλλα βιοκαύσιμα παράγονται από **ανανεώσιμες** γεωργικές σοδειές που αφομοιώνουν το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> για την ανάπτυξη τους. Ωστόσο, κάποια ενέργεια από ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιείται όταν παράγεται η πρώτη ύλη του biodiesel. Βέβαια στην περίπτωση του βιοντίζελ οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξαρτώνται σημαντικά από τη σύσταση της πρώτης ύλης.



**Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από διάφορους τύπους βιοκαυσίμων. (πηγή IRENA, 2015)**

Κατά πολλούς το βιοντίζελ **3ης γενιάς**, αποτελεί τη μόνη λύση να αντικαταστήσει επαρκώς τα συμβατικά καύσιμα καλύπτοντας ικανοποιητικά τόσο τη ζήτηση με προσφορά επαρκούς ποσότητας, όσο και το κόστος παραγωγής το οποίο δύναται να συγκρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα. Η άλγη, δηλαδή τα μικροφύκη, συναντώνται κυρίως σε αλμυρά και γλυκά νερά, όπως σε θάλασσες, λίμνες και λιμνοθάλασσες. Ορισμένα είδη έχοντας προσαρμοστεί κατάλληλα, μπορούν να ευδοκιμήσουν σε αφθονία ακόμα και σε θερμές ή ψύχρες ερημικές εκτάσεις.

Το λειτουργικό κόστος ενός πλοίου ορίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του από το κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Αναφορικά με τις επιλογές βιοκαυσίμων στην ναυτιλία, εξακολουθούν να υπάρχουν περιορισμοί που σχετίζονται με τα υψηλά κόστη παραγωγής αλλά και την κλίμακα που απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες την ναυτιλίας καθώς επίσης και με τον ανταγωνισμό για τα καύσιμα άλλων κλάδων όπως των οχημάτων δρόμου, των εναέριων μέσων και των σιδηροδρόμων

Τα επόμενα χρόνια αναμένονται επαναστατικά βήματα στον τομέα των εναλλακτικών πηγών ενέργειας γενικά και ειδικότερα στην παραγωγή και διάθεση του βιοντίζελ. Ο τομέας της ναυτιλίας μπορεί να επωφεληθεί από αυτό και με την σειρά του να συμβάλει όχι μόνο στην βιωσιμότητα και την ανάπτυξη του ίδιου του κλάδου της ναυτιλίας αλλά και στην βιωσιμότητα του πλανήτη μας.

### 3.5 Ηλιακή ενέργεια

Τα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις στην ηλιακή ενέργεια, στην αποθήκευση της καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις στην ηλεκτροκίνηση έχουν καταστήσει βιώσιμο τον σχεδιασμό πλοίων που θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα με την ηλιακή ενέργεια για την κίνηση τους. Η τεχνολογία ηλιακών/φωτοβολταϊκών κυψελών έχει βελτιωθεί θεαματικά τα τελευταία χρόνια. Για αυτό, αξίζει να εξεταστεί η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών πάνω στα πλοία, ιδιαίτερα, όταν το πλοίο συμμετέχει σε εμπορικές διαδρομές όπου αναμένεται σημαντική ποσότητα ηλιοφάνειας.

Γενικά φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη που έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Όλες οι εξελίξεις σε αυτήν την ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία είναι διαθέσιμες για χρήση στις μεταφορές στην ναυτιλία.

Δεδομένου ότι είναι σε θέση να εκμεταλλευτούν την ανανεώσιμη ηλιακή ενέργεια, τα **πλεονεκτήματα** των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι σαφή. Οι ηλιακοί συλλέκτες εγκατεστημένοι στο κατάστρωμα του πλοίου μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε ηλεκτρικό κινητήρα πρόωσης ή στα βοηθητικά εξαρτήματα του πλοίου. Ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο στο κατάστρωμα, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμων μέχρι 3.5% για δεξαμενόπλοια, μέχρι 2.5% για πλοία μεταφοράς οχημάτων και μέχρι 1% για οχηματαγωγά.

Το κύριο **μειονέκτημα**, ωστόσο, είναι η πολύ μεγάλη εκτεθειμένη επιφάνεια που απαιτείται ανά kW παραγόμενης ισχύος. Με άλλα λόγια οι πρωτεύοντες περιορισμοί είναι η έλλειψη αρκετής επιφάνειας ώστε να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελς αλλά και τα συστήματα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

Σύμφωνα με μελέτη της εταιρίας *Wärtsilä* ανάλογα με τον διαθέσιμο χώρο στο κατάστρωμα, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να δώσουν τις ακόλουθες μειώσεις στην συνολική κατανάλωση καυσίμου (29):

**Δεξαμενόπλοιο** ~ 3,5% ,  
**PCTC** ~ 2,5% ,  
**Ferry** ~ 1%

Για να πάρουμε μια ιδέα του πόση ενέργεια είναι δυνατό να πάρουμε από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες σε ένα πλοίο, το ακόλουθο παράδειγμα υπολογισμού διενεργήθηκε για ένα tanker με μήκος 270m και πλάτος 50m. Ένα tanker τέτοιου τύπου εξοπλίζεται με μία μηχανή περίπου 18.000 kW και βοηθητική ισχύ περίπου 1.000 kW.

	Current	Current best	Future
Approximate energy conversion efficiency (%)	13	30	60
Nominal power (kW)	609	1,406	2,811
Power adjusted for reflection (kW)	426	984	1968

**Παραγωγή ισχύος φωτοβολταϊκών θεωρώντας ότι καλύπτεται όλη η επιφάνεια καταστρώματος (πηγή: Second IMO GHG Study 2009)**

Οι εφαρμογές ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα. Η ηλιακή ενέργεια αντιμετωπίζεται ως πρόσθετη παροχή ενέργειας σε ένα πλοίο επειδή είναι διακοπτόμενη και γι' αυτό απαιτείται η αποθήκευσή της. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας προσφέρουν υψηλότερες δυνατότητες και καλύτερες προοπτικές για συστήματα πρόωσης πλοίων τροφοδοτούμενα από φωτοβολταϊκά βραχυπρόθεσμα, αλλά η πλήρης πρόωση πλοίων με ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια απαιτεί περαιτέρω τεχνική ανάπτυξη και είναι πιθανό να περιορίζεται σε σχετικά μικρά πλοία, σύμφωνα και με μελέτη της Royal Academy of Engineering του 2013.

Μια δοκιμή εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας, αποτελεί το έργο «**Auriga Leader**», ένα φορτηγό πλοίο μεταφοράς αυτοκινήτων ολικής χωρητικότητας 60.213 GT που αναπτύχθηκε από κοινού από την «NYK» και τη «Nippon Oil Corporation». Το Auriga Leader μετασκευάστηκε το 2008/09 και 328 ηλιακοί συλλέκτες τοποθετήθηκαν στο πλοίο, προσφέροντας 40 κιλοβάτ, δηλαδή περίπου το 10% της ενέργειας του όταν βρίσκεται ακίνητο σε αποβάθρα. Ήταν επίσης το πρώτο πλοίο που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ απευθείας στο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου. Η παραγόμενη ενέργεια μετρήθηκε ότι αντιστοιχεί στο 0,05% της ισχύος πρόωσης του πλοίου και στο 1% των καθημερινών απαιτήσεων ισχύος, όπως το μαγειρείο, οι αντλίες και ο φωτισμός των ενδιαιτήσεων. Η αλλαγή αυτή θα **μειώσει** το καύσιμο ετησίως κατά **13 τόνους** (14 χιλιόλιτρα) και το CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά περίπου **40 τόνους**.

Το Auriga Leader ξεκίνησε το πρώτο του ταξίδι στις 19 Δεκεμβρίου 2008 και ολοκλήρωσε το τέταρτο ταξίδι του στις 13 Ιουλίου 2009, συνολικής διάρκειας 207 ημερών. Μέχρι το τέλος του τέταρτου ταξιδιού, το ηλιακό σύστημα είχε λειτουργήσει για συνολικά 2.600 ώρες και είχε παράγει 32.300 κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας, που ισοδυναμούσε με επτά μήνες χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από 17 νοικοκυριά στην Ιαπωνία. Τα ηλιακά πάνελ παρήγαγαν 1,4 φορές περισσότερη ενέργεια στο πλοίο στη θάλασσα από ό,τι στο λιμάνι του Τόκιο, αλλά οι συνολικές συνεισφορές στην ενέργεια ηλεκτροκίνησης ήταν ελάχιστες. Απαιτούνται περαιτέρω έρευνες για να προσδιοριστεί ο ακριβής λόγος, αλλά το ισχυρότερο ηλιακό φως που προκαλείται από το υψηλό υψόμετρο του ήλιου και το φως της ημέρας πιστεύεται ότι έχει παίξει ρόλο. Επιπλέον, ο άνεμος που συναντούσε το πλοίο ψύχθηκε το σύστημα, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση.

Ένας άλλος σκοπός αυτού του έργου είναι η επαλήθευση της αντοχής των ηλιακών συλλεκτών σε δύσκολες συνθήκες πραγματικής πλοήγησης. Μέσα από τα τέσσερα ταξίδια, το πλοίο αντιμετώπισε δύσκολες συνθήκες - όπως τρεις ώρες κατ'οίκον βροχής και αστραπής, 20 συνεχόμενες ώρες ισχυρού ανέμου (περίπου 20 μέτρα / δευτερόλεπτο) και 48 συνεχόμενες ώρες κύματος 3-4 μέτρα ύψος - αλλά το σύστημα συνέχισε να λειτουργεί καλά.



**Auriga Leader της NYK (πηγή: NYK Ltd)**

Ο σχεδιασμός **Greenheart** για φορτηγό πλοίο χωρητικότητας 220 τόνων προτείνει τη χρήση ηλεκτρικών συσσωρευτών μόλυβδου οξέος, οι οποίοι θα φορτίζονται από φωτοβολταϊκά, και θα παρέχουν βοηθητική πρόωση στο κύριο σύστημα. Οι μπαταρίες μπορούν να προσφέρουν πιθανή υβριδική λύση σε συνδυασμό με άλλους τρόπους προώθησης για ορισμένα μικρά έως μεσαία πλοία, υπό την προϋπόθεση ότι η επαναφόρτιση τους δεν αυξάνει την παραγωγή άλλων επιβλαβών εκπομπών.

Το **SolarSailor** της **OCIUS Technology** χρησιμοποιεί υβριδικά σταθερά πανιά σε συνδυασμό με ηλιακές φωτοβολταϊκές συστοιχίες, τόσο στα ιστία όσο και στο κατάστρωμα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτά έχουν οδηγήσει στο σχεδιασμό εμπορικά ανταγωνιστικών ferries στην Αυστραλία, το Χονγκ Κονγκ και τη Σαγκάη και δείχνουν αρκετά υποσχόμενα για εφαρμογή και σε μεγαλύτερα πλοία.



**SolarSailor** της **OCIUS Technology** (πηγή :IRENA, 2015)

Άλλη εφαρμογή της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών αποτελεί το «**Medaka**», ένα ηλιακό πλοίο που θα χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά θα περιλαμβάνει επίσης και μια σειρά από άλλα χαρακτηριστικά που θα είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα είναι τοποθετημένοι στην οροφή του σκάφους και θα χρησιμοποιούν ένα θαλάσσιο ηλιακό πάνελ, που έχει αναπτυχθεί από την Eco Marine Power, που θα του επιτρέπουν να ανυψώνεται και να χαμηλώνει. Κατά την κανονική λειτουργία, τα πάνελ θα έχουν μια μικρή κλίση ενώ το σκάφος σε γενικές γραμμές θα είναι αρκετά χαμηλό ώστε να υπάρχει η δυνατότητα διέλευσης του κάτω από χαμηλές γέφυρες και άλλου είδους εμπόδια. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα μπορούν επίσης να ανυψώνονται σε μια σταθερή θέση στην οροφή του σκάφους.

Ο σχεδιασμός του μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να εκπληρώσει διάφορους ρόλους όπως ένα φέριμποτ αστικών μετακινήσεων ή ένα σκάφος που χρησιμοποιείται για περιήγηση σε αξιοθέατα ή ακόμα ως ένα σκάφος μεταφοράς αγαθών. Θα μπορεί επίσης να ρυθμιστεί ώστε να χρησιμοποιεί και άλλες πηγές ισχύος (εκτός των ηλιακών πάνελ) όπως είναι το LNG. Επιπλέον, θα είναι δυνατή η γρήγορη επαναφόρτιση των μπαταριών του όταν το πλοίο βρίσκεται κοντά σε προβλήτα ή αποβάθρα. Ένα σύστημα διαχείρισης της ενέργειας θα βελτιστοποιεί την απόδοση της μπαταρία του σκάφους ενώ παράλληλα θα γίνεται καλύτερη χρήση της διαθέσιμης ενέργειας. Τέλος, με τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας επιτυγχάνεται ο σκοπός να ανακτούν τη θερμική ενέργεια των καυσαερίων και να τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Η ενέργεια που απομένει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες

χρήσεις στο πλοίο, όπως στο λέβητα. Στόχος είναι η δημιουργία ενός σκάφους όσο το δυνατόν φιλικό προς το περιβάλλον αλλά και ευέλικτο.



ηλιακό πλοίο Medaka (πηγή :[www.ecomarinepower.com](http://www.ecomarinepower.com))

### 3.5.1 Το παράδειγμα του Blue Star Delos

Η **Eco Marine Power (EMP)**, για πρώτη φορά εγκατέστησε ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το **Aquarius Management & Automation System (MAS)** που θα έχει ενσωματωμένη μια σειρά ηλιακών πάνελ πάνω στο πλοίο **Blue Star Delos**. Έτσι το 2014, το **Blue Star Delos**, επιβατηγό ferry υψηλής ταχύτητας, έγινε το πρώτο πλοίο αυτού του τύπου που θα εγκατασταθεί με θαλάσσιο σύστημα ηλιακής ενέργειας. Το σύστημα αυτό εγκαταστάθηκε ως μέρος ενός ευρύτερου έργου για την αξιολόγηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα εμπορικά πλοία. Σε αντίθεση με τα μικρότερα σκάφη με ηλιακούς συλλέκτες (όπως το **MS Tûranor PlanetSolar** που αναφέρεται παρακάτω), το **Blue Star Delos** είναι ένα μεγάλο εμπορικό πλοίο. Έχει την ικανότητα να μεταφέρει **2400 επιβάτες** και 430 οχήματα (**Blue Star Fleet**) και συνήθως αναχωρεί καθημερινά από το λιμάνι του Πειραιά, στις 07:25 και επιστρέφει στις 23:25. Το πλοίο αποτελεί ζωτική σύνδεση μεταφοράς με αρκετά νησιά στο Αιγαίο και συχνά λειτουργεί σε δύσκολες συνθήκες με παρατηρούμενες φαινομενικές ταχύτητες ανέμου άνω των 50 κόμβων. Το πλοίο ενσωματώνει επίσης πολλά καινοτόμα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των υψηλής απόδοσης εναλλακτών άξονα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Blue Star Delos - vessel particulars (Flag: Greece)

Built	2011	Main Engines	4x MAN B&W 18 V 32/40
Length	145 m	Main Engines Total Power	32,000 kW
Breadth	22 m	2 Shaft Alternators (Main)	1254 kW (each)
Gross Tonnage (GRT)	18,498 tonnes	3 Diesel Alternators (Aux)	1320 kW (each)
Deadweight (DWT)	2775 tonnes	Passengers	2400
Draft	5.70 m	Vehicles	430
Service Speed	26 knots	Lanemeters	600
IMO Number	9565039	Classification	Bureau Veritas

#### Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά του πλοίου Blue Star Delos

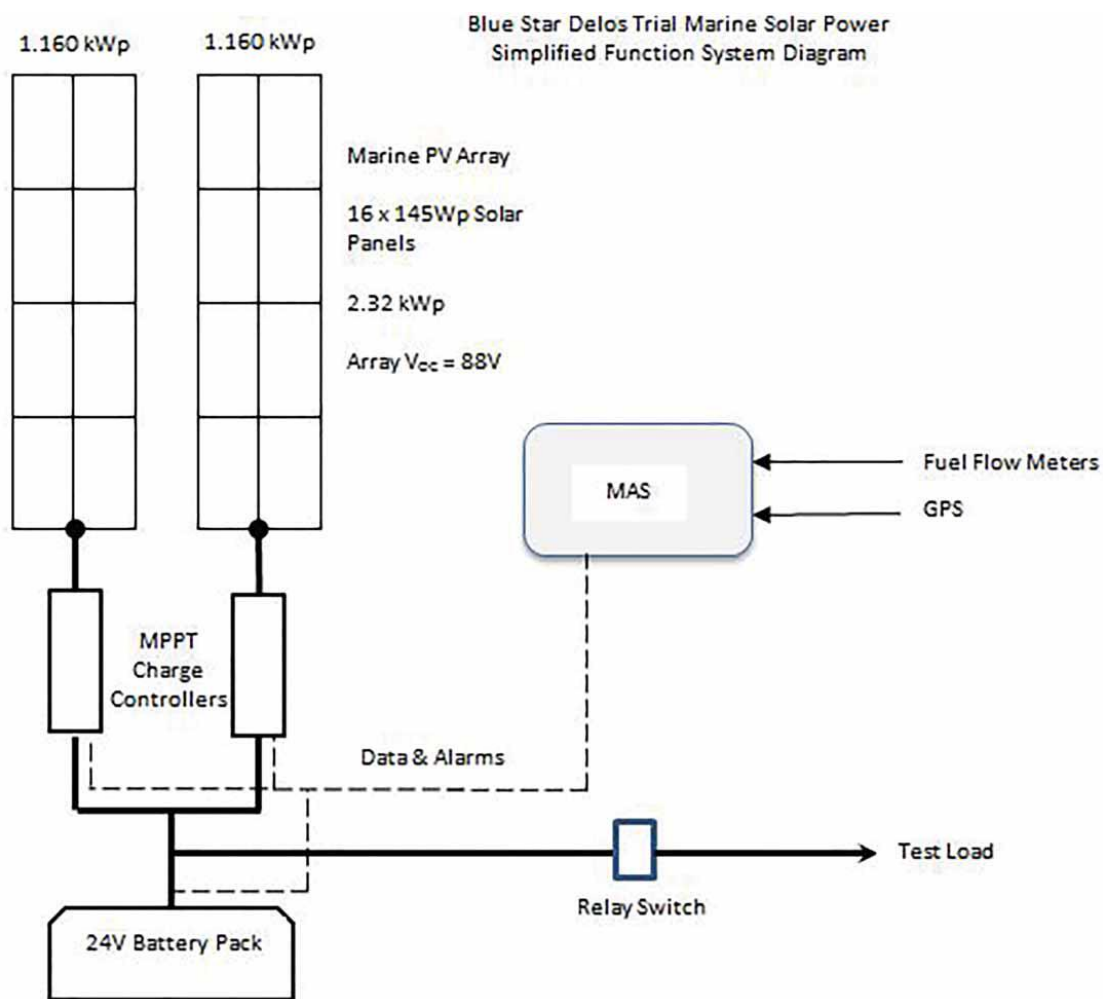
Το φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ενέργειας στο Delos χαρακτηρίζεται ως θαλάσσιο σύστημα ηλιακής ενέργειας. Ο ορισμός αυτός οφείλεται στο ότι τα στοιχεία του συστήματος επιλέχθηκαν ειδικά λόγω της καταλληλότητας τους για χρήση σε πλοία. Η θαλάσσια συστοιχία ηλιακής ενέργειας ή η φωτοβολταϊκή γεννήτρια αποτελείται από 16 λεπτά φωτοβολταϊκά πλαίσια που κατασκευάζονται με πολυκρυσταλλικά κελιά. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα και ένα κουτί διακλάδωσης προσαρμόζονται σε ένα εύκαμπτο και ελαφρύ υλικό υποστήριξης το οποίο έχει πάχος 2 mm. Υπάρχει ένας χώρος για τα σύνορα σε κάθε πίνακα, επομένως η περιοχή που καλύπτεται από φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι  $0.90\text{m}^2$  ενώ η συνολική επιφάνεια κάθε πίνακα είναι  $1.03\text{m}^2$ . Κάθε πάνελ συνδέεται σε ένα δίσκο αλουμινίου και τοποθετείται ελαφρώς πάνω από το κατάστρωμα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Ηλεκτρικά τα πάνελ συνδέονται σε σειρά σε τέσσερις σειρές, με δύο σειρές συνδεδεμένες παράλληλα με έναν ελεγκτή φορτίου.



**Blue Star Delos** (πηγή :[www.bluestarferries.com](http://www.bluestarferries.com))


Δώδεκα μπαταρίες μολύβδου-οξέος (VRLA) ρυθμιζόμενες με βαλβίδες εγκαθίστανται σε χώρο εξοπλισμού ακριβώς κάτω από τη θαλάσσια συστοιχία ηλιακών συστοιχιών. Αυτές συνδέθηκαν σε διαμόρφωση δύο επί έξι για να σχηματίσουν μια μπαταρία 24V 5.4kWh. Οι μπαταρίες προστατεύονται από υπερβολική εκφόρτιση μέσω ελεγχόμενου ρελέ, ο οποίος τις αποσυνδέει από το φορτίο αν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αυτή η τάση ρυθμίστηκε στα 23,4V. Οι μπαταρίες αποθηκεύουν ενέργεια από την ηλιακή συστοιχία και σταθεροποιούν επίσης την τάση εξόδου στο φορτίο. Όταν φορτίζονται οι μπαταρίες γίνονται επίσης αποτελεσματικά μέρος του φορτίου στο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται δύο ελεγκτές φορτίου ανίχνευσης μέγιστου σημείου ισχύος (maximum power point tracking- MPPT) για να προσαρμόζουν την τάση της συστοιχίας φωτοβολταϊκών στην τάση της μπαταρίας και να ρυθμίζουν τη φόρτιση. Οι ελεγκτές φορτίου βελτιστοποιούν επίσης δυναμικά την τάση εισόδου των Φ/Β για να μεγιστοποιήσουν την ισχύ εξόδου και διαθέτουν διάφορους τρόπους λειτουργίας. Κάθε ελεγκτής συνδέεται με μια ομάδα οκτώ φωτοβολταϊκών πλαισίων που με τη σειρά τους διαμορφώνονται σε δύο σειριακά συνδεδεμένες σειρές τεσσάρων πάνελ η καθεμία. Παρακάτω παρουσιάζεται το απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος ηλιακής ενέργειας του πλοίου (13).




Απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος ηλιακής ενέργειας του Blue Star Delos



$P_{Max}$ (+/-5%)	145 Wp	
Panel dimensions	1515 × 680 mm	
PV cell area	0.90 m <sup>2</sup>	
Panel thickness	2 mm	
Panel weight	2 kg	
$V_{oc}$	22 V	
$V_{PM}$	18 V	
$I_{sc}$	8.7 A	
$I_{PM}$	8.1 A	
Panel efficiency	15%	

**Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ ισχύος 145 W, (Solbian Energie Alternative Srl, 2016)**

Voltage	12 V	
Capacity (20 Hr)	38 Ah	
Dimensions	172(h) × 165(w) × 197(d) mm	
Weight	15.5 kg	
Self-discharge (at 25°C)	Less than 0.1% per day	

**Προδιαγραφές και εικόνα μιας μπαταρίας FC-38-12 που εγκαταστάθηκε στο Delos**

Η ηλιακή συστοιχία επί του σκάφους έχει ισχύ περίπου 2kW και παρέχει μια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας για το πλοίο. Πέρα από την παρακολούθηση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ, το Aquarius MAS θα ελέγχει επίσης την κατάσταση της μπαταρίας όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλω και θα απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση καυσίμων των κύριων κινητήρων, υπολογίζοντας τις εκπομπές καυσαερίων (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub>). Το Aquarius MAS, μαζί με τους ηλιακούς συσσωρευτές και την μπαταρία εγκαταστάθηκαν ως μέρος ενός πρότζεκτ καινοτόμων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας της Blue Star Delos (Blue Star Delos Renewable Energy Innovation Project) (29).

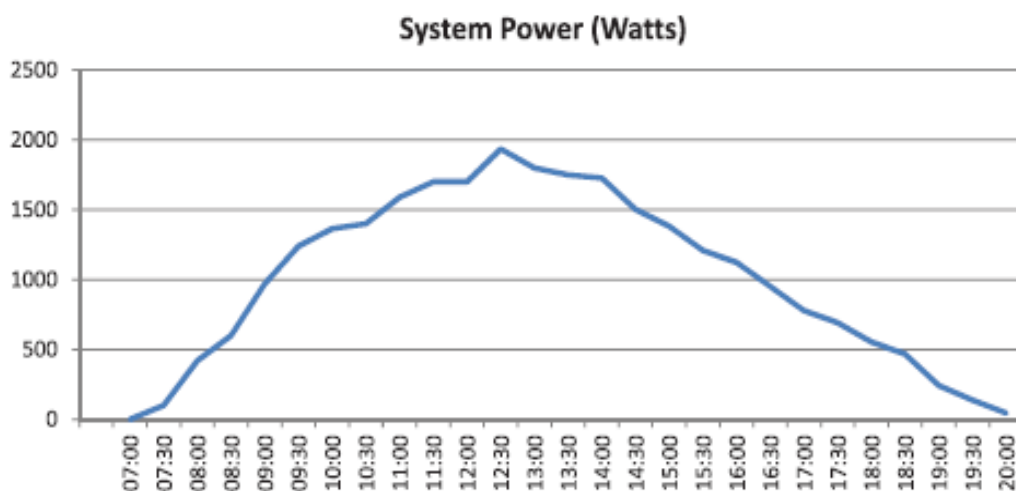
Η μέση παραγωγή ενέργειας υπολογίστηκε ότι είναι περίπου 13.500Wh ή 13.5kWh , όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί. Αυτό είναι υψηλότερο από την εκτίμηση για τον Μάιο που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, αλλά λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή εξόδου ισχύος των πάνελ PV (+/- 5%) και ότι οι δοκιμές διεξήχθησαν σε δύο ημέρες χωρίς σύννεφα

στα μέσα Μαΐου τότε αυτό είναι εντός αποδεκτού περιθώριο. Η φόρτιση των μπαταριών ξεκινούσε καθημερινά περίπου στις 07:30 και ολοκληρωνόταν πλήρως πριν από τις 12:00. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που μετρήθηκε κοντά στη συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων ήταν 1120W / m<sup>2</sup> και η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε στην επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών ήταν 50,1 ° C. Το φωτοβολταϊκό σύστημα φάνηκε να λειτουργεί χωρίς σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση όταν οι θερμοκρασίες επιφανείας των πλαισίων βρίσκονταν κοντά σε αυτό το επίπεδο.

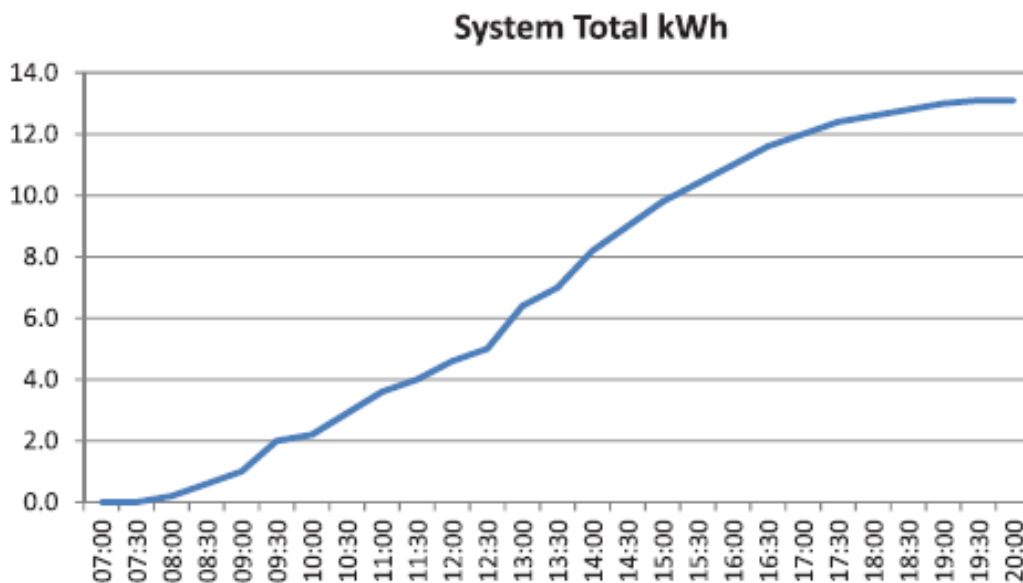
Incident global irradiation for Athens	
Month	Hh
April	5990
May	7130
June	8070

Note: Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>/day).

Παγκόσμια έκθεση ακτινοβολίας για την Αθήνα (Joint Research Center-JRC, Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2001-2002β).



