

ΣΚΟΠΟΣ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση των τιμών και η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, η ολόένα αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον και οι παγκόσμιες αλλαγές που βιώνουμε τις τελευταίες δεκαετίες καθώς και η θέσπιση αυστηρότερων κανόνων για τις εκπομπές ρύπων, έχουν αναγκάσει τους σχεδιαστές πλοίων, τους ερευνητές αλλά και τους πλοιοκτήτες να στραφούν σε εναλλακτικές πηγές πρόωσης και παραγωγής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο επιδιώκεται η μείωση του λειτουργικού κόστους ενός πλοίου αλλά και ο εναρμονισμός με τα όλο και αυστηρότερα όρια που τίθενται για τις εκπομπές αερίων από κράτη και παγκόσμιους οργανισμούς.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η παρουσίαση εναλλακτικών ενεργειακών εφαρμογών σε εμπορικά πλοία. Γίνεται προσπάθεια να αναλυθούν οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της θαλάσσιας ενέργειας και πρόωσης, οι περιορισμοί και οι μελλοντικές προοπτικές. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται το ενεργειακό πλαίσιο στο χώρο των θαλάσσιων μεταφορών καθώς και οι δράσεις που έχουν αναληφθεί για τη μείωση της εκπομπής ρύπων από εμπορικά πλοία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται και αναλύεται η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμων, τύποι, ναυτιλιακές εφαρμογές καθώς και παραδείγματα εφαρμογής της τεχνολογίας σε πλοία.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των εναλλακτικών καυσίμων. Συγκεκριμένα υπάρχει πλήρης αναφορά στο υδρογόνο, τα χαρακτηριστικά του καθώς και παράδειγμα εφαρμογής του σε πλοίο. Στη συνέχεια αναλύεται η εφαρμογή του υδροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο σε εμπορικά πλοία και παρουσιάζεται ένα εκτεταμένο παράδειγμα πλοίων που χρησιμοποιεί LNG ως καύσιμο. Γίνεται επίσης παρουσίαση των βιοκαυσίμων, συγκεκριμένα περιγράφονται τα χαρακτηριστικά τους,

εμπειρίες από τη χρήση biodiesel σε πλωτά μέσα και πλοία, καθώς και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση τους. Τέλος, γίνεται μία μικρή αναφορά στο εναλλακτικό καύσιμο Orimulsion.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η χρήση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Οι προοπτικές, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης τους ως πηγές εναλλακτικής ενέργειας, καθώς και παραδείγματα εφαρμογής τους.

Τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι μεταφορές γενικότερα είναι ένας από τους μεγαλύτερους παγκοσμίως καταναλωτές ενέργειας αντιπροσωπεύοντας το 20% με 25% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)¹.

Μια μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2050 προβλέπεται σε όλους τους τομείς, με τις μεταφορές να παραμένουν πιθανόν σταθερές μέχρι την παραπάνω χρονολογία. Έτσι οι μεταφορές έχουν να παίξουν ένα σπουδαίο ρόλο στον πρωταρχικό αντικειμενικό σκοπό του Συμβουλίου Παγκόσμιας Ενέργειας (World Energy Council) που είναι διατηρήσιμη ενέργεια για όλους. Οι μεταφορές είναι ο μόνος ενεργειακός τομέας, στον οποίο η ίδια η ενέργεια κυρίως μετά την διάρκεια της κατανάλωσης, περισσότερο από το να παραδίδεται για χρήση σε μια προσδιορισμένη τοποθεσία. Γι' αυτό το λόγο, η ενέργεια για μεταφορά κυριαρχείται από το πετρέλαιο, το οποίο είναι ευρέως διαθέσιμο, σχετικά φθινό και από το οποίο παράγονται υγρά καύσιμα υψηλής ενεργειακής πυκνότητας όπως gasoline και diesel και τα οποία μεταφέρονται δύσκολα.

¹ World Energy Council 2007 – Transport Technologies and Policy Scenarios to 2050 – Executive Summary.

Σχέδιο 1.1 – World Energy Consumption by end – use sector to 2030²



Ειδικότερα για τις θαλάσσιες μεταφορές είναι γεγονός ότι όπως υποστηρίζουν πολλοί, ότι έχουν μείνει εκτός από τον αγώνα για μείωση εκπομπής των ρύπων και μείωσης κατανάλωσης ενέργειας. Για παράδειγμα, οι εκπομπές ρύπων από πλοία δεν καλύφθηκαν από τη συμφωνία του Kyoto ή άλλες συμφωνίες για τη μείωση του διοξειδίου. Πολλοί λίγοι άνθρωποι συνειδητοποιούν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την ναυτιλιακή βιομηχανία ξεπερνούν αυτές των αεροπλάνων. Σύμφωνα με τα στοιχεία η ναυτιλία «συνεισέφερε» περίπου το 2,7% (πολλοί ανεβάζουν το ποσοστό σε 4%) του συνολικού ποσοστού σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα το 2000, ενώ την ίδια ώρα οι εναέριες και οι χερσαίες μεταφορές συνεισέφεραν το 2,2%

² World Energy Council 2007 – Transport Technologies and Policy Scenarios to 2050 – Executive Summary.

και το 14,4% αντίστοιχα. Επίσης, Υπάρχουν εκτιμήσεις ότι μέχρι το 2050 υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο, εάν δεν ληφθούν μέτρα, οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου (NO_x) από πλοία να ξεπεράσουν αυτές των χερσαίων μεταφορών. Στην παρούσα φάση οι εκπομπές NO_x από πλοία αντιπροσωπεύουν το 15% του παγκόσμιου συνόλου³. Τα παρακάτω στοιχεία γίνονται ακόμα πιο επίσημα, αν αναλογιστεί κανείς ότι η συντριπτική πλειοψηφία των αγαθών διακινείται μέσω των θαλάσσιων οδών. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2005 διακινήθηκαν περισσότεροι από 6.000.000.000 τόνους φορτίου σε παγκόσμιο επίπεδο από τους οποίους οι 2,5 στις Η.Π.Α⁴. Η μεταφορά των αγαθών απαιτεί κατανάλωση ενέργειας η οποία έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση ρύπων στο περιβάλλον και αν στη μεταφορά αγαθών προσθέσουμε και τη μεταφορά επιβατών, τότε γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η εξεύρεση λύσης στο ενεργειακό και περιβαλλοντολογικό πρόβλημα έχει επιτακτικό χαρακτήρα και στο χώρο της ναυτιλίας. Υπάρχουν τέσσερα σημεία κλειδιά για την επίτευξη της μείωσης επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία:

- Ø **Μείωση των απαιτήσεων.** Υπάρχει η προοπτική είτε μέσω της εγχώριας χρησιμοποίησης σιτηρών αντί για εξαγωγή τους, είτε μέσω της μείωσης εισαγωγών πετρελαίου για μείωση των συνολικών απαιτήσεων της ναυτιλίας. Ωστόσο, η μείωση της χρήσης πετρελαίου είναι απίθανο να συμβεί, εκτός εάν υπάρξει κάποιο σημαντικό γεγονός (π.χ. δραστική μείωση, έλλειψη πετρελαίου), το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρά εμπόδια στη διεθνή ναυτιλία.
- Ø **Μείωση χρήσης καυσίμων / μεγαλύτερη αποδοτικότητα.** Υπάρχουν πολλοί τρόποι για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων, όπως η βελτίωση των σχεδίων των προπελών και της συντήρησης των πλοίων κλπ. Η μεγαλύτερη επίδραση θα υπάρξει από τα νέα πλοία και τις νέες τεχνολογίες αλλά επίσης και τα υπάρχοντα πλοία μπορούν να γίνουν πιο αποδοτικά.

³ “Renewable Energy to Sea”. Ecotality Blog

⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/ship-transport>. Department of transportation USA – Bureau of Transportation Statistics

- Ø **Ανανεώσιμα καύσιμα**, όπως το ναυτιλιακό bio-diesel. Σημειωτέον, για παράδειγμα, ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία των ΗΠΑ καταναλώνει περίπου το 10% του petroleum diesel ⁵.
- Ø **Ανανεώσιμοι τρόποι πρόωσης**. Εδώ υπάρχει η προοπτική για «επιστροφή στο παρελθόν» με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή.

1.2. ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1. Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές αερίων από πλοία.

Τα πλοία εξελίσσονται πολύ γρήγορα στη μεγαλύτερη πηγή ρύπανσης του αέρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Εάν δεν ληφθούν επιπλέον μέτρα προβλέπεται ότι η ναυτιλία θα εκπέμπει μέχρι το 2020 περισσότερα βλαβερά αέρια απ' όσα θα παράγουν όλες οι χερσαίες πηγές ρύπανσης μαζί⁶. Το 2000 τα πλοία υπό σημαία χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξέπεμψαν 200.000.000 τόνους διοξειδίου του άνθρακα, νούμερο πολύ μεγαλύτερο από αυτό των αεροπορικών μεταφορών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το Νοέμβριο του 2002 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια ενιαία ευρωπαϊκή στρατηγική για τη μείωση ατμοσφαιρικών εκπομπών από πλοία. Η συγκεκριμένη στρατηγική αναφέρεται στη σπουδαιότητα και στην επίδραση των εκπομπών αερίων από πλοία στους κόλπους της Ευρωπαϊκής Ένωσης και θέτει έναν αριθμό από δράσεις για τη μείωση της συνεισφοράς της ναυτιλίας γενικότερα στη ρύπανση του περιβάλλοντος, και στις κλιματικές αλλαγές του πλανήτη. Η εκπομπή βλαβερών αερίων από πλοία επίσης καλύπτεται από το προσάρτημα VI MARPOL 73/78 του IMO (International Maritime Organization). Αυτό περιέχει προβλέψεις για περιοχές ελέγχου

⁵ “Renewable Energy to Sea”. Ecotality Blog

⁶ <http://ec.europa.eu/environment/air/transport>

εκπομπής οξειδίου του θείου (SO_x) όπως η Βαλτική Θάλασσα, η Νότια Θάλασσα και το Αγγλικό Κανάλι και standards εκπομπών οξειδίου του αζώτου για μηχανές πλοίων.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά συγκεκριμένες δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσον αφορά στις εκπομπές βλαβερών αερίων από πλοία:⁷

- ◆ **Μάιος 2007:** Μία μελέτη από την IIASA για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, διερεύνησε την αποδοτικότητα κόστους μέτρων για την μείωση εκπομπών βλαβερών ουσιών από τις θαλάσσιες μεταφορές. Η αναφορά έδειξε ότι το κόστος μείωσης αυτών των εκπομπών μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο από τα κόστη πρόσθετων ελέγχων για πηγές ενέργειας που εδράζονται στην ξηρά, με την ίδια επίδραση στην υγεία και το περιβάλλον.
- ◆ **Ιανουάριος 2007:** Παίρνει την τελική της μορφή η συμβουλευτική αναφορά για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τη ναυτιλία, και ο οδηγός εφαρμογής της ευρωπαϊκής οδηγίας για τις εκπομπές αερίων οξειδίου του θείου από ναυτιλιακά καύσιμα.
- ◆ **Μάιος 2006:** Η Επιτροπή υιοθετεί την πρόταση προώθησης της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά για χρήση από πλοία σε αγκυροβόλιο, σε ευρωπαϊκά λιμάνια. Ηλεκτρικό ρεύμα από την ακτή σημαίνει ότι αυτό παράγεται σε πλοία σε αγκυροβόλιο, από το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού της κάθε χώρας αντί τα ίδια τα πλοία να παράγουν ηλεκτρισμό, χρησιμοποιώντας τις ηλεκτρογεννήτριές τους. Αυτή η τακτική εξαφανίζει τις εκπομπές βλαβερών αερίων και το θόρυβο από τις μηχανές των πλοίων που βρίσκονται στο αγκυροβόλιο.
- ◆ **Οκτώβριος 2006:** Οι παρακάτω έξι συμβουλευτικές αναφορές πήραν την τελική τους μορφή:
 - Προσδιορισμός εκπομπών από πλοία για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης
 - Γενική αναφορά σχετικά με τεχνικές ελάττωσης και μετριάσμού των εκπομπών
 - Ελάττωση εκπομπών οξειδίου του αζώτου

⁷ <http://ec.europa.eu/environment/air/transport>

- Ελάττωση εκπομπών οξειδίου του θείου
 - Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά
 - Οικονομικά εργαλεία και βοηθήματα
- ◆ **Αύγουστος 2005:** Η οδηγία για τα ναυτιλιακά καύσιμα που περιέχουν θείο εκδίδεται στην εφημερίδα της ευρωπαϊκής κοινότητας και τίθεται σε εφαρμογή την 11 Αυγούστου 2005. Το πλήρες όνομά της είναι «Οδηγία 2005/33» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και αφορά στα ναυτιλιακά καύσιμα που περιέχουν θείο.
 - ◆ **Ιούλιος 2004:** Λαμβάνει χώρα η πρώτη τελετή για το βραβείο «καθαρής ναυτιλίας», σαν μέρος των περιβαλλοντολογικών Oscars της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Οι νικητές ήταν οι: SCA Transforest, Reederei, Rörd Bramen και το λιμάνι του Göteborg.

1.2.2. Η δράση του IMO

Οι κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία υιοθετήθηκαν στη συνθήκη MARPOL 73/78 του 1997 και περιλαμβάνονται στο προσάρτημα VI της Συνθήκης, το οποίο τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Το προσάρτημα VI της MARPOL θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίου του θείου και του αζώτου από τα πλοία, καθώς επίσης περιλαμβάνει και μια ολική οροφή 4,5% m/m στο θείο που περιέχουν τα καύσιμα. Επιπρόσθετα, καθιστά τον IMO υπεύθυνο να παρακολουθεί τον παγκόσμιο μέσο όρο θείου που περιέχουν τα καύσιμα. Επίσης το προσάρτημα VI περιέχει προβλέψεις οι οποίες επιτρέπουν να εγκατασταθούν σε ειδικές περιοχές ελέγχου εκπομπής οξειδίου του θείου (Special Emission Control Areas – SECAS), αυστηρότεροι έλεγχοι για εκπομπές θείου. Σ' αυτές τις περιοχές το θείο που περιέχεται στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα πλοία δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1,5% m/m. Εναλλακτικά θα πρέπει τα πλοία να χρησιμοποιούν άλλες τεχνολογικές μεθόδους για τον περιορισμό του θείου. Το ανωτέρω προσάρτημα απαγορεύει τη σκόπιμη εκπομπή ουσιών που εξαντλούν το όζον, όπως Halon και CFCs (Chlorofluorocarbons). Καινούργιες εγκαταστάσεις που περιέχουν ουσίες που

εξαντλούν το όζον απαγορεύονται σ' όλα τα πλοία αλλά νέες εγκαταστάσεις που περιέχουν HCFCs (Hydro-chlorofluorocarbons) επιτρέπονται μέχρι 1-1-2020⁸.

A. Οι τροποποιήσεις του Ιουλίου 2005

Η επιτροπή προστασίας θαλάσσιου περιβάλλοντος (marine environment protection committee – MEPC) στην 53^η συνεδρίασή της τον Ιούλιο 2005, υιοθέτησε τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL, συμπεριλαμβάνοντας μια νέα SECA που αφορούσε στη Βόρεια Θάλασσα. Η συγκεκριμένη τροποποίηση τέθηκε σε ισχύ στις 22-11-2006, ενώ η πλήρης εφαρμογή της έγινε στις 22-11-2007. Η πληροφορία της επιτροπής αποκτήθηκε από την παρακολούθηση του παγκόσμιου περιεχόμενου θείου στα ορυκτά καύσιμα για το 2004, η οποία έδωσε ένα μέσο όρο 3 χρόνων (2002-2004), για το θείο που περιέχεται στα καύσιμα σε ποσοστό 2.67% m/m⁹.

B. Ανασκόπηση του προσαρτήματος VI

Στην 53^η συνεδρίασή της τον Ιούλιο 2005, η MEPC αποφάσισε ότι υπάρχει ανάγκη επανεξέτασης του προσαρτήματος VI ώστε να υπάρξει μια ανανέωση των κανονισμών, λαμβάνοντας υπ' όψη τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, καθώς και την ανάγκη για περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων από τα πλοία. Έτσι η MEPC ανέθεσε στην Υποεπιτροπή BLG (Bulk Liquids and Gases) να διεξάγει την ανασκόπηση μέχρι το 2007 και ειδικότερα να:¹⁰

- Εξετάσει διαθέσιμες και αναπτυσσόμενες τεχνικές για τη μείωση εκπομπών βλαβερών αερίων. Να εξετάσει επίσης τις σχετικές τεχνολογίες και τις δυνατότητες για μείωση εκπομπών οξειδίου του αζώτου και να προτείνει μελλοντικά όρια για τις εν λόγω εκπομπές.

⁸ <http://www.imo.org>

⁹ <http://www.imo.org>

¹⁰ <http://www.imo.org>

- Κάνει ανασκόπηση της τεχνολογίας και της ανάγκης για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου, δικαιολογώντας και προτείνοντας ταυτόχρονα μελλοντικά όρια για τις εν λόγω εκπομπές.
- Μελετήσει την ανάγκη και να δικαιολογήσει την πιθανότητα ελέγχου των εκπομπών πολύπλευρων οργανικών συνθέσεων από τα πλοία Cargo.
- Μελετήσει τα τωρινά επίπεδα εκπομπών PM (Particulate Matter) από ναυτικές μηχανές και να προτείνει δράσεις που πρέπει να αναληφθούν για τη μείωσή τους απ' τα πλοία. Εφόσον η μείωση εκπομπών οξειδίου του αζώτου και του θείου αναμένεται να παίξει ρόλο και στην μείωση των εκπομπών PM, να εκτιμήσει το επίπεδο της μείωσης εκπομπών PM μέσω αυτής της οδού.
- Μελετήσει τη δυνατότητα μείωσης των ορίων εκπομπών οξειδίου του αζώτου και PM στις ήδη υπάρχουσες μηχανές.
- Μελετήσει αν το προσάρτημα VI για τη μείωση και τον περιορισμό βλαβερών εκπομπών θα έπρεπε να επεκταθεί και να συμπεριλάβει μηχανές diesel που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα, όπως επίσης και συστήματα πρόωσης και παραγωγής ενέργειας άλλων εκτός των μηχανών diesel.
- Κάνει ανασκόπηση στα κείμενα του προσαρτήματος VI, στον τεχνικό κώδικα οξειδίου του αζώτου και στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές και να προτείνει τις απαραίτητες τροποποιήσεις.