Μέση ισχύς εξόδου του συστήματος των φωτοβολταϊκών κατά τη διάρκεια των δοκιμών (13)



### Μέση ημερήσια ηλεκτρική παραγωγή κατά τη διάρκεια των δοκιμών (13)

Ο λόγος απόδοσης (performance ratio -PR) του συστήματος υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$PR = E / (I * A * \eta),$$

όπου:

E = η ενέργεια εξόδου του δικτύου σε Wh.

A= η συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κελιών σε m<sup>2</sup>

H= η απόδοση των των φωτοβολταϊκών κελιών (16%)

Έτσι ο λόγος απόδοσης του συστήματος υπολογίστηκε:  $PR = 13,500Wh/16,428Wh = 0.82$  ή 82%

Λόγος απόδοσης 0,82 ισοδυναμεί με απώλειες συστήματος 18%, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι απώλειες ισχύος στο σύστημα ήταν πολύ μικρότερες από τις εκτιμώμενες. Εντούτοις, τυπικά η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος βασίζεται σε δεδομένα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια μιας μακρύτερης περιόδου με τους 12 μήνες ως το συνιστώμενο χρονικό πλαίσιο. Επιπλέον, η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος επηρεάζεται από τις εποχές και τις καιρικές συνθήκες και κατά τη διάρκεια των δύο δοκιμών οι συνθήκες ήταν σχεδόν ιδανικές.

Οι δοκιμές στο Blue Star Delos έδειξαν ότι υπό επιχειρησιακές συνθήκες στη θάλασσα, ένα σύστημα θαλάσσιας ηλιακής ενέργειας χαμηλής τάσης που χρησιμοποιεί φωτοβολταϊκή τεχνολογία λεπτού πάνελ και σύστημα αποθήκευση ενέργειας θα μπορούσε να παρέχει μια συνεχή σταθερή τροφοδοσία ισχύος σε φορτίο DC. Η ισχύς του συστήματος πληροί ή υπερβαίνει τις προσδοκίες σχεδιασμού και η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά λόγω της δημιουργίας ρύπων και αλατιού. Ωστόσο, η επίπτωση του θαλάσσιου περιβάλλοντος στους ηλιακούς συλλέκτες και τα πλαίσια από αλουμίνιο απαιτεί περαιτέρω μελέτη, συμπεριλαμβανομένου του καθορισμού της συχνότητας πλύσης και συντήρησης της θαλάσσιας σειράς ηλιακών συλλεκτών.

Το **MS Turanor PlanetSolar** είναι το μεγαλύτερο τροφοδοτούμενο από ηλιακή ενέργεια σκάφος και το πρώτο πλοίο που έκανε το γύρο του κόσμου, αποκλειστικά με χρήση ηλιακής ενέργειας. Το «**ηλιακό καταμαράν**» αυτό σχεδιάστηκε από τον Νεοζηλανδό Graig Loomes. Η μελέτη διήρκεσε 8 χρόνια και χρειάστηκαν 14 μήνες κατασκευής για να αποφασιστεί το ιδανικό μέγεθος, ο τελικός σχεδιασμός, η απαιτούμενη βέλτιστη συγκέντρωση ενέργειας και αποθήκευσή της, η αεροδυναμική, η πρόωση του πλοίου και η επιλογή των πρώτων υλών. Το πρωτότυπο αυτό πλοίο κατασκευάστηκε από το ναυπηγείο Knierim Yacht Club του Κιέλου της Γερμανίας, με τη στήριξη ελβετικών οργανισμών και ιδιωτών (Candino, Immosolar, κ.ά.). Σε συνεργασία με τον Ελβετικό Οργανισμό myclimate, έχει ήδη υπολογιστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την κατασκευή του, μετρώντας τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκλύθηκαν δεδομένου ότι ο γύρος του κόσμου μαζί με την κατασκευή ήταν κλιματικά ουδέτερος.

Το τριάντα ενός μέτρων τύπου Catamaran πλοίο διαθέτει πλευρικά πτερύγια τα οποία ενισχύουν την ευστάθειά του, 537 τετραγωνικά μέτρα φωτοβολταϊκών ηλιακών συλλεκτών (panels) στο κατάστρωμα του, αλλά και πιλοτήριο στο μέσο της υπερκατασκευής.



**Turanor PlanetSolar Catamaran** (πηγή :[www.planetsolar.org](http://www.planetsolar.org))

Τα **τεχνικά χαρακτηριστικά** του είναι τα εξής:

- Panel output: 22%
- Ηλιακή ενέργεια: 120 kW
- Μέση κατανάλωση: 20kW (26,8 HP)
- Μέση ταχύτητα: 8 kn (15km/h)
- Πλήρωμα: 3 skippers
- 200 άτομα που μπορεί να φιλοξενήσει.

Το πλοίο κινείται χωρίς καθόλου θόρυβο, και χωρίς δόνηση, καθώς δεν υπάρχει η παραδοσιακή μηχανή. Με μήκος 31μ (35μ με πτερύγια), πλάτος 15μ (23μ με πτερύγια) και ύψος 6 μ., το ηλιακό αυτό σκάφος έχει επιφάνεια φωτοβολταϊκών πάνελς, από 38.000

ηλιακές κυψέλες, σε έκταση 537 τ.μ. Κατέχει επίσης δύο ακόμη μοναδικά ρεκόρ – είναι το **γρηγορότερο ηλιακό πλοίο** που έχει κάνει τον διάπλου του Ατλαντικού και το πρώτο ηλιακό πλοίο που έχει καλύψει τις αποστάσεις Ειρηνικού και Ινδικού Ωκεανού. Το MS Tuganor PlanetSolar πραγματοποίησε τον περίπλου της γης (37.000 μίλια απόσταση) σε 584 ημέρες, με μέση ταχύτητα έως 20 ν. κόμβους, επιτυγχάνοντας το πρώτο παγκόσμιο ταξίδι με ηλιακή ενέργεια. Το ταξίδι διήρκεσε 18 μήνες ( Σεπτέμβριος 2010 - Μάιος 2012 ) καθώς ο καπετάνιος Raphaell Domjan και το 5μελές πλήρωμά του, έκαναν πολλές στάσεις ανά τον κόσμο προκειμένου να ενημερώσουν και να προωθήσουν την χρήση της ηλιακής ενέργειας. Οι μηχανικοί του «Planetsolar» έπρεπε να επιβλέπουν το σύστημα πρόωσης, τη σύλληψη των ηλιακών συλλεκτών, την αποθήκευση ενέργειας, την επιλογή των υλικών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στη θάλασσα. Μια ολόκληρη σειρά από μελέτες έχουν διεξαχθεί σε τομείς όπως η υδροηλεκτρική του σκάφους και η αεροδυναμική, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, η διαχείριση και αποθήκευση της ενέργειας και τέλος, η μονάδα παραγωγής ενέργειας και η βέλτιστη δρομολόγηση.

**Συμπερασματικά**, η ηλιακή ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δυνατότητες όταν χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση συστημάτων μπαταριών, τα οποία με τη σειρά τους υποστηρίζουν επαναφορτιζόμενες μονάδες ηλεκτρικής πρόωσης για οχηματαγωγά και μικρότερης κλίμακας ferries, αλλά αυτό ισχύει μόνο για ταξίδια εξαιρετικά μικρής διάρκειας. Έχει επίσης εφαρμογές στην βελτίωση άλλων πηγών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για το μεγαλύτερο τμήμα της παράκτιας υποδομής. Προκειμένου να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο τα οφέλη αυτά, αυτός ο τύπος χρήσης πρέπει να συνδυαστεί με τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Τέλος η ηλιακή ενέργεια (μαζί με την ενέργεια των κυμάτων και τις ανεμογεννήτριες) μπορεί να διαδραματίσει μελλοντικό ρόλο στην παροχή αρχικής ενέργειας για τον διαχωρισμό υδρογόνου από το θαλασσινό νερό για την τεχνολογία κυψελών καυσίμου υδρογόνου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Ηλεκτροκίνητα πλοία

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από **ηλεκτρικούς κινητήρες** και όχι από άλλες μηχανές όπως ντίζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης είναι επωφελή σε πολλές εφαρμογές πλοίων με διαφορετικά προφίλ ταχύτητας, όπως σκάφη εφοδιασμού, πλωτά σκάφη παραγωγής, πλοία-γεωτρύπανα, δεξαμενόπλοια, παγοθραυστικά, πολεμικά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Φυσικά οι κινητήρες ντίζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, οπότε και αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν “prime movers” (‘κινητήριες μηχανές’). Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για

τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

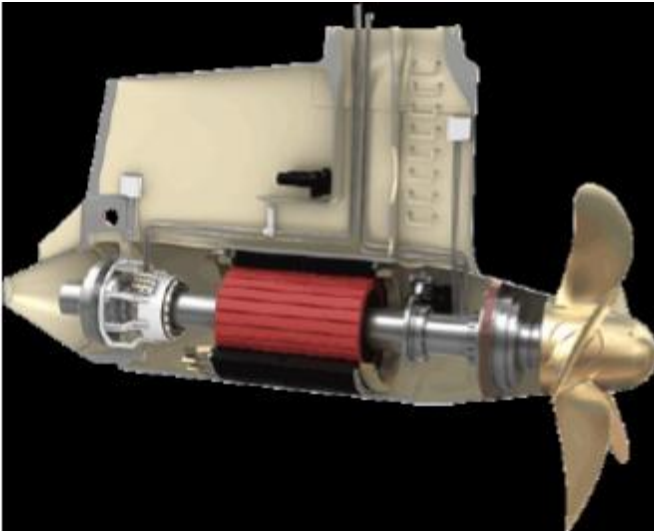
- α. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελκτικών ικανοτήτων (π.χ. πλοία διάτρησης).
- β. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- γ. Σκάφη με έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- ε. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Πειραματικές εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης τροφοδοτούταν απευθείας από συστοιχίες συσσωρευτών, έλαβαν χώρα κατά τα τέλη του 19ου αιώνα σε Ρωσία και Γερμανία. Γύρω στα 1920, λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού για την μείωση εκτέλεσης υπερατλαντικών ταξιδιών από τις ναυτιλιακές εταιρίες επιβατικών πλοίων, εφαρμόζεται η πρώτη γενιά ηλεκτροπρόωσης. Οι μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης καλύπτονταν τότε από στρόβιλο-ηλεκτρικά συστήματα. Σε κανονική λειτουργία, συνήθως, οι γεννήτριες τροφοδοτούσαν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, υπήρχε όμως και η δυνατότητα τροφοδότησης δύο μηχανών από μία γεννήτρια για ταξίδι χαμηλότερης ταχύτητας. Στα μέσα του 20ου αιώνα η εισαγωγή των μηχανών diesel, σήμανε το τέλος της τεχνολογίας στροβίλων ατμού και της ηλεκτρικής πρόωσης, τουλάχιστον μέχρι τη δεκαετία του '80.

Τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα επανήλθαν με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος και κυρίως των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων. Η δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης πραγματοποιείται μέσω των ανορθωτών (E.P./Σ.P.) για τον έλεγχο προωστικών μηχανών Σ.P., περί το 1970 και με τη χρήση των μετατροπέων E.P./E.P. για τον έλεγχο μηχανών το 1980. Το προωστήριο σύστημα τροφοδοτείται πλέον από ένα ισχυρό δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας. Μέσω του ελέγχου των στροφών των ηλεκτρικών κινητήρων στρέφονται οι **έλικες σταθερού βήματος** (fixed pitch propellers (FPP)).

Αν και αυτές οι λύσεις αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε ειδικές κατηγορίες πλοίων όπως ερευνητικά και παγοθραυστικά, από το 1975 μετατρέπονται σε ηλεκτροκίνητα και άλλα πλοία όπως κρουαζιερόπλοια, τάνκερ κ.α. (Queen Elizabeth II, Fantasy, Princess). Σημειώνεται ότι στην άμεσα οδηγούμενη πετρελαιοκίνητη πρόωση η ώση ελέγχεται μέσω ενός υδραυλικού συστήματος αλλαγής του βήματος των ελίκων. Οι έλικες αυτές είναι γνωστές ως **έλικες μεταβλητού βήματος** (controllable pitch propellers (CPP)).

Μία νέα έννοια η οποία ήταν πολύ επιτυχής από την δεκαετία του '90, ήταν η εισαγωγή **αξιμουθιακών προωστήρων**, η οποία προσέφερε στα πλοία ευελιξία στις κινήσεις, ευκολία στις διελεύσεις από περιοχές υψηλής κινητικότητας και τη δυνατότητα δυναμικής τοποθέτησής τους (dynamic positioning – DP).



**Αξιομοθιακό προωστήριο σύστημα**

Βάσει αυτού ο ηλεκτροκινητήρας είναι τοποθετημένος εντός ενός βυθισμένου λοβοειδούς εξωτερικού περικαλύμματος (rod) με ένα πολύ κοντό άξονα στην προπέλα ή είναι απευθείας η προπέλα συνδεδεμένη με τον κινητήρα (όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα). Το εξωτερικό περικάλυμμα μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα κατά  $360^\circ$ , προσφέροντας στο πλοίο **ευκινησία** και **ευελιξία** (maneuverability) και η έλικα είναι σταθερού βήματος. Τα εξωτερικά περικαλύμματα αντικαταστούν τα συμβατικά πηδάλια και η συνολική υδροδυναμική απόδοση αυξάνεται για το σκάφος (14).

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των **υποβρυχίων**. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία - προδιαγραφές των πολεμικών ναυτικών, (τόσο από απόψεως περιορισμών χώρου αλλά και απαιτήσεων του προωστήριου συστήματος), προϋποθέτουν περισσότερη ανάπτυξη και τελειοποίηση υποσυστημάτων για να πραγματοποιηθούν τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης.

Οι ηλεκτρικοί προωστήρες μπορούν να σχεδιαστούν για πολύ υψηλές αποδόσεις σε όλο το φάσμα της λειτουργίας τους όσο αφορά την ταχύτητα και την ιπποδύναμη, σε αντίθεση με τους κλασικούς πετρελαιοκινητήρες που έχουν μια σαφή καθορισμένη αιχμή στην απόδοση τους γύρω ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους. Ένα πλοίο του οποίου ποικίλλει η ταχύτητα του θα είναι σε θέση να λειτουργεί με υψηλή απόδοση σε όλο το φάσμα της λειτουργίας του, επιλέγοντας το βέλτιστο αριθμό των γεννητριών για την παροχή της επιθυμητής ζήτησης ισχύος. Για ένα συμβατικό σύστημα πρόωσης με ντίζελ η απόδοση θα μειωθεί σημαντικά για τη λειτουργία έξω από την ονομαστική του λειτουργία.

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως **επαγωγικών κινητήρων** μεγάλης ισχύος (0.5-2.5 MW).

## 4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης

Τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** της ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοσή της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν (18), είναι τα ακόλουθα:

- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0- 100 %.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
- Οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μία να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.
- Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και, επομένως, αυξημένη ασφάλεια.
- Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων διότι η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη. Ιδιαίτερα οι εκπομπές NOx είναι αισθητά χαμηλότερες όταν, π.χ., ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές, όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.
- Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

Αντίστοιχα τα **μειονεκτήματα** της ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα εξής:

- Υψηλό κόστος επένδυσης. Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να ξεπερνιέται εύκολα.
- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Για παράδειγμα σε συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel-έλικα ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4%, 2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 - 8%, 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 - 3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.
- Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως.



Οι **αρμονικές** αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο "ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος" που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις –πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος – ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων. Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες για ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλέκτρισης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.

Σε πολλές εφαρμογές, η συνισταμένη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων είναι θετική, οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμα, οικονομικότερη συντήρηση, γρηγορότερα ταξίδια, μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κοκ).

## 4.2 Cold Ironing -ηλεκτροδότηση του πλοίου από την ξηρά

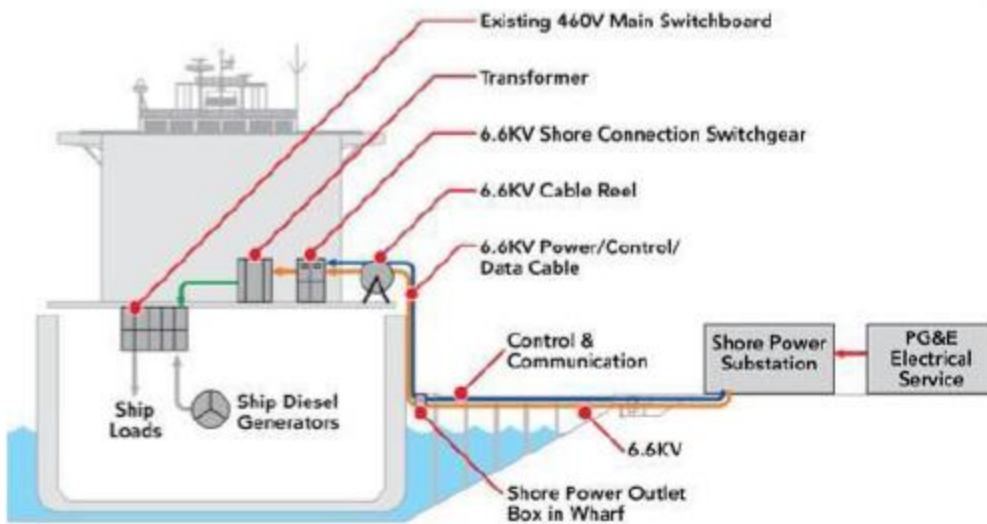
Οι εκπομπές ρύπων εξαιτίας της λειτουργίας των πλοίων δεν είναι ισομερώς κατανομημένες αλλά συγκεντρώνονται στις ακτογραμμές και στις θαλάσσιες οδούς. Η παραμονή ενός πλοίου στο αγκυροβόλιο και έπειτα στο λιμάνι, μπορεί να έχει διάρκεια ίση με αυτή του ταξιδιού. Πολλές μελέτες, υποθέτουν ότι κάθε ταξίδι μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη. Ο διαχωρισμός γίνεται ως προς την κατάσταση λειτουργίας του πλοίου. Συγκεκριμένα, οι τρεις κατηγορίες είναι: **α) πλεύσης, β) χειρισμών, γ) ελλιμενισμού**. Ο διαχωρισμός γίνεται λόγω της διαφορετικότητας που εμφανίζει η κάθε κατάσταση, στην κατανάλωση καυσίμου και στην σύσταση των αέριων εκπομπών. Έμφαση δίνεται στις δύο τελευταίες καταστάσεις που λόγω της κοντινής τους απόστασης από τη στεριά, έχουν άμεση επίδραση στους κατοίκους. Τα πλοία ακόμα και όταν δεν κινούνται στα ανοικτά πελάγη, παράγουν αέριους ρύπους. Το γεγονός αυτό έγκειται στην ανάγκη που υπάρχει για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και παραγωγή ατμού για ποικίλες εφαρμογές επί του πλοίου.

Ο τίτλος Cold Ironing είναι στην ουσία ταυτόσημος με τους επίσης γνωστούς για την μέθοδο, Alternative Maritime Power (AMP) και Shore-to-Ship power supply. Η απενεργοποίηση αυτή όλων των μηχανών εσωτερικής καύσης του σκάφους έδωσε στο όνομα της μεθόδου τον όρο "cold" καθώς εκτός από το να εκμηδενίζει της εκπομπές, μειώνει και την θερμοκρασία τους σκάφους. Η **παροχή ενέργειας από την ξηρά** γίνεται για την κάλυψη των αναγκών **ηλεκτροδότησης** του πλοίου κατά την παραμονή του στο λιμάνι:

- Φορτοεκφόρτωση
- Ανεφοδιασμός
- Φωτισμός
- Κλιματισμός
- Θέρμανση
- Λοιπά ηλεκτρονικά συστήματα του πλοίου

Τα πλοία από την κατασκευή τους, έχουν τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για να μπορούν να τροφοδοτούνται από χερσαίο σταθμό παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, το κεντρικό σύστημα ηλεκτροδότησης του πλοίου, συνδέεται με το χερσαίο σύστημα, μέσω του ηλεκτρολογικού σταθμού - πίνακα που υπάρχει στο Accommodation του πλοίου, και συνήθως στο επίπεδο του κυρίου καταστρώματος (Main deck). Η τροφοδότηση του πλοίου με αυτό τον τρόπο, βρίσκει κυρίως εφαρμογή στους δεξαμενισμούς του πλοίου. Η αδυναμία της ψύξης των ηλεκτρογεννητριών κατά την περίοδο του **δεξαμενισμού**, καθιστά αδύνατη τη λειτουργία τους και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το όφελος από την υιοθέτηση μιας τέτοιας διαδικασίας είναι ουσιαστικό και επιδρά ευεργετικά τόσο στα λιμάνια όσο και στα πλοία. Η παύση των ηλεκτρογεννητριών, ισοδυναμεί με μηδενική εκπομπή ρύπων από το πλοίο. Το στοιχείο αυτό μαζί με το δεδομένο ότι οι χερσαίοι σταθμοί παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας δεν απαιτείται να βρίσκονται κοντά στο λιμάνι, αρκούν για να βελτιώσουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας γύρω από αυτό.



**Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών πλοίου από την ξηρά (πηγή: APL GGC Cold-Ironing Project)**

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και PM στο λιμάνι μπορούν να περιοριστούν κατά 90% στη διάρκεια του χρόνου πρόσδεσης στο λιμάνι. Από την άλλη πλευρά, οι συνολικές εκπομπές εξαρτώνται από το ενεργειακό μίγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. Αν βασίζεται σε πηγές ενέργειας όπως ο λιγνίτης, τότε οι εκπομπές ρύπων ελαχιστοποιούνται στο λιμάνι, αλλά μεταφέρονται στην περιοχή παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν όμως η παραγωγή ενέργειας βασίζεται σε *εναλλακτικές μορφές ενέργειας*, όπως τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες και τα υδροηλεκτρικά, τότε οι εκπομπές περιορίζονται συνολικά. Επιπλέον, η ενέργεια από την ξηρά μπορεί να περιορίσει τον θόρυβο στο λιμάνι (18).



**Αυτοματοποιημένη διεργασία ένωσης του πλοίου με το χερσαίο δίκτυο**

Ο τρόπος είναι πλέον αυτοματοποιημένος, διότι αποτελεί διαδικασία ρουτίνας. Είναι εντυπωσιακό πως έχεις μελετηθεί ειδικός μηχανισμός που αποκαλύπτει την υποδοχή, καθώς επίσης και για την ανέλκυση του καλωδίου, υπάρχει συρματόσχοινο που περνά μέσα από την υποδοχή και χρησιμοποιώντας βίντσι, ανεβαίνει το βαρύ καλώδιο και γίνεται η ένωση.

Τα οφέλη από τη χερσαία τροφοδότηση επεκτείνονται και στον οικονομικό τομέα. Οι απαιτήσεις για προσωπικό μεγαλώνουν και έτσι δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας. Το λιμάνι επωφελείται από την κοστολόγηση της παροχής αυτής. Φυσικά η τιμολόγηση θα γίνεται σύμφωνα με την κατανάλωση που σημειώνεται. Με βάση τη σημερινή τιμή του πετρελαίου, η αλλαγή αυτή ωφελεί και την πλοιοκτήτρια εταιρία. Το όφελος θα είναι μεγαλύτερο στο μέλλον λόγω των αναμενόμενων αυξήσεων στην τιμή των καυσίμων. Η σύνδεση υψηλής τάσης και οι μετασχηματιστές στο πλοίο αποτελούν τα σημαντικότερα κόστη, όπως επίσης και το κόστος του ηλεκτρισμού. Γενικά, η δημιουργία των εγκαταστάσεων και η παροχή της ενέργειας από την ξηρά θεωρείται αποδοτικότερη για λιμάνια που προσεγγίζονται από μεγάλα πλοία που παραμένουν στο λιμάνι για μεγάλους χρόνους. Επιπλέον, το έργο αυτό μπορεί να ωφελήσει την τοπική κοινωνία. Η αναπόφευκτη απορριπτόμενη θερμότητα, από την παραγωγή της ενέργειας, μπορεί να αποδίδεται σε κτίρια ή δημόσια ιδρύματα για θέρμανση (teleheating) και ψύξη (telecooling) κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο, αντίστοιχα.

### **4.3 Ηλεκτρικές μπαταρίες**

Μεγάλες μπαταρίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε συμβατικά υποβρύχια από την αρχή του 20ου αιώνα για την παροχή λειτουργίας κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, και σήμερα με τη χρήση ενός ανεξάρτητου συστήματος πρόωσης είναι σε θέση να παραμείνουν βυθισμένα για περίπου 3 εβδομάδες και να λειτουργούν σε ταχύτητες περίπου 5 κόμβων. Ενώ πολλά μικρά σκάφη έχουν υιοθετήσει μπαταρίες για πρόωση π.χ. σκάφη αναψυχής, η χρήση μπαταριών σε πλοία έχει περιοριστεί κυρίως στην λειτουργία ως πηγή ενέργειας έκτακτης ανάγκης, με πολύ λίγες εφαρμογές με μπαταρίες. Αντίθετα, υπήρξε έντονο ενδιαφέρον για τα οδικά οχήματα που κινούνται με μπαταρία για να μειώσουν τις ατμοσφαιρικές εκπομπές ώστε να πληρούν όλο και πιο αυστηρούς κανονισμούς. Αυτά τα οχήματα έχουν επωφεληθεί από τις νέες τεχνολογίες μπαταριών, όπως οι μπαταρίες λιθίου που αναπτύχθηκαν αρχικά για τον

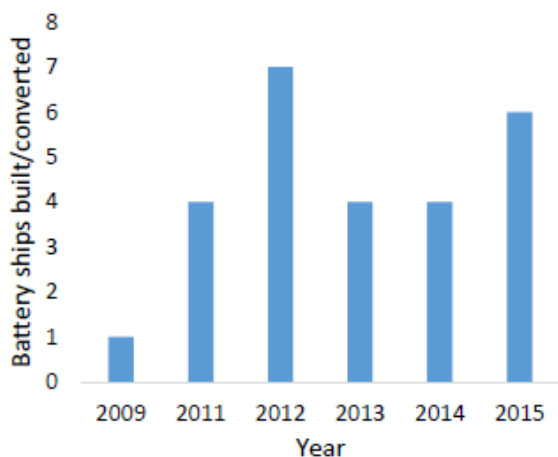
κλάδο των τηλεπικοινωνιών. Οι μπαταρίες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε υβριδικά συστήματα πρόωσης, επιτρέποντας έτσι στους κινητήρες ντίζελ να λειτουργούν με ένα αποδοτικό φορτίο.

Υπάρχουν περίπου 14.000 μικρά πλοία (22% του παγκόσμιου εμπορικού στόλου) τα περισσότερα από τα οποία είναι παράκτια πλοία που εκτελούν δρομολόγια σε μικρές διεθνείς ή εθνικές γραμμές (Clarksons, 2016). Πολλά από αυτά τα πλοία τείνουν να χρησιμοποιούν σχετικά χαμηλής ισχύος δίχρονες ή τετράχρονες μεσαίες / υψηλές μηχανές ντίζελ για να παρέχουν πρόωση και ισχύ, αλλά αυτές τείνουν να είναι λιγότερο αποτελεσματικές, συνήθως 45%, από τους κινητήρες χαμηλής ταχύτητας που χρησιμοποιούνται στα μεγάλα. Για τα πλοία αυτά, οι μπαταρίες ενδέχεται να προσφέρουν ευκαιρίες βελτίωσης της απόδοσης.

#### Επισκόπηση των υφιστάμενων εμπορικών πλοίων μπαταριών , (Clarksons, 2016)

Purpose of battery	Ship Number	Ship Type
Store solar energy	7	Pure Car Carrier, Passenger/Car Ferry
Diesel-electric with battery	15	Passenger/Car Ferry, PSV, Diving Support
Full battery power	1	Passenger/Car Ferry
Mechanical-electric with battery	7	Tug

Επί του παρόντος, για την πρόωση στο πλοίο, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου προσφέρουν την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, την κατάλληλη πυκνότητα ισχύος, την υψηλή απόδοση και μια αποδεκτή διάρκεια ζωής. Όλα τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ESS έχουν κάποιες ανησυχίες για την ασφάλεια, για παράδειγμα ο υπερ-πυκνωτής έχει δυνητικά πολύ υψηλά ρεύματα εκφόρτισης και οι μπαταρίες λιθίου υποβάλλονται σε θερμική διαφυγή σε περίπτωση κακής διαχείρισης. Η τεχνολογία της μπαταρίας λιθίου έχει αναπτυχθεί έτσι ώστε να υπάρχουν διαθέσιμες μπαταρίες με ενέργειες 250 Wh / kg (Dsoke et al., 2015). Η οικογένεια μπαταριών λιθίου είναι μεγάλη και η ηλεκτροχημεία μπορεί να προσαρμοστεί για συγκεκριμένες ανάγκες. Μερικοί τύποι προσφέρουν υψηλή πυκνότητα ενέργειας ή υψηλή πυκνότητα ισχύος, μερικές άλλες όπως οι Lithium Titanium Oxide (LTO) έχουν ανώτερη θερμική σταθερότητα για γρήγορη φόρτιση και εκφόρτιση, αλλά προσφέρουν χαμηλότερη χωρητικότητα τυπικά 50-70 Wh / kg. Τέλος ανακύκλωση των μπαταριών μολύβδου οξέος είναι αρκετά διαδεδομένη.



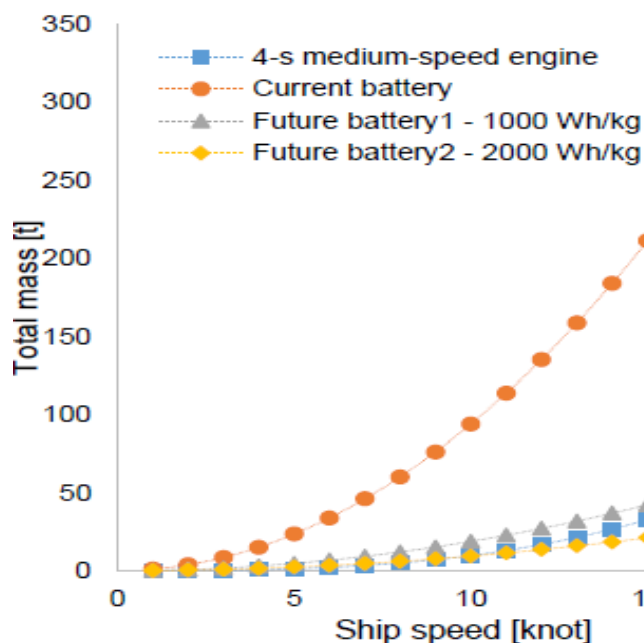
Αριθμός πλοίων που χρησιμοποιούν μπαταρίες στο σύστημα πρόωσης

Τα κύρια **μειονεκτήματα** της χρήσης μπαταριών στα πλοία είναι ενεργειακή πυκνότητα που μεταφράζεται σε όγκο που απαιτείται στο πλοίο για να επιτευχθούν εύλογες ταχύτητες και εμβέλεια, το κόστος των μπαταριών (συμπεριλαμβανομένου του κόστους αντικατάστασης παλιών μπαταριών) καθώς και η ανάγκη επαναφόρτισης σε υποδομές στην ξηρά που επί του παρόντος είναι σχεδόν ανύπαρκτες.

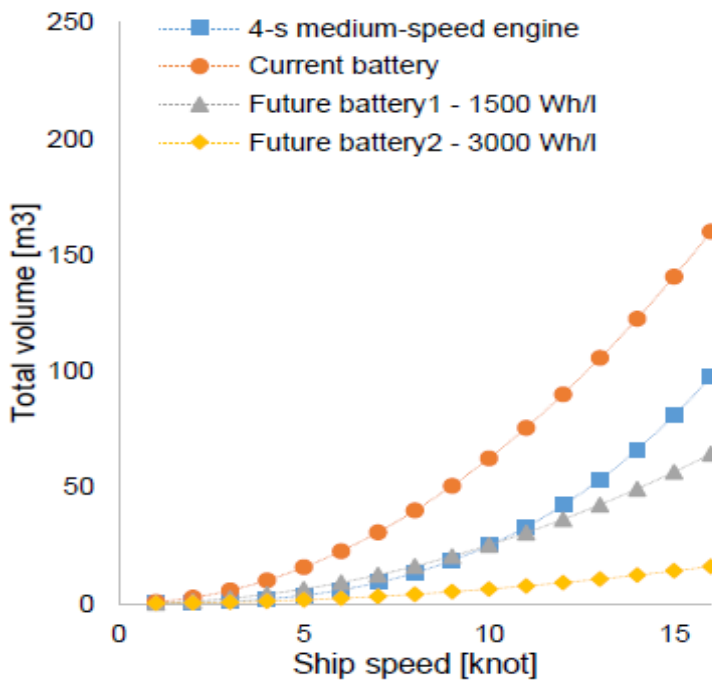
	Mass [t]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Cost [\$]
Diesel	15.3	25.0	458,618
Battery	93.8	62.5	3,283,170

#### Σύγκριση μάζας –όγκου- κόστους ανάμεσα σε diesel και μπαταρίες (15)

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το χάσμα της μάζας μεταξύ της τρέχουσας μπαταρίας και του συστήματος ντίζελ είναι σημαντικό, ειδικά για τις υψηλές ταχύτητες πλοίων. Το χάσμα όσον αφορά τη σχέση όγκου- ταχύτητας μεταξύ των μπαταριών και των συστημάτων κίνησης ντίζελ δεν είναι τόσο σημαντικό σε σύγκριση με τη αντίστοιχη σχέση της μάζας. Και οι δύο μελλοντικές μπαταρίες απαιτούν μικρότερο όγκο σε σχέση με το σύστημα diesel.



#### Συνολική μάζα μπαταριών σε σύγκριση με την ταχύτητα (15)



Συνολικός όγκος μπαταριών σε σύγκριση με την ταχύτητα (15)

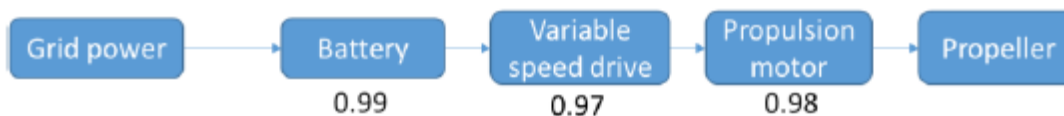
Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η αλυσίδα πρόωσης ενός τυπικού συστήματος πρόωσης με μηχανικό κινητήρα ντίζελ, με τυπικές τιμές απόδοσης για κάθε υπομονάδα, καθώς και το τυπικό σύστημα πρόωσης ντίζελ-ηλεκτρικού πλοίου και συγκρίνονται με ένα σύστημα πρόωσης που χρησιμοποιεί μπαταρίες αιχμής.



Typical diesel-mechanical propulsion chain



Typical electric propulsion chain

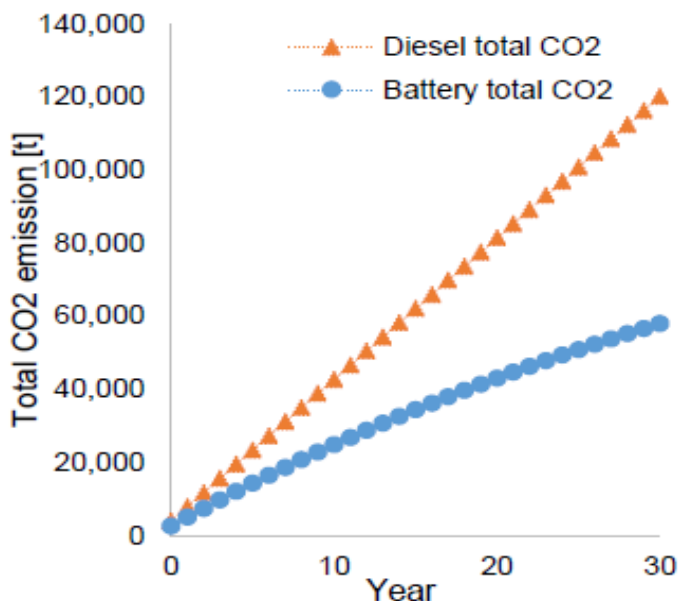


Typical electric propulsion chain

Λαμβάνοντας υπόψη τα τρία προωστικά συστήματα και υποθέτοντας ότι η απόδοση της έλικας είναι η ίδια σε όλα τα σχέδια (72%), τότε η συνολική απόδοση (πηγή ενέργειας προς ώθηση) του συστήματος μπαταριών είναι 67,8% στο ντίζελ-ηλεκτρικό 28,2%. Ένα πλοίο με μπαταρία δεν θα χρειαζόταν δεξαμενές καυσίμων, επεξεργασία καυσίμων, καυσαερίων και αεραγωγών, τον κινητήρα ντίζελ και το κιβώτιο ταχυτήτων. Εκτός από τις μπαταρίες όμως θα χρειαζόταν ηλεκτρονικά ισχύος και ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης, εξοπλισμός που ήδη χρησιμοποιείται ευρέως στα ντίζελ-ηλεκτρικά πλοία. Οι βοηθητικές απαιτήσεις θα μπορούσαν να αλλάξουν σε κάποιο βαθμό επειδή δεν υπάρχει απαίτηση για αγωγό καυσαερίων, εισροές αέρα, κλπ, διότι η υψηλότερη απόδοση μειώνει την απαίτηση φορτίου ψύξης. Παρ' όλα αυτά, παραμένει ότι η σχετικά κακή ογκομετρική πυκνότητα και πυκνότητα μάζας των μπαταριών αυξάνει προκλήσεις για τον σχεδιαστή του πλοίου, επομένως η απόδοση θα πρέπει να περιλαμβάνει μια χαμηλότερη σχεδιαστική ταχύτητα ή / και μειωμένη εμβέλεια.

Οι τρέχουσες μπαταρίες είναι περιορισμένες στον κύκλο ζωής (το ανώτατο όριο είναι 10 έτη, αλλά τυπικά 5 έτη), πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να χρειαστεί να αντικατασταθούν αρκετές φορές καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Η αντικατάσταση της μπαταρίας μαζί με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από το τοπικό δίκτυο είναι το κύριο λειτουργικό κόστος της μονάδας πρόωσης, αλλά αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι δεν υπάρχει πλέον ανάγκη για καύσιμο ντίζελ καυσίμων και τακτική συντήρηση των κινητήρων ντίζελ. Τα ηλεκτρικά συστήματα τείνουν να είναι αξιόπιστα και να επαναδιαμορφώνονται εύκολα, ώστε να είναι δυνατή η μείωση του προσωπικού μηχανικών.

Το διάγραμμα που ακολουθεί δείχνει τις **εκπομπές CO<sub>2</sub>** των δύο συστημάτων, στην ταχύτητα των 10 κόμβων. Το 2009, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, η μέση εκπομπή CO<sub>2</sub> της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 396,1 g / kWh, ενώ στη Νορβηγία, όπου η ανανεώσιμη ενέργεια χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα, ήταν μόλις 4,5 g / kWh (EEA, 2011). Καθώς τα ηλεκτρικά δίκτυα αποκεντρώνονται, αναμένεται ότι θα υπάρξει συνεχής επέκταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Για το MDO (Marine Diesel Oil), ο άνθρακας είναι το 86,68% του καυσίμου. Συνεπώς, αν η ειδική κατανάλωση καυσίμου πετρελαίου (SFOC) είναι 195 g / kWh, τότε θα εκπέμπεται 619,7 g / kWh CO<sub>2</sub>. Υποθέτοντας ότι το αποτύπωμα άνθρακα του ηλεκτρικού δικτύου μειώνεται κατά 2% ετησίως, σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό σύστημα πρόωσης ντίζελ - μπορεί να επιτευχθεί μείωση CO<sub>2</sub> περισσότερο από 50% κατά τη διάρκεια της ζωής του πλοίου μέσω πλήρους πρόωσης με μπαταρίες. Το πλεονέκτημα των πλοίων που κινούνται με μπαταρία είναι εμφανές από την άποψη του CO<sub>2</sub>, αλλά και από άλλες επιβλαβείς εκπομπές όπως τα NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub>.



Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> ανάμεσα σε σύστημα πρόωσης κινητήρα ντίζελ και σύστημα πρόωσης με μπαταρίες (15)

Όλα τα ηλεκτρικά και υβριδικά πλοία με αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος καυσίμων, τη συντήρηση και τις εκπομπές καθώς και να παρουσιάσουν βελτιωμένη απόκριση και ασφάλεια. Παραδείγματα πλοίων τροφοδοτούμενων με μπαταρία περιλαμβάνουν το **Zerocat** (Ampere) και το **Ar Vag Tredan**.

Το **Zerocat 120** της Siemens, το οποίο αργότερα μετονομάστηκε σε **Ampere** και κέρδισε το βραβείο 2014 SMM Ship of the Year, είναι ένα νεόκτιστο πλοίο μπαταριών λιθίου 120 θέσεων με χωρητικότητα 360 επιβατών για σύντομες διαδρομές (περίπου 20 λεπτά) με την μπαταρία που χρειάζεται μόλις δέκα λεπτά για να επαναφορτιστεί. Το πλοίο είναι σχεδιασμένο ως καταμαράν με δύο κύτη. Έχει μήκος 80 μ. και πλάτος 21 μ., με επτά καμπίνες και 140 καθίσματα. Τα κύτη του είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο -και όχι από χάλυβα- για να μειώσουν σημαντικά το συνολικό βάρος του. Ο φωτισμός με LED, οι ηλιακοί συλλέκτες και το σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) με σύστημα ανάκτησης θερμότητας βρίσκονται στο σκάφος για κατανάλωση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το νέο φιλικό προς το περιβάλλον πλοίο μειώνει ετησίως τη χρήση ενός εκατομμυρίου λίτρων ντίζελ και αντισταθμίζει 570 τόνους διοξειδίου του άνθρακα και 15 τόνους εκπομπών οξειδίων του αζώτου σε σύγκριση με τα συμβατικά πλοία που εκτελούν την ίδια διαδρομή. Έχει δύο ηλεκτρικούς κινητήρες 450kW, ένας από τους οποίους οδηγεί τους προωθητήρες. Οι κινητήρες τροφοδοτούνται από μπαταρίες ιόντων λιθίου με συνολική απόδοση 1.000kWh και βάρος 10t. Το σύστημα πρόωσης επιτρέπει στο πλοίο να πλεύσει με ταχύτητα λειτουργίας 10kn. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου επαναφορτίζονται κατά τη διάρκεια των 10 λεπτών φόρτωσης και εκφόρτωσης κάθε ταξιδιού από τους σταθμούς φόρτισης που βρίσκονται σε κάθε ακτή και απευθείας από το τοπικό δίκτυο υδροηλεκτρικής ενέργειας. Μια μπαταρία 260kWh βρίσκεται επίσης σε κάθε ακτή για να παρέχει ισχύ στο σκάφος κατά την επαναφόρτιση. Αν και η μπαταρία είναι αρκετά βαριά, το πλοίο ζυγίζει μόνο το μισό όσο



ένα συμβατικό καταμαράν, χάρη στα δίδυμα κύτη από αλουμίνιο. Το πλοίο τέθηκε σε λειτουργία το 2015, στη νορβηγική δυτική ακτή, όπου η μπαταρία θα επαναφορτίζεται με 100% ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.



Zerocat ferry (πηγή: <http://www.landseairmagazine.com>)

Το Σεπτέμβριο του 2013, η Lorient Agglomération εγκαινίασε το **Ar Vag Tredan** (σχεδιασμένο από την STX France), ένα ηλεκτρικό επιβατηγό πλοίο με μηδενικές εκπομπές ρύπων 147 θέσεων, στο πλαίσιο του προγράμματος έρευνας και ανάπτυξης Ecocrizon που ίδρυσε η STX France το 2007. Το Ar Vag Tredan είναι ένα **ηλεκτρικό καταμαράν** χωρίς μπαταρίες, μήκους 22,1 μέτρων και πλάτους 7,2 μέτρων και μπορεί να φιλοξενήσει 113 άτομα, συμπεριλαμβανομένων 3 ατόμων με ειδικές ανάγκες και 10 ποδηλάτων και είναι σε θέση να φτάσει σε μέγιστη ταχύτητα 10 κόμβων. Προωθείται από δύο προωθητήρες των 70 kW ο καθένας, που τροφοδοτούνται από **υπερ-πυκνωτές (supercapacitors)** που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ενέργειας που απαιτείται από το πλοίο για μικρά ταξίδια. Το σκάφος είναι εξοπλισμένο με 128 υπερ-πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας, συνολικού βάρους 6 τόνων, που κατανέμονται στα δύο κύτη του καταμαράν. Οι υπερ-πυκνωτές, που κατασκευάζονται από τον όμιλο Bolloré, αποτελούνται από λεπτές πλάκες αλουμινίου επικαλυμμένες με μικροπορώδη ενεργοποιημένο άνθρακα και είναι τυλιγμένες σε κυλίνδρους με τη μορφή μεγάλων μπαταριών. Οι υπερ-πυκνωτές μπορούν να επαναφορτιστούν σε χρόνο μόλις τεσσάρων λεπτών. Θα μπορεί να πραγματοποιεί 28 ημερήσιες διαδρομές, διάρκειας μισής ώρας και 7 λεπτών, από το Lorient έως το Locmiquélic στην άλλη πλευρά του λιμανιού. Επιπλέον αυτοί οι υπερ-πυκνωτές δεν έχουν κανένα κίνδυνο έκρηξης και έτσι είναι ασφαλέστεροι από τις μπαταρίες και υποστηρίζουν αρκετούς κύκλους φόρτισης / αποφόρτισης. Ωστόσο, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως σκάφος με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μόνον εάν η χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.



**Ar Vag Tredan** (πηγή: <https://www.stirlingdesign.fr>)

Στα περισσότερα πλοία που κινούνται με μπαταρία, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών φαίνεται να ήταν η βασική κινητήρια δύναμη. Ωστόσο, αν ληφθούν υπόψη οι τεχνικοί περιορισμοί που περιλαμβάνουν την ενεργειακή πυκνότητα, την πυκνότητα ισχύος και τη διάρκεια ζωής, η υιοθέτησή τους ενδέχεται να επηρεάσει τις επιχειρησιακές επιδόσεις, όπως η ταχύτητα και η εμβέλεια του σκάφους, καθώς και οι επιπτώσεις σε λιμένες όπως η ανάγκη παροχής υποδομής επαναφόρτισης. Έτσι η εφαρμογή της πρόωσης με μπαταρίες για την ευρύτερη εμπορική ναυτιλία δεν είναι τόσο προφανής. Τα πλοία είναι συνήθως σχεδιασμένα για να ικανοποιούν μια οικονομική ανάγκη μεταφοράς, η οποία καθορίζει το μέγεθος, τα προφίλ λειτουργίας, τις ταχύτητες, τις διαδρομές κλπ., Οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τη σχεδίαση ισχύος / πρόωσης. Η υιοθέτηση μπαταριών για τη μείωση των εκπομπών ενδέχεται να διαταράξει την οικονομική περίπτωση π.χ. ο προσδιορισμός των μπαταριών θα επηρεάσει την ταχύτητα και την εμβέλεια του σκάφους, πιθανώς να σημαίνει μεγαλύτερους χρόνους διέλευσης που αποδυναμώνουν την οικονομική περίπτωση για να έχει το πλοίο στην πρώτη θέση. Σαφώς, το πλεονέκτημα της πυκνότητας ισχύος των πετρελαιοκινητήρων προσφέρει σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα έναντι των μπαταριών, εξ ου και η αργή υιοθέτησή τους.

Τέλος, είναι προφανές ότι τα πλοία με χαμηλότερη απαιτούμενη ισχύ για πρόωση και μικρότερη απόσταση δρομολογίων είναι πιο κατάλληλα για τροφοδοσία με μπαταρίες στην τρέχουσα χρονική στιγμή. Λαμβάνοντας υπόψη το υψηλό κόστος παραγωγής και τον περιορισμένο κύκλο ζωής των σημερινών μπαταριών, η υβριδική πρόωση με χρήση ICE (**Hybrid Internal Combustion Engine**) και μπαταριών μικρής κλίμακας είναι πιθανό να είναι εφικτή για ορισμένα πλοία όπως ρυμουλκά και ferries.

Επί του πλοίου μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών τόσο σε ογκομετρικό όσο και σε σταθμικό λόγο. Η αφαίρεση των δεξαμενών καυσίμου ντίζελ, της αλυσίδας προώθησης ντίζελ και των βοηθητικών εξαρτημάτων που συνδέονται με αυτό ελευθερώνει χώρο, αλλά αυτό δεν επαρκεί για την ποσότητα των μπαταριών που απαιτούνται για την παροχή λογικών ταχυτήτων και εύρους. Ενώ η ηλεκτροδότηση ενός μεγάλου φορτηγού πλοίου ή κρουαζιερόπλοιου εξακολουθεί να είναι ανέφικτη, δεδομένης της τρέχουσας κατάστασης μπαταριών και ηλεκτρικών κινητήρων, τα μικρότερα οχηματαγωγά που λειτουργούν σε βραχύτερες διαδρομές είναι

ιδανικά για ηλεκτροκίνηση. Φυσικά όλα έχουν να κάνουν με την ενεργειακή πυκνότητα. Τα ορυκτά καύσιμα είναι πραγματικά πυκνά, έτσι ώστε να μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια για έναν μεγάλο ωκεάνιο μεταφορέα. Αυτό δεν είναι ακόμα δυνατό με την τεχνολογία μπαταριών που διαθέτουμε σήμερα. Ωστόσο, η ηλεκτροχημεία αναπτύσσεται ταχύτατα, ώστε η τεχνολογία της μπαταρίας να αναμένεται να βελτιωθεί και να είναι πιο ανταγωνιστική στο μέλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

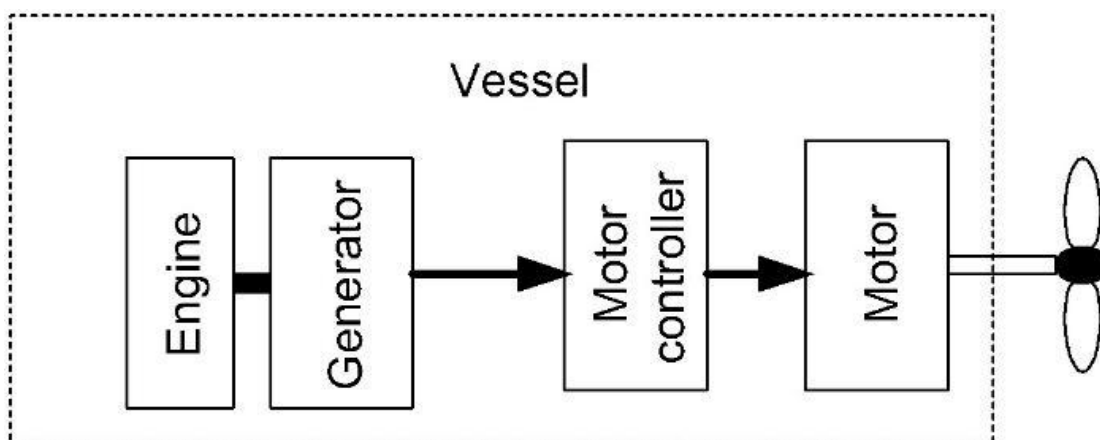
### Συνδυαστικά και Υβριδικά Συστήματα Πρόωσης

Ένα υβριδικό όχημα μπορεί να επιτύχει πρόωση χρησιμοποιώντας μία τροφοδοτούμενη πηγή ισχύος (π.χ. κινητήρα ντίζελ) ή μέσω αποθηκευμένης πηγής ενέργειας (π.χ. τράπεζα μπαταρίας και ηλεκτροκινητήρα).

Υπάρχουν τρεις βασικές διαμορφώσεις για υβριδικά συστήματα (με πολλές παραλλαγές), α) **Diesel / Electric**, β) **Serial hybrid** και γ) **Parallel Hybrid**. Παρακάτω παρουσιάζονται απλοποιημένα οι τρεις βασικές αυτές διαμορφώσεις.

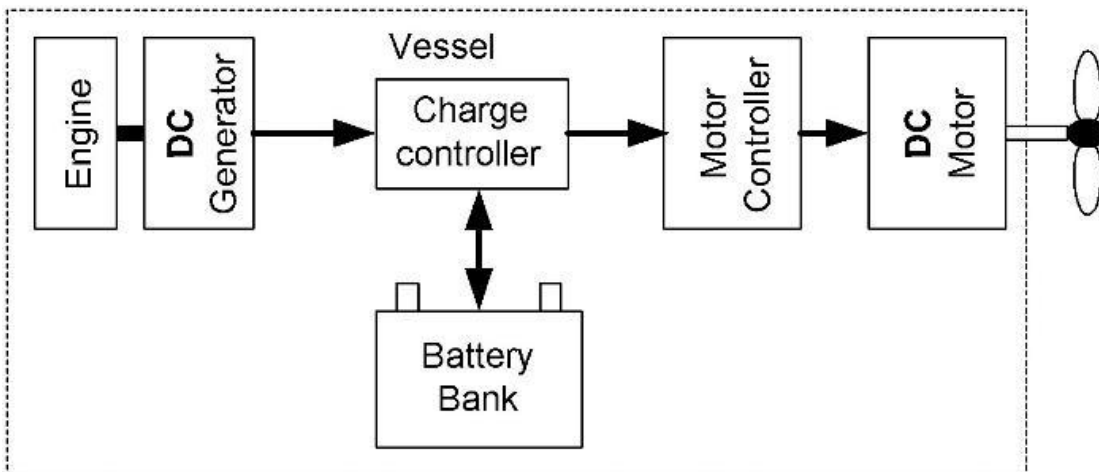
#### Diesel / Electric

Ο κινητήρας (συνήθως ντίζελ) συνδέεται απευθείας με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Από το σημείο αυτό η ισχύς στο σύστημα μεταφέρεται ηλεκτρικά στον άξονα της έλικας μέσω ενός ελεγκτή κινητήρα και ηλεκτρικού κινητήρα. Το σύστημα μπορεί να έχει πολλαπλές γεννήτριες και πολλαπλούς κινητήρες συνδεδεμένους σε κοινό ηλεκτρικό δίαυλο. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε ντίζελ-ηλεκτρικά τρένα και σε πολλά μεγάλα πλοία όπως το Queen Mary 2. Με τον αυστηρό ορισμό αυτό δεν θεωρείται υβριδικό δεδομένου ότι δεν υπάρχει ηλεκτρική αποθήκευση ενέργειας.



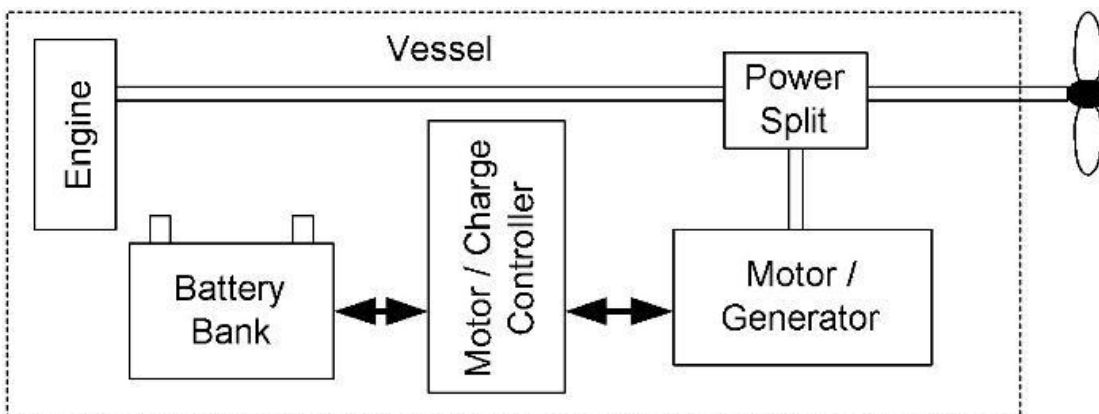
### Serial hybrid

Το σειριακό υβριδικό είναι παρόμοιο με το Diesel / Electric, καθώς σπάει τη μηχανική σύνδεση μεταξύ του κινητήρα και του άξονα της έλικας. Ωστόσο, μια τράπεζα συσσωρευτών για την αποθήκευση της ενέργειας συνδέεται επίσης με την κοινή ηλεκτρική τροφοδοσία. Σε αυτό το σύστημα μπορούμε να σταματήσουμε τον κινητήρα και να χρησιμοποιήσουμε την αποθηκευμένη ενέργεια στην τράπεζα μπαταριών. Με τις μεγάλες μπαταρίες μπορούμε να έχουμε μακρές περιόδους ηλεκτρικής πρόωσης (ή / και τροφοδότηση των ηλεκτρικών συσκευών) χωρίς να χρειαστεί να καταφύγουμε στη γεννήτρια.



### Parallel Hybrid

Ένα παράλληλο υβρίδιο διατηρεί τη μηχανική σύνδεση μεταξύ του κινητήρα και του άξονα έλικας. Όπως υποδηλώνει το όνομα, ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί στον κινητήριο άξονα παράλληλα με τον κινητήρα. Η διαίρεση ισχύος είναι μια μηχανική συσκευή που επιτρέπει τη μεταφορά ενέργειας μεταξύ των συνδέσεων της. Μπορούμε να οδηγήσουμε την έλικα απευθείας από τον κινητήρα ή από τον ηλεκτροκινητήρα ή και από τα δύο. Μπορούμε επίσης να αποσυνδέσετε την προπέλα για μια αυτόνομη λειτουργία γεννήτριας. Κατά τη διάρκεια της ανάκτησης της ενέργειας ο κινητήρας αποσυνδέεται.