Γ. Αέρια του Θερμοκηπίου

Το Νοέμβριο του 2003 ο IMO υιοθέτησε την απόφαση A.963 (23) «πολιτικές και πρακτικές του IMO σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου απ' τα πλοία». Στην 52^η συνεδρίασή της, τον Οκτώβριο του 2004, η MEPC έκανε πρόοδο στην ανάπτυξη πρόχειρων κατευθυντήριων οδηγιών σχετικά με το «εισαγωγικό σχήμα για το διοξείδιο του άνθρακα» και παράλληλα προέτρεψε τα μέλη της να διεξάγουν δοκιμές χρησιμοποιώντας το ανωτέρω σχήμα και να αναφέρουν τα αποτελέσματα στην επόμενη συνεδρίαση. Ένας σκοπός για την ανάπτυξη

κατευθυντήριων οδηγιών για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι να αναπτυχθεί ένα απλό σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εθελοντικά από τους Ship operators, κατά τη διάρκεια μιας δοκιμαστικής περιόδου. Η επιτροπή συμφώνησε ότι το εισαγωγικό σχήμα για το διοξείδιο του άνθρακα θα έπρεπε να είναι απλό και εύκολο στην εφαρμογή του και να λαμβάνει υπόψη του θέματα που σχετίζονται με την κατασκευή και τη λειτουργία του πλοίου και κίνητρα βασιζόμενα στην αγορά. Στην 53^η συνεδρίασή της τον Ιούλιο 2005 η MEPC ενέκρινε τις προσωρινές κατευθυντήριες οδηγίες για εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από πλοία, οι οποίες θα έμπαιναν σε χρήση για μια δοκιμαστική περίοδο. Εν τω μεταξύ, η επιτροπή αναγνώρισε ότι οι κατευθυντήριες οδηγίες του IMO σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να αντιμετωπίζουν και τα πέντε αέρια που καλύπτει το πρωτόκολλο του Kyoto: CH₄ (Methane), N₂O (Nitrus Oxide) HFCs (Hydrofluorocarbons) PFCs (Perfluorocarbons) SF₆ (Sulphurhexafluoride).

Επίσης η MEPC κατά την 56^η συνεδρίασή της τον Ιούλιο 2007, επαναβεβαίωσε την ανάγκη αναβάθμισης της μελέτης που είχε εκπονηθεί από τον IMO το 2000, σχετικά με τα αέρια του θερμοκηπίου και συμφωνήθηκε ένα χρονοδιάγραμμα, ο σκοπός και οι όροι κάτω από τους οποίους θα γίνει αυτή η αναβάθμιση. Η ανωτέρω μελέτη θα κάλυπτε τους παρακάτω τομείς και θέματα: **i)** τα τωρινά παγκόσμια αποθέματα των αερίων του θερμοκηπίου και σχετικών στοιχείων τα οποία εκπέμπονται από πλοία που συμμετέχουν στις διεθνείς μεταφορές. **ii)** θα αναγνώριζε και ανέλυε την πρόοδο που έχει γίνει στη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων στοιχείων, **iii)** θα αναγνώριζε πιθανά μελλοντικά μέτρα που μπορούν να παρθούν για τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και θα αναλάμβανε να εκπονήσει μια ανάλυση οφέλους – κόστους, συμπεριλαμβάνοντας περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις και επιπτώσεις για τη δημόσια υγεία, καθώς και επιλογές για την παρούσα και μελλοντική μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων σχετικών στοιχείων από τη διεθνή ναυτιλία. Τέλος θα αναγνώριζε – εξακρίβωνε τις επιπτώσεις των εκπομπών από

την ναυτιλία στις κλιματικές αλλαγές. Η εν λόγω αναβαθμισμένη μελέτη πρόκειται να υποβληθεί στην 59^η συνεδρίαση της MEPC.

Δ. Ιστορική αναδρομή της δράσης του IMO για τη ρύπανση του αέρα.

Στο πλαίσιο του IMO, η MEPC, ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, είχε κάνει ανασκόπηση – κριτική, στην ποιότητα των καυσίμων, σε σχέση με την εκπλήρωση απαιτούμενων όρων του προσαρτήματος I (Annex I) και είχε επίσης συζητήσει – θίξει το θέμα της ρύπανσης του αέρα.

Το 1988, η MEPC συμφώνησε να συμπεριλάβει το θέμα της ρύπανσης του αέρα στο πρόγραμμα εργασίας της, μετά από ισχυρισμούς της Νορβηγίας για το μέγεθος του προβλήματος. Επιπρόσθετα, η δεύτερη διεθνής συνδιάσκεψη για την προστασία της Βόρειας Θάλασσας, η οποία διεξήχθη το 1987, εξέδωσε μια διακήρυξη στην οποία οι υπουργοί των χωρών της Βόρειας Θάλασσας συμφώνησαν να εγκαινιάσουν δράσεις μέσω των καταλλήλων οργανισμών, όπως ο IMO, «οι οποίες θα οδηγήσουν σε βελτίωση των στάνταρτς ποιότητας των ορυκτών καυσίμων και ενεργώς να υποστηρίξουν αυτό το έργο που στοχεύει στη μείωση της θαλάσσιας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης»¹¹. Στην επόμενη συνεδρίαση της MEPC, το Μάρτιο του 1989, πολλές χώρες υπέβαλλαν αναφορές οι οποίες αναφερόντουσαν στην ποιότητα των ορυκτών καυσίμων και στην ατμοσφαιρική ρύπανση και συμφωνήθηκε να εξεταστεί εκτός της ποιότητας των ορυκτών καυσίμων και η πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία σαν μέρος του μακροπρόθεσμου εργασιακού προγράμματος της Επιτροπής, ξεκινώντας το Μάρτιο του 1990. Το 1990, η Νορβηγία υπέβαλλε έναν αριθμό αναφορών στη MEPC δίνοντας μια γενική άποψη σχετικού με την ρύπανση του αέρα από πλοία. Οι αναφορές τόνιζαν τα εξής: I) Οι εκπομπές του θείου από τα πλοία υπολογίζονται γύρω στους 4,5 με 6,5 τόνους ανά χρόνο δηλαδή περίπου το 40% των ολικών παγκοσμίων εκπομπών θείου. Οι εκπομπές πάνω από ανοικτές θάλασσες διασπείρονταν και έτσι τα αποτελέσματα μετριάζονταν αλλά πάνω σε συγκεκριμένες διαδρομές

¹¹ <http://www.imo.org>

συμπεριλαμβανομένων του Αγγλικού Καναλιού και της Νότιας Κινεζικής Θάλασσας οι εκπομπές δημιουργούσαν περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου από τα πλοία υπολογίστηκαν γύρω στους 5 εκατομμύρια τόνους ανά χρόνο, περίπου το 7% των ολικών παγκόσμιων εκπομπών. Οι εκπομπές NO_x προκαλούν ή επιβαρύνουν τοπικά προβλήματα όπως η όξινη βροχή και διάφορα προβλήματα υγείας σε περιοχές όπως π.χ. τα λιμάνια. Οι εκπομπές CFC από τον παγκόσμιο ναυτιλιακό στόλο υπολογίστηκαν περίπου στους 3.000 με 6.000 τόνους, δηλαδή προσεγγιστικά το 3% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών. Οι εκπομπές Halon από τη ναυτιλία υπολογίστηκαν γύρω στους 360 με 400 τόνους ή περίπου το 10% του παγκοσμίου συνόλου.

Ε΄ Υιοθέτηση της απόφασης

Οι συζητήσεις στο πλαίσιο της MEPC αλλά και το έργο των ομάδων εργασίας οδήγησαν το 1991 στην υιοθέτηση από τον IMO μιας συμπληρωματικής απόφασης A.719 (17) που αφορούσε στην πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Η απόφαση ανέθετε στην MEPC να ετοιμάσει ένα μεν προσάρτημα στη συνθήκη MARPOL 73/78 σχετικό με την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα. Το καινούργιο προσάρτημα αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια των επόμενων έξι χρόνων και τελικά υιοθετήθηκε σε μια διάσκεψη το Σεπτέμβριο του 1997. συμφωνήθηκε να υιοθετηθεί το νέο προσάρτημα προσθέτοντας ένα πρωτόκολλο στη συνθήκη MARPOL 73/78 το οποίο να συμπεριλαμβάνει το προσάρτημα. Αυτό θα επέτρεπε μία ρητή θέση σε ισχύ, όρων που προβλέπονταν στο πρωτόκολλο.

1.2.3. Οι πέραν του «Ατλαντικού» δράσεις και προτάσεις για τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπής ρύπων από πλοία.

Στις 11 Δεκεμβρίου 2006 κατατέθηκε στο Αμερικάνικο Κογκρέσο από την CRS (Congressional Research Service) μία αναφορά με τίτλο: «τεχνολογία πρόωσης για τα πλοία του Ναυτικού. Επιλογές για τον περιορισμό κατανάλωσης καυσίμων». Η εν λόγω αναφορά έχει ως αντικείμενό της τα πλοία του πολεμικού ναυτικού των Η.Π.Α.,

παρόλα αυτά οι τεχνολογίες και οι τρόποι μείωσης κατανάλωσης καυσίμων που προτείνει μπορούν κάλλιστα να εφαρμοσθούν στην ευρύτερη ναυτιλία. Βασική επιδίωξη είναι να παρασχεθούν πληροφορίες όσον αφορά στις επιλογές τεχνολογιών που θα μπορούσαν να μειώσουν την εξάρτηση του ναυτικού από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Συγκεκριμένα στην αναφορά προτείνονται τέσσερις βασικές στρατηγικές για την επίτευξη του ανωτέρω στόχου¹²:

- α.** Μείωση της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα πλοία των ναυτικών.
- β.** Εναλλακτικά καύσιμα υδρογονάνθρακα
- γ.** Πυρηνοκίνητη πρόωση
- δ.** Ενέργεια από τον αέρα και τον ήλιο.

Ένας από τους τρόπους για να επιτευχθεί η πρώτη στρατηγική είναι η χρησιμοποίηση μιας ολοκληρωμένης ηλεκτρικά οδηγούμενης πρόωσης (Integrated Electric – Drive Propulsion) η οποία συγκρινόμενη με την παραδοσιακή μηχανικά οδηγούμενη πρόωση (Mechanical – Drive Propulsion), μπορεί να μειώσει τη χρήση καυσίμου από πλοία με το να επιτρέπει στο ζευγάρι των τουρμπίνων να λειτουργεί πιο συχνά στις πιο αποδοτικές από άποψη καυσίμου ταχύτητες. Πιο συγκεκριμένα, σε συνάρτηση με το είδος του πλοίου και το επιχειρησιακό του προφίλ (το ποσό του χρόνου που το πλοίο περνάει ταξιδεύοντας σε διάφορες ταχύτητες), ένα πλοίο του πολεμικού ναυτικού που χρησιμοποιείται ένα σύστημα ολοκληρωμένης ηλεκτρικά οδηγούμενης πρόωσης, μπορεί να καταναλώσει 10% με 25% λιγότερο καύσιμο από ένα ίδιο πλοίο με Mechanical drive system.

Ένας δεύτερος τρόπος για την επίτευξη της μείωσης της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα πλοία του ναυτικού είναι η χρήση του fuel cells των οποίων η τεχνολογία αν εξελιχθεί επιτυχώς για εφαρμογή επί του πλοίου, θα μπορούσε να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου των πλοίων σημαντικά με το να παρέχει ηλεκτρισμό πολύ πιο αποδοτικά απ' ό,τι μέσω της καύσης. Οι μηχανές ενός πλοίου με

¹² CRS Report for Congress “Naval Ship Propulsion Technologies: Options for reducing oil use

gas turbines συνήθως λειτουργούν στο 16% με 18% της αποδοτικότητάς τους, επειδή ένα πολεμικό πλοίο πλέει σε χαμηλές ή μεσαίες ταχύτητες οι οποίες δεν απαιτούν τη μέγιστη χρήση του προωστήριου σκεύους. Το σύστημα fuel cells που σχεδιάζει το γραφείο ναυτικών ερευνών (the office of naval research-ONR) του US DOD θα έχει τη δυνατότητα για μια αποδοτικότητα μεταξύ 37% με 52%.¹³. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω αποδοτικότητων το πολεμικό ναυτικό των Η.Π.Α. εκτιμά ότι ένα μεγάλο πλοίο επιφανείας με gas turbines το οποίο επιχειρεί για 3.000 ώρες, θα καταναλώνει περίπου 641,465 γαλόνια καυσίμου, ενώ ένα πλοίο με εγκατάσταση fuel cell με επεξεργασία καυσίμου ούτως ώστε να σχηματίζεται υδρογόνο από diesel, θα καταναλώνει εάν επιχειρούσε την ίδια χρονική περίοδο, περίπου 214,315 γαλόνια καυσίμου. Έχει γίνει επίσης εκτίμηση ότι το πέρασμα στη χρήση τεχνολογίας fuel cells θα μπορούσε να εξοικονομήσει περισσότερο από 1.000.000 δολάρια ανά πλοίο το χρόνο¹⁴. Ένα άλλο πιθανό πλεονέκτημα της τεχνολογίας fuel cells είναι η μείωση του κόστους συντήρησης και η μείωση των εκπομπών αερίων καθώς και η μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό του πλοίου. Χαρακτηριστικά σε μια αναφορά του το GAO (Government Accountability Office) τον Ιούλιο του 2006 δηλώνει τα εξής: «Τα στελέχη του γραφείου Ναυτικών Ερευνών (O.N.R. Office of Naval Research) υποστηρίζουν ότι η τεχνολογία των fuel cells είναι πολλά υποσχόμενη για ναυτικές εφαρμογές και έχουν ήδη ολοκληρωθεί κάποιοι έλεγχοι πρωτοτύπων. Παρ' όλα αυτά οι ίδιοι αξιωματούχοι αναφέρουν ότι αυτή η τεχνολογία είναι τουλάχιστον 3 με 5 χρόνια μακριά από όποια σκέψη απόκτησής της»¹⁵.

Μια δεύτερη στρατηγική για τη μείωση της εξάρτησης του ναυτικού από το πετρέλαιο θα μπορούσε να είναι η στροφή σε εναλλακτικά καύσιμα υδρογονάνθρακα. Τέτοιου είδους καύσιμο είναι το bio-diesel το οποίο παράγεται από φυτά και ζωικά λίπη, κυρίως για χρήση σε εγκαταστάσεις ξηράς και μη τακτικά οχήματα εδάφους.

¹³ www.news.mil

¹⁴ Presentation for U.S. Maritime Administration Workshop on Maritime Energy and Clean Emissions.

¹⁵ Government Accountability Office. Propulsion Systems for Navy Ships and Submarines, GAO – 06-789R

Μεγάλο επίσης ενδιαφέρον έχει εκδηλωθεί και για τα συνθετικά καύσιμα. Συγκεκριμένα τον Οκτώβριο του 2005, αξιωματούχοι του ONR, δηλώνουν ότι το γραφείο τους σκοπεύει να εξερευνήσει μεθόδους για παραγωγή συνθετικών καυσίμων και χρήση τους από θαλάσσια μέσα. Όμως όπως τονίζουν οι ίδιοι αξιωματούχοι η έρευνα δεν βρίσκεται ούτε καν σε φάση σχεδιασμού, αλλά απλώς στη φάση της σύλληψης σαν ιδέα. Συνεχίζοντας το ONR υποστηρίζει ότι σε περίπτωση που παρουσιασθεί πρόβλημα στο μέλλον με τα αποθέματα πετρελαίου, τα συνθετικά καύσιμα θα μπορούσαν να παραχθούν από πηγές όπως το μεθάνιο και ο άνθρακας. Εξ άλλου υπάρχει ήδη μία παγκόσμια υποδομή εξόρυξης και παράδοσης άνθρακα και πλοία μεταφέρουν περίπου 500.000 τόνους ανά τον κόσμο σε καθημερινή βάση.

Η τρίτη στρατηγική για τη μείωση της εξάρτησης των πλοίων από το πετρέλαιο, αφορά στη χρήση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Τα πανιά στους ιστούς περιλαμβάνουν και παραδοσιακά πανιά αλλά και πανιά πτέρυγες (wingsails), τα οποία είναι πτερύγια όμοια με αυτά των αεροπλάνων που στέκονται στην άκρη του ιστού. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, όπου εμφανίστηκαν μεγάλες αυξήσεις στις τιμές του πετρελαίου, είχε εκδηλωθεί ενδιαφέρον για τη χρήση αιολικής ενέργειας στα εμπορικά πλοία. Σαν αποτέλεσμα ήταν να κατασκευαστούν πολλά ενδιαφέροντα πλοία ή να τροποποιηθούν ήδη υπάρχοντα. Μέσα σ' αυτά περιλαμβάνονται το 16.000 dwt tanker Shin Aitoku Maru (αριστερά) και το 26.000 dwt bulk/log carrier Usuki Pioneer (δεξιά).

Εικόνα1.1 πηγή: CRS Report for Congress “Naval Ship Propulsion Technologies: Options for reducing oil use



Όπως η αιολική, έτσι και η ηλιακή ενέργεια μπορεί να προσφέρει κάποιες προοπτικές στην ενίσχυση άλλων μορφών παραγωγής ενέργειας σε πλοία, αρχικά εφαρμοζόμενη σε βοηθητικά πλοία του ναυτικού των ΗΠΑ. Ένα παράδειγμα τέτοιου πλοίου 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 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.

Εικόνα1.2 Solar Sailor Hybrid-Powered Ferry Boat πηγή: CRS Report for Congress
“Naval Ship Propulsion Technologies: Options for reducing oil use



Το πλοίο αναπτύχθηκε και κτίστηκε από τη Solar Sailor Holdings Ltd, με τη βοήθεια της Αυστραλιανής Κυβέρνησης και επιχειρεί στο Λιμάνι του Σύδνεϋ¹⁶. Η εταιρεία έχει επίσης ετοιμάσει ένα σχέδιο για ένα υβριδικό 400 μέτρων μήκους τάνκερ, το οποίο θα μεταφέρει νερό και θα ονομάζεται Aquatanker.

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 ωκεανικού 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.

¹⁶ <http://www.solarsailor.com.au>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΙΔΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (FUEL CELLS - FC)

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

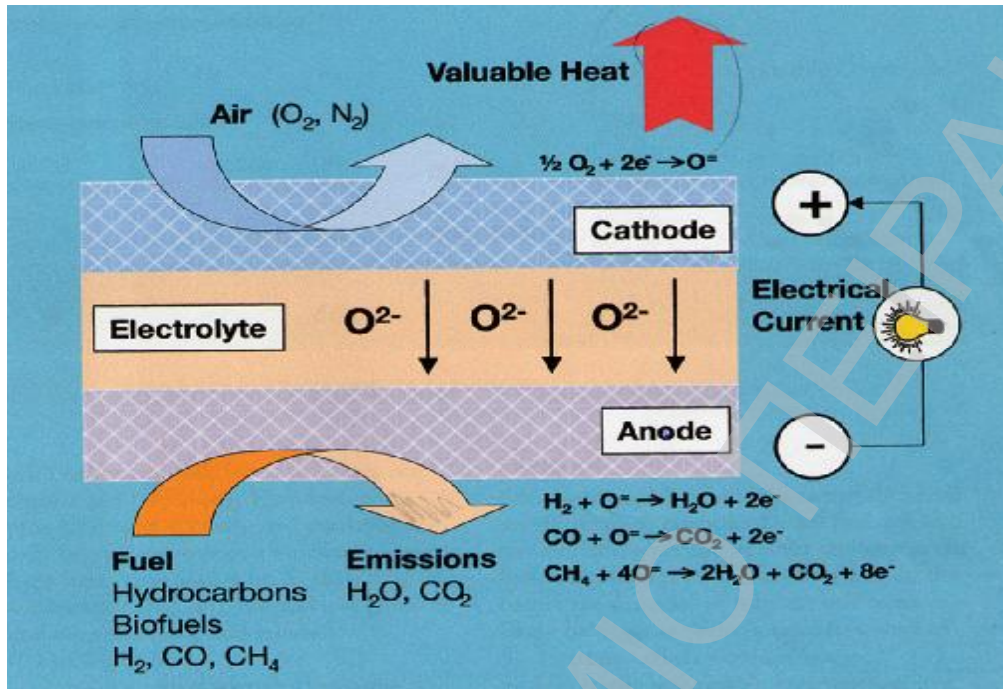
Όταν ο Sir William Grove εφηύρε το 1839 την αρχή της ηλεκτροχημικής αντίδρασης η οποία χρησιμοποιείται στις κυψελίδες καυσίμων, δύσκολα θα μπορούσε να φανταστεί ότι η εφεύρεσή του θα ήταν ακόμα αντικείμενο εργασίας R and D (Research and Development) ανά τον κόσμο το έτος 2003. Από τότε η εξέλιξη της τεχνολογίας FC έχει συνεχισθεί ραγδαία. Η πρώτη εφαρμογή της ήταν στο διαστημικό πρόγραμμα APOLLO όπου μία alkaline FC χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού¹⁷.

Οι κυψελίδες καυσίμων είναι ηλεκτροχημικοί μετατροπείς ενέργειας, δηλαδή μετατρέπουν τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική. Η μετατροπή αυτή συντελείται χωρίς την ενδιάμεση παραγωγή μηχανικής ενέργειας και την παρουσία καύσης, όπως στις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Με πιο απλά λόγια η FC είναι συσκευή που συνδυάζει υδρογόνο και οξυγόνο για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και προϊόντα αυτής της διαδικασίας είναι το νερό και η θερμότητα. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συσκευών - είναι ένας καθαρός αθόρυβος, αποδοτικός και αξιόπιστος τρόπος παραγωγής ηλεκτρισμού - είναι η κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη διαφόρων τεχνολογιών κυψελίδων καυσίμων για εμπορική χρήση. Η αρχή λειτουργίας των διαφόρων τύπων FCs είναι ίδια, αλλά τα υλικά, καύσιμα, καταλύτες και οι αντιδράσεις, ποικίλλουν. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την αρχή λειτουργίας μιας FC στερεού οξειδίου (Solid Oxide Fuel Cell - SOFC) και τις αρχικές της αντιδράσεις¹⁸.

¹⁷ "Fuel Cells - The Future of Power Generation".Erkko Fontell www.wartsila.com

¹⁸ "Fuel Cells - The Future of Power Generation".Erkko Fontell www.wartsila.com

εικόνα 2.1. Αρχή λειτουργίας SOFC



2.1.1. Τύποι κυψελίδων καυσίμων και εφαρμογές τους

Οι κυψελίδες καυσίμων χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χωρίζει το ηλεκτρόδιο της ανόδου απ' αυτό της καθόδου. έτσι έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- Μεμβράνη πολυμερούς ηλεκτρολύτη, PEM (Polymer Electrolyte Membrane)
- Αλκαλικές, AFC (Alkaline Fuel Cells) στερεού οξειδίου SOFC (Solid Oxide Fuel Cells)
- Φωσφορικού οξειδίου, PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells)
- Υγροποιημένου ανθρακικού άλατος, MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells)

Επίσης, οι κυψελίδες καυσίμων χωρίζονται περαιτέρω σε τρεις κύριες κατηγορίες: χαμηλής - μέσης και υψηλής θερμοκρασίας, όπως απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα¹⁹.

Πίνακας 2.1 Διάφοροι τύποι Fuel Cells

FC Type	Anode flow	Cathode flow	Operating temperature (°C)	Efficiency (LHV)	Application
Low-temperature					
PEM Proton Exchange Membrane	H ₂	Air	60 - 80	30 - 40	Portable Residential Transportation
AFC Alkaline	H ₂	O ₂	65 - 220	30 - 40	Portable Residential Transportation
Intermediate-temperature					
PAFC Phosphoric Acid	H ₂	Air	150 - 200	35 - 45 50 - 70*	Industrial Commercial
High-temperature					
MCFC Molten Carbonate	H ₂ , CO, CH ₄ , NH ₃	Air + CO ₂	600 - 700	45 - 55 80 - 90*	Industrial CHP** Commercial Marine
SOFC Solid Oxide	H ₂ , CO, CH ₄ , NH ₃	Air	650 - 1000	45 - 55 80 - 90*	Industrial CHP Commercial Marine

* In co-generation
** CHP (Combined Heat and Power)

Οι παραπάνω τύποι FCs χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές εξαιτίας των διαφορών, όσον αφορά στη θερμοκρασία λειτουργίας και τα υλικά που χρησιμοποιούνται.

Η πιο διαδεδομένη εμπορικά κυψελίδα καυσίμου είναι η PAFC όπου το φωσφορικό οξύ χρησιμοποιείται ως ηλεκτρολύτης και η πλατίνα (Platinum Pt) ως ο καταλύτης, τόσο στην πλευρά της ανόδου όσο και στην πλευρά της καθόδου της κυψελίδας. Αν και η τεχνολογία PAFC είναι εμπορικά διαθέσιμη, αυτό δεν την καθιστά ως το πολυαναμενόμενο επίτευγμα στην αγορά κυψελίδων καυσίμων, κυρίως λόγω του

¹⁹ "Fuel Cells - The Future of Power Generation".Erkko Fontell www.wartsila.com

υψηλού κόστους παραγωγής και της χαμηλής της αποδοτικότητας. Φθηνότερες και πιο αποδοτικές τεχνολογίες FCs όπως η SOFC και η MCFC, έχουν αναπτυχθεί για βιομηχανική παραγωγή ενέργειας. Αυτές οι τεχνολογίες αναμένεται να καταστούν πιο ανταγωνιστικές από την PAFC μέσα σε λίγα χρόνια.

Η χαμηλής θερμοκρασίας κυψελίδες καυσίμων ειδικά η PEM, έχουν αναπτυχθεί για τις μεταφορές και για φορητές εφαρμογές, όπου η γρήγορη εκκίνηση, το γεγονός ότι είναι συμπαγής καθώς και η χαμηλή θερμοκρασία, είναι απαραίτητοι παράγοντες. Σ' αυτές τις εκπομπές, η εκπεμπόμενη θερμότητα συνήθως δεν αξιοποιείται. Το κύριο μειονέκτημα αυτών των τεχνολογιών είναι η απαίτηση για υψηλής καθαρότητας υδρογόνο και η ανάγκη για ευγενή μέταλλα (Pt) που θα παίζουν το ρόλο του καταλύτη. Οι υψηλής θερμοκρασίας κυψελίδες καυσίμων, (SOFC και MFCD) ταιριάζουν καλύτερα σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου η υψηλή αποδοτικότητά τους και η εκπεμπόμενη θερμότητα μπορούν πλήρως να αξιοποιηθούν. Σε συνεχόμενη λειτουργία η αργή κίνηση των μονάδων δεν αποτελεί πρόβλημα. Η τεχνολογία SOFC έχει γίνει πρόσφατα αντικείμενο εντατικής ανάπτυξης για APU (Auxiliary Power Unit) εφαρμογές, για να αντιμετωπισθεί η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος, κυρίως σε αυτοκίνητα και φορτηγά.

2.2. Ναυτιλιακές εφαρμογές των κυψελίδων καυσίμων

Οι κυψελίδες καυσίμων μπορούν να παράσχουν μεγάλες δυνατότητες για χρήση από πλοία. Πιθανά πεδία εφαρμογής τους πάνω σε εμπορικά και πολεμικά πλοία επιφανείας, μπορούν να είναι τα ακόλουθα: **(1)** Παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. **(2)** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ειδικά σε νερά και λιμάνια που ισχύουν ειδικοί περιβαλλοντολογικοί κανονισμοί. **(3)** Μικρή παραγωγή ενέργειας για πρόωση σε ειδικές συνθήκες λειτουργίας (π.χ. αθόρυβος πλους). **(4)** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο του πλοίου και αν απαιτείται για το δίκτυο πρόωσης σε πλοία εξοπλισμένα με εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. All Electric Ships -

AES)²⁰. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι κυψελίδες καυσίμων έχουν μεγάλη σημασία για την αναερόβια πρόωση (Air Independent Propulsion - AIP) στα υποβρύχια. Ήδη από την δεκαετία του 1970 το σύστημα PEMFC έχει επιλεγεί για τα υποβρύχια του Γερμανικού Ναυτικού. Είναι συνεπώς επόμενο το ανωτέρω σύστημα να έχει υποστεί αναβαθμισμένη ανάπτυξη και να υπάρχει μεγάλη εμπειρία σε ζητήματα όπως η αποθήκευση πάνω στο πλοίο της απαιτούμενης ενέργειας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο περιορισμός των πηγών ενέργειας και η αυξανόμενη ανησυχία για περιβαλλοντολογικά ζητήματα, έχουν αυξήσει τη σπουδαιότητα για νέα εναλλακτικά συστήματα παραγωγής ενέργειας για το δίκτυο του πλοίου ή ακόμα και για την πρόωσή του. Κεντρικό ρόλο σ' αυτό το ζήτημα αναμένεται να παίξουν οι κυψελίδες καυσίμων λόγω της αξιοσημείωτης δυνατότητας που έχουν για ανάπτυξη. Ήδη σε κάποιους τομείς, όπως ο τομέας των κρουαζιερόπλοιων και των ferry boats, οι οποίοι έχουν συγκεντρώσει μεγάλο μερίδιο της προσοχής όσον αφορά σε περιβαλλοντολογικά ζητήματα, έχει δημιουργηθεί έντονη ανάγκη για πιο φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα παραγωγής ενέργειας. Τα χαμηλά επίπεδα εκπομπών που προσφέρονται από τις κυψελίδες καυσίμων, τις καθιστούν μια ενδιαφέρουσα επιλογή για μια μελλοντική πηγή ενέργειας για πλοία. Εκτός από την αυξημένη αποδοτικότητα και τα περιβαλλοντολογικά οφέλη, η τεχνολογία κυψελίδων καυσίμου, προσφέρει επίσης μία αθόρυβη χωρίς κραδασμούς και μυρωδιές παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα, τα οποία δεν μπορεί να προσφέρει μια γεννήτρια που τροφοδοτείται με diesel, καθιστούν την υιοθέτηση της τεχνολογίας FC από την αγορά, ειδικά των πολυτελών κρουαζιερόπλοιων, κατά κάποιο τρόπο, ζήτημα χρόνου. Επίσης, αφού ένα σύστημα FC έχει πολύ λίγα κινούμενα μέρη, η συντήρηση που χρειάζεται είναι μικρότερη και η αξιοπιστία του συστήματος υψηλότερη, συγκρινόμενο με παραδοσιακές τεχνολογίες. Παρόλα αυτά υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν πριν οι κυψελίδες καυσίμων μπορέσουν να εισαχθούν στη ναυτιλιακή αγορά σε ευρεία

²⁰ Gunter Sattler "Fuel Cells going on Board". www.elsevier.com

κλίμακα. Τα μεγάλα εμπόδια είναι το υψηλό επενδυτικό κόστος, οι απαιτήσεις για υψηλή ποιότητα καυσίμων και η σχετικά πρόωμη κατάσταση της τεχνολογίας FC σήμερα.

Εικόνα 2.2. Μία από τις πιθανές ναυτιλιακές εφαρμογές των FC²¹



Επίσης, ένα ακόμα μειονέκτημα είναι το θέμα της αποθήκευσης του καυσίμου, ιδιαίτερα του υδρογόνου, όταν απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Το κυριότερο όμως μειονέκτημα για την ευρεία εμπορική χρήση των κυψελίδων καυσίμου, αποτελεί μειωμένη παραγωγή ενέργειας. Τα σημερινά συστήματα μπορούν να παράγουν ισχύ της τάξεως των 2 MW, τη στιγμή που ένα σύγχρονο εμπορικό πλοίο μεσαίου μεγέθους απαιτεί για την πρόωσή του ισχύ της τάξεως των 50 MW περίπου. Για το λόγο αυτό οι κυψελίδες καυσίμων χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.

²¹ Erkkko Fontell "Fuel Cells - The Future of Power Generation". www.wartsila.com

2.2.1. Τύποι κυψελίδων καυσίμων συμβατοί με πλοία και τεχνικές απαιτήσεις

Σε γενικές γραμμές όλοι οι τύποι κυψελίδων καυσίμων που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα ταιριάζουν με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και / ή για συστήματα πρόωσης σε πλοία επιφανείας / εμπορικά πλοία²².

Πίνακας 2.2 Τύποι FC για πλοία επιφανείας

Fuel cell types for surface ships			
Fuel type	Reactants	Operating temperature (°C)	Efficiency (%)
PEMFC	Air/reformate (H ₂)	80	39–42
PAFC	Air/reformate (H ₂)	300	38–42
MCFC	Air/methane	650	40–55
SOFC	Air/methane	900	45–60

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται απ' αυτές τις κυψελίδες καυσίμων είναι το υδρογόνο, αέρια με υψηλή περιεκτικότητα σε υδρογόνο ή υγρούς υδρογονάνθρακες (π.χ. μεθανόλη, diesel), οι οποίοι πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο ανασχηματισμένοι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα συστήματα FCs. Καθαρό οξυγόνο ή αέρας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παράγοντες οξείδωσης.

Στην περίπτωση των πλοίων επιφανείας, για λόγους logistics, το καύσιμο που ταιριάζει καλύτερα είναι το diesel, εκτός των ειδικών σκοπών tankers που μεταφέρουν υδρογόνο ή άλλα αέρια, με υψηλή περιεκτικότητα σε υδρογόνο. Ο πιο άμεσα έτοιμος για χρήση παράγοντας οξείδωσης, είναι ο αέρας. Για τα υποβρύχια, οι κυψελίδες καυσίμων τύπου PEM, οι οποίες χρησιμοποιούν υδρογόνο και οξυγόνο σε μία dead-end

²² Gunter Sattler "Fuel Cells going on Board". www.elsevier.com

διαμόρφωση έχουν αποδειχθεί κατάλληλες για χρήση. Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει ονομαστεί dead-end, διότι ολόκληρη η ποσότητα του προμηθευτού αέρα, χρησιμοποιείται μέσα στην κυψελίδα καυσίμου, έτσι ώστε μόνον τα αδρανή υπολείμματα των αερίων από τις κυψελίδες να εισέρχονται στην ατμόσφαιρα του πλοίου. Στο μέλλον ίσως αποδειχθεί πιο χρήσιμο για τα υποβρύχια, να παράγουν το υδρογόνο από μεθανόλη, πάνω στο πλοίο, αντί να το αποθηκεύουν σε μεταλλικά υδρίδια. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται περιληπτικά οι ακτίνες / εύρος απόδοσης και οι απαιτήσεις σε ενέργεια διαφόρων ειδών πλοίων²³.

Πίνακας 2.3. Απαιτούμενο εύρος απόδοσης για πλοία

Performance ranges for ships			
Surface ships	Merchant ships/ naval ships	Propulsion	5–50 MW
		Electrical supply	< 10 MW
		Emergency power supply	0.1–1 MW
Sub-surface vessels	Submarines	Mono propulsion	2–5 MW
		Hybrid propulsion	200–400 kW

Όπως έχουμε δει, οι κυψελίδες καυσίμων μπορούν να καλύψουν τις ακόλουθες απαιτήσεις πάνω στο πλοίο: Πρόωση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο του πλοίου, παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή συνδυασμό των ανωτέρω. Επιπρόσθετα, πρέπει να ικανοποιούνται και κάποιες ειδικές απαιτήσεις, όπως π.χ. αθόρυβος πλους. Εκτός όμως τις επιχειρησιακές απαιτήσεις, ο τύπος της κυψελίδα καυσίμων που θα επιλεγεί πρέπει να πληροί εξειδικευμένα κριτήρια απόδοσης, όπως

²³ Gunter Sattler "Fuel Cells going on Board". www.elsevier.com

πυκνότητα δύναμης του συστήματος, μετατροπή φορτίου / δυναμικές δυνατότητες (ανοδική / καθοδική αλλαγή φορτίου, ξαφνική απεμπλοκή, βραχυκύκλωμα) ή δυνατότητες ανεφοδιασμού / ανανέωσης του καυσίμου.

Γενικά, όλα τα συστήματα επί του πλοίου πρέπει να είναι σε τέτοιες διαστάσεις και με τέτοιο τρόπο εγκατεστημένα, έτσι ώστε να μην διακυβεύεται η ασφάλεια. Έτσι λοιπόν και οι κυψελίδες καυσίμων πρέπει να πληρούν εξειδικευμένες απαιτήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν κριτήρια όπως επιχειρησιακές συνθήκες επί του πλοίου (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, αλατότητα), μέθοδοι λειτουργίας, θόρυβος κ.τ.λ. Οι κυψελίδες καυσίμων είναι ικανές από τη φύση τους να εκπληρώσουν τις περισσότερες των απαιτήσεων για λειτουργία επί του πλοίου, ειδικότερα αν αναλογιστούμε και τα κύρια χαρακτηριστικά τους: καθαρές, αθόρυβες, ρυθμίσιμες, αποδοτικές. Επί πλέον, ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης πάνω σε πλοία παρέχουν επιπρόσθετα πλεονεκτήματα εξαιτίας της αποκεντρωμένης τοποθεσίας του συστήματος πρόωσης και των συνεπαγόμενων δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του επιμερισμού και της αξιοποίησης του χώρου.

2.2.2. Οι κυψελίδες καυσίμων επί του πλοίου

Οι προσπάθειες για την εισαγωγή νέων εξαρτημάτων ή συστημάτων στην αγορά, μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες περιοχές δράσης:

§ "ιδεαλιστικά" σχέδια

§ R 'n D σχέδια

§ Πιλοτικά και σχέδια επίδειξης

Η χρήση των κυψελίδων καυσίμων πάνω σε εμπορικά πλοία, ανήκει, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, στην πρώτη κατηγορία, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους αυτών των συστημάτων, παρόλο που έχουν διεξαχθεί σοβαρές έρευνες σε όλο τον κόσμο. Αντίθετα, στα πολεμικά πλοία επιφανείας, έχει επιτευχθεί ένα πιο προηγμένο στάδιο προετοιμασίας για τη λειτουργία των κυψελίδων καυσίμων, κυρίως σε ότι αφορά το

σχέδιο των All Electric Ships. Τα πλεονεκτήματα των κυψελίδων καυσίμων για τα εμπορικά πλοία είναι προφανή: υψηλή προοπτική για οικονομία καυσίμων, μειωμένες εκπομπές καυσαερίων, χαμηλότερα λειτουργικά κόστη, πιο αθόρυβη και πιο καθαρή πρόωση. Όμως η εφαρμογή των κυψελίδων καυσίμων σε εμπορικά πλοία δεν έχει προχωρήσει πέρα από το στάδιο μελετών εφικτότητας και το στάδιο επίδειξης. Οι κυριότεροι λόγοι είναι, από τη μία η κατάσταση της αγοράς, η οποία δεν επιτρέπει το υψηλό κόστος που είναι κύριο χαρακτηριστικό των κυψελίδων καυσίμων και από την άλλη, η τεχνική διαθεσιμότητα του ίδιου του συστήματος και του εφοδιασμού του με καύσιμα, τα οποία είναι αποτρεπτικά για τους ιδιοκτήτες πλοίων.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις ανωτέρω παρατηρήσεις, μπορούμε να πούμε, ότι εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους αλλά και του υψηλού επενδυτικού κόστους που απαιτείται για τη χρήση των κυψελίδων καυσίμων σε εμπορικά πλοία, αυτές θα περιοριστούν αρχικά ως χρήση σε εγκαταστάσεις χαμηλής ιπποδύναμης και σε βοηθητικές εφαρμογές. Οι πρώτες μη στρατιωτικές ναυτιλιακές εφαρμογές εκτιμάται ότι θα είναι ιδιωτικά σκάφη αναψυχής, όπου η αθόρυβη και χωρίς εκπομπές παραγωγή ενέργειας είναι αναγκαία κατά τη διάρκεια αργών ελιγμών μέσα στο λιμάνι. Η συγκεκριμένη αγορά είναι επίσης ικανή να αντέξει το βάρος του υψηλού κόστους επένδυσης. Μία πιο εμπορική εφαρμογή αναμένεται να είναι αυτή σε μικρά επιβατικά και εμπορικά πλοία που επιχειρούν κοντά σε ακτές, όπου το χαμηλό επίπεδο εκπομπών είναι σημαντικός παράγοντας και όπου η διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας καυσίμου μπορεί να εξασφαλιστεί.