Σε ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα, οι λειτουργίες του κινητήρα και της γεννήτριας μπορούν να συνδυαστούν σε μία μονάδα, εξοικονομώντας βάρος και κόστος. Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα των κινητήρων είναι διαβαθμισμένα ανάλογα με την ισχύ λειτουργίας, όπου μπορούν να παρέχουν το μεγαλύτερο πλεονέκτημα, δηλαδή: πλεύση χαμηλής έως μέσης ταχύτητας. Η μέγιστη ισχύς τροφοδοτείται απευθείας από τον κινητήρα και το υβριδικό παραμένει εκτός λειτουργίας. Έτσι, ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα παρέχει βελτιωμένη απόδοση σε υψηλή ισχύ σε σύγκριση με ένα σειριακό υβριδικό σύστημα. Ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα είναι επίσης εγγενώς πιο αξιόπιστο από ένα σειριακό σύστημα. Αν ένα ηλεκτρονικό στοιχείο χαλάσει, τότε αυτό θα απενεργοποιήσει ένα σειριακό σύστημα. Εάν ένα παράλληλο υβριδικό καταρρεύσει τότε ο κινητήρας μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί παρέχοντας πρόωση με τον συνήθη τρόπο. Καθώς τα ηλεκτρικά εξαρτήματα είναι μικρότερα και ελαφρύτερα, ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο σε κόστος σε σχέση με ένα σειριακό σύστημα. Αυτό παρέχει ένα καλό αντιστάθμισμα κόστους / χαρακτηριστικών.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζονται και εξετάζονται ορισμένα **υβριδικά** πλοία που χρησιμοποιούν στο σύστημα πρόωσή τους ένα συνδυασμό από τις **τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας** που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

## 5.1 E/S Orcelle

Το φιλόδοξο **E/S Orcelle** μεταφοράς αυτοκινήτων της εταιρείας Wallenius Wilhelmsen Logistics (WWL), χρησιμοποιεί μια σειρά **23 υποβρύχιων flaps** (πτερύγια), εμπνευσμένων από **τις κινήσεις των ουρών των δελφινιών Irrawaddy**, για να αξιοποιήσουν και να μετατρέψουν την κυματική ενέργεια στον ωκεανό και να δημιουργήσουν πρόωση αλλά και για να παράγουν ηλεκτρική και υδραυλική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τα συστήματα του πλοίου. Η συμβολική ονομασία του (Orcelle) παραπέμπει σε ένα είδος δελφινιού εν ονόματι **Irrawaddy** το οποίο βρίσκεται υπό εξαφάνιση. Πρόκειται για ένα επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο Ro-Ro, το οποίο για την κίνησή του θα χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια η οποία θα συλλέγεται μέσω τεράστιων ιστίων πάνελ και τα οποία θα εκμεταλλεύονται ακόμη και την αιολική ενέργεια, λειτουργώντας ταυτόχρονα και ως πανιά. Πρόκειται για το πρώτο απολύτως καθαρό πλοίο, το οποίο θα κινείται αποκλειστικά με ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με μόνα παράγωγα: θερμότητα και υδρατμούς και μάλιστα δεν θα έχει και θαλασσινό νερό για έρμα.

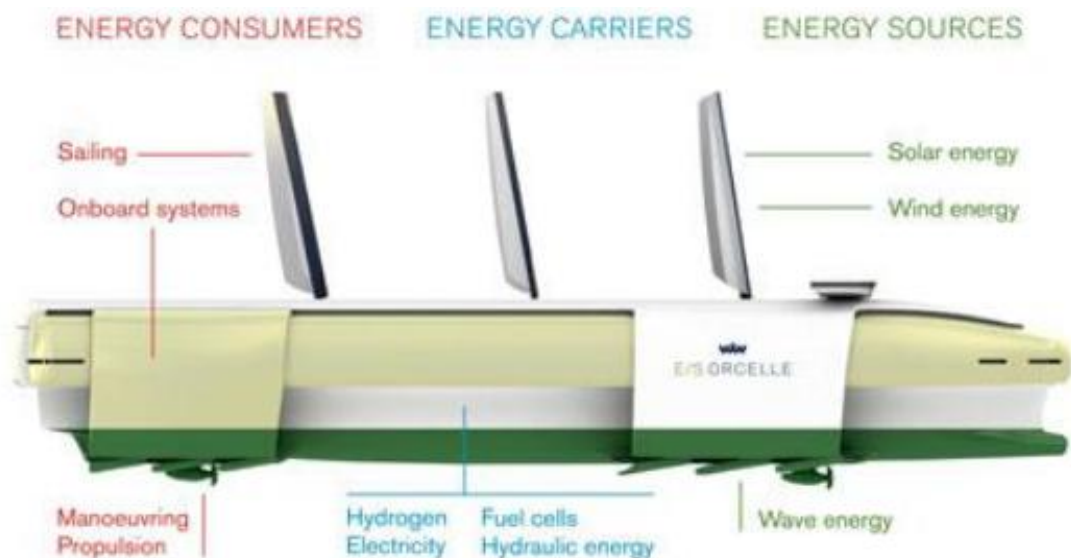
Όταν η αιολική πρόωση δεν θα είναι σε χρήση, τα πανιά θα μπορούν να παίρνουν κάποια κλίση ώστε να είναι δυνατή η συλλογή της ηλιακής ενέργειας που στην συνέχεια θα μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό για άμεση χρήση ή για αποθήκευση. Η πρόωση μέσω της αιολικής ενέργειας θα χρησιμοποιείται άμεσα από τα τρία πανιά που θα είναι κατασκευασμένα από ελαφριά υλικά. Τα άκαμπτα πανιά θα είναι ικανά να αναδιπλώνονται προς τα άνω και έξω καθώς και να περιστρέφονται γύρω από την κορυφή του καταρτιού ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή θέση για την βέλτιστη παραγωγή της αιολικής ενέργειας. Ακόμη θα εκμεταλλεύονται και την ενέργεια των κυμάτων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Το κόστος του πλοίου είναι άγνωστο, αλλά θα είναι σίγουρα ακριβότερο από το κόστος ενός αντίστοιχου συμβατικού και δεν προβλέπεται να κατασκευασθεί πλήρως με όλες τις καινοτομίες πριν περάσει το 2025.

Αναφορικά με τη μεταφορά ενέργειας, στο πλοίο θα χρησιμοποιούνται **τρεις μέθοδοι**:

- ❖ Περίπου το 50% της ενέργειας που θα χρησιμοποιείται για την πρόωση θα δημιουργείται μέσω των κυψελών καυσίμου. Αυτές οι κυψέλες θα συνδυάζουν δύο κοινά χημικά στοιχεία, το υδρογόνο και το οξυγόνο, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και για άλλες καταναλώσεις στο πλοίο.
- ❖ Οι διάφορες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, το σύστημα κυψελών καυσίμων και τα πτερύγια θα είναι σε θέση να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την πρόωση, τον φωτισμό, τον εξοπλισμό, τον εξαερισμό και την πλοήγηση. Οι εγκαταστάσεις μπαταριών αποθήκευσης θα παρέχουν λειτουργική ευελιξία.
- ❖ Η κυματική ενέργεια που παράγεται από την κατακόρυφη κίνηση των πτερυγίων μπορεί να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια για άμεση χρήση στην μηχανική πρόωση των πτερυγίων. Επιπλέον, η ενέργεια από την κίνηση των πτερυγίων μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή υδραυλικής ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να αποθηκευτεί.

Από την άλλη πλευρά, καταναλωτές αποτελούν τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης, ο απόπλους, οι ελιγμοί και τα διάφορα συστήματα επί του σκάφους.

- Αναφορικά με τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης το πλοίο θα έχει δύο συστήματα, γνωστά ως pod, προκειμένου για την συμπλήρωση των συστημάτων πρόωσης με τα πτερύγια και με τα πανιά. Κάθε pod θα στεγάζει ένα κινητήρα, ένα κιβώτιο ταχυτήτων και μια προπέλα σε μια ενιαία συμπαγής μονάδα. Κάθε pod θα τοποθετηθεί σε κάθε άκρο του κυρίου κύτους, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο πλήρη ισχύ καθώς και πλήρη ευελιξία ελιγμών.
- Για τον απόπλου θα χρησιμοποιείται η ηλεκτρική και η υδραυλική ενέργεια για την παροχή ισχύος προκειμένου για την ανέγερση, το άνοιγμα και την περιστροφή των πανιών
- Για τους ελιγμούς είναι απαραίτητη η χρήση της ηλεκτρικής και της υδραυλικής ενέργειας ώστε να λειτουργούν τα πηδάλια στην πρύμνη του πλοίου. Τα πηδάλια αυτά θα παρέχουν δυνατότητες πλοήγησης όταν η ηλεκτρική ενέργεια δεν θα χρησιμοποιείται όπως όταν το πλοίο θα ιστιοπλοεί.
- Τέλος ενέργεια θα χρησιμοποιείται και από τα ενσωματωμένα συστήματα επί του σκάφους. Για αυτά θα χρησιμοποιείται πρωτίστως η ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, η υδραυλική ισχύς θα είναι απαραίτητη για την αζομεείωση του ύψους των πρυμναίων κεκλιμένων επιπέδων και τη ρύθμιση του ύψους των καταστρωμάτων.



E/S Orcelle (πηγή : <https://www.secretprojects.co.uk>)

Το E/S Orcelle (Environmental Sound Ship) θα έχει μήκος 270 μέτρα και η ταχύτητα του θα φθάνει τους 15 κόμβους. Επίσης, θα έχει μέγιστη χωρητικότητα φορτίου 85.000 m<sup>2</sup> 50% περισσότερη από ότι ισχύει σήμερα στις μεταφορικές υπηρεσίες αυτοκινήτων. Το Orcelle θα είναι σε θέση να μεταφέρει έως και 10.000 οχήματα στα οκτώ του καταστρώματα. Τρία από αυτά τα καταστρώματα θα είναι ρυθμιζόμενα έτσι ώστε να είναι ικανά να φιλοξενήσουν φορτία διαφορετικού ύψους και βάρους. Το πλοίο θα έχει μέγιστη χωρητικότητα (DWT) ίση με 13.000 τόνους και θα ζυγίζει 21.000 τόνους. Επιπλέον, θα έχει τη δυνατότητα μεταφοράς περίπου 3.000 τόνων περισσότερο χάρη στη χρήση ελαφρότερων υλικών και την μη χρήση του έρματος το οποίο θα καταστεί εφικτό λόγω του σχεδιασμού του κύτους.

Συγκεκριμένα, θα έχει πέντε ύφαλα, ένα κύριο που θα είναι λεπτό και μακρύ και πέντε υποστηρικτικά που θα παρέχουν σταθερότητα του σκάφους στη θάλασσα. Η σταθερότητα που θα παρέχεται από το pentamaran σε συνδυασμό με τη χρήση νέων συστημάτων πρόωσης είναι αυτή που αποτρέπει τη χρήση έρματος. Επιπλέον, η χρήση του σχεδιασμού pentamaran θα συμβάλει στη βελτιστοποίηση στη χρήση της ενέργειας και στην καθαρή ροή του νερού γύρω από το σκάφος.

Αντίστοιχη περίπτωση αποτελεί και το Solar Eagle και τρία παρόμοια σκάφη τα οποία είναι τα πρώτα με υβριδικό κινητήρα. Την τεχνολογία, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στα υβριδικά αυτοκίνητα, αναπτύσσει, η αυστραλιανή εταιρεία Solar Sailor. Η ηλεκτρική ενέργεια που συγκεντρώνεται με τα πάνελ, αποθηκεύεται και αξιοποιείται όταν το σκάφος εισέρχεται ή εξέρχεται από το λιμάνι, ενώ στον ανοικτό ωκεανό με τις μεγαλύτερες ταχύτητες, το σκάφος κινείται με ντίτζελ.

## 5.2 Ηλιακά πανιά -Solar Sailor

Τα “ηλιακά πανιά”, είναι μια άλλη τεχνολογία που συνδυάζει την αξιοποίηση του ήλιου, αλλά και του ανέμου.

Παράδειγμα εφαρμογής της είναι το **Solar Sailor**, ένα μικρό καταμαράν μήκους 69 ποδιών και χωρητικότητας 100 ατόμων, του οποίου τα 8 ηλιακά wingsails μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για βοηθητική πρόωση, αλλά και για παραγωγή ηλεκτρισμού. Το σκάφος έχει τοποθετημένες στο πωραίο και στο πρυμναίο τμήμα του, σειρές φωτοβολταϊκών στοιχείων. Επιπλέον φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι τοποθετημένα σε πτέρυγες που βρίσκονται στο άνω μέρος της υπερκατασκευής του σκάφους και χρησιμοποιούνται επίσης και ως πανιά συλλέγοντας αιολική ενέργεια. Οι πτέρυγες πάνω στις οποίες είναι προσαρμοσμένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, ελέγχονται από υπολογιστή και προσανατολίζονται ανάλογα με την κατεύθυνσή της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες και μπορεί να προσδώσει στο πλοίο ταχύτητα 5 km/h.

Το πλοίο κτίστηκε το 1999 - 2000 σαν ένα σχέδιο επίδειξης και μπορεί να επιχειρήσει με αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, ενέργεια αποθηκευμένη σε μπαταρίες, ενέργεια από diesel ή με οποιονδήποτε από τους παραπάνω συνδυασμούς. Το πλοίο αναπτύχθηκε και κτίστηκε από τη Solar Sailor Holdings Ltd, με τη βοήθεια της Αυστραλιανής Κυβέρνησης και επιχειρεί στο Λιμάνι του Σύδνεϋ. Η εταιρεία έχει επίσης ετοιμάσει ένα σχέδιο για ένα υβριδικό 400 μέτρων μήκους τάνκερ, το οποίο θα μεταφέρει νερό και θα ονομάζεται Aquatanker.



**Solar Sailor** (πηγή : <https://www.treehugger.com>)

Τον Ιούνιο του 2005 ανακοινώθηκε ότι η εταιρεία UOV LLC, η οποία είναι θυγατρική της Solar Sailor Holdings, είχε λάβει από το Αμερικανικό Ναυτικό την έγκριση για την ανάπτυξη της πρώτης φάσης ενός μη επανδρωμένου ωκεάνιου οχήματος (UOV - Unmanned Ocean Vehicle). Το αυτοματοποιημένο αυτό όχημα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς και λιμενικούς σκοπούς, καθώς και για εμπορικές και ωκεανογραφικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων εγκαίρου προειδοποίησης για τσουνάμι. Το Αμερικανικό Ναυτικό ενδιαφέρεται γι' αυτό το όχημα, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του σε οχήματα παρατήρησης και παρακολούθησης τα οποία θα διατρέχουν τους ωκεανούς του κόσμου.

Τα UOVs χρησιμοποιούν ηλιακή και αιολική ενέργεια που τους επιτρέπει να δρουν ως ένα αυτόνομο όχημα με σχεδόν απεριόριστη ακτίνα δράσης και αντοχή. Οι σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες δεν είναι σε θέση να μας εξασφαλίσουν χαμηλού κόστους και επαρκή ποσότητα ηλιακής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνταν από ημιαγωγούς πυριτίου, οι οποίες έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, αλλά και υψηλό κόστος



παραγωγής. Φθηνότερα υλικά που είναι διαθέσιμο και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ημιαγωγών, δεν μπορούν να επιτύχουν την απόδοση του πυριτίου.

### 5.3 NYK Containership

Όταν κατασκευαστεί το πλοίο που θα αναφέρουμε στη συνέχεια θα είναι το πιο οικολογικό container ship. Ονομάζεται **Super Eco Ship 2030** και ανήκει στη εταιρία NYK -την ίδια εταιρία που έχει το «Auriga Leader». Παρά το μήκος των 352 μέτρων το πλοίο αυτό θα καταναλώνει 20% λιγότερο καύσιμο από τα αντίστοιχα πλοία ίδιου τύπου και θα εκπέμπει 70% λιγότερο CO2.

Για την πρόωση του θα χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό από ηλιακή, αιολική ενέργεια και κυψέλες καυσίμου «fuel cells». Όλο το σκάφος θα καλύπτεται από ηλιακά πάνελ με συνολική έκταση 31000 τετραγωνικά μέτρα και θα μπορούν να αποδώσουν έως και 9 MW, που λόγω της χρήσης υπεραγωγίων υλικών στα καλώδια ρεύματος θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ελάχιστες απώλειες. Παράλληλα 8 αναδιπλούμενα πλήρως αυτοματοποιημένα κατάρτια θα μπορούν να ξεδιπλώνουν πανιά συνολικής επιφάνειας 4000 τετραγωνικών μέτρων που θα βοηθούν στην πρόωση. Όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επαρκούν το πλοίο θα χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Ο πρωτοποριακός σχεδιασμός του εσωτερικού και εξωτερικού του πλοίου πέρα από τη μείωση της αντίστασης τριβής θα μειώνει στο ελάχιστο τον χρόνο φορτοεκφόρτωσης. Μάλιστα η εταιρεία ανακοίνωσε ότι ίσως σε πιο μελλοντικά μοντέλα να είναι δυνατή και η διάσπαση του πλοίου σε μικρότερα τμήματα για ελαχιστοποίηση του χρόνου παραμονής στο λιμάνι. Το φορτίο καταστρώματος (deck load) εσωκλείεται από ένα πτυσσόμενο περίβλημα για προστασία από καιρικές συνθήκες και την παραγωγή ενέργειας από ηλιακές κυψέλες. Το φορτίο του κύτους (hull load) εσωκλείεται από ένα υγιές σώμα και έχει σύστημα αυτοφόρτωσης, χωρίς να χρειάζεται εξοπλισμός στο λιμάνι. Η γάστρα είναι χωρισμένη σε ενότητες για ταχύτερη ολοκλήρωση των εργασιών στο λιμάνι.

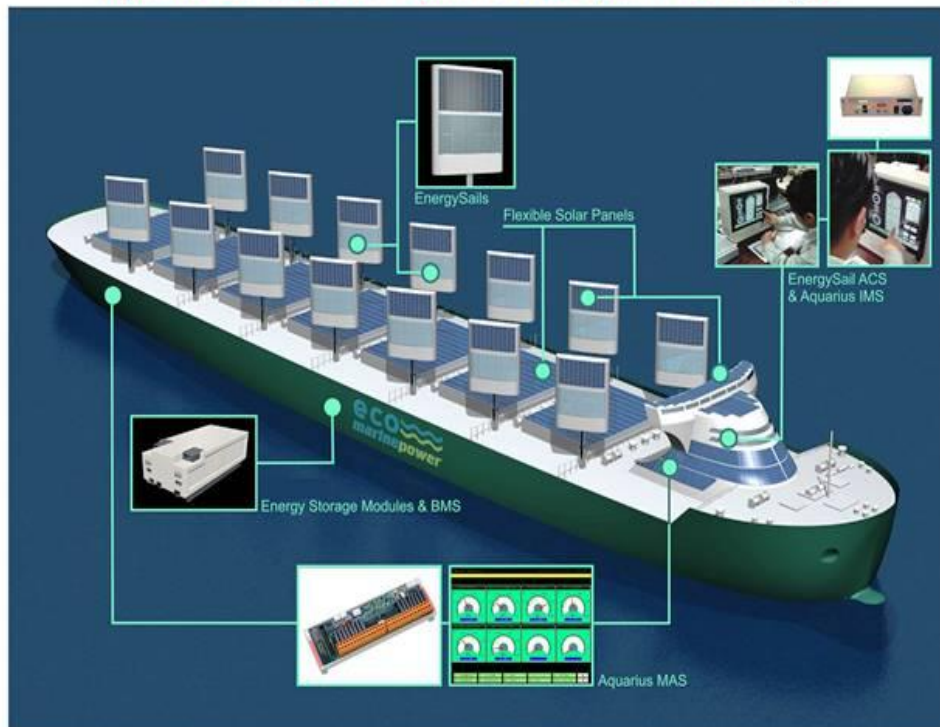


Ο χώρος ενδιαίτησης του πληρώματος και τα μηχανήματα βρίσκονται γύρω από την πλώρη για καλύτερη ορατότητα πλοήγησης, προστασία καταστρώματος στη φορτοεκφόρτωση, βελτιωμένη αεροδυναμική, και ασφαλέστερη προσβασιμότητα του πλοίου: η επιβίβαση του πληρώματος λειτουργεί με τηλεσκοπικό κλωβό που προεξέχει από την πλατφόρμα προβόλου καταστρώματος.

## 5.4 Aquarius MRE

Η εταιρεία Eco Marine Power με έδρα την Ιαπωνία αναπτύσσει ένα μεγάλο ηλιακό-θαλάσσιο σύστημα, το **Aquarius MRE** (Marine Renewable Energy), για δεξαμενόπλοια και φορτηγά πλοία. Το κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Aquarius MRE είναι ένα προηγμένο ολοκληρωμένο σύστημα άκαμπτων πανιών, θαλάσσιων ηλιακών συλλεκτών, μονάδων αποθήκευσης ενέργειας, σύστημα φόρτισης και υπολογιστές πλοίων που επιτρέπουν στα πλοία να αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εκμεταλλευόμενοι την ισχύ που παρέχεται από τον άνεμο και τον ήλιο. Η σειρά των άκαμπτων πανιών τοποθετείται αυτόματα από ένα σύστημα υπολογιστή για να ταιριάζει καλύτερα στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και μπορεί να χαμηλώνει και να αποθηκεύεται όταν δεν χρησιμοποιείται ή σε άσχημες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον θα μπορεί να μετατοπίζει το βάρος της ενεργειακής παραγωγής από τον ήλιο στον άνεμο. Όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι, οι μπαταρίες που είναι κατάλληλες για χρήση σε θαλάσσια σκάφη μπορούν να παράσχουν μια εναλλακτική πηγή ενέργειας - μειώνοντας έτσι το καύσιμο που χρησιμοποιείται από τις βοηθητικές γεννήτριες. Σε ορισμένες περιπτώσεις θα είναι επίσης δυνατό για ένα πλοίο να λειτουργεί χωρίς εκπομπές όταν βρίσκεται σε λιμάνι, το οποίο θα αποκτήσει ολόένα και μεγαλύτερη σημασία καθώς οι αρχές εφαρμόζουν αυστηρούς κανονισμούς ελέγχου των εκπομπών αερίων. Οι εφαρμογές του συστήματος περιλαμβάνουν φορτηγά πλοία, πετρελαιοφόρα, πλοία γενικού φορτίου, πλοία επιθεώρησης, επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία, κρουαζιερόπλοια, πλοία Ro-Ro, μεταφορείς αυτοκινήτων και ακόμη μη επανδρωμένα σκάφη επιφανείας.

Αυτός ο συνδυασμός τεχνολογιών θα μπορούσε να οδηγήσει, σύμφωνα με την εταιρία, σε εξοικονόμηση καυσίμου 40% ή περισσότερο και επίσης να μειώσει δραματικά την εκπομπή επιβλαβών αερίων όπως τα οξείδια του θείου (SOx), τα οξείδια του αζώτου (NOx) και τα σωματίδια (PM). Επιπλέον, η χρήση μέτρων ανανεώσιμης ενέργειας και εξοικονόμησης ενέργειας θα μείωνε το αποτύπωμα CO<sub>2</sub> των πλοίων.



アクエリアスMREシステム- 環境にやさしい海上輸送のための再生可能エネルギーテクノロジーの実用的な組み合わせ！

Aquarius MRE System – a practical combination of renewable energy technologies for greener shipping!

Σύστημα Aquarius MRE (πηγή :[www.ecomarinepower.com](http://www.ecomarinepower.com))

**Χαρακτηριστικά του Aquarius Eco Ship με Sail Assisted Propulsion**

(πηγή :[www.ecomarinepower.com](http://www.ecomarinepower.com))

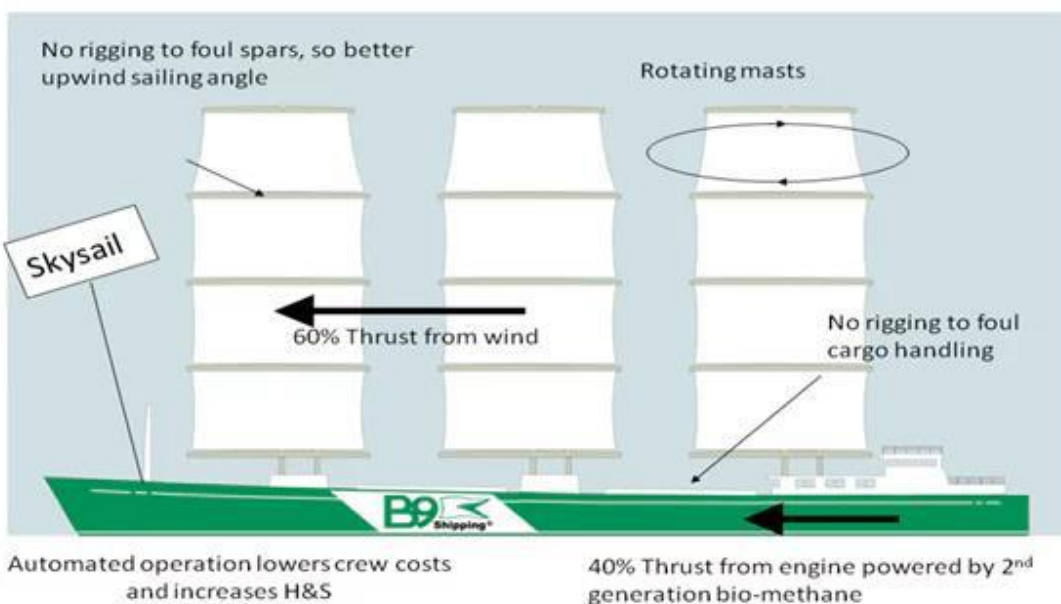
<b>Aquarius Eco Ship</b>	Bulk cargo variation	<b>RE System Type</b>	Aquarius MRE
<b>LOA</b>	240 metres (Approx.)	<b>Breadth</b>	45 metres (Approx.)
<b>EnergySail Array</b>	14 rigid sails with solar	<b>Solar</b>	Aquarius MAS + Solar
<b>Max Design Speed</b>	16 knots	<b>Eco Speed</b>	12 knots
<b>Engine Power</b>	13,000 kW	<b>Engine Power</b>	5,000 kW
<b>Propulsion</b>	Hybrid electric (with hydrogen fuel cells)	<b>Energy Storage</b>	Hybrid VRLA battery modules

## 5.5 Υβριδικό φορτηγό πλοίο B9 Shipping

Η ιρλανδική εταιρεία **B9 Shipping** αναπτύσσει το πρώτο στον κόσμο «υβριδικό» φορτηγό, το οποίο δεν θα χρησιμοποιεί καθόλου πετρέλαιο. Το πλοίο θα κινείται κυρίως με τη βοήθεια του ανέμου και μόνο σε περιπτώσεις άπνοιας θα χρησιμοποιεί τον κινητήρα του, ο οποίος θα καταναλώνει βιομεθάνιο, που θα προέρχεται από οργανικά αστικά και βιομηχανικά απόβλητα.

Η B9 Shipping ανακοίνωσε τη συνεργασία της με τη Μονάδα Ναυτικής Τεχνολογίας και Βιομηχανικής Αεροδυναμικής (WUMTIA) του Πανεπιστημίου του Southampton. Στις δεξαμενές της WUMTIA θα δοκιμαστούν μικρογραφίες του φορτηγού, με σκοπό να διαπιστωθεί ποιες μικροβελτιώσεις θα πρέπει να γίνουν στη σχεδίαση του σκάφους και στις τεχνολογίες κίνησής του, ώστε να παραμένει αξιόπλοο ακόμη και στις θαλασσοταραχές και να εξασφαλίζει τις μεγαλύτερες δυνατές ταχύτητες. Τα δεδομένα από τα πειράματα θα χρησιμοποιηθούν επίσης για να πραγματοποιηθούν οι πρώτες οικονομοτεχνικές μελέτες για το πλοίο. Με απώτερο στόχο να κατασκευαστεί στη συνέχεια ένα πρωτότυπο μοντέλο σε κανονικές διαστάσεις, που θα δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες.

Σύμφωνα με την εταιρεία, το «υβριδικό» φορτηγό θα περιορίσει δραστικά τις ετήσιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις θαλάσσιες μεταφορές – ποσότητες οι οποίες αντιστοιχούν στο 3% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών. Για να τα καταφέρει, το φορτηγό θα είναι εξοπλισμένο με ένα πρωτοποριακό σύστημα ιστίων που ονομάζεται Dynarig και το οποίο μπορεί να αξιοποιεί στον μέγιστο βαθμό τον άνεμο. Το Dynarig επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60 και από τότε έδειχνε εξαιρετικά ελπιδοφόρο διότι προσφέρει στα ιστία ανθεκτικότητα, ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές του ανέμου, ενώ ο χειρισμός τους γίνεται ηλεκτρονικά, χωρίς να απαιτεί χειροκίνητο χειρισμό. Ωστόσο, όταν ξεπεράστηκε η πετρελαϊκή κρίση, ατόνησε το ενδιαφέρον γύρω από αυτό.