Οι κυψελίδες καυσίμων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μονάδες παραγωγής βοηθητικής ενέργειας, για τον εφοδιασμό κρουαζιερόπλοιων, ειδικά μέσα σε λιμάνια. Ως κίνητρο για τη χρησιμοποίηση κυψελίδων καυσίμων μπορεί να είναι και οι χαμηλές εκπομπές αερίων, αλλά και η βελτιωμένη δημόσια εικόνα των ιδιοκτητών πλοίων, μέσω μιας περιβαλλοντολογικά φιλικής παραγωγής ενέργειας. Στην Ισλανδία,

όπου η κυβέρνηση δεσμεύτηκε να αυξήσει τη χρήση του υδρογόνου αντί των ορυκτών καυσίμων, οι κυψελίδες καυσίμων θεωρούνται μια εναλλακτική λύση για την παραγωγή ενέργειας του ισλανδικού αλιευτικού στόλου. Στην Ολλανδία το 1992, οι κυψελίδες καυσίμων υγροποιημένου ανθρακικού άλατος (MCFC) περιγράφηκαν ως η λύση για την πρόωση των πλοίων για τα επόμενα 20 χρόνια. Το προτεινόμενο καύσιμο είναι χαμηλής περιεκτικότητας θείου diesel. Στη Γερμανία το 1995 η εταιρεία HDW διερεύνησε τη χρήση των κυψελίδων καυσίμων σε εμπορικά πλοία, σε συνδυασμό με τα κατάλληλα καύσιμα. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι οι κυψελίδες καυσίμων είναι κατάλληλες για τις παρακάτω εφαρμογές:

- Παραγωγή ενέργειας εκτάκτου ανάγκης π.χ. σε επιβατικά και οχηματαγωγά πλοία.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά για χρήση σε λιμάνια με υψηλό επίπεδο ρύπανσης (π.χ. χρήση από πλοία μεταφοράς containers).
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας / ενέργειας για πρόωση σε πλοία με ειδικές απαιτήσεις για μείωση του θορύβου, π.χ. επιβατικά, ερευνητικά πλοία.
- Εγκαταστάσεις πρόωσης σε πλοία με υδρογόνο ή μεθάνιο "boil off", π.χ. LH₂ tankers, LNG tankers.

Η λειτουργία και η χρήση καθαρού υδρογόνου και κυψελίδων καυσίμων PEM είναι πιθανόν να περιοριστούν σε πλοία που μεταφέρουν υδρογόνο ως φορτίο. Αυτό διότι η χαμηλή ογκομετρική πυκνότητα της ενέργειας απαιτεί ευμεγέθεις δεξαμενές καυσίμων και διότι απαιτούνται πρόσθετες προφυλάξεις ασφαλείας. Στη Γερμανία, η ένωση των ψαράδων του Mussel αποφάσισε το 1996 να θέσει ως στόχο τον εξοπλισμό του αλιευτικού της στόλου με την όσο το δυνατόν φιλικότερη προς το περιβάλλον πρόωση. Μία πιθανή λύση ήταν η χρήση κυψελίδων καυσίμων αντί των παραδοσιακών ντιζελοκίνητων μηχανών. Επιπρόσθετα, και πάλι στη Γερμανία, το πλοίο αναψυχής MS Weltfrieden είναι εφοδιασμένο με εγκατάσταση πρόωσης η οποία αποτελείται από PEM κυψελίδες καυσίμων. Το συγκεκριμένο πλοίο έχει απόδοση δύναμης της τάξεως των 10 KW και το καύσιμό του αποθηκεύεται σε δύο μεταλλικές υδριδικές

εγκαταστάσεις αποθήκευσης με συνολική χωρητικότητα 27 Nm^3 υδρογόνου η κάθε μία. Στην Ιταλία, το 1998, ένα μικρό πλοίο τροποποιήθηκε, έτσι ώστε να πάρει ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης. Το προωστήριο σκεύος αποτελείται από ένα σύστημα κυψελίδων καυσίμων απόδοσης 40 KW με καύσιμο υγρό υδρογόνο (LH_2) και μια 100-Ah lead-acid μπαταρία. Το υβριδικό σύστημα παρέχει ενέργεια 100 KW σε ένα μοτέρ με ονομαστική απόδοση 120 KW. Η ακτίνα του πλοίου είναι περίπου 300 χιλιόμετρα και η χωρητικότητά του 90 επιβάτες. Τέλος στην Ιαπωνία έχουν εκδοθεί τα αποτελέσματα ερευνών για τη χρήση 2 X 500 KW PEM κυψελίδων καυσίμων με μεταρρυθμιστή μεθανόλης για ένα 1500 DWT εμπορικό πλοίο και για ένα 499 GT πλοίο που επιχειρεί κοντά στις ακτές. Σύμφωνα με τα ανωτέρω αποτελέσματα έχει προβλεφθεί οικονομία καυσίμων της τάξεως 5% με 10% και βελτιωμένη περιβαλλοντολογική απόδοση. Γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι οι αγορές των ιδιωτικών γιωτ, των μικρών επιβατικών και εμπορικών πλοίων που επιχειρούν κοντά στις ακτές, εκτιμώνται ότι θα είναι και οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές των κυψελίδων καυσίμων. Θα πάρει πολλές δεκαετίες ανάπτυξης πριν οι κυψελίδες καυσίμων χρησιμοποιηθούν ευρέως για μεγαλύτερα εμπορικά πλοία, όπου η απαίτηση για ενέργεια ανέρχεται σε δεκάδες MW.

2.2.3. Η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου στα ferries· ένα παράδειγμα

Σ' αυτό το σημείο θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να δούμε πως και με ποιες προϋποθέσεις και απαιτήσεις μπορεί να εγκατασταθεί ένα σύστημα FCs σ' ένα ferry. Στο άρθρο του Bard Meek - Hansen της εταιρείας MARINTEK "Fuel Cell Technology for Ferries"²⁴, σαν case study για την εγκατάσταση FC σε ένα ferry, έχει επιλεγεί το Νορβηγικό πλοίο Gloutra το οποίο χρησιμοποιεί φυσικό αέριο (Natural Gas - NG). Το συγκεκριμένο πλοίο έχει χωρητικότητα 100 pbe (pbe= Personal vehicles equivalent).

²⁴ MARINTEK Paper at the IMTA Conference Gold Cost. Australia, October 2002

Εικόνα 2.3 Gloutra πηγή: MARINTEK Paper at the IMTA Conference Gold Coast, Australia, October 2002.



Το άρθρο αναφέρει τα εξής: "Για την εγκατάσταση συστήματος κυψελίδων καυσίμων στο ferry θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κάτωθι:

- Ø Το σύστημα κυψελίδων καυσίμων που θα επιλεγεί.
- Ø Το σύστημα αποθήκευσης του καυσίμου.
- Ø Το σύστημα μεταφοράς του καυσίμου.
- Ø Το σύστημα επεξεργασίας του καυσίμου.
- Ø Το σύστημα ανεφοδιασμού.
- Ø Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα ferries που κινούνται με diesel, οι κύριες μηχανές βρίσκονται συνήθως κάτω από το κύριο κατάστρωμα, αλλά στο Gloutra έχει επιλεγεί ένα εναλλακτικό σχέδιο

εξαιτίας της εφαρμογής του φυσικού αερίου ως καύσιμο. Στο συγκεκριμένο πλοίο, οι κύριες μηχανές βρίσκονται στο κατάστρωμα βαρκών (πάνω από το κύριο κατάστρωμα). Αυτή η σχεδίαση έχει αναπτυχθεί για να υπάρχει συμμόρφωση με τους υπάρχοντες κανονισμούς του Norwegian Maritime Directorate (NMD) για τη λειτουργία του φυσικού αερίου. Είναι πολύ πιθανό ότι η εγκατάσταση κυψελίδων καυσίμων πάνω σε πλοίο θα πρέπει να συμμορφωθεί με τους ίδιους κανονισμούς και η γενική μηχανολογική σχεδίαση ενός υπάρχοντος ferry θα πρέπει να αναθεωρηθεί έτσι ώστε οι κυψελίδες καυσίμων και τα βοηθητικά συστήματα να εγκατασταθούν πάνω από το κύριο κατάστρωμα. Γι' αυτό το λόγο οι απαιτήσεις για τη λειτουργία κυψελίδων καυσίμων πάνω σε ένα ferry, βασίζονται στις σχεδιαστικές παραμέτρους του Gloutra. Οι ναυτιλιακές εφαρμογές εισάγουν μια σειρά από απαιτήσεις για τα συστήματα κυψελίδων καυσίμων. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των ειδικών συνθηκών που επικρατούν στη θάλασσα (π.χ. κίνηση εξαιτίας των κυμάτων, αλατότητα του αέρα κ.τ.λ.) και της ανάγκης να υπάρχει συμβατότητα με τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας πάνω στο πλοίο. Το τελευταίο μάλιστα βάζει συγκεκριμένους περιορισμούς στο σύστημα κυψελίδων καυσίμων, όσον αφορά στην ποιότητα της ενέργειας και της δυναμικής. Επιπλέον, κάθε εγκατάσταση FC πρέπει να είναι σε συμμόρφωση με τους ισχύοντες κανονισμούς.

I. Απαιτήσεις του συστήματος.

Ένα σύστημα FC θα πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- ☒ Ολόκληρο το σύστημα κυψελίδων καυσίμων θα πρέπει να χωράει σε ένα container 20 ποδών.
- ☒ Το container να είναι εγκατεστημένο πάνω από το κύριο κατάστρωμα.
- ☒ Το κύριο καύσιμο του συστήματος είναι το φυσικό αέριο και η αποδιδόμενη ενέργεια θα είναι AC ηλεκτρική ενέργεια.
- ☒ Αν χρειασθεί, κάθε εγκατάσταση για τη μετατροπή του φυσικού αερίου σε υδρογόνο θα θεωρείται μέρος / κομμάτι του συστήματος.

- Ø Το σύστημα πρέπει να έχει αυτάρκεια σε ό,τι αφορά τη διαχείριση του εσωτερικού νερού και της ψύξης.
- Ø Το σύστημα κυψελίδων καυσίμων δεν πρέπει να στηρίζεται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλης υποστήριξης, από το σύστημα της κύριας πρόωσης ή από το υπάρχον σύστημα παραγωγής ενέργειας.
- Ø Πρέπει να υπάρχει ένα μικρό εφεδρικό σύστημα (μπαταρία) το οποίο θα διατηρεί το σύστημα σε λειτουργία σε έκτακτες περιπτώσεις διακοπής παροχής ενέργειας, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις και τους κανονισμούς ασφαλείας.
- Ø Το σύστημα των κυψελίδων καυσίμων πρέπει να αντέχει στις σκληρές θαλάσσιες συνθήκες όπως η υψηλή αλατότητα του αέρα και η υγρασία.
- Ø Η δυναμική του συστήματος κυψελίδων καυσίμων πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των εξαρτημάτων των βοηθητικών συστημάτων και αν χρειάζεται θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και ένα εφεδρικό σύστημα για περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης.
- Ø Το σύστημα κυψελίδων καυσίμων θα παρέχει 50 έως 100 KW ονομαστικής δύναμης.
- Ø Η παραγόμενη δύναμη θα ποικίλει σε μια ακτίνα από 25 έως 70 KW.
- Ø Η ηλεκτρική δύναμη θα είναι 230 VOLT AC, 50 Hz.

II. Αποθήκευση καυσίμου - Γενικές ρυθμίσεις.

Η αποθήκευση καυσίμου σε ένα υπάρχον ferry θα πρέπει να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς NMD εναλλακτικοί τρόποι αποθήκευσης για εφαρμογή σε σύστημα κυψελίδων καυσίμων είναι οι κάτωθι:

- Ø Μεταλλικά υδρίδια.
- Ø Υγροποιημένο υδρογόνο.
- Ø Συμπιεσμένο υδρογόνο (CH_2).
- Ø Άλλοι "μεταφορείς" υδρογόνου, όπως φυσικό αέριο, μεθανόλη κ.τ.λ.

Στο πρόγραμμα του Gloutra έχει επιλεγεί το φυσικό αέριο ως "μεταφορέας" υδρογόνου και το ίδιο το φυσικό αέριο θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για το σύστημα κυψελίδων καυσίμων.

III. Επεξεργασία καυσίμου και σύστημα μεταφοράς - Γενικές ρυθμίσεις.

Το σύστημα μεταφοράς καυσίμου συνδέει τη δεξαμενή καυσίμου με το σύστημα των κυψελίδων. Τα κύρια εξαρτήματα αυτού του συστήματος είναι: σωληνώσεις, βαλβίδες, σύστημα συναγερμού, σύστημα shut-off, σύστημα αδρανούς αερίου κ.τ.λ. Οι σωληνώσεις πρέπει να διέρχονται από τις ήδη υπάρχουσες υποδοχές για σωλήνες αν ο χώρος αποθήκευσης είναι κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Ένα διπλό σύστημα σωληνώσεων απαιτείται για τη μεταφορά αέριων καυσίμων, καθώς και ανιχνευτής αερίων και σύστημα συναγερμού για όλα τα σημεία και τα κενά που μπορούν να εκτεθούν σε διαρροή αερίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το υπάρχον σύστημα σωληνώσεων φυσικού αερίου. Αυτό το σύστημα θα εφοδιάζει τις κυψελίδες καυσίμων με πίεση περίπου 4 bar. Επιπλέον, μπορεί να απαιτηθεί ένα σύστημα επεξεργασίας φυσικού αερίου (μετατροπέας) εκτός αν χρησιμοποιηθούν MCFC ή SOFC. Η παραπάνω μονάδα θα καθοριστεί μαζί με την κυψελίδα καυσίμων που θα χρησιμοποιηθεί. Όσον αφορά στο σύστημα ανεφοδιασμού, σε γενικές γραμμές αυτό θα είναι εύκολο να λειτουργήσει χωρίς να χρειαστούν εξειδικευμένες αλλαγές. Το σύστημα ανεφοδιασμού εξαρτάται από το σύστημα αποθήκευσης του καυσίμου. Το σύστημα ανεφοδιασμού του Gloutra θα χρησιμοποιηθεί χωρίς τροποποιήσεις.

IV. Κριτήρια επιλογής του τύπου της κυψελίδας καυσίμων.

α) Ασφάλεια

Οι αυστηροί κανονισμοί που ισχύουν για όλα τα ναυτιλιακά συστήματα θα εφαρμοσθούν χωρίς καμία εξαίρεση και συμβιβασμό. Η ασφάλεια πρέπει να διασφαλιστεί μέσω κανονισμών και προϊόντων τα οποία είναι αντικείμενο έγκρισης από τις αρχές.

β) Αποδοτικότητα του συστήματος

Η μείωση των εκπομπών αερίων είναι ένας από τους στόχους του σχεδίου και το δεύτερο πιο σημαντικό κριτήριο. Η αποδοτικότητα του συστήματος είναι το κλειδί για τη μείωση των εκπομπών αερίου και της ρύπανσης. Η αποδοτική χρήση του καυσίμου είναι συνδεδεμένη με το περιβάλλον, ειδικά μέσω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι το σύστημα κυψελίδων καυσίμων εξαφανίζει τις εκπομπές οξειδίου του αζώτου.

γ) Κόστος του συστήματος

Το κόστος του συστήματος είναι κρίσιμος παράγοντας για την πραγματοποίηση του σχεδίου. Το συνολικό λειτουργικό κόστος το οποίο συμπεριλαμβάνει τη λειτουργία (καύσιμα) και συντήρηση (εργασία-ανταλλακτικά) πρέπει να ληφθεί υπ' όψη. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει η τάση προς μεγάλες μειώσεις στο κόστος του συστήματος, αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην επιλογή του τύπου της κυψελίδας καυσίμου. Επίσης απαιτείται ένας χαμηλός ρυθμός φθοράς του συστήματος μέσα στο χρόνο (με υποτιθέμενες 18 ώρες λειτουργίας ημερησίως για ένα νορβηγικό ferry, αυτό μεταφράζεται σε 6.750 ώρες λειτουργίας ετησίως. Η διάρκεια ζωής του συστήματος θα πρέπει να είναι όσο μεγαλύτερη γίνεται - κατά προτίμηση περισσότερο από τρία χρόνια κανονικής λειτουργίας). Τέλος, τυχόν μεγάλη πολυπλοκότητα του συστήματος θα αυξήσει το κόστος εγκατάστασης και θα επηρεάσει και το κόστος συντήρησης.

δ) Δυνατότητες βελτίωσης μελλοντικής τεχνολογίας

Οι μελλοντικές τεχνολογικές ανακαλύψεις είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Όμως, είναι σημαντικές για τη σωστή επιλογή του συστήματος κυψελίδων καυσίμων. Εξαιτίας των χαρακτηριστικών στοιχείων των αντίστοιχων τύπων κυψελίδων καυσίμων, αυτές έχουν διαφορετικές δυνατότητες για βελτιώσεις σε σχέση με π.χ. μείωση κόστους, βελτιώσεις στην αποδοτικότητα κ.τ.λ. Οι δυνατότητες λοιπόν κάθε τεχνολογίας για βελτιώσεις θα πρέπει να προσδιορισθούν και να ληφθούν υπόψη.

ε) Εκκίνηση / στιγμιαία ανταπόκριση.

Ο μικρός χρόνος εκκίνησης είναι οπωσδήποτε ευνοϊκός για το σύστημα. Η στιγμιαία ανταπόκριση σε περιπτώσεις αλλαγών φορτίων, σ' ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη λειτουργική ασφάλεια ολόκληρου του πλοίου. Καθυστερήσεις στην ανταπόκριση, μπορούν να αποβούν προβληματικές σε κρίσιμες περιπτώσεις. Γι' αυτό λοιπόν ένα επαρκές σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αντιδρά χωρίς καθυστερήσεις που περιορίζουν την ασφάλεια και μειώνουν την άνεση.

ζ) Αξιοπιστία παρεχόμενης ενέργειας

Η αξιοπιστία ενός συστήματος κυψελίδων καυσίμων μπορεί να διαπιστωθεί από εκτεταμένους ελέγχους ή μέσω των εγγυήσεων των προμηθευτών. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα ενός συστήματος, γενικά επηρεάζει την αξιοπιστία, εξαιτίας του αριθμού των εξαρτημάτων στα οποία μπορεί να προκληθεί βλάβη. Ένα σύστημα υπό πίεση, είναι από τη φύση του λιγότερο αξιόπιστο από ένα ατμοσφαιρικό, αλλά παρουσιάζει μια αυξημένη πυκνότητα δύναμης. Η απευθείας μετατροπή του φυσικού αερίου σε ηλεκτρική ενέργεια παρέχει πλεονεκτήματα διότι δεν υπάρχει μετατροπέας. Η αξιοπιστία είναι στενά συνδεδεμένη με την ασφάλεια και από την άλλη πλευρά οι απαιτήσεις ασφαλείας μπορεί να είναι ένδειξη ενός συγκεκριμένου βαθμού αξιοπιστίας.

η) Πυκνότητα ενέργειας

Η ενσωμάτωση ενός συστήματος κυψελίδων καυσίμων σε ένα ferry πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τη μελλοντική δυνατότητα χρησιμοποίησης κυψελίδων καυσίμων για το σύστημα κύριας πρόωσης του πλοίου. Η πυκνότητα ενέργειας (KW/litter & KW/kg) δεν είναι μόνο σημαντική σε σχέση με το χώρο και τον όγκο που είναι διαθέσιμοι πάνω στο ferry. Υψηλής πυκνότητας ενέργεια ίσως είναι το κλειδί για τη μείωση του κόστους αλλά και του χώρου, που καταλαμβάνει ένα σύστημα FC διότι μειώνει το ποσό των υλικών που απαιτούνται.

θ) Διαθεσιμότητα τεχνολογίας

Διάφοροι τύποι κυψελίδων καυσίμων έχουν φθάσει σε διάφορα επίπεδα ανάπτυξης. Η διαθεσιμότητα και ο χρόνος παράδοσης των σωμάτων FCs και των βοηθητικών εξαρτημάτων τα οποία χρειάζονται για να συναρμολογηθεί ένα σύστημα, ίσως υπαγορεύει την επιλογή μιας τεχνολογίας FC η οποία μακροπρόθεσμα μπορεί να είναι κατώτερη από άλλες. Γι' αυτό η διαθεσιμότητα είναι κρίσιμος παράγων, ειδικά αν το σχέδιο πρόκειται να πραγματοποιηθεί με μία βραχυχρόνια προοπτική.

V. Η τεχνολογική αξιολόγηση των τύπων κυψελίδων καυσίμων και της εφικτότητάς τους.

Εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με τις εκπομπές αερίων και την αποδοτικότητα, οι κυψελίδες καυσίμων έχουν αναπτυχθεί σε διάφορους τύπους καλύπτοντας μία ευρεία γκάμα αγορών και εφαρμογών σε μία ακτίνα από W έως MW. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, οι πέντε τύποι FCs έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Είναι αξιοσημείωτη η μεγάλη διαφορά της λειτουργικής θερμοκρασίας (0-1.000° C). Οι κυψελίδες καυσίμων, όπως έχουμε ήδη δει, χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες χαμηλής θερμοκρασίας FCs (0-250° C) και υψηλής θερμοκρασίας FCs (600-1.000° C).

Πίνακας 2.4. Παράμετροι κλειδιά για τους 5 κύριους τύπους FCs

	Low-temperature cells			High-temperature cells	
	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Electrolyte	Ion exchange membrane	Mobile or immobilised alkaline solution, KOH	Immobilised liquid, Phosphoric Acid	Immobilised liquid Molten Carbonate	Ceramic
Charge carrier	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ⁻	O ⁻
Temperature range	20-90 °C	0-80 °C	100-250 °C	~650 °C	600-1000 °C
External reformer for CH₄	yes	yes	yes	no	no
Prime cell Components	Carbon based	Carbon based	Graphite based	Stainless steel	Ceramic
Catalyst	Platinum	Platinum or non-noble	Platinum	Nickel	Perovskites
Water management	Evaporation	Evaporation	Evaporation	Gaseous products	Gaseous products
Heat management	Process gas + Independent Cooling media	Process gas + Electrolyte circulation	Process gas + Independent Cooling media	Internal reforming + Process gas	Internal reforming + Process gas
Typical Power Range	W-300kW	W-20kW	50-200kW 11MW ³⁾	300-3000kW	1-3 kW ¹⁾ 100-1000 kW ²⁾

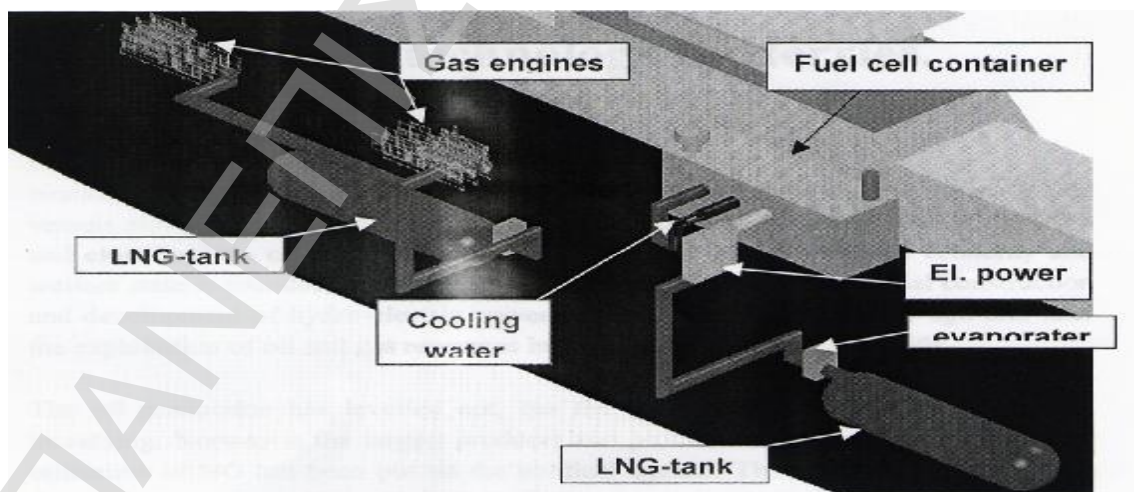
Τα συστήματα FCs χαμηλής θερμοκρασίας θα χρειαστούν υψηλής καθαρότητας υδρογόνο, πράγμα το οποίο υπαγορεύει την ενσωμάτωση ενός μετατροπέα, όπως και ενός συστήματος καθαρισμού του αερίου, έτσι ώστε να διαχωρίζεται το μονοξείδιο του άνθρακα από το συνθετικό αέριο (υδρογόνο, CO και CO₂). Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί με επιτυχία, αλλά είναι ογκώδη και με μεγάλο κόστος εξαιτίας της πολυπλοκότητάς τους, και της χρήσης ευγενών μετάλλων ως καταλύτες. Από τεχνικής άποψης, οι τεχνολογίες των υψηλών θερμοκρασιών FCs είναι πιο κατάλληλες για εφαρμογή στο πλοίο Gloutra που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ως καύσιμο. Αυτό συμβαίνει εξ αιτίας της ικανότητάς τους να μετατρέπουν απευθείας το φυσικό αέριο ή να λειτουργούν με μερικώς τροποποιημένα καύσιμα. Μία τεχνική αξιολόγηση των 5 τύπων FCs και της εφικτότητάς τους για εφαρμογή στο Gloutra παρουσιάζεται παρακάτω:

Ø **SOFCS.** Αρχικώς αναπτύχθηκαν για μεγάλες στατικές εφαρμογές (μεγαλύτερες των 100 KW). Ωστόσο, χάριν στις πρόσφατες εξελίξεις των κυψελίδων επίπεδου δίσκου που μπορεί να αντέξει χαμηλές θερμοκρασίες, μία καινούργια προοπτική ανοίγεται για τα SOFC στην ακτίνα των KW. Αυτές οι κυψελίδες φτιάχνονται για οικιακές εφαρμογές και σαν μονάδες βοηθητικής ενέργειας, π.χ. σε επιβατικά αυτοκίνητα. Αυτές οι μικρής κλίμακας επίπεδου δίσκου SOFCs μπορούν τελικά να φθάσουν το μέγεθος των 50 KW, αλλά αυτό αναμένεται να γίνει σε δύο τρία χρόνια. Σε μια μεσοπρόθεσμη προοπτική αυτό κάνει τις SOFCs ενδιαφέρουσες για την εφαρμογή μας. Η ανάπτυξη των επίπεδων δίσκων κυψελίδων είναι ακόμα σε στάδιο πρωτοτύπου και η ευρείας κλίμακας παραγωγή τους δεν αναμένεται πριν το 2005 (Σημ. συγγρ. Το άρθρο έχει γραφτεί το 2002).

Ø **MCFCs.** Έχουν επιδειχθεί μόνο για μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας (300 KW και πάνω). Αυτή η τεχνολογία δεν θεωρείται βιώσιμη για μικρής κλίμακας εφαρμογές, ενώ κάποια μεγάλης κλίμακας αναπτυξιακά προγράμματα έχουν εκπονηθεί για χρήση σε πολεμικά πλοία, όπου το κόστος δεν είναι αποτρεπτικός παράγων.

- Ø **PAFCs.** Είναι ήδη στην αγορά εδώ και σχεδόν 10 χρόνια. Η υψηλή τους τιμή συνδέεται με τη χρήση ηλεκτροδίων από πορώδες τεφλόν, συνδεδεμένο με άνθρακα με υψηλό φορτίο καταλύτη. Μόνο ευγενή αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καταλύτες, σ' αυτές τις κυψελίδες καυσίμων. Πιστεύεται ότι στο μέλλον, οι PAFCs δεν θα είναι ικανές να ανταγωνιστούν άλλα συστήματα κυψελίδων καυσίμων. Οι PAFCs έχουν περάσει το στάδιο του πρωτοτύπου και πλειάδα προϊόντων είναι ήδη διαθέσιμη στην αγορά. Το Αμερικανικό Υπ. Αμύνης έχει περισσότερες από 1/2 εκατομμύριο ώρες λειτουργίας σε συστήματα PAFCs.
- Ø **PEMFCs.** Έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και έχει επιδειχθεί υψηλή απόδοση σε φορτία χαμηλών ευγενών μετάλλων. Περαιτέρω μείωση κόστους αναμένεται με την αύξηση της μαζικής παραγωγής, μείωση του κόστους των υλικών και μείωση του φορτίου του καταλύτη. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας PEMFCs καθοδηγείται από εταιρείες της Βόρειας Αμερικής όπως η Ballard Power Systems και η Plug Power, αλλά ένας αυξανόμενος αριθμός εταιρειών ασχολείται με τον συγκεκριμένο τομέα. Τα συστήματα PEMFCs έχουν δείξει πολύ υψηλή πυκνότητα δύναμης και είναι μέχρι στιγμής τα συστήματα κυψελίδων τα οποία έχουν μελετηθεί πιο πολύ.

Εικόνα 2.4 Εγκατάσταση PEMFCs στο Gloutra



Ø *AFCs*. Προορίζονται κυρίως για χρήση σε μικρότερες εφαρμογές παραγωγής ενέργειας. Μερικές μεγάλες μονάδες έχουν παραχθεί (για στρατιωτικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές) με πολύ υψηλό κόστος και οι οποίες χρησιμοποιούν καθαρό υδρογόνο / οξυγόνο και ευγενή μέταλλα ως καταλύτες.

VI. Συμπεράσματα

Υπάρχουν τρία κατά κύριο λόγο συστήματα πιο κατάλληλα για εφαρμογή στο *Gloutra* (*PEMFCs*, *PAFCs* ή *SOFCs*). Για την πραγματοποίηση ενός 50 KW βοηθητικού συστήματος ενέργειας με κυψελίδες καυσίμων μέσα σε ένα με δύο χρόνια, οι *PAFCs* και *PEMFCs* θεωρούνται οι πιο κατάλληλες. Σε μια μακροπρόθεσμη προοπτική με περαιτέρω ανάπτυξη των επίπεδων *SOFCs* (*Planar SOFCs*), ο συγκεκριμένος τύπος κυψελίδας θεωρείται καλύτερη επιλογή για εφαρμογή στο *Gloutra*, εξαιτίας της ικανότητάς του για απευθείας μετατροπή του φυσικού αερίου. Επιπλέον όταν δίνεται περισσότερη έμφαση σε ζητήματα όπως, αποδοτικότητα, πυκνότητα ενέργειας και εκτιμήσεις μελλοντικού κόστους οι *PEMFCs* θεωρούνται η καλύτερη τεχνολογία. Όταν όμως δίνεται έμφαση στην ευελιξία καυσίμου, οι *SOFCs* θεωρούνται καλύτερη τεχνολογία εξαιτίας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω της δυνατότητας που έχουν να μετατρέπουν το φυσικό αέριο απευθείας σε ηλεκτρισμό.

Για ευρείας κλίμακας παραγωγή ενέργειας σε ένα ακτοπλοϊκό *ferry* (το οποίο απαιτεί περίπου 1,5 MW για την πρόωσή του), όπου η κυψελίδα καυσίμου αποτελεί τη μόνη τεχνολογία μετατροπής ενέργειας επί του πλοίου, οι απαιτήσεις σε ό,τι αφορά την αξιοπιστία και το χρόνο δυναμικής ανταπόκρισης είναι αυστηρότερες απ' ό,τι σε ένα βοηθητικό σύστημα. Η μεγάλη παραγόμενη ενέργεια επίσης, βάζει περιορισμούς στην πυκνότητα της ενέργειας. Επιπρόσθετα, οι μετατροπείς είναι συνήθως μεγάλοι και

ογκώδεις και γι' αυτό το λόγο τέτοια εξαρτήματα πρέπει να αποφεύγονται. Καταλήγοντας μπορούμε να πούμε ότι οι υψηλής θερμοκρασίας κυψελίδες καυσίμων (SOFCs και MCFCs) είναι βιώσιμες και με πολλά πλεονεκτήματα για εφαρμογή ευρείας κλίμακας".

2.2.4. Η τεχνολογία επίπεδης SOFC (Planar SOFC)

Όπως είδαμε και παραπάνω στο άρθρο του Bard Meek - Hansen, οι κυψελίδες καυσίμων στερεού οξειδίου είναι μια βιώσιμη λύση και προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα για εφαρμογή ευρείας κλίμακας (π.χ. σε εμπορικό πλοίο). Έτσι κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί περιληπτικά η τεχνολογία των συγκεκριμένων κυψελίδων καυσίμων και η προοπτική χρησιμοποίησής τους στον τομέα της ναυτιλίας.

Η τεχνολογία SOFC χωρίζεται σε σωληνοειδή και επίπεδη. Η εταιρεία Westing House άρχισε πρώτη να αναπτύσσει τις σωληνοειδείς SOFCs στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και αυτή η ανάπτυξη συνεχίζεται σήμερα από τη Siemens - Westing House. Η επίπεδη τεχνολογία αναπτύσσεται προσφάτως από ένα αριθμό εταιρειών και ερευνητικών ιδρυμάτων ανά τον κόσμο. Η εταιρεία Wärtsila είναι μία απ' αυτές που δείχνουν ισχυρό ενδιαφέρον για την επίπεδη τεχνολογία SOFCs εξαιτίας της καταλληλότητάς της για Cost - Effective μαζική παραγωγή και τη δυνατότητα για υψηλής πυκνότητας ενέργεια. Η επίπεδη τεχνολογία SOFCs μπορεί να λειτουργήσει σε μια θερμοκρασία με ακτίνα από 650-800° C, πράγμα το οποίο επιτρέπει τη χρησιμοποίηση παραδοσιακών υλικών μαζί με τα υπόλοιπα εξαρτήματα της εγκατάστασης. Το γεγονός αυτό θα βελτιώσει περαιτέρω την ανταγωνιστικότητα της εν λόγω τεχνολογίας.

Όσον αφορά στα καύσιμα, σε μία SOFC, η πρωταρχική αντίδραση που παράγει η ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, συμβαίνει όταν άτομα υδρογόνου ή μονοξειδίου του άνθρακα αντιδρούν με ιόντα οξυγόνου. Ανεξάρτητα από ποιο καύσιμο

χρησιμοποιείται, αυτό πρέπει να προετοιμάζεται με διαφορετικούς τρόπους και σε διαφορετικές φάσεις, έτσι ώστε να παρέχει τους αντιδραστήρες για την αντίδραση της κυψελίδας. Το υδρογόνο είναι το πιο κατάλληλο καύσιμο για την κυψελίδα καυσίμου στερεού οξειδίου, διότι δεν απαιτεί προ-μετατροπή. Ωστόσο, επειδή το καθαρό υδρογόνο στοιχίζει ακριβά και είναι διαθέσιμο σε περιορισμένες ποσότητες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αριθμός από άλλα είδη καυσίμων όπως μεθανόλη, φυσικό αέριο, diesel, και αιθανόλη. Αφού μετακινηθούν τα μόρια από το καύσιμο με φιλτράρισμα, τα συστατικά του θείου πρέπει να μειωθούν σε ένα επίπεδο κατάλληλο για τον μετατροπέα καυσίμου και την κυψελίδα καυσίμου. Είναι απαραίτητο τα συστατικά του θείου να μειωθούν κάτω από το 1 ppm (parts per million) κάτι το οποίο απαιτεί αποδοτικές συσκευές καθαρισμού. Το καύσιμο μπορεί να τροποποιηθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με το είδος του και το είδος της κυψελίδας καυσίμου. Η μετατροπή με ατμό και η αυτόματη θερμική μετατροπή (ATR) του φυσικού αερίου, χρησιμοποιούνται συχνά σε μονάδες μεγάλου μεγέθους. Για μικρότερες μονάδες, η μέθοδος της μερικής οξείδωσης (Partial Oxidation - Pox) είναι η πιο αποδοτική μέθοδος μετατροπής.