Υβριδικό φορτηγό πλοίο της B9 shipping (πηγή : <https://newatlas.com/b9-shipping-cargo-sailing-ships>)

Μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά – στο ιστιοπλοϊκό **Maltese Falcon** («Γεράκι της Μάλτας») μιας από τις μεγαλύτερες θαλαμηγούς στον κόσμο που ανήκει στην Ελληνίδα μεγιστάνα Έλενα Αμβροσιάδου και το οποίο ναυπηγήθηκε το 2006. Με σύστημα τέτοιας τεχνολογίας, το “Maltese Falcon” έχει ήδη διασχίσει δύο φορές τον Ατλαντικό Ωκεανό πετυχαίνοντας ανώτατη ταχύτητα 24,9 κόμβων (περίπου 46 χιλιομέτρων την ώρα). Το πλοίο έκανε το παρθενικό του ταξίδι το 2006, με σχετικά μικρά πανιά, τα οποία προσαρμόζονταν με τρόπο τέτοιο ώστε να αξιοποιείται στο έπακρο η ισχύς του ανέμου. Όπως αποδείχθηκε στην πράξη, το σύστημα απενεργοποιείται άμεσα σε περίπτωση ξαφνικής καταιγίδας.

Αν και το κόστος του συστήματος είναι αρκετά υψηλό για ιδιωτικά γιοτ –το Maltese Falcon θεωρείται από τα πιο πολυτελή σκάφη στον κόσμο– η B9 Shipping υποστηρίζει πως η εγκατάστασή του σε φορτηγά πλοία θα κάνει απόσβεση πολύ γρήγορα, από τον περιορισμό των λειτουργικών εξόδων. Άλλωστε, σε σχέση με την αρχική του εκδοχή, το 1966, το Dynarig που προορίζει η ιρλανδική εταιρεία για τα σκάφη της θα είναι πολύ πιο εξελιγμένο, με τα ιστία να ελέγχονται ηλεκτρονικά από τη γέφυρα, ώστε να αλλάζουν εύκολα προσανατολισμό και να μαζεύονται γρήγορα μέσα στα κατάρτια, όταν χρειάζεται.

Το φορτηγό πλοίο θα τροφοδοτείται σε ποσοστό 61% από το Dynarig, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια που απαιτεί θα προέρχεται από τον κινητήρα της Rolls - Royce. Το βιοαέριο θα παράγεται με την αναερόβια ζύμωση τροφίμων και άλλων οργανικών απορριμμάτων εμπορικής και βιομηχανικής προέλευσης, η οποία θα γίνεται στις νέες εγκαταστάσεις της B9 Organic Energy, αδελφής εταιρείας της B9 Shipping. Στο Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον, ερευνητές θα παρακολουθούν με σειρά ενδεδειγμένων μελετών την πρόοδο του νέου πλοίου, εξετάζοντας μεταξύ άλλων την οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος, αλλά και την απόδοσή του με κύτη διαφόρων σχημάτων.

## 5.6 Ferry Happiness

Το Φεβρουάριο του 2017 η κυβέρνηση της Ταϊβάν έθεσε σε λειτουργία το ηλεκτρικό ferry **Ferry Happiness**, που λέγεται ότι είναι το πρώτο στην Ασία. Το σκάφος εξυπηρετεί το νησί Cijin στο Kaohsiung μεταφέροντας 4500 επιβάτες την ημέρα, και έχει μετασκευαστεί με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης από τη φινλανδική εταιρεία Visedo. Σύμφωνα με αναφορές, το πλοίο θα εξοικονομήσει περισσότερα από 25.000 λίτρα καυσίμου κατά τη διάρκεια κάθε έτους λειτουργίας, μειώνοντας ταυτόχρονα τις τοπικές εκπομπές (16).

Η κύρια διαφορά μεταξύ του **Ferry Happiness** και των περισσότερων από τα άλλα ηλεκτρικά ferries είναι το DC microgrid που βρίσκεται στην καρδιά του. Σε σύγκριση με τα πιο συνηθισμένα συστήματα πλοίων που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα αποκλειστικά, το microgrid DC του πλοίου της Ταϊβάν προσφέρει μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερες εκπομπές, καλύτερη αξιοπιστία και μεγαλύτερη ομαλή ενσωμάτωση με άλλους εξοπλισμούς, όπως μπαταρίες και γεννήτριες.

Ένα μεγάλο πρόβλημα με την ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος στα πλοία είναι η διατήρηση της ποιότητας ισχύος. Με το εναλλασσόμενο ρεύμα, το ρεύμα και η τάση είναι ελαφρώς εκτός φάσης, αλλά όταν η διαφορά αυτή στη φάση γίνει πολύ μεγάλη, μπορεί να προκαλέσει μεγάλες πτώσεις ή εξάρσεις (spikes) της τάσης, πράγμα που μπορεί να υποβαθμίσει τον

εξοπλισμό με την πάροδο του χρόνου, ή ακόμα και να θέσει το δίκτυο εκτός λειτουργίας σε ακραίες περιπτώσεις. Επειδή ένα ηλεκτρικό σύστημα επί του πλοίου είναι εξαιρετικά μικρό, σε σύγκριση με ένα δίκτυο σε ολόκληρη την πόλη, μπορεί να υποφέρει από αστάθειες όπως οι αρμονικές στρεβλώσεις, όπου ανεπιθύμητες υψηλότερες συχνότητες αναπτύσσονται πέρα από τη βασική συχνότητα - η οποία στην περίπτωση του Ferry Happiness είναι 60 hertz. Με το DC, δεν υπάρχουν κυματομορφές που να μην είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους, οπότε η ποιότητα ενέργειας είναι υψηλότερη.

Ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος, δεν χρειάζεται μετασχηματιστή για να αυξηθούν οι τάσεις προς τα πάνω και προς τα κάτω, ούτε ανορθωτές ή μετατροπείς για μετατροπή μεταξύ DC και AC. Αντ' αυτού, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μετατροπείς ισχύος στερεάς κατάστασης, οι οποίοι είναι πολύ πιο συμπαγής και αποτελεσματικός και σας δίνουν καλύτερο έλεγχο της τάσης και του ρεύματος. Έτσι, εάν χρησιμοποιείτε εξοπλισμό με μεταβλητές συχνότητες, όπως ένας οδηγός ηλεκτρικού κινητήρα, ένας μετατροπέας ισχύος βελτιώνει τον έλεγχο του κινητήρα. Επιπλέον, ένα σύστημα τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος λειτουργεί πολύ καλά με πηγές ενέργειας όπως κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες ιόντων λιθίου και όλες τις συσκευές DC. Έτσι, η ενσωμάτωσή τους σε σύστημα συνεχούς ρεύματος αντί για εναλλασσόμενο ρεύμα εξοικονομεί ενέργεια που διαφορετικά θα χαθεί κατά τη μετατροπή DC σε AC και ξανά.

Αλλά για να λειτουργήσει ένα πλοίο εξ ολοκλήρου σε DC ηλεκτρικό θα απαιτούσε μια τεράστια τράπεζα των μπαταριών, η οποία θα ήταν δαπανηρή και δύσκολο να διαχειριστεί. Και οι εκδόσεις DC πολλών τύπων ηλεκτρικών εξαρτημάτων και εξοπλισμού, όπως τα φώτα και ο κλιματισμός, δεν είναι ακόμα ευρέως διαθέσιμα. Για όλους αυτούς τους λόγους, κατασκευάστηκε ένα υβριδικό-ηλεκτρικό AC / DC ferry. Το κύριο σύστημα πρόωσης και οι μπαταρίες θα λειτουργούσαν σε DC, ενώ τα φορτία όπως ο φωτισμός, ο κλιματισμός και τα μηχανήματα καταστρώματος θα λειτουργούσαν σε AC. Ολόκληρο το σύστημα θα σχηματίζει ένα μικρό δίκτυο, με παραγωγή, διανομή, αποθήκευση και φορτία ενέργειας που θα περιλαμβάνει ένα αυτόνομο δίκτυο.

Στην πλευρά DC, οι κινητήρες ντίζελ αντικαταστήθηκαν με δύο σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη από τη Danfoss Editron της Δανίας, ο καθένας με ονομαστική ισχύ 130 kW. Οι νέοι κινητήρες ενσωματώθηκαν με το πρωτότυπο κιβώτιο ταχυτήτων, τον κύριο άξονα, την έλικα και το σύστημα γκαζιού. Εγκαταστήσαμε επίσης μπαταρίες ιόντων λιθίου από την ολλανδική εταιρεία Super B και μετατροπείς ισχύος από τη Danfoss. Τα συστήματα συνεχούς και συνεχούς ρεύματος συνδέονται με έναν αμφίδρομο μετατροπέα ισχύος, ο οποίος επιτρέπει τη ροή ισχύος μεταξύ των δύο συστημάτων, μετατρέποντας το AC σε DC και αντίστροφα (16).



(πηγή :Kaohsiung City Shipping Co. and SOIC)

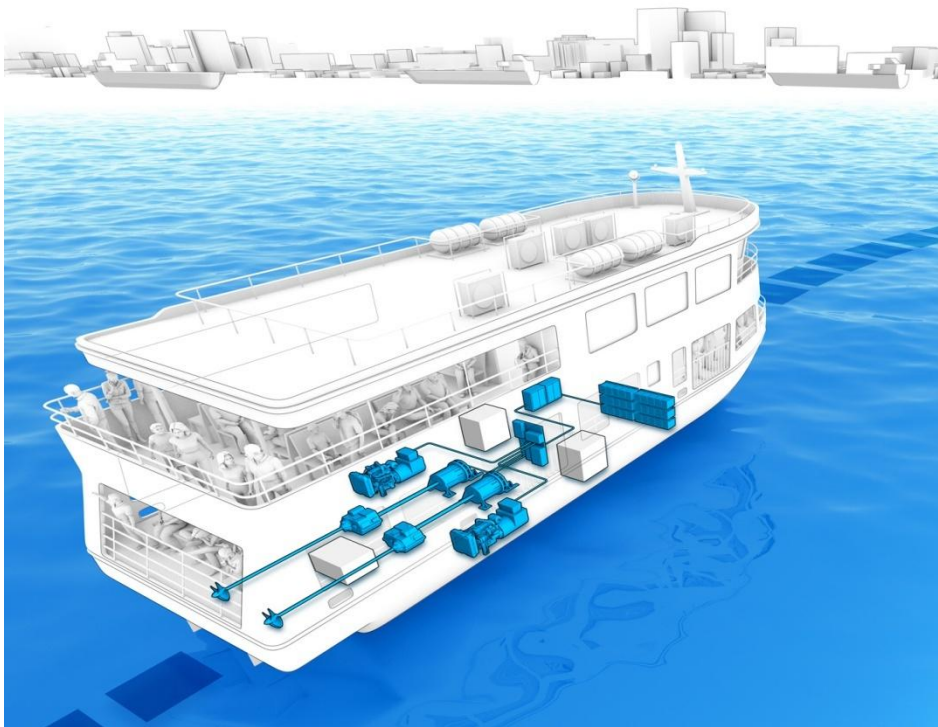
Το σύστημα πρόωσης του πλοίου περιλαμβάνει δύο σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη [αριστερή εικόνα] και ένα σύστημα μπαταριών λιθίου-ιόντων 100 κιλοβάτ-ωρών [μεσαία εικόνα], το οποίο φορτίζεται τη νύχτα μέσω σταθμού γρήγορης φόρτισης στην αποβάθρα [δεξιά εικόνα] (πηγή :Kaohsiung City Shipping Co. and SOIC).



Το νέο σύστημα πρόωσης είναι πιο κατάλληλο για μετακίνηση χαμηλότερης ταχύτητας. Πριν, το μηχανοστάσιο ήταν ένας θορυβώδης, δύσοσμος χώρος κάτω από το κατάστρωμα. Τώρα, ο θάλαμος πρόωσης είναι καθαρός και ήσυχος και όλα όσα ακούτε όταν ενεργοποιούνται οι κινητήρες είναι ένα αχνό, υψηλής συχνότητας buzz.

Η χωρητικότητα του συστήματος μπαταριών είναι 100 κιλοβατώρες, η οποία παρέχει αρκετή ισχύ για την πλεύση. Οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν από τις γεννήτριες ντίζελ και μπορούν επίσης να φορτιστούν με την παροχή ηλεκτρικού δικτύου, όταν το σκάφος είναι αγκυροβολημένο για τη νύχτα. Ο σταθμός φόρτισης 380-V στην αποβάθρα είναι παρόμοιος με έναν σταθμό γρήγορης φόρτισης για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Οι μπαταρίες και οι κινητήρες πρόωσης συνδέονται παράλληλα με τους μετατροπείς ισχύος, οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται με ένα διάλυο 750 V DC. Το αποτέλεσμα είναι ένα microgrid του πλοίου συνολικής ισχύος 1 megawatt (16).

Ο νέος εξοπλισμός καταλαμβάνει πολύ λιγότερο χώρο από αυτό που αντικατέστησε. Οι παλιοί πετρελαιοκινητήρες των 225 kW ήταν τόσο μεγάλοι όσο ένα οικιακό ψυγείο, ενώ οι νέοι ηλεκτροκινητήρες έχουν το μέγεθος ενός υπολογιστή υποδοχής. Οι παλαιές ηλεκτρικές γραμμές ελέγχου ήταν ογκώδεις και περίπλοκες. Όλοι έχουν αντικατασταθεί με ένα βελτιωμένο σύστημα επικοινωνίας, βασισμένο στο πρωτόκολλο δικτύου ελεγκτή (ή CAN) που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα. Ο πίνακας ελέγχου του χώρου ελέγχου διαθέτει τώρα μια οθόνη αφής, η οποία επιτρέπει στους τεχνικούς να βλέπουν εύκολα την κατάσταση του συστήματος και να αντιμετωπίζουν προβλήματα προβάλλοντας ιστορικά δεδομένα.



**Ferry Happiness (16)**

Το ferry έχει τώρα **δύο τρόπους λειτουργίας**: **1.καθαρή ηλεκτρική λειτουργία** και **2.υβριδική λειτουργία** εκτεταμένης εμβέλειας. Σε καθαρή ηλεκτρική λειτουργία, το πλοίο λειτουργεί αποκλειστικά με ενέργεια από την μπαταρία, όπως και η καθαρή ηλεκτρική λειτουργία σε ένα υβριδικό-ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Όταν το σύστημα μπαταρίας φτάσει στην ελάχιστη κατάσταση φόρτισης, το ferry μεταβαίνει αυτομάτως σε λειτουργία εκτεταμένης εμβέλειας, με τις γεννήτριες να κινούν το σύστημα πρόωσης και να φορτίζουν τις μπαταρίες. Αν και ένα καθαρά ηλεκτρικό σκάφος θα είχε μηδενικές τοπικές εκπομπές, θα απαιτούσε επίσης ένα πολύ μεγαλύτερο σύστημα συσσωρευτών. Η υβριδική διαμόρφωση επιτρέπει μια πολύ μικρότερη και λιγότερο δαπανηρή μπαταρία.

Εκτός από την ήσυχη, καθαρή και ομαλή διαδρομή που απολαμβάνουν οι επιβάτες, το Happiness έχει μειώσει την κατανάλωση καυσίμου ντίζελ κατά περισσότερο από 30 %. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, κατασκευάστηκαν και ξεκίνησαν δύο άλλα υβριδικά-ηλεκτρικά ferry AC / DC στο λιμάνι Kaohsiung. Οι μηχανικοί της SOIC σχεδιάζουν επίσης συστήματα υβριδικών-ηλεκτρικών κινητήρων για άλλους τύπους σκαφών, συμπεριλαμβανομένων σκαφών αναψυχής, ρυμουλκών και πλοίων υποστήριξης.



## 5.7 Yara Birkeland» το πρώτο αυτόνομο ηλεκτρικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Το «Yara Birkeland» θα είναι το πρώτο αυτόνομο ηλεκτρικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο και αναμφίβολα θα αλλάξει τις εμπορευματικές μεταφορές στη θάλασσα. Έχει ανατεθεί από τη νορβηγική εταιρία κατασκευής λιπασμάτων Yara International, η οποία να εγκαταλείψει τη χρήση φορτηγών με καύσιμα ντίζελ. Σύμφωνα με την Yara International, το ηλεκτρικό πλοίο θα πρέπει να μπορεί να αντικαταστήσει συνολικά 40.000 ταξίδια φορτηγών πλοίων ετησίως.

Αν και δεν είναι ένα ιδιαίτερα μεγάλο φορτηγό πλοίο, μήκους 70 μέτρων και πλάτους 14 μέτρων με 120 εμπορευματοκιβώτια επί του σκάφους, η διαφορά είναι ότι δεν θα υπάρχει κανένας άνθρωπος επί του σκάφους, το οποίο θα επιτρέπει τη χρήση περισσότερου χώρου για τη μεταφορά φορτίου. Το πλοίο θα παραδοθεί το 2020 και τα σχέδια είναι να είναι πλήρως αυτόνομο και λειτουργικό έως το 2022. Το λογισμικό και η τεχνολογία θα παρασχεθούν από τον Όμιλο Kongsberg, έναν σημαντικό προμηθευτή στρατιωτικής τεχνολογίας και αυτόνομων συστημάτων ελέγχου, και το ρουμανικό ναυπηγείο Vard θα κατασκευάσει το ίδιο το φορτηγό (17). Οι μπαταρίες θα έχουν επτά και μισή έως εννέα megawatt ώρες - το ίδιο με 90 μπαταρίες από το Tesla Model X P100D. Επειδή η τεχνολογία της μπαταρίας δεν επαρκεί για μεγάλες αποστάσεις, το πλοίο θα κάνει μικρές διαδρομές.



**Yara Birkeland** (πηγή <https://www.yara.com>)

Η Νορβηγία έχει υποστηρίξει την Yara Birkeland με 133,6 εκατομμύρια νορβηγικές κορώνες - ή μόλις κάτω από 14 εκατομμύρια ευρώ - το οποίο είναι ένα σημαντικό κομμάτι του συνολικού κόστους του έργου ύψους 27 εκατομμυρίων ευρώ (17). Η χώρα εργάζεται εδώ και χρόνια για να πρωτοπορήσει στην ηλεκτρική μετακίνηση και να βρει έναν τρόπο αντικατάστασης των φορτηγών diesel με λιγότερο τοξικές εναλλακτικές λύσεις. Το Νορβηγικό Φόρουμ για τα Αυτόνομα Πλοία ιδρύθηκε το 2016, και η Νορβηγία άρχισε να εξετάζει τα αυτόνομα ηλεκτρικά πλοία ως ιδανική λύση για το μεγάλο παράκτιο δίκτυο θαλάσσιων μεταφορών της Νορβηγίας. Και επειδή η Νορβηγία κερδίζει πολλά από τα χρήματά της από την παραγωγή πετρελαίου, επενδύει έξυπνα μερικά από αυτά τα κέρδη σε καινοτόμα έργα όπως η Yara Birkeland. Υπάρχει ακόμη αρκετό περιθώριο βελτίωσης στον

τομέα της ηλεκτροκίνησης στη θάλασσα. Οι επενδύσεις μπορεί να κοστίσουν ένα εκατομμύριο ευρώ ή περισσότερο, ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου, και οι μπαταρίες είναι βαριές και καταλαμβάνουν πολύ χώρο. Τα υδάτινα ρεύματα επηρεάζουν επίσης την κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας δύσκολο για τα ηλεκτρικά σκάφη ή τα πλοία να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς θέσεις για να σταματήσουν και να φορτιστούν. Καθώς η τεχνολογία προχωράει, ελπίζουμε ότι θα δούμε όλο και περισσότερες λύσεις που θα επιτρέψουν στα πλοία να ταξιδεύουν ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις.

## 5.8 OCEAN PHOENIX 360

Το OCEAN PHOENIX 360 είναι ένα πραγματικά μοναδικό γιγάντιο εργοστάσιο ικανό να εξαλείψει τα εκατομμύρια τόνων πλαστικών αποβλήτων που έχουν συσσωρευτεί στον Βορειοανατολικό Ειρηνικό και άλλους ωκεανούς σε όλο τον κόσμο. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι εντυπωσιακά:

- 360 μέτρα σε μήκος
- 115m σε πλάτος (περίπου το πλάτος των δύο supertankers πλάι-πλάι)
- βύθισμα 30μ (αυτό μπορεί να μειωθεί σε 16m με απομάκρυνση του έρματος)

Το OCEAN PHOENIX είναι ικανό να ανακτά, να συμπιέζει και να συσκευάζει τα απόβλητα σύμφωνα με τους κανονισμούς οδικής μεταφοράς, πράγμα που λαμβάνει χώρα πριν από τη μεταφορά των προαναφερθέντων αποβλήτων σε συνοδευτικό πλοίο υποστήριξης το οποίο θα το πάρει στην ξηρά για ανακύκλωση.



OCEAN PHOENIX 360 (πηγή :<https://www.oceanphoenixproject.com>)

Ο σχεδιασμός ως trimaran, μπορεί να εξοπλιστεί στη συνέχεια με γάστρες «SWATH». Τα μέσα προωθήσεώς του αποτελούνται από ντιζελ-ηλεκτρικό / LNG σύστημα χωρίς εκπομπές θείου, με σημαντική μείωση του ρυθμού κατανάλωσης και του αποτυπώματος άνθρακα λόγω της παρουσίας των **δρομέων Flettner**. Το σκάφος είναι ικανό να φιλτράρει ένα στρώμα νερού έως 30 μέτρα βάθους και πλάτους 100 μέτρων (328 πόδια) σε ταχύτητες 12 κόμβων.

Εξαιρετικά αυτόνομο και διαθέτοντας τα μέσα για την ταχεία και συνεχή παραγωγή (σε 24ωρη βάση), το Ocean Phoenix 360 αποτελεί βασικό στοιχείο για την καταπολέμηση της ρύπανσης των ωκεανών. Θα παραμείνει λειτουργικό ακόμη και στις πιο δύσκολες καιρικές συνθήκες, διασφαλίζοντας σταθερή και βέλτιστη ανάκτηση των αποβλήτων.

Το Ocean Phoenix 360 δεν κάνει διακρίσεις μεταξύ εμπορευματοκιβωτίων, κορμών πολλαπλών τόνων (που περιστασιακά εντοπίζονται όπου συγκλίνουν ρεύματα), πλαστικών αποβλήτων (και άλλων μορφών θραυσμάτων) και μικροπλαστικών, σχεδόν του μεγέθους του πλαγκτόν. Πρόσφατες μελέτες έχουν δώσει έμφαση στη βλάβη που προκαλείται στα θαλάσσια περιβάλλοντα και στην πανίδα τους λόγω του συνδυασμού πλαγκτόν με μικροπλαστικά.

Προκειμένου να δοθεί μια καλύτερη εικόνα των δυνατοτήτων του Ocean Phoenix, μπορεί να συγκριθεί ο όγκος του νερού που εισέρχεται στη δεξαμενή του με εκείνον των καταρρακτών του Νιαγάρα. Με την επεξεργασία όγκου 16.500 m<sup>3</sup> ανά δευτερόλεπτο, το Ocean Phoenix έχει έξοδο 2,8 φορές μεγαλύτερη από τους καταρράκτες του Νιαγάρα κατά τη διάρκεια της εποχής αιχμής τους (18). Υπό το φως αυτής της σύγκρισης, οι δυνατότητες του Ocean Phoenix 360 γίνονται πιο εύκολα αντιληπτές.

Ένας στόλος 20 πλοίων θα μπορούσε να αντιμετωπίσει μια έκταση περίπου 3 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων σε 10 χρόνια ή και περισσότερο με συμπληρωματικά πλοία, ανάλογα με τη συνολική έκταση των αποβλήτων. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα στρώματα του βόρειου Ειρηνικού κυμαίνονται από 1,4 σε 3,4 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Το OCEAN PHOENIX 360 παρουσιάζεται ως μια ρεαλιστική και βιώσιμη λύση: ένα υβριδικό εργοστάσιο έτοιμο να ανταποκριθεί στη μεγαλύτερη περιβαλλοντική πρόκληση της εποχής μας. Ο πλούτος της τεχνικής εμπειρίας που διαθέτουν τα γραφεία σχεδιασμού και τα ναυπηγεία εγγυάται ότι η κατασκευή του Ocean Phoenix 360 θα προχωρήσει εγκαίρως. Αυτή η πρωτοβουλία είναι πράγματι μια πρόκληση κολοσσιαίων αναλογιών, αλλά οι αναλύσεις και οι προκαταρκτικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι είναι απολύτως εφικτό να ξεπεραστούν με εξειδικευμένες μεθόδους και ότι το κόστος, αν και σημαντικό, θα είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό που προβλέπουν οι περισσότεροι ειδικοί. Δεδομένης της σημερινής κατάστασης, το Ocean Phoenix παρέχει μια έγκαιρη λύση και η εφαρμογή του θα επηρεάσει τόσο τους πολίτες όσο και τις πολιτείες, τις περιφέρειες, τις μικρές και μεγάλες πόλεις και διάφορους ατομικούς και εταιρικούς χορηγούς, οι οποίοι καλούνται τώρα να συμμετάσχουν και να διαδραματίσουν σημαντικό υποστηρικτικό ρόλο σε αυτό έργο πρωτοφανούς μεγέθους.

## 5.9 Επιπλέον Παραδείγματα

Η Color Line και η Ulstein φιλοδοξούν να δημιουργήσουν αυτό που ισχυρίζονται ότι θα είναι το μεγαλύτερο υβριδικό σκάφος στον κόσμο μέχρι σήμερα. Σε λιγότερο από δύο χρόνια, το μήκους 160 μέτρων **Color Hybrid** θα διασχίσει τη διαδρομή Sandefjord-Strömstad μεταξύ Νορβηγίας και Σουηδίας. Μεταφέροντας μέχρι 2.000 επιβάτες και περίπου 450 οχήματα, αντιπροσωπεύει σχεδόν τον διπλασιασμό της χωρητικότητας του πλοίου που θα αντικαταστήσει, του Bohus. Σχεδιασμένο από τον Fosen Yard, ο σχεδιασμός του Color Hybrid φέρει το Βραβείο Ναυτιλίας επόμενης γενιάς στην έκθεση Nor-Shipping 2017. Αναμένεται να γίνει το μεγαλύτερο υβριδικό σκάφος plug-in του κόσμου, το Color Hybrid

αναπτύσσεται στο πλαίσιο του προγράμματος ανανέωσης του στόλου της Color Line για να αντικαταστήσει το πλοίο M / S Bohus της εταιρείας.

Το Color Hybrid έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με ισχύ μπαταρίας ή κάποια άλλη μορφή υβριδικής ρύθμισης. Θα συνδεθεί σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο από την πλευρά της ξηράς για να επαναφορτίσει τις μπαταρίες του, όπως και ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην ξηρά, και να ξεκινήσει το δρομολόγιό του. Οι προπαρασκευαστικές εργασίες βρίσκονται σε εξέλιξη και η Color Line εγκαθιστά την απαραίτητη υποδομή στις εγκαταστάσεις της στο Όσλο, το Larvik και το Kristiansand.

Η κοπή χάλυβα για το υβριδικό πλοίο ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2017 και η παράδοση αναμένεται στο τέλος του 2019. Το νέο πλοίο προγραμματίζεται να λειτουργήσει στη διασταύρωση μεταξύ του Sandefjord στη Νορβηγία και του Strømstad στη Σουηδία από τον Ιανουάριο του 2020. Οι δυνατότητες και οι υπηρεσίες του πλοίου αναμένεται να ενισχυθούν στη γραμμή μεταξύ Νορβηγίας και Σουηδίας.



**Color Hybrid** (πηγή :<https://www.ship-technology.com>)

Σχεδιασμένο για να λειτουργεί εξ ολοκλήρου με την ισχύ της μπαταρίας, το σκάφος θα επαναφορτίζεται είτε μέσω καλωδίου τροφοδοσίας από το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Sandefjord της Color Line είτε από τις γεννήτριες του πλοίου. Το πακέτο μπαταρίας του σκάφους θα προσφέρει περίπου 5MWh και μπορεί να λειτουργήσει έως και 60 λεπτά σε ταχύτητες μέχρι 12kn. Το πλοίο μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι 450m<sup>3</sup> γλυκού νερού και 1.500m<sup>3</sup> water ballast. Θα περιλαμβάνει επίσης ένα σύστημα αποκομιδής θερμότητας (WHR), εκτός από τον εξοπλισμό εξοικονόμησης ενέργειας. Η κατασκευή του νέου πλοίου θα πληροί τις απαιτήσεις της σημαίας της Νορβηγίας και το πρότυπο του νορβηγικού τακτικού μητρώου πλοίων (Norwegian Ordinary Ship Register-NOR) (19).