Καθώς η εταιρεία Wärtsila ενδιαφέρεται για εφαρμογές SOFCs μεγαλύτερες των 200 KW για ναυτιλιακή αλλά και ξηράς παραγωγή ενέργειας, τα πιο κατάλληλα καύσιμα φαίνεται να είναι το φυσικό αέριο και το χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο diesel. Σε σταθερές εφαρμογές το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ευρέως και η μετατροπή του είναι παραδοσιακή τεχνολογία. Σε μια SOFC οι υψηλοί υδρογονάνθρακες του φυσικού αερίου μετατρέπονται σε μεθάνιο (CH_4), υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα. Μέρος του μεθανίου μπορεί εσωτερικώς να μετατραπεί σε μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο μέσα στο σώμα της κυψελίδας. Για ναυτιλιακές εφαρμογές η χρήση του diesel θα ήταν η πιο κατάλληλη. Το καύσιμο diesel μπορεί επίσης να τροποποιηθεί αφού το θείο που περιέχεται μέσα σ' αυτό μειωθεί πριν από τον μετατροπέα. Στο μέλλον το πιο πιθανό είναι ότι ο διαχωρισμός του θείου θα γίνεται στα δουλστήρια στο επίπεδο των 5 με 10 ppm, κάτι το οποίο θα επιτρέπει το καθάρισμα

διατηρήσιμων καυσίμων μέσα στο πλοίο. Άλλη μία επιλογή για καύσιμο κυψελίδας καυσίμων πάνω σε πλοίο είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), κυρίως για ακτοπλοϊκά πλοία. Ωστόσο, είναι απίθανο το LNG να χρησιμοποιηθεί για βοηθητική ενέργεια σε πλοία των οποίων οι κύριες μηχανές χρησιμοποιούν diesel. Ακόμη και μια μικρή εγκατάσταση αερίου θα περιπλέξει ολόκληρη τη μηχανολογική εγκατάσταση. Από την άλλη, είναι ευκολότερο να τροποποιηθεί το LNG παρά το diesel. Σε ό,τι αφορά στο υδρογόνο, αυτό έχει γίνει αντικείμενο μεγάλου ενδιαφέροντος σε πολλά αναπτυξιακά προγράμματα, με την αποθήκευσή του να αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα. Αφού λυθούν αυτά τα ζητήματα και μπορεί να επιτευχθεί και παραγωγή υδρογόνου η οποία θα είναι αποδοτική σε σχέση με το κόστος, τότε το υδρογόνο μπορεί να γίνει καύσιμο του μέλλοντος και για τις κυψελίδες καυσίμων και για τις παραδοσιακές μηχανές καύσης.

Όπως έχουμε ήδη δει ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των κυψελίδων καυσίμων είναι εκτός από την ηλεκτρική αποδοτικότητα, τα χαμηλά επίπεδα εκπομπών. Γενικώς οι κυψελίδες καυσίμων δεν εκπέμπουν θείο αφού αυτό απομακρύνεται από το καύσιμο πριν τη χρήση. Οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου είναι επίσης ασήμαντες, διότι το άζωτο δεν χρησιμοποιείται ως αντιδραστήρας, στη διαδικασία της κυψελίδας. Οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου από ένα σύστημα SOFC είναι κάτω από 0,5 ppm και σχηματίζονται κυρίως από μετάκαυση όπου καίγονται τα εναπομείναντα αέρια της κυψελίδας καυσίμων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κύριες αντιδράσεις για τους διάφορους τύπους κυψελίδων καυσίμων²⁵.

²⁵ Erkkko Fontell "Fuel Cells - The Future of Power Generation". www.wartsila.com

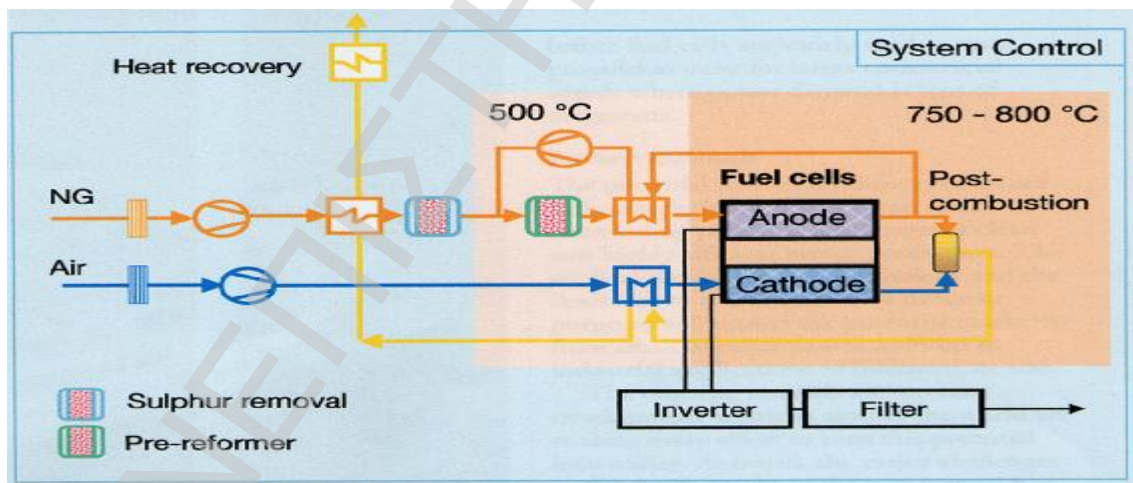
Πίνακας 2.5. Ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στις κυψελίδες καυσίμων.

Fuel cell	Anode reaction	Cathode reaction
PEM and PAFC	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$1/2 O_2 + 2H + 2e^- \rightarrow H_2O$
Alkaline	$H_2 + 2(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	$1/2 O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH)^-$
Molten Carbonate	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ $CO + CO_3^{2-} \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$	$1/2 O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
Solid Oxide	$H_2 + O= \rightarrow H_2O + 2e^-$ $CO + O= \rightarrow CO_2 + 2e^-$ $CH_4 + 4O= \rightarrow 2H_2O + CO_2 + 8e^-$	$1/2 O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

Όπως φαίνεται στον πίνακα όταν χρησιμοποιούνται υδρογονάνθρακες ως καύσιμο οι εκπομπές από τις αντιδράσεις είναι νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Στον πίνακα επίσης φαίνεται πως το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε μία SOFC.

Στη συνέχεια θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε από ποια εξαρτήματα και μέρη αποτελείται μία SOFC όπως αυτά εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα²⁶.

Εικόνα 2.5. Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος SOFC



²⁶. Erkko Fontell "Fuel Cells - The Future of Power Generation". www.wartsila.com

Το καύσιμο φιλτράρεται, ελέγχεται η πίεσή του και προθερμαίνεται πριν από τη μονάδα απομάκρυνσης του θείου, το οποίο μπορεί να απομακρυνθεί είτε σε χαμηλή, είτε σε υψηλή θερμοκρασία. Αφού απομακρυνθεί το θείο, το καύσιμο οδηγείται στον μετατροπέα καυσίμου. Πριν από το μετατροπέα, μέρος των υπολειπόμενων αερίων της ανόδου ανακυκλώνεται και αναμιγνύεται με το εισερχόμενο καύσιμο. Αυτή η ανακύκλωση αυξάνει την απόδοση του συστήματος και παρέχει τον απαραίτητο ατμό για τον μετατροπέα ατμού. Μετά τον μετατροπέα, το τροποποιημένο προϊόν προθερμαίνεται πριν από το σώμα της SOFC. Μετά το σώμα, τα εναπομείναντα αέρια καίγονται σε μια μονάδα μετάκαυσης. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχεδιάγραμμα, η πλευρά του αέρα είναι πιο απλή από την πλευρά του καυσίμου. Ο αέρας εκτός από το να είναι μεταφορέας οξυγόνου, δρα επίσης και σαν μέσο ψύξης μέσα στο σώμα της κυψελίδας. Γι' αυτό το λόγο ο όγκος της ροής του αέρα ποικίλλει περιέχοντας 2 με 5 φορές περισσότερο οξυγόνο απ' αυτό που χρειάζεται στις αντιδράσεις. Οι άλλες κύριες περιοχές σε μια SOFC είναι το σύστημα ελέγχου και η ηλεκτρονική η οποία μετατρέπει τη χαμηλού επιπέδου DC τάση σε ένα κατάλληλο AC ρεύμα, για σύνδεση σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Τέλος, η ανάπτυξη κυψελίδων καυσίμου για παραγωγή ενέργειας, άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του '70 από την εταιρεία United Technologies Corp. (PAFC) και τη Siemens (SOFC). Η πρώτη εμπορική μονάδα εμφανίστηκε το 1991 και ήταν ένα σύστημα PAFC 200 KW από την εταιρεία ONSI, θυγατρική της UTC. Από τις τεχνολογίες που είναι υπό ανάπτυξη μόνο οι PAFCs, SOFCs, και MCFCs θεωρούνται ότι έχουν εμπορικές προοπτικές σε σταθερές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από 0,2 έως 50 MW. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν 350 μονάδες PAFCs έχουν πωληθεί εκ των οποίων γύρω στις 200 είναι σε εμπορική χρήση. Η εταιρεία Siemens - Westing House έχει αποκομίσει πολύ μεγάλη εμπειρία στην τεχνολογία SOFC χάρις στα προϊόντα σωληνοειδούς τεχνολογίας SOFC. Σε πρόσφατα προγράμματα των 100 KW, κυψελίδες καυσίμου στερεού οξειδίου λειτούργησαν για πάνω από 20.000 ώρες με 46%

ηλεκτρική απόδοση. Αυτά τα προγράμματα είναι πράγματι μια υπόσχεση για το ότι οι κυψελίδες καυσίμων μπορούν να αποτελέσουν μια αποδοτική, χωρίς εκπομπές αερίων αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Παρόλα αυτά η μεγάλη πρόκληση παραμένει, δηλαδή να γίνουν οι κυψελίδες καυσίμων εμπορικά ανταγωνιστικές.

Επιπλέον του κόστους, ένας μεγάλος αναπτυξιακός στόχος της τεχνολογίας επίπεδης SOFC είναι η διάρκεια και η αντοχή του σώματος της κυψελίδας. Πρόσφατα προγράμματα στοχεύουν στην επίτευξη διάρκειας ζωής 40.000 ωρών για το σώμα της κυψελίδας μ' ένα κόστος συστήματος περίπου 400 με 800 ευρώ ανά KW. Μακροπρόθεσμες δοκιμές (μέχρι 15.000 με 20.000 ώρες) σε επίπεδες SOFCs έχουν διεξαχθεί για μονάδες του 1 KW και ήδη έχουν αρχίσει οι δοκιμές για μονάδες 5 έως 10 KW. Όταν οι στόχοι της αντοχής και του κόστους επιτευχθούν, οι κυψελίδες καυσίμων στερεού οξειδίου θα παρέχουν μία πολύ ανταγωνιστική λύση για χρήση τόσο σε πλοίο όσο και σε σταθερές εφαρμογές. Ήδη αναμένεται ότι μέχρι το 2010 μονάδες μεγέθους 250 έως 500 KW θα μπουν στην αγορά, ενώ το μέγεθος των εγκαταστάσεων θα μπορούσε να αυξηθεί σε πολλά MW έως το 2020.

2.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πιθανή αγορά για τις διάφορων τύπων κυψελίδες καυσίμων είναι τεράστια, λαμβάνοντας υπόψη τα μεγάλα πλεονεκτήματα της καθαρής και αποδοτικής παραγωγής ενέργειας. Η εφαρμοσιμότητα της τεχνολογίας Fuel Cells και η ευελιξία ύπαρξης πολλών μεγεθών δια διαφορετικούς σκοπούς θα επεκτείνει τα όρια της πιθανής αγοράς από μικρές φορητές μονάδες μέχρι βιομηχανικές εφαρμογές μεσαίου μεγέθους. Η κυριότερη πρόκληση στην εξέλιξη των εμπορικών κυψελίδων καυσίμων είναι τα παρόντα επίπεδα κόστους και η διάρκεια ζωής του σώματος των κυψελίδων. Γι' αυτό

το λόγο οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές θα είναι φορητές συσκευές, μικρές οικιακές εφαρμογές και λύσεις όσον αφορά στα UPS (Uninterrupted Power Source), όπου η αξιοπιστία και η ευελιξία των κυψελίδων καυσίμων θα δικαιολογεί το υψηλό επενδυτικό κόστος.

Όσον αφορά στα εμπορικά πλοία, βραχυπρόθεσμα (σε μια περίοδο 10-20 χρόνων), η τεχνολογία κυψελίδων καυσίμων δεν θα είναι μία εναλλακτική λύση εξαιτίας:

- Του υψηλού επενδυτικού κόστους
- Της ανυπαρξίας εγκαταστάσεως για μια μεγάλης κλίμακας παραγωγή υδρογόνου
- Των δυσκολιών στην αποθήκευση του υδρογόνου
- Της ανυπαρξίας δικτύων διανομής του υδρογόνου
- Της ύπαρξης φθηνών ορυκτών καυσίμων
- Της ύπαρξης θεμάτων ασφαλείας τα οποία δεν έχουν ακόμα επιλυθεί.
- Της μειωμένης παραγωγής ενέργειας (εκτιμάται ότι σε πεδία πάνω των 5 Mw οι τωρινής τεχνολογίας καύσεις θα κυριαρχούν για τις επόμενες δεκαετίες).
- Της απαίτησης για υψηλής ποιότητας καύσιμα.

Από την άλλη πλευρά όμως όπως είδαμε η τεχνολογία κυψελίδων καυσίμων προφέρει και πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- Χαμηλά επίπεδα εκπομπών αερίων
- Αυξημένη αποδοτικότητα και ευελιξία
- Αθόρυβη και άοσμη και χωρίς κραδασμούς λειτουργία.
- Μικρότερο κόστος συντήρησης εξαιτίας των λιγότερο κινούμενων μερών σε σχέση με παραδοσιακές τεχνολογίες.
- Υψηλή αξιοπιστία.

Το πόσο σταθερές προοπτικές για εξέλιξη έχει η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμων φαίνεται και από το γεγονός ότι και η Ευρωπαϊκή Ένωση στηρίζοντας την προσπάθεια ανάπτυξης φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών, χρηματοδοτεί ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη μιας μονάδας ισχύος 250 KW που θα χρησιμοποιεί μεθανόλη ως κύριο καύσιμο. Το όλο εγχείρημα που ονομάζεται METHAPU (Methanol-based Auxiliary Power Unit), θα κοστίσει 1,9 εκατομμύρια ευρώ, με κύριο ανάδοχο την Εταιρεία Wärtsila.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα φαίνεται η τάση απεξάρτησης από τα παραδοσιακά καύσιμα των παραγών του πετρελαίου, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σήμερα. Όλες οι μεγάλες εταιρείες κατασκευής συστημάτων πρόωσης και παραγωγής ενέργειας πλοίων, είναι στο στάδιο εξέλιξης μηχανών που θα χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα. Υπάρχουν ήδη διαθέσιμες μηχανές που χρησιμοποιούν δύο είδη καυσίμων (dual fuel), όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Σχεδιάγραμμα 3.1. Πιθανό σενάριο μελλοντικών καυσίμων²⁷

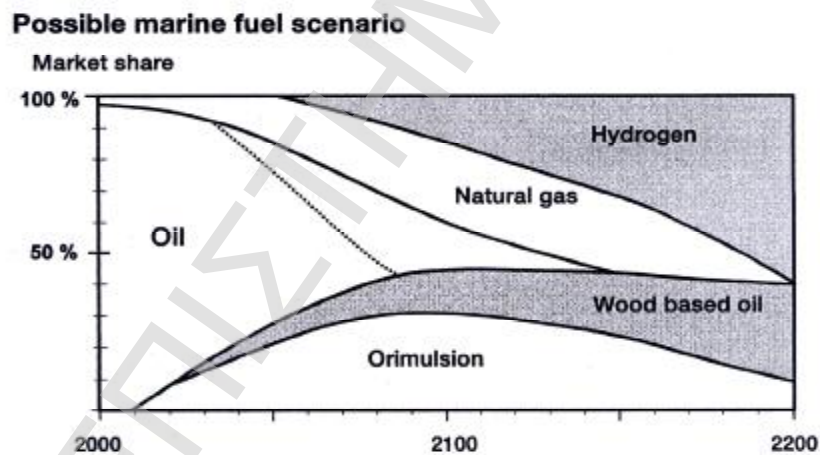


Figure 9

²⁷ Daniel Paro "Engine Technology for the next Millenium". The Institute of Marine Engineers – Propulsion 2000 the great debate

Οι συγκεκριμένες μηχανές βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (Liquid Natural Gas LNG), καθώς το μεταφερόμενο φυσικό αέριο μπορεί να τροφοδοτήσει τις μηχανές του πλοίου. Επιπλέον, υπάρχουν μηχανές που χρησιμοποιούν αποκλειστικά φυσικό αέριο.

Ωστόσο, τα συνηθέστερα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις θαλάσσιες μεταφορές, είναι κλάσματα απόσταξης του πετρελαίου και χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το ιξώδες τους:

- Κηροζίνη
- MGO (Marine Gas Oil)
- MDO (Marine Diesel Oil)
- IFO (Intermediate Fuel Oil)
- MFO (Medium Fuel Oil)
- HFO (Heavy Fuel Oil)

Επομένως εναλλακτικά καύσιμα ορίζονται αυτά που δεν ανήκουν σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες. Τέτοια μπορούν να θεωρηθούν το υδρογόνο, το φυσικό αέριο, η αιθανόλη, το βιοντίζελ κ.τ.λ.

3.2. ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Η ανασκόπηση / αναφορά του Carlton Salter²⁸ διευθυντή του τμήματος εξέλιξης προϊόντων της εταιρείας DCH Technology, για τις εφαρμογές του υδρογόνου ως καύσιμο για ναυτιλιακή χρήση, μας δίνει μια σαφή εικόνα των προοπτικών για εξέλιξη που υπάρχουν καθώς και των τυχόν πλεονεκτημάτων που αποκομίζονται από τη χρήση του υδρογόνου. Η ανασκόπηση αναφέρει τα εξής:

²⁸ Carlton Salter “Hydrogen Newsletter Autumn 1998: Maritime Hydrogen Use”. www.hydrogenassociation.org

«Η χρήση του υδρογόνου ως μεταφορέα ενέργειας για ναυτικές εφαρμογές βρίσκεται στην ουσία στα πρώτα της βήματα. Παρόλα αυτά το υδρογόνο σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σοβαρά επιχειρησιακά και λειτουργικά πλεονεκτήματα σε σχέση με παραδοσιακές ναυτικές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο / βενζίνη και μπαταρίες. Το υδρογόνο αποκαλείται μεταφορέας ενέργειας διότι πρέπει να κατασκευαστεί, εν αντιθέσει με τα ορυκτά καύσιμα τα οποία εξάγονται από τη γη όσο τουλάχιστον επαρκούν τα αποθέματα. Το υδρογόνο έχει τρία κύρια πλεονεκτήματα απέναντι στα ορυκτά καύσιμα: I) καίγεται χωρίς βλαβερές εκπομπές αερίων, και τα υποπροϊόντα του είναι μόνο το νερό. II) Δεν παράγει CO_2 και III) Η προμήθειά του είναι ανεξάντλητη. Μέχρι τώρα, η πλειοψηφία του υδρογόνου παράγεται από φυσικό αέριο και τα ορυκτά καύσιμα με την ηλεκτρόλυση του νερού να αποτελεί τη δεύτερη μέθοδο παραγωγής του. Ο ηλεκτρισμός που χρειάζεται για να διεξαχθεί η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Άλλη πηγή παραγωγής υδρογόνου είναι η ηλιακή, αιολική και γεωθερμική ενέργεια καθώς και διαδικασίες από τις οποίες το υδρογόνο είναι το βιολογικό υποπροϊόν. Το υδρογόνο είναι το μοναδικό καύσιμο που καίγεται «καθάρ», δεν μολύνει και δεν εκπέμπει αέρια του θερμοκηπίου, είναι ανεξάντλητο και το μόνο βέβαιο στοίχημα για το μέλλον. Οι τελικές χρήσεις της ενέργειας είναι μηχανικές, ηλεκτρικές ή θερμικές. Οι κύριοι μετατροπείς του υδρογόνου σε ενέργεια είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης (Internal Combustion Engines ICE) για να παράγουν μηχανική ενέργεια ή οι κυψελίδες καυσίμων για ηλεκτρική ενέργεια. Οι τουρμπίνες αερίου (Gas turbines) οι οποίες λειτουργούν με υδρογόνο είναι εναλλακτικές των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η θερμική τελική χρήση μπορεί να επιτευχθεί από το απευθείας κάψιμο του υδρογόνου ή από την θερμότητα που χάνεται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή μια κυψελίδα καυσίμων.