Η «αίετα υβριδικού κινητήρα Ulstein» είναι ένας συνδυασμός ντιζελ-μηχανικών και ντιζελο-ηλεκτρικών συστημάτων και είναι πιο οικονομικό από το συμβατικό ντιζελο-ηλεκτρικό σύστημα. Συνδυάζει υψηλότερη απόδοση και καλύτερη απόδοση σε υψηλά φορτία και εξαιρετική κατανάλωση καυσίμου σε χαμηλά φορτία.

Θα εγκατασταθεί μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά στο Sandefjord και σε νορβηγικά λιμάνια που χρησιμοποιούνται από την εταιρεία Color Line για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τη φόρτιση της μπαταρίας του πλοίου. Το πλοίο θα είναι εξοπλισμένο με Rolls-Royce's Bergen B33: 45L πετρελαιοκινητήρες σε σειρά, οι οποίοι θα παραδοθούν τον Μάρτιο του 2018. Οι Bergen B33: 45 πετρελαιοκινητήρες διατίθενται σε παραλλαγές έξι, οκτώ ή εννέα κυλίνδρων. Στα 600kW κύλινδρο, οι νέοι κινητήρες προσφέρουν μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές ρύπων. Με διάμετρο 330 χλστ. τα επίπεδα στροφών του κινητήρα κυμαίνονται μεταξύ 450rpm και 750rpm για κινητήρες πρόωσης και μεταξύ 720rpm και 750rpm για τις γεννήτριες. Οι εσωτερικοί κύλινδροι του κινητήρα έχουν ισχύ μεταξύ 3.600kW και 5.400kW. Οι κινητήρες έχουν μειωμένο ρυθμό κατανάλωσης καυσίμου και λιγότερο ορατό καπνό, σύμφωνα με τους κανόνες του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού Tier II και Tier III.

Το νέο ferry θα ελαχιστοποιήσει την εκπομπή επιβλαβών αερίων θερμοκηπίου ή ενώσεων αζώτου και θείου στην ατμόσφαιρα. Η συνένωση της σύνδεσης υψηλής τάσης με το υβριδικό σύστημα πρόωσης της μπαταρίας θα επιτρέψει μηδενικές εκπομπές από το πλοίο. Το σκάφος θα λειτουργεί με ισχύ από την μπαταρία κατά την είσοδο και έξοδο από το λιμάνι Sandefjord για να αποφευχθεί η απελευθέρωση επιβλαβών αερίων ή ενώσεων κοντά στην πόλη.

### **Το πλήρως ηλεκτρικό φορτηγό πλοίο της Κίνας**

Η Κίνα είναι πλέον ο υπερήφανος ιδιοκτήτης του πρώτου πλήρως ηλεκτρικού πλοίου στον κόσμο και έχει ήδη θέσει σε χρήση το σκάφος. Όπως αναφέρθηκε από την China Daily, το πλοίο των 2.000 τόνων ξεκίνησε στην πόλη Guangzhou τον περασμένο μήνα και λειτουργεί στο εσωτερικό τμήμα του ποταμού Pearl. Κατασκευασμένο από την Guangzhou Shipyard International Company Ltd, μπορεί να ταξιδέψει 80 χιλιόμετρα (περίπου 50 μίλια) αφού φορτιστεί για 2 ώρες. Όπως σημειώνεται από την Clean Technica, 2 ώρες είναι περίπου ο χρόνος που θα χρειαζόταν για να εκφορτωθεί το φορτίο του πλοίου ενώ ήταν στο λιμάνι.

Τα χαρακτηριστικά του φορτηγού πλοίου της Κίνας είναι: 70,5 μέτρα (230 πόδια) σε μήκος, θα χρησιμοποιεί μπαταρίες λιθίου χωρητικότητας 2.400 kWh, και θα έχει ταχύτητα ταξιδιού 12,8 χιλιομέτρων την ώρα (8 mph). Δεν είναι σίγουρα το γρηγορότερο ηλεκτρικό όχημα που υπάρχει στη θάλασσα, αλλά έχει σχεδιαστεί για τη μεταφορά πολυάριθμων αντικειμένων και όχι για ταχύτητα.



(πηγή : Chinanews.com)

Ενώ το πλοίο είναι ακόμα ένα σημάδι των αλλαγών που έρχονται στη σχέση μας με τα ορυκτά καύσιμα, το φορτίο του δείχνει ότι είμαστε ακόμα μακριά από μια πλήρη στροφή. Κατά ειρωνικό τρόπο, το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό φορτηγό πλοίο στον κόσμο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά άνθρακα, σύμφωνα με τον Chen Ji, γενικό διευθυντή της Guangzhou Shipyard International. Ειρωνικά, παρά το γεγονός ότι παράγει μηδενικές εκπομπές από μόνη του, το φορτηγό πλοίο εξακολουθεί κατά κάποιο τρόπο να συμβάλλει στη δημιουργία και τη διάδοση των εκπομπών αερίων που οδήγησαν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Εύκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό πώς η χρήση καθαρής ενέργειας για να μεταφερθεί φθηνότερα το κάρβουνο χάνει τελείως το νόημα της καθαρής ενέργειας.

### **Το πρώτο ηλεκτρικό δεξαμενόπλοιο στον κόσμο**

Τέσσερις ιαπωνικές εταιρείες συνεργάστηκαν για να κατασκευάσουν το πρώτο δεξαμενόπλοιο μηδενικών εκπομπών στον κόσμο. Πρόκειται για παράκτιο δεξαμενόπλοιο προοριζόμενο για χρήση στον κόλπο του Τόκιο, χωρίς να διασχίζει τον Ειρηνικό Ωκεανό, αλλά είναι ένα σημαντικό βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση. Το δεξαμενόπλοιο, το οποίο θα τροφοδοτείται από ηλεκτροκινητήρες και ένα (πραγματικά μεγάλο) πακέτο μπαταριών, προβλέπεται να τεθεί σε λειτουργία περίπου δύο χρόνια από τώρα. Οι τέσσερις εταιρείες - Asahi Tanker Co., Exeno Yamamizu Corp., Mitsui O.S.K. Lines Ltd. και η Mitsubishi Corp - έχουν δημιουργήσει μια κοινοπραξία που ονομάζεται e5 Lab Inc. για την κατασκευή και λειτουργία του δεξαμενοπλοίου (38).



**ηλεκτρικό tanker e5**

Το πρώτο σκάφος αναμένεται να ξεκινήσει το τέταρτο τρίμηνο του 2020. Οι εταίροι του έργου εργάζονται επίσης για την ανάπτυξη των παράκτιων σκαφών "e5" με μεγαλύτερο εύρος πλεύσης. Το ClassNK θα παρέχει τεχνικές συμβουλές για το σχεδιασμό του πλοίου και την ηλεκτρική πρόωση.

Η χρήση ηλεκτρικής πρόωσης ελέγχει τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, Nox και SO<sub>x</sub> και επίσης ελαχιστοποιεί τον θόρυβο και τις κραδασμούς στο σκάφος. Ο σχεδιασμός προσφέρει

οικονομική αποδοτικότητα μέσω της χρήσης του διαδικτύου των πραγμάτων(IoT) και των ψηφιακών εργαλείων σε συνδυασμό με βελτιωμένες επιδόσεις πρόωσης από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Μια απλή κατασκευή κύτους και η χρήση αυτοματοποιημένου εξοπλισμού στο σκάφος θα μειώσει το φορτίο εργασίας του πληρώματος.

### Χαρακτηριστικά πλοίου e5:

Συνολικό μήκος: 60.00μ.

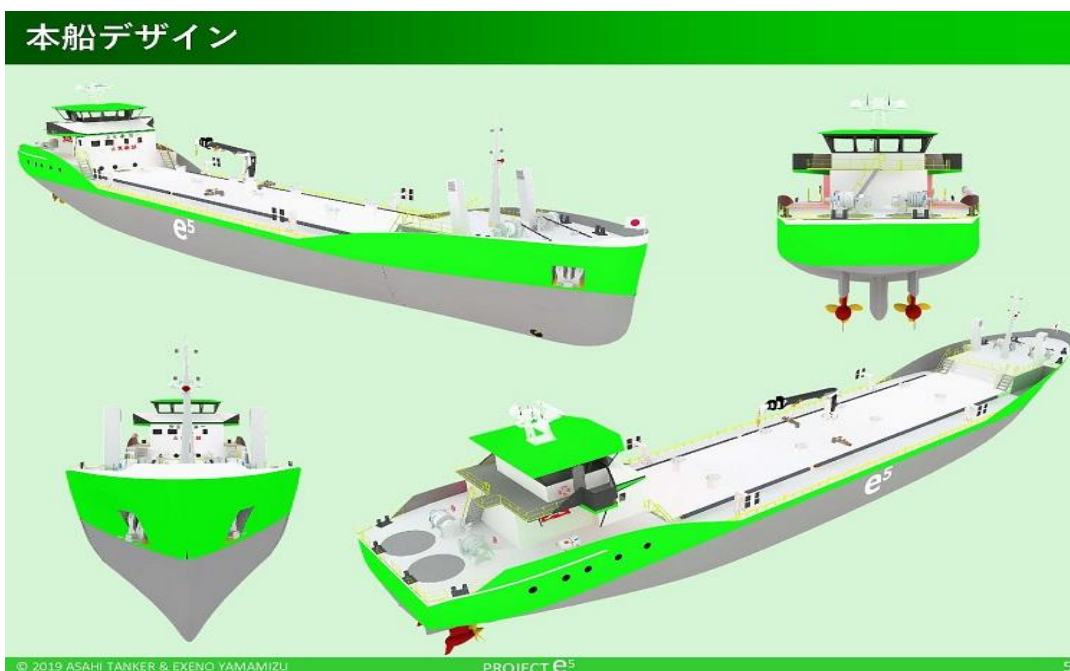
Συνολικό πλάτος: 10,30 μ.

Μηχανές πρόωσης: 2 x 350 kW προωστικός αζιμούθιος, 1 x 130 kW προωθητήρας τόξου

Μεικτή χωρητικότητα: 499 τόνοι

Χωρητικότητα δεξαμενής φορτίου: Περίπου 1.300 κυβικά μέτρα

Καταχώρηση σκάφους: Ιαπωνία



Concept design του ηλεκτρικού tanker e5 (πηγή:<https://www.maritime-executive.com>)

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Ferguson Marine έχει κατασκευάσει ένα υβριδικό ferry (κόστους 12,3 εκατομμυρίων λιρών) για το CalMac που θα χρησιμοποιήσει στις διαδρομές του Clyde και Hebridean. Το υβριδικό σύστημα της **Catriona** λειτουργεί συνδυάζοντας την ισχύ του ντίζελ με την ηλεκτρική ισχύ της μπαταρίας. Επίσης στο Ηνωμένο Βασίλειο, η νέα ναυαρχίδα της Wightlink, για τη διαδρομή Fishbourne-Portsmouth, θα χρησιμοποιήσει υβριδικό σύστημα από ηλεκτρικές μπαταρίες και ντίζελ και πολλά άλλα έργα αναδύονται σε όλο τον κόσμο.

Τέλος, μια έκθεση, που δημοσιεύθηκε από την Siemens και την Bellona τον περασμένο Ιούνιο, έδωσε μεγαλύτερη βαρύτητα στο υβριδικό επιχείρημα, υποστηρίζοντας ότι περίπου το 70% του νορβηγικού στόλου των 180 ferries μπορεί να μετατραπεί σε πλοία μπαταρίας ή υβριδικής πρόωσης - 84 σε πλήρως ηλεκτρικά και 43 σε κάποια μορφή υβριδικής τεχνολογίας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Απόδοση και κόστος

Η ανάπτυξη λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη ναυτιλία έχει παρεμποδιστεί από την υπερβολική προσφορά τα τελευταία χρόνια πλοίων που τροφοδοτούνται με ορυκτά καύσιμα και τη σχετική υποβαθμισμένη αγορά επενδύσεων. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ακόμη επαρκής επίδειξη εμπορικά βιώσιμων λύσεων για τον τομέα, ώστε να διευκολυνθεί η ανάπτυξη και έτσι να μειωθεί το κόστος. Αν και αυτή είναι μια προφανής προτεραιότητα για περαιτέρω έρευνα και θα ήταν προς όφελος των πολιτικών και των υπευθύνων για τη λήψη αποφάσεων, μια σύγκριση του πραγματικού κόστους ή της εξοικονόμησης και των αποδόσεων σε διαφορετικές εφαρμογές τεχνολογίας, δεν επιχειρείται εδώ για τους ακόλουθους λόγους: πρώτον, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι εφαρμογών και σχεδίων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης και σχεδίασης. Δεύτερον, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία σε πολλές περιπτώσεις για τα τελικά έξοδα και οφέλη. Τρίτον, υπάρχουν πολύ λίγα συγκριτικά στοιχεία για το άλλο κόστος των εξωτερικών λειτουργιών πλοίου / βιομηχανίας που θα χρειαζόταν για την παραγωγή πραγματικών ουσιαστικών δεδομένων για την υποστήριξη μιας συνολικής ανάλυσης του συνολικού κόστους και οφέλους.

Ο ρόλος και η έκταση της υιοθέτησης της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τον ναυτιλιακό τομέα ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την κλίμακα, τη λειτουργία και την επιχειρησιακή θέση του συγκεκριμένου σκάφους. Οι πάροχοι τεχνολογίας στον τομέα υποστηρίζουν ότι οι προσπάθειες έρευνας και καινοτομίας σχετικά με τη χρήση εναλλακτικών λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας μαζί με αποτελεσματικά σχέδια επιτυγχάνουν ήδη σημαντικά αποτελέσματα για άμεση και βραχυπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργειας για ορισμένες επιλεγμένες εφαρμογές. Η ανάλυση δείχνει σημαντικό μη πραγματοποιημένο δυναμικό μείωσης χρησιμοποιώντας επιλογές που φαίνεται να είναι αρνητικές ως προς το κόστος στις τρέχουσες και μελλοντικές τιμές καυσίμων. Ο μικρός αριθμός proof-of-concept πλοίων δοκιμής και επιχειρηματικής μοντελοποίησης για τους κορυφαίους μελλοντικούς υποψηφίους δείχνει λογικούς ρυθμούς απόδοσης της επένδυσης για πολλές εφαρμογές. Σε ολόκληρο τον τομέα, η εξοικονόμηση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα λόγω της ανάπτυξης ανανεώσιμων λύσεων ποικίλλει από το 100% περίπου (ολική αλλαγή καυσίμου σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) για σχέδια όπως το Greenheart, έως 0,05% (κύριος κινητήρας) και 1% (βοηθητικός κινητήρας) εξοικονόμηση ενέργειας από τον μεταφορέα αυτοκινήτων της NYK, τον Auriga Leader.

Για τα **μαλακά πανιά (soft sails)**, οι προβλέψεις του B9 Shipping και Fair Transport BV Ecoliner προβλέπουν πρόσθετο κόστος κατασκευής και συντήρησης μεταξύ 10-15% του συνολικού κόστους σε αντάλλαγμα για προβλεπόμενη εξοικονόμηση καυσίμων κατά 60%, σημαντικές μειώσεις στις κύριες φθορές κινητήρα και έλικα, καθώς και στο κόστος συμμόρφωσης με τα καύσιμα και τις πιθανές μελλοντικές εισφορές για την εμπορία εκπομπών. Το μοντέλο της Seagate προβλέπει εξοικονόμηση καυσίμου 9-19% με περίοδο αποπληρωμής 3-4 ετών για τα πτυσσόμενα πανιά της.



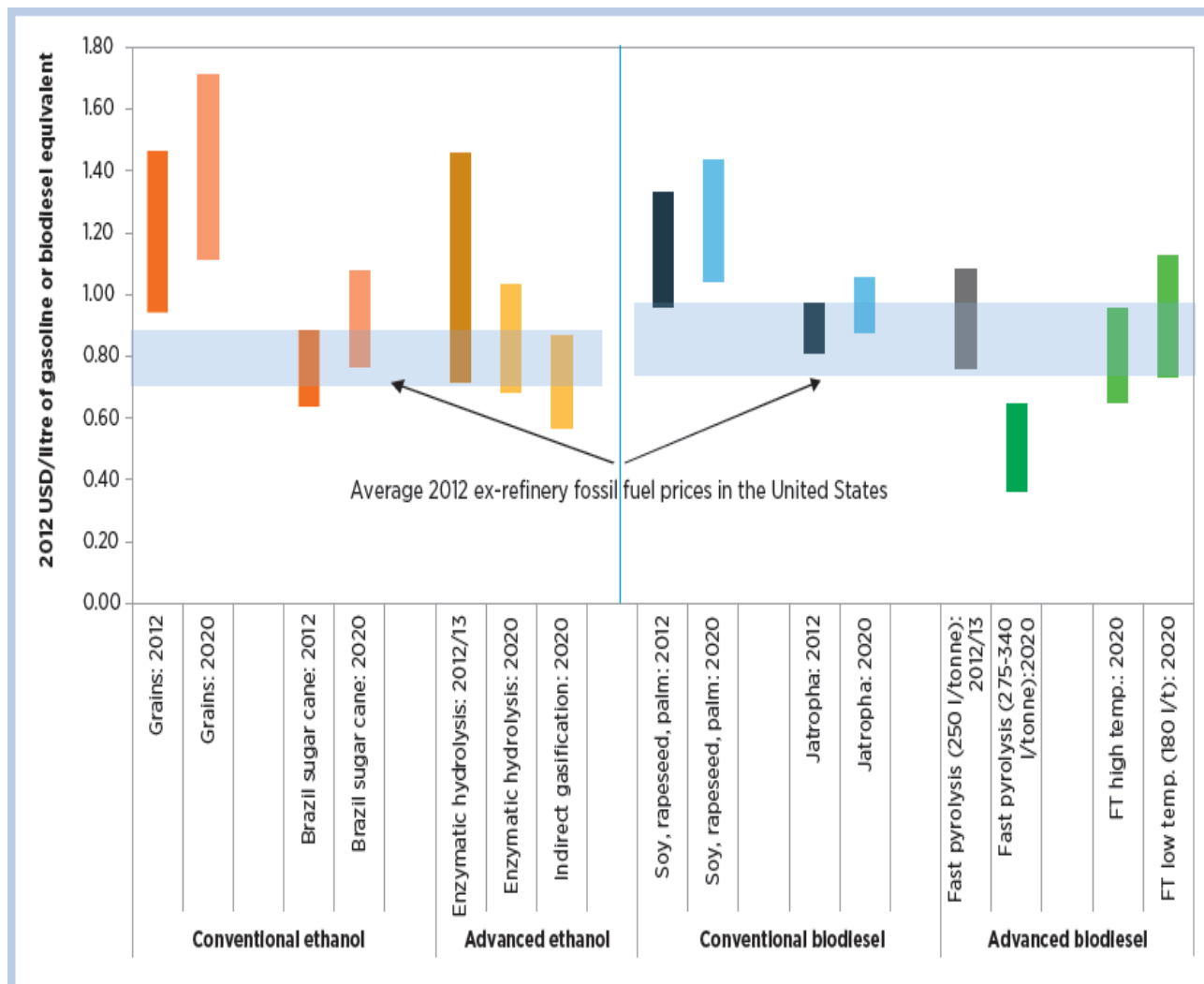
Για την τεχνολογία **σταθερών πτερυγίων**, η OCIUS Technology Ltd. ανέφερε την εξοικονόμηση καυσίμου κατά 5-100% ανάλογα με την εφαρμογή. Η εταιρεία ισχυρίζεται ότι με τον εκ των υστέρων εξοπλισμό των πλωτών πτερυγίων σε ένα μηχανοκίνητο ιστίο χωρίς να μεταβάλλει το πρωτεύον σύστημα πρόωσης ενός σύγχρονου δεξαμενόπλοιου ή φορτηγού πλοίου, οι πλοιοκτήτες μπορούν να αναμένουν εξοικονόμηση καυσίμου κατά 20-25% στις διασταυρούμενες ναυτιλιακές διαδρομές και 30-40% για διαδρομές στο ίδιο ημισφαίριο, - που αντιπροσωπεύουν μια εκτιμώμενη απόδοση επένδυσης μεταξύ ενός και δύο ετών στις τιμές καυσίμων του 2013. Το Oceanfoil αναμένει εξοικονόμηση καυσίμου 20% και εκτιμώμενη περίοδο αποπληρωμής 15-18 μηνών για το νέο σχεδιασμό του. Το Πανεπιστήμιο του Τόκιο προέβλεψε ότι, για το μικτής χωρητικότητάς 60 000 τόνων UT Wind Challenger, το κόστος καυσίμων θα μπορούσε να μειωθεί κατά το ένα τρίτο. Το EffSail, το οποίο αναπτύχθηκε από το έργο EffShip, έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε να αποδεικνύει ότι, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η εξοικονόμηση καυσίμων έως 40% θα μπορούσε να επιτευχθεί με μικρότερους χρόνους αποπληρωμής από τα kite sails και τους ρότορες βάσει απλοποιημένων οικονομικών παραδοχών.

Η χρήση της ιστιοπλοΐας με τη βοήθεια **kite sails** έχει επίσης αποδειχθεί ότι επιτυγχάνει εξοικονόμηση καυσίμων. Το σύστημα MS Beluga Skysails έσωσε 10-15% καυσίμου σε επιλεγμένα περάσματα. Ωστόσο, η ετήσια εξοικονόμηση κατανάλωσης στις περισσότερες διαδρομές είναι της τάξεως του 5,5%, όπως καθορίστηκε από το έργο Life της WINTECC που χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με τον άνεμο που προέρχεται από την ακτίνα προς την πρύμνη του πλοίου. Η τεχνολογία της πρόωσης μέσω kite sails θεωρείται ότι έχει **υψηλότερο κόστος συντήρησης** σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες αιολικής ενέργειας. Πρόσφατες μελέτες στο πλαίσιο του προγράμματος EffShip υπόσχονται εξοικονόμηση χρησιμοποιώντας βοηθητικά μηχανήματα σταθερής πτέρυγας, ρότορα και χαρταετούς για ένα Panamax (Effuthip, 2013a) και συγκρίσεις για πλοία με ρότορα και χαρταετούς στις υπερατλαντικές διαδρομές.

Στην περίπτωση της τεχνολογίας **ρότορα**, η ποσότητα της εξοικονόμησης καυσίμου μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του πλοίου. Έχουν ήδη επιτευχθεί εξοικονομήσεις έως και 60% για τα μικρά πλοία, ενώ μοντελοποιείται εξοικονόμηση μέχρι 19% για τους πολύ μεγάλους μεταφορείς αργού (VLCC). Παραδείγματος χάριν, η Enercon ανέφερε το 2013 ότι το πρωτότυπο πλοίο σκαφών ρότορα, το E-Ship 1, είχε επιτύχει εξοικονόμηση 25% μετά από 170 000 θαλάσσια μίλια. Το έργο Ulysses επικεντρώθηκε σε σενάρια ultra-slow steaming για να αποδείξει ότι η αποτελεσματικότητα του παγκόσμιου στόλου πλοίων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών κατά 80% μέχρι το 2050 έναντι των βασικών επιπέδων του 1990, με τα μελλοντικά πλοία να ταξιδεύουν σε ταχύτητες τόσο αργές όσο πέντε κόμβους. Σε ένα τέτοιο σενάριο, οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας θα μπορούσαν να διαδραματίσουν κριτήριο ρόλο.

Όσον αφορά τις επιλογές **βιοκαυσίμων** για τη ναυσιπλοΐα, παραμένουν περιορισμοί που συνδέονται με το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής και την κλίμακα που απαιτείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της ναυτιλίας και του ανταγωνισμού για τα καύσιμα από τους τομείς των οδικών, αεροπορικών και ακόμη και των σιδηροδρομικών μεταφορών. Το **κόστος παραγωγής** των συμβατικών και προηγμένων βιοκαυσίμων, όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα είναι γενικά ακόμη **υψηλό** σε σύγκριση με τη βενζίνη ή το ντίζελ, αν και σε μερικές διαδρομές είναι ήδη ανταγωνιστικό. Η πιθανότητα μείωσης του κόστους μέχρι το έτος 2020 είναι αρκετά αβέβαιη λόγω της προβλεπόμενης αύξησης των τιμών των τροφίμων, του χαμηλού δυναμικού αύξησης της αποδοτικότητας για τις τεχνολογίες βιοκαυσίμων πρώτης

γενιάς και της αβεβαιότητας όσον αφορά τις τεχνολογικές εξελίξεις για τα προηγμένα βιοκαύσιμα.



Κόστος παραγωγής για συμβατικά και εξελιγμένα βιοκαύσιμα (πηγή: IRENA, 2013)

## 6.2 Κίνητρα και δυναμικό

Οι εκπομπές από τον κλάδο της ναυτιλίας αναμένεται να αυξηθούν σύμφωνα με τη ζήτηση από τη ναυτιλία και να τριπλασιαστούν έως το 2050 εάν παραμείνουν ανεξέλεγκτες. Οι εκπομπές αυτές πρέπει να περιοριστούν προκειμένου να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση και να μετριαστούν οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος. Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL) έχει ορίσει υποχρεωτικά τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα που απαιτούν από τα πλοία να είναι πιο αποτελεσματικά στη χρήση

ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών. Οι απαιτήσεις αυτές τέθηκαν σε ισχύ το 2013. Ο ίδιος ο κλάδος έχει στόχους για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20% έως το 2020 και κατά 50% μέχρι το 2050 (ICS, 2013). Ως εκ τούτου, οι φορείς εκμετάλλευσης πλοίων πρέπει να εξετάσουν τα καθαρότερα καύσιμα και τις επιλογές ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την επίτευξη αυτών των στόχων. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η αύξηση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης παρέχουν τα μέσα για τη μείωση της έντασης ενέργειας και των εκπομπών αυτού του τομέα.

Έχουν προσδιοριστεί ορισμένες **οικονομικά αποδοτικές επιλογές τεχνολογίας** για νέα και υπάρχοντα πλοία και φορείς εκμετάλλευσης για τη **βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης** των πλοίων ή τη **μείωση της ενεργειακής τους έντασης**. Αυτές οι επιλογές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις ομάδες επιλογών, και συγκεκριμένα:

1. βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (δηλαδή αύξηση της παραγωγικότητας με την ίδια ποσότητα ενέργειας)
2. χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια)
3. με χρήση καυσίμων με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα (π.χ. LNG και βιοκαύσιμα) και
4. με τη χρήση τεχνολογιών μείωσης εκπομπών (π.χ. μέσω χημικής μετατροπής, δέσμευσης και αποθήκευσης).

Παρόλο που οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ο αποτελεσματικότερος μεταφορέας εμπορευμάτων ανά τόνο ανά χιλιόμετρο, υπάρχουν ακόμη σημαντικά κέρδη από πλευράς αποτελεσματικότητας με το κόστος των καυσίμων, σε μια παγκοσμίως ασταθή αγορά. Η ναυτιλιακή βιομηχανία εισάγει μέτρα απόδοσης με πρωτοφανή ρυθμό στην ιστορία της.

Ως εκ τούτου, παρόλο που καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες στο σχεδιασμό και τη λειτουργία πλοίων όλων των κλιμάκων για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, αυτά τα μέτρα από μόνα τους μπορεί να μην αρκούν για να μειώσουν σημαντικά τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η ανανεώσιμη ενέργεια είναι μία από μια σειρά εναλλακτικών / πρόσθετων πηγών ενέργειας διαθέσιμων για εφαρμογή στον τομέα αυτό. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τους **κινητήριους μοχλούς** που επηρεάζουν το δυναμικό ανάπτυξης λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας.