A) Χρήσεις και πλεονεκτήματα ναυτιλιακών εφαρμογών

Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν υδρογόνο έχουν εφαρμογή σε βάρκες και πλοία για πρόωση. Βοηθητική ενέργεια και ενέργεια έκτακτης ανάγκης. Το υδρογόνο προσφέρει πολλά διακριτά πλεονεκτήματα στους τομείς της αποδοτικότητας, του ανθρώπινου παράγοντος και της έλλειψης αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Ένα παράδειγμα πρόωσης είναι αυτό όπου το υδρογόνο είναι το καύσιμο κυψελίδας καυσίμων, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια ή καθοδηγεί έναν κινητήρα που γυρνάει την προπέλα. Έτσι μπορούσε να πούμε ότι το υδρογόνο παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα.

- Ø **Αποδοτικότητα.** Η απόδοση της κυψελίδας καυσίμων θα βελτιωθεί μέχρι σημείου να μπορεί να συγκριθεί μ' αυτήν των μηχανών diesel.
- Ø **Λειτουργικά χαρακτηριστικά και ανθρώπινος παράγοντας.** Σε δημόσια ή ιδιωτική χρήση, η εμπειρία του ταξιδιού στη θάλασσα ενισχύεται. Ο θόρυβος, η δόνηση, η μυρωδιά και ο καπνός των μηχανών εσωτερικής καύσης πλέον δεν υπάρχει. Ένα τέτοιο σύστημα πρόωσης αποτελούμενο από κυψελίδα καυσίμου με υδρογόνο θα είχε μεγάλη αξία σε πλοία αναψυχής και ferry-boats.
- Ø **Περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις και υγεία.** Οι εκπομπές αερίων των μηχανών diesel εξαφανίζονται ολοκληρωτικά. Επίσης οι εκπομπές CO₂ είναι ανύπαρκτες.

Οι απαιτήσεις βοηθητικής ενέργειας πάνω σε ένα πλοίο είναι πολλές και ποικίλες. Οι υπάρχουσες λύσεις είναι είτε οι μπαταρίες είτε γεννήτριες που παράγουν και παρέχουν λίγα KW. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν συχνά ανεξάρτητα από το σύστημα πρόωσης του πλοίου. Πολλές από αυτές τις μονάδες μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν με κυψελίδες καυσίμων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο, αρκεί οι ιδιοκτήτες ιδιωτικών στόλων να έχουν την επιθυμία και τα διαθέσιμα κεφάλαια να χρησιμοποιήσουν τέτοιες μονάδες. Επιπρόσθετα οι χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας των βοηθητικών συστημάτων βρίσκουν εφαρμογή σε stand alone συστήματα. Αρχικά αυτές οι μονάδες θα

τροφοδοτούνται χρησιμοποιώντας *containers* αποθήκευσης υδρογόνου που μπορούν να αντικατασταθούν. Αυτά τα συστήματα θα εξαλείψουν την αντικατάσταση μπαταριών ή τη χρήση καυσίμων για κινητήρες και γεννήτριες. Καθώς η τεχνολογία μικρών ηλεκτρολυτών εξελίσσεται, οι ηλεκτρικές γεννήτριες αέρα, ήλιου και νερού θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να καθοδηγήσουν ηλεκτρολύτες να παράγουν υδρογόνο, το οποίο θα αποθηκεύεται. Μικρά ιστιοφόρα θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις μονάδες ενέργειας. Καθώς η παραγόμενη ενέργεια αυτών των μονάδων αυξάνεται εξαιτίας της εξελισσόμενης τεχνολογίας, τα ιστιοφόρα θα μπορούσαν να είναι μία από τις πρώτες εφαρμογές των κυψελίδων καυσίμων για πρόωση. Χρειάζεται σχετικά λίγη ενέργεια για να κινηθεί ένα τυπικό σκάφος αναψυχής στο νερό με μικρή ταχύτητα. Καθώς η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύσσεται, θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε μεγαλύτερα σκάφη. Μια ολοκαίνουργια σειρά από πλοία με ειδική σχεδίαση, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν έτσι ώστε να συγχωνεύσουν τα μοναδικά στοιχεία της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Εκτός όμως της βοηθητικής ενέργειας, υπάρχει και η ενέργεια εκτάκτου ανάγκης η οποία είναι κάτι το εντελώς διαφορετικό, καθώς και οι απαιτήσεις είναι σημαντικά διαφορετικές όπως φαίνεται παρακάτω:

- Ø Αυτές οι πηγές ενέργειας πρέπει να είναι συστήματα *stand alone*
- Ø Οι απαιτήσεις ενέργειας είναι σχετικά μικρές και οι μονάδες γενικώς πρέπει να είναι φορητές.
- Ø Οι μονάδες πρέπει να μεταφέρονται εύκολα και κατά προτίμηση με την ικανότητα να επιπλέουν.

Τα συστήματα εκτάκτου ανάγκης ίσως να είναι ευκολότερο να αναπτυχθούν διότι οι απαιτήσεις ενέργειας είναι χαμηλότερες και το αρχικό χαμηλότερο κόστος για βελτίωση της αξιοπιστίας θα μπορούσε να δικαιολογηθεί για συστήματα εκτάκτου ανάγκης.

B) Εμπλεκόμενες τεχνολογίες

Οι απαραίτητες και προτιμητέες τεχνολογίες είναι οι εξής:

1. Διαθεσιμότητα Υδρογόνου. Μακροπρόθεσμα, η Παρασκευή υδρογόνου πρέπει να είναι διατηρήσιμη και αυτό έχει δρομολογηθεί μέσω της έρευνας που διεξάγουν διάφοροι οργανισμοί. Ωστόσο, για τις περισσότερες εφαρμογές, το εμπορικώς διαθέσιμο υδρογόνο θα είναι επαρκές για τον ενδιάμεσο στόχο που είναι η ανάπτυξη ναυτιλιακών τεχνολογιών και υποδομών υδρογόνου. Προς το παρόν, το υδρογόνο είναι διαθέσιμο για συστήματα τα οποία μπορούν να εφοδιασθούν με ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο, τον αέρα ή κινούμενο νερό. Σήμερα, βοηθητικά συστήματα, συστήματα εκτάκτου ανάγκης καθώς και μικρά σκάφη αναψυχής θα μπορούσαν να εφοδιασθούν με συστήματα *stand alone*. Μεγαλύτερες εφαρμογές όπως κρουαζιερόπλοια ή *ferry boats* θα μπορούσαν να εφοδιαστούν με υδρογόνο από εγκαταστάσεις τοποθετημένες στην ξηρά.

2. Αποθήκευση υδρογόνου. Από πλευράς παραδόσεως και αποθήκευσης, το να βρίσκεται ο εξοπλισμός κατασκευής υδρογόνου στο *terminal*, ίσως να είναι τελικά ο ευκολότερος τρόπος παραδόσεώς του. Ένα *ferry* μεσαίου μεγέθους χρειάζεται μεγάλες ποσότητες υδρογόνου, αλλά ένα *ferry* συνήθως επιχειρεί από μία τοποθεσία. Η πιο απλή μορφή αποθήκευσης είναι ως πρεσαρισμένου αερίου. Αυτή η προσέγγιση είναι εφαρμόσιμη για τη βοηθητική και εκτάκτου ανάγκης ενέργεια και μικρά *stand alone* συστήματα πρόωσης. Το υδρογόνο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε μεταλλικά υδρίδια κάτι το οποίο παρέχει πλεονεκτήματα σε μικρότερα *stand alone* συστήματα, καθώς δεν απαιτείται συμπίεσής. Αυτή η μέθοδος αποθήκευσης είναι κατάλληλος ώστε να αντικατασταθούν οι μπαταρίες. Επίσης το υδρογόνο μπορεί να υγροποιηθεί. Το πλεονέκτημα της υγροποίησης απέναντι στα υδρίδια είναι το μειωμένο βάρος.

3. Παραγωγή υδρογόνου. Στο παρόν στάδιο, βελτιώσεις την παραγωγή ενέργειας είναι επιθυμητές αλλά όχι απαιτούμενες αφού μεγάλες ποσότητες υδρογόνου επί του πλοίου θα μπορούσε να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία ηλεκτροδότησης ή με μετατροπή από φυσικό αέριο και diesel. Ηλιακά πάνελς και γεννήτριες αέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης.

4. Κυψελίδες καυσίμων. Όπως είδαμε και παραπάνω η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμων είναι αυτή που συγκεντρώνει τις περισσότερες προοπτικές σε σχέση με τη χρήση υδρογόνου. Μέχρι τώρα οι κυψελίδες καυσίμων μπορούν να εφαρμοσθούν είτε ως αθόρυβα συστήματα παθητικής ενέργειας, είτε σε μονάδες εκτάκτου ανάγκης. Κυψελίδες καυσίμων που να παράγουν μεγάλες ιπποδυνάμεις είναι επίσης διαθέσιμες, αλλά και πολύ ακριβές. Στην περίπτωση των κυψελίδων καυσίμων μία οικονομική ανάλυση θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη για το που η χρήση τέτοιων συστημάτων είναι οικονομικά εφικτή.

5. Τουρμπίνες. Μικρές τουρμπίνες, που χρησιμοποιούν υδρογόνο, προσφέρουν μία εναλλακτική λύση στις μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν diesel. Οι τουρμπίνες είναι πιο συμπαγείς πηγές ενέργειας από τις ICEs και οι τουρμπίνες που λειτουργούν με υδρογόνο μπορεί να είναι πιο αποδοτικές από τις ICEs που επίσης χρησιμοποιούν υδρογόνο. Οι τουρμπίνες θα μπορούσαν να εκπληρώσουν μία ποικιλία αναγκών από βοηθητική ενέργεια ως και ενέργεια για πρόωση».

Αυτή λοιπόν ήταν η ανασκόπηση από τον Carlition Satler με την οποία επιχειρεί να μας παρουσιάσει τα πλεονεκτήματα του υδρογόνου για χρήση ως ναυτιλιακού καυσίμου. Όντως και σύμφωνα με την ανωτέρω ανασκόπηση, το υδρογόνο θεωρείται ως ένα από τα πιο φιλικά καύσιμα προς το περιβάλλον και μια από τις πολλά υποσχόμενες πηγές ενέργειας για το μέλλον. Όμως, προς το παρόν, υπάρχουν αρκετά τεχνολογικά προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν τα οποία αφορούν κυρίως στην

παραγωγή, μεταφορά αλλά και γενικότερα στην υποδομή χρήσεώς του ως καύσιμο. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί είτε απ' ευθείας από τα ορυκτά καύσιμα, είτε από το διαχωρισμό των μορίων του νερού χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μεγάλες όμως απαιτήσεις ενέργειας για την παραγωγή του υδρογόνου βάζουν σε κίνδυνο ακύρωσης τα πλεονεκτήματά του ως ένα από τα καθαρότερα καύσιμα. Όπως και στην περίπτωση παραγωγής άλλων εναλλακτικών καυσίμων, έτσι και για το υδρογόνο απαιτείται ακριβής υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου, προκειμένου να καθορισθεί εάν η παραγωγή και χρήση του είναι οικονομικά και οικολογικά αποδοτική. Ως ενεργειακό ισοζύγιο ορίζουμε την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του εναλλακτικού καυσίμου από τη μία και την ενέργεια που αυτό παράγει από την άλλη. Είναι χαρακτηριστική η ανάλυση του Joseph Romm²⁹ σύμφωνα με την οποία ένα όχημα κινούμενο με υδρογόνο, έμμεσα θα παρήγαγε 4 φορές περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι ένα άλλο που κινείται με συμβατικά καύσιμα. Αν υποθεθεί ότι ένα συμβατικό όχημα για να διανύσει μία απόσταση χιλίων μιλίων παράγει 485 lbs διοξείδιο του άνθρακα, αντίστοιχο υδρογονοκίνητο παράγει 2.100 lbs. Αυτό συμβαίνει γιατί η παραγωγή υδρογόνου απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια της τάξεως 1 MWh, η οποία παράγεται από την καύση άνθρακα.

Ενδεικτικό των μειονεκτημάτων της χρήσης υδρογόνου είναι το άρθρο του Michael C. Ruppert "Why Hydrogen is no Solution"³⁰ το οποίο αναφέρει τα εξής: *«Όπως γνωρίζουμε, το υδρογόνο είναι το πιο διαδεδομένο και το πιο απλό στοιχείο στη φύση, γι' αυτό θα διαρρέυσει από οποιοδήποτε container όσο γερό και όσο καλά μονωμένο και αν είναι. Γι' αυτό το λόγο, το υδρογόνο μέσα σε ντεπόζιτα αποθήκευσης πάντα θα εξατμίζεται με ένα ρυθμό της τάξεως 1,7% ανά ημέρα. Επίσης το υδρογόνο κάνει εύκολα αντίδραση. Όταν έρθει σε επαφή με μεταλλικές επιφάνειες, αποσυντίθεται σε*

²⁹ Joseph Romm "Technology Review March-April 2007".

³⁰ Michael C. Ruppert "Why Hydrogen is no Solution" www.fromthewilderness.com

άτομα υδρογόνου τα οποία είναι τόσο μικρά που μπορούν να διαπεράσουν το μέταλλο. Αυτό προκαλεί δομικές αλλαγές που καθιστούν το μέταλλο εύθραυστο. Ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα για τη μεταφορά καυσίμου υδρογόνου είναι το μέγεθος των δεξαμενών καυσίμου. Σε αέρια μορφή, ένας όγκος των 230.000 λίτρων αέριου υδρογόνου είναι απαραίτητος για να αντικαταστήσει την ενεργειακή χωρητικότητα 20 γαλονιών βενζίνης.

Αν το υδρογόνο είναι σε υγρή μορφή δίνει πυκνότητα 0,07 γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό. Με αυτή την πυκνότητα, απαιτείται τέσσερις φορές ο όγκος της βενζίνης για δεδομένη ποσότητα ενέργειας. Έτσι, μια δεξαμενή βενζίνης 15 γαλονιών θα ισούταν με μια δεξαμενή υγροποιημένου υδρογόνου 60 γαλονιών. Επιπρόσθετα, το υγρό υδρογόνο είναι αρκετά κρύο ώστε να παγώνει τον αέρα. Σε οχήματα δοκιμών έχουν συμβεί ατυχήματα εξαιτίας της πίεσης που προκλήθηκε από βουλωμένες βαλβίδες. Εκτός των άλλων στην περίπτωση του υγροποιημένου υδρογόνου, θα πρέπει να υπολογιστεί και το ενεργειακό κόστος της υγροποίησης και της ψύξης, ώστε αυτό να παραμένει σε υγρή μορφή. Μία τρίτη επιλογή αποθήκευσης είναι η χρήση ενισχυμένων μετάλλων με τη μορφή μεταλλικών υδριδίων. Σε αυτή την περίπτωση ο όγκος αποθήκευσης θα ήταν λίγο μεγαλύτερος από τον όγκο των ίδιων των μετάλλων. Επιπλέον, αποθηκευμένο σε αυτή τη μορφή το υδρογόνο, θα προκαλούσε πολύ λιγότερες αντιδράσεις. Παρόλα αυτά, το βάρος της δεξαμενής αποθήκευσης σε αυτή την περίπτωση θα είναι πολύ μεγάλο.

Ένα άλλο σημείο τριβής σχετικά με τη χρήση υδρογόνου είναι η παραγωγή του. το υδρογόνο δεν συναντιέται ποτέ μόνο του στη φύση σε χρήσιμες ποσότητες, γι' αυτό πρέπει να διαχωριστεί είτε από τα μόρια του μεθανίου το οποίο προέρχεται από ορυκτά καύσιμα είτε από το νερό. Συνήθως, το πιο πολύ υδρογόνο παράγεται από την επεξεργασία του μεθανίου με ατμό ακολουθώντας την εξής φόρμουλα: $CH_4(g) + H_2O + e > 3H_2(g) + CO(g)$. Το $CO(g)$ σε αυτή την εξίσωση είναι μονοξείδιο του άνθρακα το οποίο είναι υποπροϊόν της αντίδρασης. Στην παραπάνω φόρμουλα δεν περιέχεται η ενέργεια που απαιτείται να

παραχθεί ο ατμός, ο οποίος προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Γι' αυτό το λόγο λοιπόν δεν ξεφεύγουμε από την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Απλά μεταφέρουμε την «παραγωγή» της ρύπανσης στις εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου. Αυτή η διαδικασία παραγωγής υδρογόνου έχει επίσης ως αποτέλεσμα σοβαρή απώλεια ενέργειας. Κατά πρώτον έχουμε στην παραγωγή μεθανίου από φυσικό αέριο ή από άνθρακα μία απώλεια καθαρής ενέργειας της τάξεως από 32% έως 44%. Στη συνέχεια η διαδικασία επεξεργασίας του ατμού για να εξαχθεί το υδρογόνο, συνεπάγεται μια περαιτέρω απώλεια ενέργειας της τάξεως του 35%.

Όσον αφορά στον άλλο τρόπο παραγωγής υδρογόνου δηλαδή αυτό του διαχωρισμού του από το νερό, έχει συχνά υποστηριχθεί ότι έχουμε ανεξάντλητη προμήθεια νερού από το οποίο θα προέλθει το υδρογόνο. Ωστόσο, αυτή η αντίδραση, $2H_2O + e(g) + O_2(g)$ απαιτεί μια σημαντική ενεργειακή επένδυση ανά μονάδα νερού. Αυτή η ενεργειακή επένδυση απαιτείται από βασικές αρχές της χημείας και δεν μπορεί ποτέ να μειωθεί. Έχουν διερευνηθεί πολλές διαδικασίες ούτως ώστε να προέλθει υδρογόνο από το νερό, με τις πιο αξιοσημείωτες να είναι η ηλεκτρόλυση και η θερμική αποσύνθεση του νερού. Αλλά η βασική αρχή της χημείας που αναφέρθηκε παραπάνω και που απαιτεί μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις από όλες τις διαδικασίες, τις καθιστά τελικά (τις διαδικασίες) χωρίς κέρδος, όσον αφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο (*Energy return on Energy invested – EROEI*). Επίσης πολλή σκέψη έχει επενδυθεί πάνω στον τρόπο που θα τιθασευθεί το ηλιακό φως μέσω φωτοβολταϊκών κυψελίδων και θα χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη ενέργεια για να διαχωρισθεί το νερό ώστε να παράγει υδρογόνο. Η ενέργεια που απαιτείται για να παραχθεί 1 δισεκατομμύριο κιλοβατώρες υδρογόνου είναι 1,3 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα και με τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, η παράταξη των ηλιακών κυψελίδων θα έπρεπε να είναι τεράστια και θα έπρεπε να είναι τοποθετημένη σε περιοχή με επαρκές ηλιακό φως. Παρομοίως, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για να παραχθεί το υδρογόνο θα ήταν ίση με το 5% του νερού του Μισισσιπή. Σαν παράδειγμα παραγωγής υδρογόνου από ηλιακή

ενέργεια, όπου είναι η Ευρώπη που σκέφτεται τέτοια μετάβαση, η καλύτερή της ελπίδα θα ήταν η μαζική ανέγερση ηλιακών συλλεκτών στην έρημο Σαχάρα. Χρησιμοποιώντας τη σημερινή τεχνολογία, μόνο το 5% της ενέργειας που έχει συλλεχθεί θα παραδιδόταν τελικά στην Ευρώπη. Τέτοια ηλιακή εγκατάσταση πιθανόν να κόστιζε πενήντα φορές περισσότερο από μία εγκατάσταση που καίει άνθρακα και θα παρέδιδε το ίδιο ποσό ενέργειας. Εκτός αυτού η παραγωγή των φωτοβολταϊκών κυψελίδων έχει πολύ φτωχά EROEI.