Drivers for Clean Energy Solutions in the Shipping Sector			
<b>Environmental</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Emissions reduction and pollution control</li> <li>● Climate change</li> <li>● Energy availability</li> <li>● Sustainability</li> <li>● Alternative fuels</li> <li>● Life cycle impact</li> <li>● Health and safety</li> <li>● Societal pressure</li> </ul>	<b>Technical</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Propulsion system</li> <li>● Engine technology</li> <li>● Fuel properties</li> <li>● Material properties</li> <li>● Information technologies</li> <li>● Energy storage</li> <li>● Hybrids and optimisation</li> </ul>	<b>Economic/Financial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fossil fuel price</li> <li>● Investment cost</li> <li>● Operational costs</li> <li>● Economic growth</li> <li>● Global trade</li> <li>● Economic integration</li> <li>● Incentives and market-based mechanisms</li> <li>● Financing mechanisms</li> <li>● Pricing and returns</li> <li>● Public/private partnerships</li> </ul>	<b>Policy and Regulatory</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Governance</li> <li>● Regulatory framework and enabling environment</li> <li>● Energy security</li> <li>● Investment in research and development</li> </ul>

**Κινητήριои μοχλοί που επηρεάζουν το δυναμικό ανάπτυξης λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας (πηγή IRENA, 2015)**

Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει τον παγκόσμιο ναυτιλιακό στόλο σε όλα τα επίπεδα και κλίμακες, συμπεριλαμβανομένων των διεθνών και εσωτερικών μεταφορών εμπορευμάτων, προσώπων και υπηρεσιών, αλιεία, τον τουρισμό και άλλες θαλάσσιες δραστηριότητες. Η μετάβαση σε έναν κλάδο θαλάσσιων μεταφορών με καθαρή ενέργεια απαιτεί, μεταξύ άλλων, σημαντική μεταστροφή από τις μεταφορές με ορυκτά καύσιμα σε ενεργειακά αποδοτικά σχέδια και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όσο νωρίτερα γίνεται αυτή η μετατόπιση, τόσο το καλύτερο. Το μέλλον ενός κλάδου βιώσιμης ναυτιλίας, συμπεριλαμβανομένων των λύσεων για τις λύσεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει επεξεργαστεί καλά. Η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα του ναυτιλιακού τομέα, ωστόσο, είναι σήμερα πολύ περιορισμένη και είναι πιθανό να παραμείνει έτσι στο εγγύς μέλλον. Παρόλα αυτά, οι προγραμματιστές παρουσιάζουν όλο και περισσότερα σχέδια και πιλοτικά σχέδια απόδειξης ιδεών που καταδεικνύουν σημαντικές εξοικονομήσεις σε ορισμένες εφαρμογές, έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα μεσοπρόθεσμης συμβολής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για επιλεγμένες εφαρμογές σε αυτόν τον τομέα, ο αριθμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι σημαντικός, ακόμη και κυρίαρχος. Από τις διάφορες επιλογές για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα προηγμένα **βιοκαύσιμα έχουν πολύ υψηλό δυναμικό μετατροπής των ενεργειακών επιλογών στον τομέα της ναυτιλίας από το 2030 και μετά.** Μέχρι τότε, η παραγωγή των περισσότερων βιοκαυσίμων, παρουσία μέτρων υποστήριξης

πολιτικής, αναμένεται να είναι ανταγωνιστική από άποψη κόστους και το μερίδιο των βιοκαυσίμων θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα των προσπαθειών για διπλασιασμό του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα. Ωστόσο, το δυναμικό των βιοκαυσίμων για τον τομέα της ναυτιλίας θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της παγκόσμιας διαθεσιμότητας βιώσιμης πρώτης ύλης για την παραγωγή της.

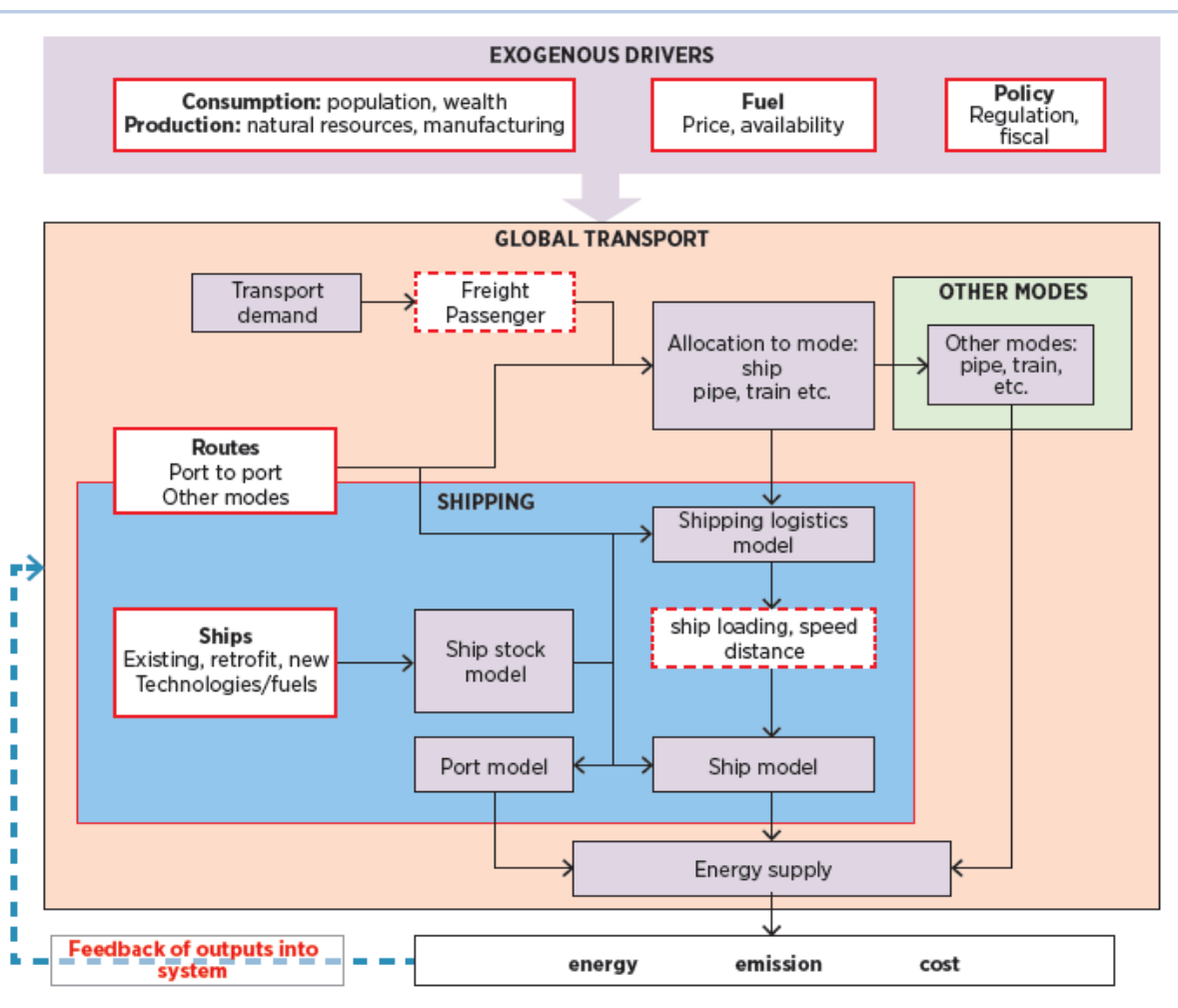
Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα πρώτης ύλης βιοκαυσίμων, οι τεχνολογίες πρώτης γενιάς, ενώ είναι βιώσιμες, είναι απίθανο να προσφέρουν σημαντικές επιλογές για τη ναυτιλία, με εξαίρεση τις κοινότητες με υψηλά πλεονάσματα βιολογικών πόρων ή / και εκτεταμένες αλυσίδες εφοδιασμού για την προμήθεια ορυκτών καυσίμων. Όσον αφορά τις δυνατότητες μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η εξοικονόμηση σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής είναι πολύ ευαίσθητη σε μια σειρά παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του τύπου των πρώτων υλών, των συνθηκών καλλιέργειας, της αλλαγής χρήσης της γης και της διαδικασίας εξευγενισμού.

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις από την άποψη της πρώτης ύλης, αλλά το δυναμικό τους είναι πολύ μεγαλύτερο, ιδίως για το βιομεθάνιο σε συνδυασμό με τις επενδύσεις υποδομής LNG που έχουν ήδη δρομολογηθεί ή έχουν προγραμματιστεί. Επιπλέον, τα τοπικά υπολείμματα βιομάζας και τα απόβλητα μπορούν επίσης να μεταποιηθούν σε θαλάσσιο υγρό βιομεθάνιο για να δημιουργήσουν ένα σύστημα κλειστού βρόχου για απομακρυσμένες εφαρμογές στις νησιωτικές κοινότητες. Το καύσιμο που προέρχεται από φυτά **τρίτης γενιάς** είναι ίσως το πιο ελπιδοφόρο βιοκαύσιμο για τη ναυτιλία, καθώς θα μπορούσε να παραχθεί σε στενή γειτνίαση με λιμένες και παράκτιες περιοχές και να ανταποκρίνεται στις τεχνικές απαιτήσεις και απαιτήσεις βιωσιμότητας. Όταν χρησιμοποιείται για τη ναυσιπλοΐα, η ανάπτυξη βιοκαυσίμων με βάση τα φύκια απαιτεί λιγότερη διύλιση σε σύγκριση με την ανάπτυξη για τους κλάδους των αερομεταφορών ή της αυτοκινητοβιομηχανίας, δεδομένου ότι οι σημερινοί πετρελαιοκινητήρες είναι καλά προσαρμοσμένοι στην καύση χαμηλότερης ποιότητας καυσίμου HFO. Ωστόσο, η τεχνολογία των βιοκαυσίμων με βάση τα φύκια βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη και παραμένουν αβεβαιότητες όσον αφορά τη διαθεσιμότητα και την επεξεργασία των φυκιών για σημαντικούς όγκους βιοκαυσίμων.

Οι **κυψέλες καυσίμου υδρογόνου** ως οδός ανανεώσιμης ενέργειας για τη ναυσιπλοΐα έχουν επίσης μεγάλες δυνατότητες, αλλά η βιωσιμότητα της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου καθώς και η έλλειψη οικονομικά αποδοτικών και αξιόπιστων επιλογών αποθήκευσης χαμηλής πίεσης για το καύσιμο παραμένουν κρίσιμα ζητήματα απευθύνεται. Συνολικά, το μεγαλύτερο δυναμικό έγκειται σε **συνδυασμό λύσεων** ανανεώσιμης ενέργειας που μεγιστοποιούν τη διαθεσιμότητα ενεργειακών πόρων και τη **συμπληρωματικότητα** αυτών των πηγών σε **υβριδικούς τρόπους**. Υπό αυτή την έννοια, η επίτευξη των δυνατοτήτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας απαιτεί μια **ολοκληρωμένη προσέγγιση μηχανικής** συστημάτων που να αντιμετωπίζει επίσης τα εμπόδια στην ανάπτυξη της. Μια τέτοια προσέγγιση συστημάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλα τα στοιχεία του σχεδιασμού των πλοίων, της ναυπηγικής και της μηχανικής ελέγχου, καθώς και επιχειρησιακές πρακτικές και πρότυπα και επίπεδα εμπορίου. Έτσι, μπορούν να επιτευχθούν αποτελεσματικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα και τη μείωση των εκπομπών. Όμως, οποιαδήποτε μείωση των εκπομπών πρόωσης και εξοικονόμησης ενέργειας δεν θα πραγματοποιηθεί με την αύξηση των επιβλαβών εκπομπών σε χερσαίες πηγές που παράγουν είτε την μηχανή προώθησης είτε το καύσιμο. Με την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία να κυριαρχείται όλο και περισσότερο από μεγαλύτερα

πλοία και όλο και μεγαλύτερες ναυτιλιακές οντότητες, οι δυνατότητες εξοικονόμησης κόστους και μείωσης των εκπομπών αντιμετωπίζουν **περιορισμούς**. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ευκαιρίες σημαντικής εξοικονόμησης, ιδίως σε **επίπεδο μικρού και μεσαίου σκάφους**.

Καθώς αυξάνεται το ενεργειακό κόστος για εφαρμογές ορυκτών καυσίμων, βελτιώνεται σημαντικά η περίπτωση χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας για επιλεγμένες εφαρμογές. Η μοντελοποίηση των υπολογιστών δείχνει τις ευκαιρίες και την οικονομική αποδοτικότητα των διαφόρων τεχνολογιών, ειδικά όταν συνδυάζονται με μέτρα αποδοτικότητας, τεχνολογικά και λειτουργικά. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει τον τρόπο με τον οποίο οι εξωγενείς οδηγοί του παγκόσμιου συστήματος μεταφορών μπορούν να διαμορφωθούν για τον προσδιορισμό οικονομικά αποδοτικών λύσεων χαμηλών εκπομπών για τον τομέα της ναυτιλίας. Το δυναμικό για μεγαλύτερη διείσδυση λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις επιλογές ενέργειας της ναυτιλίας θα αυξηθεί σημαντικά μόλις αποδειχθεί σαφώς η **εμπορική βιωσιμότητά** τους και καταβληθούν προσπάθειες για την παρακίνηση των επενδύσεων και την άρση των φραγμών ανάπτυξης.



(πηγή IRENA, 2015)

Ειδικότερα, οι πολιτικές υποστήριξης και τα κίνητρα για την προώθηση της έρευνας, της καινοτομίας και των εφαρμογών είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου οι λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να καταλήξουν σε εμπορική βιωσιμότητα. Ενώ η συμβατική ναυτιλία σε καθιερωμένες και καλώς διανυθείσες διαδρομές φαίνεται πιθανό να μεταβεί στο LNG ως ορόσημο για μακροπρόθεσμα καύσιμα όπως το υδρογόνο και το μεθάνιο, πρέπει να εξεταστεί ξεχωριστά η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε γραμμές όπου η εναλλακτική τροφοδοσία μπορεί να είναι οικονομικά απαγορευτική. Τέτοιες διαδρομές περιλαμβάνουν εκείνες που συνδέουν πολλά μικρά νησιά και άλλες λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες. Αυτές οι διαδρομές εξυπηρετούνται κυρίως από μικρότερα (και γενικά παλαιότερα) πλοία, τα οποία είναι πολύ λιγότερο αποδοτικά όσον αφορά τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά ανά τόνο και που αποτελούν ταυτόχρονα τους μεγαλύτερους αναλογικούς εκπομπούς ρύπων. Με μια σειρά οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών διαθέσιμων για τέτοιες υπηρεσίες, είτε ως εκσυγχρονισμένες είτε ως νέες κατασκευές σχεδιασμού, πρέπει να καταβληθούν σημαντικές προσπάθειες και μέτρα στήριξης για να αποδειχθεί και να αυξηθεί ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών στη ναυτιλία. Σε πρώτο στάδιο, η στήριξη θα πρέπει να επικεντρωθεί σε μικρά πλοία (κάτω από 10000 τόνους νεκρού βάρους) τα οποία επικρατούν παγκοσμίως, μεταφέροντας λιγότερο το συνολικό φορτίο, αλλά εκπέμποντας περισσότερα αέρια θερμοκηπίου ανά μονάδα φορτίου και απόσταση που διανύθηκε, σε σύγκριση με μεγαλύτερα πλοία.

### 6.3 Περιορισμοί και εμπόδια

Τα εμπόδια στην υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας είναι πολύπλοκα, αλλά μπορούν να ταξινομηθούν κυρίως σε **οργανωτικούς / διαρθρωτικούς**, **εμπορικούς και μη εμπορικούς** παράγοντες. Τα εμπόδια αυτά συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Η πολυπλοκότητα των φραγμών στην ανάπτυξη λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας αντανακλά εν μέρει τον μοναδικό και **διεθνή χαρακτήρα** της βιομηχανίας, με τους βασικούς περιορισμούς και παράγοντες που ξεπερνούν το πεδίο εφαρμογής των μεμονωμένων κρατών καθώς και το **πολιτικό** και ρυθμιστικό πλαίσιο που απαιτείται για την αντιμετώπιση των εν λόγω φραγμών.

Όσον αφορά τους οργανωτικούς, διαρθρωτικούς και συμπεριφορικούς φραγμούς, η περιορισμένη χρηματοδότηση της E & A, ιδίως για τις αρχικές τεχνολογίες απόδειξης της ιδέας, αποτελεί σημαντικό παράγοντα, μαζί με τις **ανησυχίες των πλοιοκτητών** σχετικά με τον κίνδυνο κρυφών και πρόσθετων δαπανών, καθώς και το κόστος των λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα δεδομένου ότι, ιστορικά, υπήρξε έλλειψη αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με το κόστος και την ενδεχόμενη εξοικονόμηση συγκεκριμένων επιχειρησιακών μέτρων ή λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας για τον εν λόγω τομέα.

Όσον αφορά τα **εμπόδια στην αγορά**, το θεμελιώδες πρόβλημα είναι το κίνητρο διάσπασης μεταξύ πλοιοκτητών και μισθωτών, όπου τα έξοδα και τα οφέλη δεν επιβαρύνουν πάντοτε το επενδυτικό μέρος και συνεπώς οι αποταμιεύσεις δεν μπορούν να ανακτηθούν πλήρως εξαιτίας των διαφορών στους τύπους των ναύλων σε συγκεκριμένους τομείς. Αυτό μειώνει το κίνητρο των ιδιοκτητών να επενδύσουν σε λύσεις καθαρής ενέργειας. Δεν υπάρχει καμία συναίνεση σχετικά με το κατά πόσον η ευθύνη και το κόστος της αλλαγής στις επιλογές ανανεώσιμης ενέργειας για τη ναυτιλία πρέπει να βαρύνουν τον πλοιοκτήτη ή τον μισθωτή. Εκτός από το ζήτημα της διάσπασης των κινήτρων, ένας χώρος μεταξύ των νορβηγικών

ναυτιλιακών εταιρειών σχετικά με τα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών διαπίστωσε ότι οι επιχειρησιακοί μηχανισμοί (π.χ. μειώνοντας τις ταχύτητες, τις επιδόσεις του ταξιδιού, τις βασικές βελτιώσεις του κινητήρα και την τεχνολογία μείωσης της έλξης) υλοποιήσιμες λύσεις. Τα τεχνικά μέτρα, όπως η εισαγωγή ανανεώσιμων λύσεων (π.χ. κυψέλες καυσίμου, αιολική ενέργεια, υγροποιημένο βιομεθάνιο και ηλιακά φωτοβολταϊκά) αναγνωρίστηκαν ως εκείνα με τα υψηλότερα εμπόδια στην εφαρμογή.

Ένα άλλο εμπόδιο είναι η **απειλή του ρίσκου** των επενδυτών στον τομέα, ιδίως μετά την κατάρρευση της ναυτιλιακής έκρηξης του 2006. Επιπλέον, ο τομέας της ναυτιλίας είναι ένας τομέας χαμηλής ορατότητας για τον μέσο άνθρωπο, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει **λιγότερη κοινωνική πίεση** στη βιομηχανία για τη μετάβαση σε καθαρότερες ενεργειακές λύσεις. Από τους μη εμπορικούς φραγμούς, οι διάφορες κλάσεις και κλίμακες των πλοίων, οι αγορές και οι εμπορικές διαδρομές που εξυπηρετούνται και η έλλειψη πρόσβασης σε κεφάλαια αποτελούν μερικά από τα βασικά εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Όσον αφορά τους μη εμπορικούς φραγμούς ανεπάρκειας της αγοράς, το βασικό ζήτημα είναι η έλλειψη **χρηματοδότησης** της E & A, ιδίως για τις αρχικές τεχνολογίες απόδειξης ιδεών. Υπάρχει περιθώριο για συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα (PPP) στη ναυτιλία, αλλά η ανάπτυξη αυτών των εταιρικών σχέσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Πολλές επενδυτικές διαδικασίες σε έργα μεταφορών βασίζονται σε *δύο κύριες ροές κεφαλαίων*: δημόσια προγράμματα και ιδιωτικές επενδύσεις. Σε συνδυασμό, δημιουργούν τη βάση για τις συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα. Κάθε ένα από αυτά αποτελείται από διάφορα χρηματοδοτικά εργαλεία, όπως για παράδειγμα όλα τα δημόσια προγράμματα της ΕΕ κατανέμουν πόρους για έργα που υπάγονται σε διαφορετικά συστήματα (π.χ. επιδοτήσεις που χορηγούνται κατόπιν πρόσκλησης υποβολής προτάσεων, επιχορηγήσεις χωρίς πρόσκληση υποβολής προτάσεων και επιχορηγήσεις που χορηγούνται βάσει "για τα ειδικά προγράμματα). Ένας άλλος μη εμπορικός φραγμός είναι η έλλειψη αποτελεσματικής τεχνολογίας για τη μεταφορά τεχνολογίας πράσινης ναυτιλίας.

Η πρόσφατη έκθεση του Γενικού Γραμματέα των Ηνωμένων Εθνών με τίτλο "Επιλογές για τη διευκόλυνση της ανάπτυξης, μεταφοράς και διάδοσης καθαρών και περιβαλλοντικά ορθών τεχνολογιών" διαπίστωσε ότι τα κράτη μέλη και τα ενδιαφερόμενα μέρη συμμερίζονται τον στόχο της επιτάχυνσης της τεχνολογικής διευκόλυνσης, αλλά υπήρχαν διαφορές στις λεπτομέρειες και τις προσεγγίσεις. Στον τομέα της ναυτιλίας, η 65η σύνοδος της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO υιοθέτησε ψήφισμα σχετικά με την τεχνική συνεργασία για μέτρα ενεργειακής απόδοσης. Το ψήφισμα ζητεί από τον Οργανισμό, μέσω των διαφόρων προγραμμάτων του, να παράσχει τεχνική βοήθεια στα κράτη μέλη ώστε να καταστεί δυνατή η συνεργασία για τη μεταφορά ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. καθώς και να βοηθήσουν περαιτέρω στην άντληση κεφαλαίων για την ενίσχυση των ικανοτήτων και την υποστήριξη των κρατών, ιδίως των αναπτυσσόμενων κρατών, τα οποία ζήτησαν μεταφορά τεχνολογίας. Μακροπρόθεσμα, η μεταφορά τεχνολογίας που προκύπτει από μια τέτοια τεχνική συνεργασία θα πρέπει να συμβάλλει στην πράσινη ναυτιλία σε όλους τους τομείς και τις οικονομίες.



Τέλος, κλείνοντας ακολουθούν ορισμένοι πίνακες (πηγή: IRENA, 2015) που συνοψίζουν τους κύριους φραγμούς και εμπόδια στην εφαρμογή τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και πίνακες που δείχνουν τα **οφέλη και το δυναμικό** που αναπτύσσεται στην ναυτιλία από την υιοθέτηση των εν λόγω τεχνολογιών.

Barriers	Examples	Key Actors	Approaches/Solutions
<b>Organisational/ Structural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● North/South power dynamic</li> <li>● Political and legislative structures</li> <li>● Conservative culture</li> <li>● Fragmented and/or incremental approach</li> <li>● Focus on large versus small vessel sectors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● International Maritime Organisation, International Chamber of Shipping</li> <li>● Classification societies</li> <li>● Banks and financial Institutions</li> <li>● National/International governments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lobbying for sustainable shipping incentives</li> <li>● Establish a clear, stable legal and regulatory framework</li> <li>● Develop multi-stakeholder technology research and development programmes</li> <li>● Sustainable shipping projects in developing markets</li> </ul>
<b>Behavioural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Perceptions of complexity and cost of solutions</li> <li>● Investment and innovation inertia</li> <li>● Lack of reliable information re true cost of solutions</li> <li>● Lack of awareness of viable solutions and their scope</li> <li>● Limited R&amp;D transparency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Technology providers</li> <li>● Shipbuilders</li> <li>● Academics</li> <li>● Seafarers</li> <li>● Policy makers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Demonstration/pilot commercial programmes</li> <li>● Independent research “think tanks”</li> <li>● Training, education programmes</li> </ul>
<b>Market Failures</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Principal-agent problem as a result of information asymmetry</li> <li>● Split incentives</li> <li>● Lack of policy and regulatory framework and market incentives</li> <li>● Long investment horizons and vested interests</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Policy makers</li> <li>● Ship owners</li> <li>● Ship operators/ charterers</li> <li>● Technology providers</li> <li>● Investors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Charter changes/adjustments</li> <li>● Eco-labelling initiatives (industry and consumer)</li> <li>● Increased transparency and investment analysis</li> <li>● Market-based mechanisms and initiatives</li> <li>● Accurate long-term energy needs assessment</li> <li>● Cradle-to-grave analysis</li> </ul>
<b>Non-Market Failures</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Technical uncertainty and complexity of solutions</li> <li>● Lack of R&amp;D investment</li> <li>● Safety and reliability issues</li> <li>● Hidden costs</li> <li>● Access to capital</li> <li>● Lack of risk management</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● All shipping actors</li> <li>● Ports and logistics owners</li> <li>● Local/national governments</li> <li>● Investors, banks and other financial institutions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Increasing PPP collaboration</li> <li>● Demonstration projects/ships</li> <li>● Development of innovative financial systems</li> <li>● Sharing risk through multi-stakeholder developments</li> <li>● Promotion of technology transfer</li> </ul>

Economic - Direct		Economic - Indirect		Environment/Social	
Significant fuel cost reductions	Further increased with other efficiency measures (e.g., slow steaming, voyage routing, hull design)	Increased resilience	Resilience to climate change, fuel shocks and other externalities when energy costs are reduced and energy security is increased.	Substantially reduced emissions	Lower CO <sub>2</sub> emissions and potential to eliminate SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , particulate matter
Increased stability and security in energy prices and supply	Forecasting and decreasing investment risks over the medium- to long-term	Potential to revitalise uneconomical routes	Stimulating local/ regional growth and increasing trade system access	Less risk of spills	Less fuel and reduced environmental damage from spills (biofuels are biodegradable, etc.)
Reduction in wear and tear, increased stability	Wind energy as an auxiliary to other propulsion significantly reduces engine, transmission and propeller wear and increases vessel stability	Stimulation for new and existing industries	Advanced technology systems (e.g. PV, navigation software, design); manufacturing (e.g. new engines, ship-building); new energy solutions (e.g. biofuel and waste feedstock sector); and trade in general	Decreased marine noise	Use of wind/wind-assist, electric motors
Maintenance of resale and chartering value	Through marine vessel eco-labelling schemes and compliance with future emissions regulations	Shake up/ increase of competition in the energy supply chain	Bunkering agents (competition) and ship owners (choice - mix of fuels, various energy investment options)	Health benefits	Contribution to the reduction in shipping emissions-related deaths (approx. 60 000 per year) and ill-health
Potential for reduced port fees and local/ regional levies	Through reduced emissions and energy demand	Reduction of wider economic impact of emissions on health	Workdays lost through shipping emissions-related deaths (approx. 60 000 per year) and ill-health; reduced social and healthcare costs	Health and safety benefits on-board	For both passengers and crew: cleaner environments, lower emissions, less flammable material carried, etc.
		Eligible for market-based mechanisms	Carbon credits and other market-based incentives	Inspiration	Renewable energy technologies bring new challenges to ship designers, engineers and shipping industry in general, helping to attract talent and retain expertise in the sector
		Eco-branding	Marketing opportunities	Aspiration	Renewable energy in shipping feeds into the green-growth agenda, creating opportunities for employment and training, new business and opening up innovation and entrepreneurial space, especially in regions under-served by the existing shipping network (e.g. Pacific Islands, Least Developed Countries)

Renewable energy type	Retrofit (RF)/ New Build (NB)	Vessel category, application, examples and potential								
		< 400 tonnes e.g., recreation, artisanal/ small fishery, tourism, pas- senger, break, landing craft, barges, research, coastal patrol and security		400 - <10 000 tonnes e.g., large landing craft, small-medium fishery, domestic Ro-Ro, break bulk, bulk, container, tanker, tramp		10 000 - <50 000 tonnes e.g., Ro-Ro, deep sea fish- ery, bulk, container, tanker, car carrier, cruise liner		>50 000 tonnes e.g., Very Large Crude Car- riers (VLCCs), Panamax, Aframax, large container ships		
Wind	Soft sails	RF	●●●	<i>Na Mataisau, Kwai, Avel Vor</i>	●●●	Seagate deltasail	●●●	Seagate deltasail	●●	Seagate deltasail (up to 100 000 tonne)
		NB	●●●	<i>Greenheart</i>	●●●	<i>B9, Rainbow Warrior 3, Maltese Falcon (Dynarig), Maruta Jaya (Indosail), Atlantic Clipper</i>	●●●	<i>Ecoliner, B9</i>	●●	<i>Bulker-1</i>
	Fixed wings	RF	●●		●●	<i>Shin Aitoku Maru, Ashington, Oceanfoil wingsail</i>	●●	<i>Usuki Pioneer, Oceanfoil wingsail</i>	●	Oceanfoil wingsail
		NB	●●	OCIUS - short run passenger	●●●	Propelwind	●●●	<i>UT Challenger, OCIUS, Orcelle Ecomarine</i>	●●	<i>UT Challenger, OCIUS, Ecomarine</i>
	Rotors	RF	●●	<i>Tracker</i>	●●	<i>Bacau</i>	●●	Numerous applica- tions	●●	
		NB	●●●	<i>UniKat</i>	●●●	<i>Barbara</i>	●●●	<i>E-Ship 1</i>	●●	Magnuss (telescopic)
	Kites	RF/NB	●●	Beyond the Sea	●●	SkySails, Beyond the Sea, <i>Beluga</i>	●●	SkySails, Beyond the Sea	●	Beyond the Sea
Turbines	RF/NB	●	Ancillary power only	●	Ancillary power only	●	Ancillary power only	●	Ancillary power only	
Solar photovoltaics	Main	RF	N/A	Small outboard/in-board, short run	N/A					
		NB	●	Lagoon, tourism	N/A	Theoretical only	N/A		N/A	
	Auxiliary	RF	●●		N/A		●	<i>Auriga Leader</i>	N/A	
		NB	●●	OCIUS - short run passenger	N/A		●		N/A	
Ancillary	RF/NB	●●		N/A		●	<i>Auriga Leader</i>	N/A		

Biofuels	1st Generation	RF	●●	High technological feasibility. Cost effectiveness unproven. Environmental sustainability of feedstock issues	●●	High technological feasibility. Cost effectiveness unproven. Environmental sustainability of feedstock issues	●●	<i>Jewel of the Sea, Anna Desgagnes.</i> Cost effectiveness unproven. Environmental sustainability of feedstock issues	●	High technological feasibility. Cost effectiveness unproven. Environmental sustainability of feedstock issues
		NB	●●	As above	●●	<i>Meri.</i> As above	●●	As above	●	As above
	2nd Generation	RF	N/A		N/A		N/A		N/A	
NB		●●●	High technological feasibility	●●●	<i>B9.</i> High technological feasibility	●●●	High technological feasibility	●●	High technological feasibility	
3rd Generation	RF	N/A		N/A		N/A		N/A		
	NB	●●●	Upcoming technology	●●●	Upcoming technology	●●●	Upcoming technology	●●	Upcoming technology	
Wave	Main	NB	●	Unmanned research RCVs	N/A		●	<i>Orcelle</i>	N/A	
	Auxiliary	NB	●	Theoretical concept only	N/A		●	<i>Orcelle</i>	N/A	
Electric	Super-capacitor	NB	●	Short run - limited geographical range	●	Short run - limited geographical range	N/A		N/A	

### Keys:

#### Current Application

This colour key provides a measure of the market status of each renewable energy technology

●●●	In commercial use
●●●	Proven
●●●	Proof-of-concept
●●●	Design
●●●	Concept
●●●	Uncertain

#### Potential Application

This black-dot designation provides a crude assessment of overall potential benefits of each renewable energy technology in terms of economics (e.g. Does it offer improved economic performance for the end user? Is it easy to adopt/adapt?), environment (What CO<sub>2</sub> savings are likely? How is embedded CO<sub>2</sub> managed?) and social factors (Is the technology suitable for cultural/societal development? Does it support development or create community resilience?).

●●●	High potential (Scores well on all three metrics: economic, environmental and social)
●●	Medium potential (Scores on two of the three metrics)
●	Limited (Scores on only one of the three metrics)
N/A	Not available

## 6.4 Εναλλακτικές λύσεις συμμόρφωσης – μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η επιστημονική κοινότητα εξετάζει τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, με σκοπό την ικανοποίηση της ανάγκης πρόωσης των πλοίων. Κρίνεται σκόπιμη η αναφορά των καυσίμων εκείνων, που είναι πολύ πιθανόν να τεθούν σε εφαρμογή. Ορισμένα από τα καύσιμα ήδη έχουν υιοθετηθεί σε πλοία. Παρόλο που το ποσοστό των πλοίων αυτών, σε σχέση με τον παγκόσμιο στόλο είναι μικρό, το ενδιαφέρον εξέλιξης σήμερα είναι έντονο.

Το **καύσιμο LNG** που έχει τεθεί ήδη σε εφαρμογή, αποτελεί μια αποδοτική πηγή ενέργειας και παρουσιάζει εξαιρετική απόδοση όσο αφορά την πρόωση του πλοίου. Η εξέλιξη της εφαρμογής έχει ήδη υποστηριχθεί από τις κατασκευάστριες εταιρίες μηχανών. Ωστόσο, οι υπάρχουσες μονάδες ανεφοδιασμού δεν επαρκούν για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες παγκοσμίως.

Το **LPG (Liquid Petroleum Gas)**. Το καύσιμο αυτό εμφανίζει δυσκολίες και επικινδυνότητα στην μεταφορά, τη χρήση και την αποθήκευσή του αφού είναι εξαιρετικά εύφλεκτο. Τα δύο κύρια φυσικά χαρακτηριστικά του LPG, είναι ότι υγροποιείται σε θερμοκρασία υψηλότερη από το LNG και είναι βαρύτερο από τον αέρα.

Ένα ακόμα καύσιμο που έχει εξετασθεί είναι το **CNG – Compressed Natural Gas**. Το καύσιμο αυτό, απαιτεί διπλάσιο όγκο δεξαμενών συγκριτικά με το καύσιμο LNG, για την κάλυψη ίδιων αναγκών. Το γεγονός αυτό δημιουργεί αμφιβολίες για μελλοντική ένταξη του στα ναυτιλιακά καύσιμα.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία αποβλέπει στη χρήση **βιοαερίου** (καύσιμο με πρώτη ύλη αγροτοβιομηχανικά απόβλητα). Υπάρχουν ενδείξεις αυξημένης διαθεσιμότητας βιοαερίου στο μέλλον. Επιπλέον, σημειώνεται ότι ο απαιτούμενος εξοπλισμός επί του σκάφους για τη χρήση του βιοαερίου, είναι παρόμοιος με αυτόν του καυσίμου LNG.

Όσο αφορά το **υδρογόνο** ως εναλλακτική μορφή ενέργειας, οι μελετητές επισημαίνουν ότι το καύσιμο δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω μελέτη, καθώς προς το παρόν το καύσιμο αυτό, λαμβάνεται από υδρογονάνθρακες και νερό με τη κατανάλωση, άλλων ενεργειακών πηγών. Η περίπτωση του υδρογόνου παρουσιάζει μειονεκτήματα στο γεγονός ότι απαιτεί εξαπλάσιο αποθηκευτικό όγκο σε σχέση με το LNG, για την κάλυψη ίδιων αναγκών. Σημειώνεται ότι τόσο η παραγωγή του, όσο και η αποθήκευσή του, βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο.

### Επιλεγμένα μέτρα μείωσης εκπομπών

Υπάρχει μια σειρά **λειτουργικών και τεχνικών μέτρων** μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά από την άποψη του κόστους (20). Τα μέτρα με αρνητική σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας δημιουργούν ένα καθαρό κέρδος κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Τα **τεχνολογικά μέτρα** για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> αφορούν αλλαγές στη γάστρα (hull), την έλικα ή τη μηχανή του πλοίου. Οι παρεμβάσεις στη **γάστρα** του πλοίου έχουν σκοπό να μειώσουν τις δυνάμεις (αντιστάσεις) που αντιτίθενται στην κίνηση του πλοίου. Μία

από τις μεθόδους για να μειωθεί η αντίσταση του νερού είναι η βελτιστοποίηση του σχήματος της γάστρας. Από αυτό επωφελούνται κυρίως τα μικρότερα πλοία, διότι δημιουργούν σχετικά μεγαλύτερη αντίσταση λόγω κυματισμού σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα πλοία. της χρήσης ελαφρύτερων υλικών, μειώνει τη βρεχόμενη επιφάνεια και συνεπακόλουθα την αντίσταση με το νερό. Το δυναμικό μείωσης από την ελαφριά κατασκευή φτάνει το 7% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν περιορισμοί, λόγω των απαιτήσεων αντοχής και ασφάλειας του πλοίου. Η αντίσταση τριβής της γάστρας του πλοίου με το νερό κατά την κίνησή του μπορεί επίσης να μειωθεί με τη χρήση κατάλληλων, ολισθηρών επιχρισμάτων.

Η **έλικα** του πλοίου μπορεί να βελτιστοποιηθεί, ώστε να επιτευχθεί υδροδυναμικός σχεδιασμός. Γενικά, αναφέρεται ότι η απόδοση της έλικας βελτιώνεται όταν αυξάνεται η διάμετρος των πτερυγίων και μειώνεται ο αριθμός των περιστροφών ανά λεπτό (rpm). Ιδανικά, ο αριθμός των πτερυγίων θα πρέπει να ελαχιστοποιείται, ώστε να μειώνεται η επιφάνεια και η αντίσταση της τριβής. Περιοριστικοί παράγοντες στον σχεδιασμό της έλικας είναι το βύθισμα του πλοίου και η μηχανική φόρτιση στην έλικα. Βελτιστοποίηση της απόδοσης της έλικας επιτυγχάνεται επίσης και μέσω της βέλτιστης επιλογής επιχρίσματος

Ένα παράδειγμα βελτιστοποίησης είναι οι ομοαξονικές, αντίθετα περιστρεφόμενες έλικες (coaxial contra-rotating propeller). Η πρυμναία έλικα ανακτά μέρος της περιστροφικής ενέργειας των ρευμάτων από την μπροστινή έλικα. Οι δύο έλικες περιστρέφονται αντίθετα. Η διάταξη είναι ιδιαίτερα επωφελής για έλικες με βαρύ μηχανικό φορτίο και τα καλύτερα αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε περιπτώσεις γρήγορων φορτηγών πλοίων, Ro-Ro και πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Οι έλικες αυτές προσφέρουν μείωση στην κατανάλωση καυσίμων της τάξης του 6-20%.

Μια κρίσιμη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη είναι ότι η έλικα θα πρέπει να μπορεί να αντεπεξέλθει στο πολύ βαρύ μηχανικό φορτίο που δέχεται, ιδιαίτερα σε τρικυμιώδεις θάλασσες.

Τέλος, οι **βελτιώσεις στις μηχανές** του πλοίου περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας καύσης, ώστε να μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου. Ένα παράδειγμα τέτοιας τεχνολογίας αποτελεί το σύστημα ψεκασμού καυσίμου common rail, που βελτιστοποιεί την έγχυση του καυσίμου, ιδιαίτερα στα χαμηλά φορτία της μηχανής

### **Μέτρα για τη βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης:**

- Γυάλισμα Έλικας για εξοικονόμηση καυσίμων - Propeller Polishing for Fuel Saving  
Μια μέθοδος είναι η περιοδική στίλβωση της έλικας του πλοίου, η οποία ήδη πραγματοποιείται και μπορεί να οδηγήσει σε μείωση 2-5% των εκπομπών.
- Μετρητή Ροπής του Συστήματος - Torque Meter Installation
- Χρήση ομογενοποιητών καυσίμου - Use of Fuel Oil Homogenizers
- Συστήματα Διαχείρισης Ισχύος - Power Management System
- Συστήματα Ανάκτησης θερμότητας - Waster Heat Recovery

Η αύξηση της απόδοσης της μηχανής μπορεί επίσης να γίνει με ανάκτηση της θερμότητας. Στις ναυτικές προωστήριες μηχανές, κατά τη διάρκεια της καύσης, πάνω από το 50% της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ανάκτησης της θερμότητας αυτής και μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, η συνολική κατανάλωση καυσίμου στο πλοίο μειώνεται κατά 8-10%. Πλοία με μεγάλες κύριες μηχανές και με υψηλές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, όπως για παράδειγμα τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων-ψυγείων, μπορούν να επωφεληθούν από τη λύση αυτή.

- Εξοπλισμός και συστήματα τακτικής συντήρησης και Παρακολούθησης - Hardware Systems for Regular Maintenance and Monitoring
- Παρακολούθηση απόδοσης κύριας μηχανής και ηλεκτρομηχανής - M/E and D/G Performance and Consumption

Η ακριβής και τακτική παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε όλο τον στόλο μπορεί να αναδείξει τις ανεπάρκειες, για την παροχή ενός μηχανισμού συνεχούς βελτίωσης. Η κοινή χρήση των δεδομένων χρήσης ενέργειας σε ένα στόλο μπορεί να εξομαλύνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των πληρωμάτων, προς βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης.

- Συσκευές παρακολούθησης των αέριων εκπομπών - Emissions Monitoring Devices
- Παρακολούθηση και Συντήρηση των υφάλων του πλοίου - Hull Maintenance . Το περιοδικό καθάρισμα των υφάλων του πλοίου για την αποτροπή της βιορύπανσης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών κατά 1-10%.

- Επιλογή του βέλτιστου θαλάσσιου δρόμου - Weather Routing

Η ποικιλία καιρικών συνθηκών, ρευμάτων και το βάθος κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού έχουν επιπτώσεις στην ταχύτητα του πλοίου. Επιλέγοντας τη δρομολόγηση σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες μπορεί να επιτευχθεί οικονομία στα καύσιμα άρα μείωση εκπομπών καυσαερίων. Είναι τεχνική που μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη πληροφόρηση των καιρικών συνθηκών και μελέτη της βέλτιστης διαδρομής ταξιδιού για το πλοίο λαμβάνοντας υπ' όψιν παραμέτρους όπως η ασφάλεια του πλοίου, του φορτίου και των επιβαίνοντων.

- Ακριβής Χρόνος Αύξησης - Just In Time
- Βέλτιστη κατανομή Φορτίου/Έρματος - Optimum Trim and Ballast

Η **μείωση της αντίστασης** του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος είναι η βελτιστοποίηση της κατανομής φορτίου και έρματος. Η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου με τον τρόπο αυτό εκτιμάται στο 0,5-2%. Επιπλέον, λαμβάνονται γενικά μέτρα βελτιστοποίησης του ταξιδιού που μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων. Ένα τέτοιο μέτρο αποτελεί η βελτιστοποίηση της φόρτωσης του πλοίου, ώστε να χρειάζονται λιγότερα πλοία για τη μεταφορά του ίδιου φορτίου. Αυτό οδηγεί σε μείωση των εκπομπών ανά τόνο-χιλιόμετρο και σε μείωση των συνολικών εκπομπών, αν διατηρηθεί ο μειωμένος αριθμός πλοίων, πράγμα που όμως εξαρτάται από τη μεταφορική ζήτηση.

- Βελτιστοποίηση της ταχύτητας - Speed Optimization

Κατά την επιλογή της σχεδιαζόμενης βέλτιστης ταχύτητας λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες. Αυτοί περιλαμβάνουν: την προσδοκία των ναυλωτών, τις συνθήκες της αγοράς, τη ταχύτητα που απαιτείται για να διατηρηθεί η κανονική υπηρεσία, τα απαραίτητα θαλάσσια περιθώρια για την προβλεπόμενη υπηρεσία και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Το κόστος των καυσίμων αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό των λειτουργικών εξόδων, και ως εκ τούτου, η δημιουργία της βέλτιστης ταχύτητας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην τιμή των καυσίμων. Επιπλέον, το ποσοστό των αποθεμάτων του φορτίου αποτελεί, επίσης, έναν σημαντικό παράγοντα.

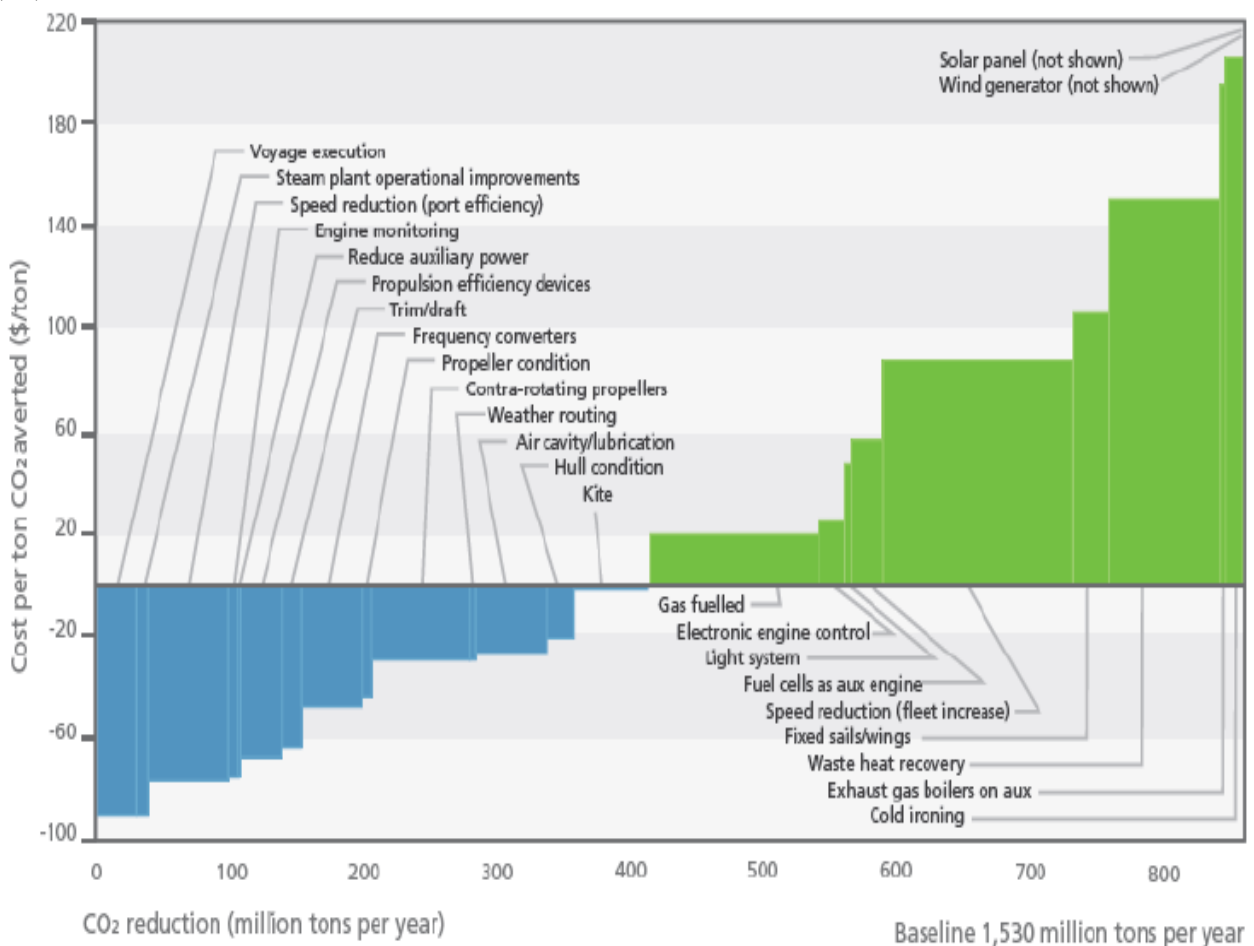
Για οποιαδήποτε υπηρεσία, με την χρήση της ανάλυσης ναύλων και με εκτίμηση των ετήσιων ποσοτήτων φορτίου και του κόστους των καυσίμων, μπορεί να προσδιοριστεί η βέλτιστη ταχύτητα. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τον αριθμό των πλοίων που είναι απαραίτητο να πληρούν τις απαιτήσεις του φορτίου σε κάποια ταχύτητα, κόστος κεφαλαίου και λειτουργικό

κόστος. Αποτελεί έναν βολικό τρόπο για τον εντοπισμό της οικονομικής αποδοτικότητας μέσα από μια σειρά από σχέδια

Η πλεύση σε χαμηλότερες ταχύτητες μειώνει την κατανάλωση καυσίμων. Έτσι, για μείωση της ταχύτητας κατά 10%, η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 19% ανά τόνο-χιλιόμετρο. Η μείωση της ταχύτητας επιφέρει ανάλογη αύξηση του χρόνου ταξιδιού. Αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί με χρήση περισσότερων πλοίων, μείωση του χρόνου στο λιμάνι κ.λπ. Αν χρησιμοποιηθούν περισσότερα πλοία, η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών περιορίζεται. Το ποσοστό μείωσης της ταχύτητας περιορίζεται από τον σχεδιασμό της μηχανής και ενδεχομένως να απαιτείται προσαρμογή της. Πλοία που πρέπει να τηρήσουν ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα (όπως τα κρουαζιερόπλοια και τα επιβατικά πλοία) πιθανόν να μη μπορούν να μειώσουν την ταχύτητά τους. Η μείωση της ταχύτητας μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους και τα μεγέθη των πλοίων.

Στην εικόνα που ακολουθεί αναπαρίστανται οι επιτευχθείσες μειώσεις από επιλεγμένα μέτρα μείωσης εκπομπών, σε σχέση με την εκτιμώμενη αποτελεσματικότητά τους ως προς το κόστος.

(20)



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

1. Στούρνας, Σ., et al. *Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών*. 1993.
2. Tyrovolas, T., et al. The Introduction of Biofuels in Marine Sector.
3. 記載なし. Practical Use of LNG Fuelled Ships and ClassNK Activities (Technical Essays). *ClassNK magazine*. 2012.
4. Wang, H. Economic costs of CO<sub>2</sub> emissions reduction for non-Annex I countries in international shipping. *Energy for Sustainable Development*. 2010.
5. Christiansen, M., Fagerholt, K., **Maritime inventory routing problems maritime inventory routing problems. In Encyclopedia of optimization, Springer: 2008 and 1947-1955., pp.**
6. Guerreiro, C., et al. Air Quality in Europe-2016 Report. Publications Office of the European Union, 2016.
7. Buhaug, Ø., et al. S.; Lee, D.; Lee, D.; Lindstad, H.; Markowska, A., Second imo ghg study. International Maritime Organization (IMO), London, UK. 2009.
8. Risk, S. A. Air pollution from ships. *Sea*. 2004.
9. OLMER, N., et al. GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM GLOBAL SHIPPING, 2013–2015. 2017.
10. Rajšić, S. F., et al. First assessment of the PM 10 and PM 2.5 particulate level in the ambient air of Belgrade city. *Environmental Science and Pollution Research*. 2004.
11. Tan, A. K.-J., **Vessel-source marine pollution: the law and politics of international regulation. Cambridge University Press: 2005 and 45., Vol.**
12. Duncan, R. N. The 1972 Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes at Sea. *J. Mar. L. & Com.* 1973.
13. Bazari, Z. and Longva, T. *Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping. International Maritime Organization . 2011.*
14. Nelson, P. In *Prevention of Air Pollution from Ships, Coasts & Ports 1999: Challenges and Directions for the New Century; Proceedings of the 14th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 7th Australasian Port and Harbour Conference, National Com.* 1999.
15. Grothues-Spork, H., **BILGE VORTEX CONTROL DEVICES AND THEIR BENEFITS IN PROPULSION. 1988.**
16. Clark, R. B., Frid, C. and Attrill, M. *Marine pollution*. s.l. : Clarendon Press Oxford, 1989.
17. Buhaug, Ø., et al. Second imo ghg study. International Maritime Organization (IMO). 2009.
18. Nelson, P. **In Prevention of Air Pollution from Ships, Coasts & Ports 1999: Challenges and Directions for the New Century and Proceedings of the 14th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 7th Australasian Port and Harbour Conference, N.**
19. Bosch, P., et al. Cost benefit analysis to support the impact assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the sulphur content of certain liquid fuels. AEA Report to European Commission.
20. VI, R. M. A. Regulations for the prevention of air pollution from ships. *Resolution MEPC*. 2009.
21. Smith, T., et al. Third IMO GHG Study. 2015.
22. Voiland, A. Aerosols: Tiny Particles, Big Impact: Feature Articles. 2010.



23. **VI, A., 2012 guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP).**
24. **Smith, T., et al.** Analysis techniques for evaluating the fuel savings associated with wind assistance. 2013.
25. **Haider, J., et al.** The emergence of eco-ships: inevitable market segmentation. *Transport Newsletter*. 2014.
26. **McKendry, P.** *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*. s.l. : Bioresource technology, 2002.
27. **An, E.** Strategy for Biofuels. Communication from the Commission. Commission of the European Communities, 2006.
28. **Lin, C.-Y.** Effects of biodiesel blend on marine fuel characteristics for marine vessels. *Energies*. 2013.
29. **Waide, P. and Brunner, C. U.** Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. 2011.
30. **Atkinson, Gregory.** Analysis of marine solar power trials on Blue Star Delos. 2016.
31. **Hansen, J. F.** *Modelling and control of marine power systems*. Department of Marine Technology Norwegian University of Science and Technology . 2000.
32. **Εμμανουήλ, Σ. and Τόγιας, Ι.** Ηλεκτρολογική και αντικεραυνική εγκατάσταση πλοίου. 2013.
33. **Axel, B. N.** Environmental Impacts of International Shipping The Role of Ports: The Role of Ports. OECD Publishing, 2011.
34. **Peng Wu, Richard Bucknall.** Marine propulsion using battery power, Department of Mechanical Engineering, University College London.
35. **<https://spectrum.ieee.org/transportation/marine/happiness-is-a-hybridelectric-ferry>.**
36. **<https://cleantechnica.com/2018/08/23/the-worlds-first-electric-autonomous-container-ship-to-set-sail-in-norway/>.**
37. **<https://www.oceanphoenixproject.com>.**
38. **<https://www.ship-technology.com/projects/color-hybrid-ferry/>.**
39. **<https://www.maritime-executive.com/article/concept-design-for-world-s-first-pure-electric-tanker-revealed>.**
40. **Eide, M. S., et al.** *Future cost scenarios for reduction of ship CO2 emissions*. s.l. : Maritime Policy & Management, 2011.

## ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ecofys. (2012a) *Green Growth Opportunities in the EU Shipbuilding Sector*.
- Ecofys. (2012b) *Potential of Biofuels for Shipping*. Utrecht: Ecofys.
- Εξελίξεις στην Ηλεκτροπρόωση Πλοίων και Ανασκόπηση Ζητημάτων Σχεδιασμού στο Πλήρως Ηλεκτρισμένο Πλοίο, Ι. Κ. Χατζηλάου, Ι. Μ. Προυσαλίδης, Δρ Γ. Αντωνόπουλος, Ι. Κ. Γύπαρης, Π. Βαλλιανάτος
- IRENA. (2013) *Road Transport: The Cost of Renewable Solutions*. Abu Dhabi: IRENA.
- IRENA. (2014a) *Global Bioenergy Supply and Demand Projections: A working paper for REmap 2030*. Abu Dhabi: IRENA.
- IRENA. (2014b) *REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap*. Abu Dhabi
- IRENA (2015) RENEWABLE ENERGY OPTIONS FOR SHIPPING technology brief
- Oceana. (2010) *Shipping solutions: technological and operational methods available to reduce CO2*.
- UNCTAD. (2014) *Review of Maritime Transport 2014*. New York and Geneva: United Nations
- UNCTAD. Transitioning to Low Carbon Shipping Module Sustainable Sea Transport Solutions for SIDS: Pacific Island Countries Case Studies
- Prousalidis J., Kaiktsis L, Kanellos F, Antonopoulos G, Patsios C, and Greig A. “ New Green Challenges faced by the all-electric platform”, Proceedings of Transport Research Arena, (TRA), 2014, Paris (France)
- Wärtsilä, *Boosting Energy Efficiency*, 3 February 2009 Energy Efficiency Catalogue / Ship Power R&D Presentation
- Χρήστος Ηλιόπουλος, Βελτιστοποίηση Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων με Energy Audits, διπλωματική εργασία, πανεπιστήμιο Αιγαίου
- Σπυρίδων Ραπτοτάσιος, Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Ναυτιλία με Σκοπό τη Συμμόρφωση με τους Διεθνείς Κανονισμούς Ρύπων, σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2018

## WEB SITES / INTERNET-ELECTRONIC SOURCES / DOCUMENTS FROM WEB SITES

- <https://www.idtechex.com/de/research-report/electric-and-hybrid-boats-and-ships-2019-2029/648>
- <https://www.marineinsight.com/green-shipping/top-7-green-ship-concepts-using-wind-energy/>
- [http://www.bluenergy-ag.net/English/products\\_wind.html](http://www.bluenergy-ag.net/English/products_wind.html)
- [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/1507825.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/1507825.stm)
- [http://projectecofuture.blogspot.com/2010/05/blog-post\\_03.html](http://projectecofuture.blogspot.com/2010/05/blog-post_03.html)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell#Electric\\_storage\\_fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell#Electric_storage_fuel_cell)
- <https://gcaptain.com/fellowship-project-concludes-15-years-of-maritime-battery-and-fuel-cell-research/>
- <https://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-marine-solar-power>
- <https://seanews.co.uk/features/analysis-of-marine-solar-power-trials-on-blue-star-delos-by-greg-atkinson/>
- <https://www.marineinsight.com/green-shipping/top-7-green-ship-concepts-using-wind-energy/>

- [http://www.blueenergy-ag.net/English/products\\_wind.html](http://www.blueenergy-ag.net/English/products_wind.html)
- [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/1507825.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/1507825.stm)
- [http://projectecofuture.blogspot.com/2010/05/blog-post\\_03.html](http://projectecofuture.blogspot.com/2010/05/blog-post_03.html)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell#Electric\\_storage\\_fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell#Electric_storage_fuel_cell)
- <https://gcaptain.com/fellowship-project-concludes-15-years-of-maritime-battery-and-fuel-cell-research/>
- <https://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-marine-solar-power>
- <https://seanews.co.uk/features/analysis-of-marine-solar-power-trials-on-blue-star-delos-by-greg-atkinson/>
- <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/11305/ocean-phoenix-360>
- <https://cleantechnica.com/2018/08/23/the-worlds-first-electric-autonomous-container-ship-to-set-sail-in-norway/>
- [/futurism.com/china-launched-worlds-first-all-electric-cargo-ship](http://futurism.com/china-launched-worlds-first-all-electric-cargo-ship)
- <https://www.maritime-executive.com/article/concept-design-for-world-s-first-pure-electric-tanker-revealed>
- <https://cleantechnica.com/2019/08/12/japanese-consortium-to-build-worlds-first-electric-tanker/>
- <https://www.ship-technology.com/projects/color-hybrid-ferry/>
- <https://www.ship-technology.com/features/feature-prius-of-the-sea-world-largest-hybrid-ferry-green-travel/>
- [oceanfoil.com/technology](http://oceanfoil.com/technology)