Στη συνέχεια και σε σχέση με τις κυψελίδες καυσίμων υδρογόνου, το βασικό πρόβλημα είναι ότι ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής υπαγορεύει ότι πάντα θα ξοδεύουμε περισσότερη ενέργεια για να παράγουμε υδρογόνο από αυτήν που θα λάβουμε από την χρήση του. Μία κοινή παρεξήγηση είναι ότι οι κυψελίδες καυσίμων υδρογόνου είναι μία εναλλακτική πηγή ενέργειας, ενώ δεν είναι. Στην πραγματικότητα δεν είναι τίποτα άλλο παρά μία μπαταρία που αποθηκεύει ενέργεια προερχόμενη από άλλες πηγές. Εξαιτίας του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής, οι κυψελίδες καυσίμων υδρογόνου θα έχουν πάντα «κακό» ενεργειακό ισοζύγιο. Αν χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα για να παραχθεί υδρογόνο, είτε μέσω της μεθόδου μεθανίου – ατμού είτε μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, δεν θα υπάρξει κανένα πλεονέκτημα από το να χρησιμοποιηθούν τα ορυκτά καύσιμα απευθείας. Η χρήση του υδρογόνου ως ενδιάμεση μορφή ενέργειας δικαιολογείται μόνο όταν υπάρχει κάποιος λόγος για τη μη χρησιμοποίηση απευθείας της πρωταρχικής πηγής. Γι' αυτό το λόγο μία οικονομία που βασίζεται στο υδρογόνο πρέπει να επενδύσει και να στηριχθεί σε μια μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη πυρηνικής ενέργειας ή ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο. Έτσι, η ανάπτυξη αυτής της οικονομίας να αποκτήσει τεράστιες επενδύσεις στην έρευνα για την τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμων και για την κατασκευή πυρηνικών και ηλιακών εγκαταστάσεων. Εκτός αυτού, υπάρχει και το κόστος της μετατροπής όλης της τεχνολογίας και των μηχανημάτων μας σε κυψελίδες καυσίμων υδρογόνου. Και όλο αυτό θα πρέπει να

ολοκληρωθεί κάτω από τις οικονομικές και ενεργειακές συνθήκες της μετά – κορύφωσης παραγωγής ορυκτών καυσίμων»

3.2.1. Παραδείγματα χρήσης υδρογόνου σε ναυτιλιακές εφαρμογές

Στο χώρο των ναυτικών εφαρμογών υπάρχουν ήδη εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην κατασκευή μηχανών υδρογόνου. Η Αμερικάνικη Hydrogen Engine Center Inc. έχει ήδη υπογράψει συμφωνία για το σχεδιασμό, έλεγχο και κατασκευή 200 μονάδων που θα χρησιμοποιούν ως καύσιμο υδρογόνο ή συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG – Compressed Natural Gas). Οι μηχανές πρόκειται να τοποθετηθούν σε θαλάσσια ταξί τύπου Catamaran, μήκους 10,9 μέτρων και χωρητικότητας 10 ατόμων. Τα θαλάσσια ταξί πρόκειται να δρομολογηθούν σε χώρες όπως το Κατάρ και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Ένα φιλόδοξο σχέδιο είναι αυτό του Ολλανδικού σκάφους “Xperiance” το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα³¹:

Εικόνα 3.1. “Xperiance”



³¹ www.edie.net/news

Το σκάφος χρησιμοποιεί ως καύσιμο το υδρογόνο και στοχεύει να γίνει το πρώτο θαλάσσιο όχημα υδρογόνου που θα βγει σε μαζική παραγωγή και που θα μπορούσε να είναι η απάντηση στη ρύπανση του αέρα στον τομέα των θαλασσίων μεταφορών.

Το πρωτότυπο σκάφος προβλεπόταν να πέσει στο νερό το καλοκαίρι του 2006, με το μοντέλο να μπαίνει σε παραγωγή ύστερα από περίπου τρία χρόνια, αν η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδοτήσει το πρόγραμμα. Το σκάφος θα είναι ικανό να ταξιδέψει για δύο ή τρεις μέρες χωρίς ανεφοδιασμό σε καύσιμα. Εξάλλου, η κυψελίδα καυσίμου υδρογόνου που κινεί το κότερο μπορεί να επαναφορτισθεί μέσα σε 15 λεπτά αλλάζοντας τους κυλίνδρους υδρογόνου και όχι σε 4-6 ώρες που χρειάζονται τα παραδοσιακά ηλεκτρικά σκάφη. Η σχεδιαστική ομάδα της Ολλανδικής εταιρείας Ecofys κατάφερε να παράγει το σύστημα κυψελίδων καυσίμων που τροφοδοτεί το σκάφος με κόστος 40.000 ευρώ, ενώ οι εκτιμήσεις και τα σχέδια ανέβαζαν το αναπτυξιακό κόστος περίπου στα 200.000 ευρώ, και αυτό με τη βοήθεια των Ολλανδικών εθνικών και τοπικών αρχών. Το κόστος εκτιμάται ότι θα μειωθεί περίπου στις 10.000 ευρώ όταν το σκάφος παραχθεί σε ευρεία κλίμακα. Το πλοίο θα πρέπει και στο μέλλον να στηρίζεται στις επιδοτήσεις για να είναι ανταγωνιστικό στην αγορά. Αλλά ενώ παρόμοια σκάφη χρειάστηκαν μέχρι τώρα επιδοτήσεις ίσες με το 80% - 90% του κόστους παραγωγής του, το Xperiance θα χρειαστεί το 20% - 30% όπως υποστηρίζουν οι σχεδιαστές του. Επίσης, το υδρογόνο που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο δεν θα κοστίζει περισσότερο από το πετρέλαιο χάρη στις φορολογικές ελαφρύνσεις.

Αν και η κυψελίδα καυσίμου υδρογόνου δεν παράγει εκπομπές αερίων, δεν είναι μία πηγή ενέργειας απαλλαγμένη από διοξείδιο του άνθρακα. Η απόκτηση του ίδιου του υδρογόνου αποτελεί ενέργεια, όχι απαραίτητα ανανεώσιμη, αν και αυτό είναι ο μακροπρόθεσμος στόχος. Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτεί το Xperiance παράγεται από φυσικό αέριο, δίνοντας καθαρές εκπομπές διοξειδίου του

άνθρακα περίπου 30% - 50% χαμηλότερες από τα παραδοσιακά σκάφη. Η επίσημη παρουσίαση του Xperiance έγινε στις 23.6.2006 όπου και όπου συνόδευσε τον αγώνα του κινούμενου με ηλιακή ενέργεια σκάφους Frisian Nuon, μεταφέροντας τους VIP προσκεκλημένους του γεγονότος. Το Xperiance κάλυψε και τα 220 χιλιόμετρα του αγώνα χωρίς καμία στάση για ανεφοδιασμό καυσίμων.

Ένα πολύ ενδιαφέρον παράδειγμα χρήσης του υδρογόνου ως ναυτιλιακού καυσίμου είναι αυτό που παρουσιάζουν στην εργασία τους 'a hydrogen fuelled fast marine transportation system'³² οι I.J.S. Veldhuis, R.N. Richardson και H.B.J. Stone του Πανεπιστημίου του Σαουθάμπτον. Σε γενικές γραμμές και περιληπτικά σύμφωνα με την ανωτέρω επισήμανση, το υδρογόνο μπορεί να προσφέρει αξιοσημείωτες δυνατότητες ως ναυτιλιακό καύσιμο. Η μικρότερη μάζα του συγκρινόμενη με τα καύσιμα υδρογονάνθρακα μπορεί να αυξήσει το ωφέλιμο φορτίο του πλοίου κάτι το οποίο στη συνέχεια επιδοτεί τις οικονομικές παραμέτρους της ωκεανικής μεταφοράς και παρέχει την ευκαιρία ανταγωνισμού στις νέες αγορές. Η πιθανότητα για εξαφάνιση της ρύπανσης στο σημείο της χρήσης μπορεί να αποδειχθεί σημαντική τη στιγμή που οι εκπομπές καυσαερίων από τα πλοία έχουν γίνει θέμα παγκοσμίου ενδιαφέροντος. Προκειμένου λοιπόν να αξιολογηθεί η τεχνική και οικονομική δυνατότητα του υδρογόνου στη ναυτιλία ταχέως μεταφορών διεξήχθη μία μελέτη των τριών προαναφερθέντων επιστημόνων βασισμένη σε ένα πλοίο μεταφορά containers μεγάλης ταχύτητας. Το συγκεκριμένο πλοίο είναι 175 μέτρα μήκος και έχει σχεδιαστεί να μεταφέρει 600 TEU (Twenty Feet Equivalent Container Unit) σε ταχύτητες μέχρι 64 κόμβους (118,5 χιλ./ώρα) σε μία ακτίνα 5.300 ναυτικών μιλίων (10.600 χιλ.). Η πρόωση θα παρέχεται από τέσσερις gas turbines οι οποίες τροφοδοτούν jets νερού και το υδρογόνο να μεταφέρεται ως κρυογενετικό υγρό. Αυτού του τύπου το πλοίο στοχεύει να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για μεταφορά προϊόντων ευαίσθητων στο

³² www.soton.ac.uk

χρόνο, που είναι αντικείμενο της just in time (JIT) διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, τόσο στους εμπορικούς διαδρόμους του Ειρηνικού, όσο και του Ατλαντικού.

Πιο αναλυτικά η εργασία των Veldhuis – Richardson και Stone αναφέρει τα εξής: «Ενώ τα πιθανά πλεονεκτήματα του υδρογόνου για τη ναυτιλιακή και αεροπορική και τη δια ξηράς μεταφορά, είναι σχεδόν τα ίδια, τα μέσα όμως για την μετατροπή της ενέργειας πιθανόν να διαφέρουν. Βάσει πρόσφατων ερευνών, οι κυψελίδες καυσίμων συνδυαζόμενες με ηλεκτρική πρόωση φαίνονταν ότι είναι ο πλέον κατάλληλος αντικαταστάτης των μηχανών εσωτερικής καύσης για εφαρμογές σε σχήματα δρόμου. Ωστόσο, το ανώτερο όριο απόδοσης των κυψελίδων καυσίμων, σύμφωνα με την σημερινή τεχνολογία περιορίζει τη χρήση της μόνο σε μικρά εμπορικά πλοία (ψαράδικα ή πλοία ακτοπλοΐας). Ένα υπερπόντιο πλοίο μεταφοράς containers με ονομαστική απόδοση μηχανών 50 MW και πάνω είναι ένα όραμα για μελλοντικά σχέδια. Μικρότερα, αλλά πιο γρήγορα επιβατικά πλοία ή Fast ferries έχουν επίσης απαιτήσεις για πρόωση που ανέρχονται σε δεκάδες MW. Γι' αυτό φαίνεται πολύ πιθανό ότι τουλάχιστον μεσοπρόθεσμα, η εξέχουσα κινητήρια δύναμη για πλοία που χρησιμοποιούν ως καύσιμο υδρογόνο, θα χρειαστεί να είναι κατάλληλα τροποποιημένες μηχανές εσωτερικής καύσης ή gas turbine. Ευτυχώς υπάρχει ήδη τεχνογνωσία που μπορεί να μεταφερθεί από άλλους τομείς. Αξιοσημείωτες έρευνες έχουν διεξαχθεί από αυτοκινητοβιομηχανίες σχετικά με την τροφοδότηση των μηχανών εσωτερικής καύσης με υδρογόνο. Ενώ οι μηχανές αυτοκινήτων είναι πολύ μικρότερες και διαφορετικής σχεδίασης από αυτές που χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων, οι βασικές αρχές λειτουργίας είναι ίδιες. Είναι πολύ πιθανό ότι οι τουρμπίνες αερίου θα είναι η επιλογή που θα προτιμηθεί ως κύρια κινητήρια δύναμη με πλοία υδρογόνου εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας ενέργειας της καθώς και της σχετικής ευκολίας με την οποία εγκαθίσταται.

1) Γρήγορη ναυτιλιακή μεταφορά Containers

Η σημερινή ναυτιλιακή βιομηχανία μεταφοράς Containers είναι μία πολύ εξελίξιμη και αποδοτική βιομηχανία μεταφορών αλλά περαιτέρω αποδοτικότητα θα απαιτηθεί σε συνεργασία με μία περαιτέρω μείωση του κόστους ανά μονάδα μεταφορών διαμέσου των οικονομιών κλίμακας. Επακόλουθα, τα σημερινά και μελλοντικά σχέδια πλοίων μεταφοράς Containers έχουν χωρητικότητα Containers που ποικίλλει από τα 9.600 TEU για τα σημερινά πλοία, έως 12.000-15.000 TEU για τα μελλοντικά σχέδια. Η αύξηση του μεγέθους των πλοίων μεταφοράς Containers θα επηρεάσει άλλους μεταφορικούς συνδέσμους μέσα στην αλυσίδα μεταφοράς ναυτιλιακών, όπως το αυξημένο ποσοστό των κινήσεων που απαιτούνται για να ξεφορτωθεί ένα τόσο μεγάλο πλοίο Containers. Το σύστημα γρήγορης ναυτιλιακής μεταφοράς Containers που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη εργασία στοχεύει στο να παράσχει μία εναλλακτική λύση στο υπάρχον σύστημα μεταφοράς Containers και από πλευράς ταχύτητας FAC (Foil Assisted Catamaran) πλοίο μεταφοράς Containers, το οποίο είναι αντικείμενο αυτής της εργασίας, θα επιχειρήσει ανάμεσα στην παραδοσιακή ναυτιλιακή μεταφορά Containers και στην αεροπορική στοχεύοντας να παράσχει ανταγωνιστικό κόστος μεταφοράς κυρίως σε σχέση με την αεροπορική μεταφορά και ανταγωνιστικό χρόνο μεταφοράς σε σχέση με την παραδοσιακή ναυτιλιακή μεταφορά Containers. Η τροφοδοσία των high speed πλοίων μεταφοράς Containers, με υδρογόνο καύσιμο κάνει τον παραπάνω ανταγωνισμό εφικτό. Οι παρακάτω εικόνες παρέχουν μια εξωτερική άποψη και μία άποψη των εσωτερικών τομέων των high speed FAC πλοίων μεταφοράς Containers, ενώ ο πίνακας παρέχει τις κύριες διαστάσεις, την ταχύτητα, μηχανολογικές λεπτομέρειες και τη χωρητικότητα αποθήκευσης υδρογόνου ως καυσίμου.

EIKONA 3.2

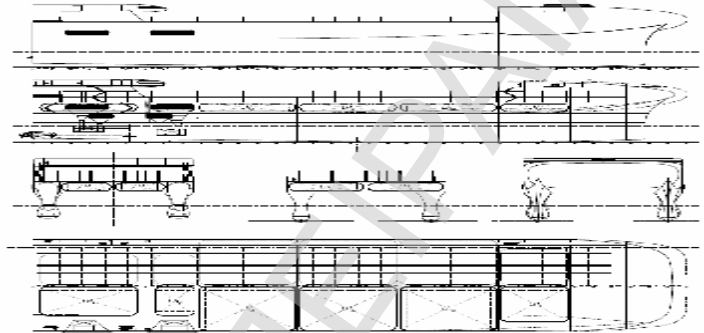
high speed containership fuelled

With LH₂



EIKONA 3.3

Τομείς του FAC



Πίνακας 3.1 Στοιχεία και χαρακτηριστικά του FAC containership(πηγή ‘a hydrogen fuelled fast marine transportation system’ www.soton.ac.uk)

Ship particulars

Units Value

Length overall / Length waterline [m] 175.50 / 164.18

Beam (container deck) / Beam (foils) [m] 42.50 / 62.15

Depth (WT deck) / Depth (Top of superstructure) [m] 18.30 / 29.05

Draught (service speed) / Draught (floating) [m] 4.25 / 7.20

Machinery 4 x GE LM Sprint 6000 turbines

[MW] 196.8 (4 x 49.2)

Container capacity / Payload max weight [TEU] / [tonnes] 600 / 3000

LH₂ fuel capacity [m³] / [tonnes] 14,214.3 / 1001.0

Service speed [Knots] / [km/hr] 64.0 / 118.5

Range [N. miles] / [km] 5300 / 9815.6

Crew 18

Η χρησιμοποίηση του LH₂ ως καυσίμου είναι βασικός παράγων για την εφικτότητα του προτεινόμενου FAC. Επίσης η υψηλή ταχύτητα και η υψηλή μεταφορική απόδοση εξαρτώνται από την προηγμένη ναυτική αρχιτεκτονική του σχεδίου που χρησιμοποιεί υδροπτέρυγα τα οποία είναι τοποθετημένα στις καρίνες των διπλών κοτών του

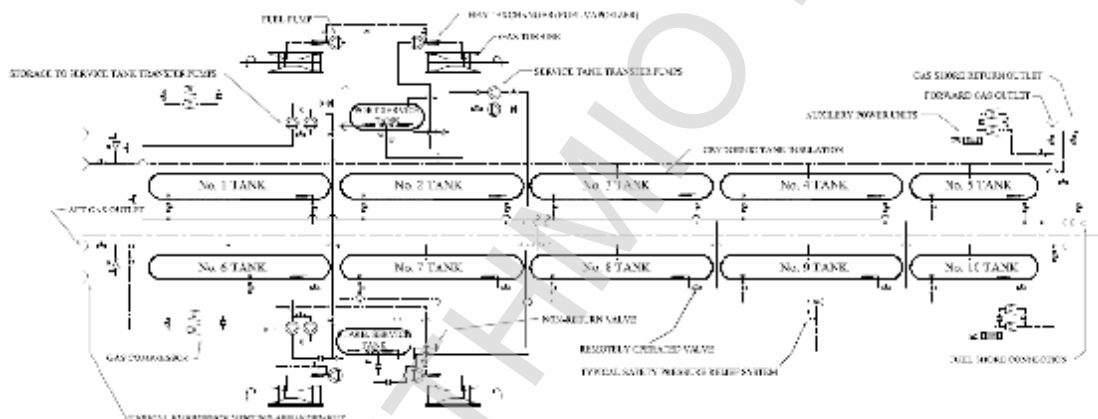
Catamaran για να παράγουν υδροδυναμική άνωση. Αυτή η άνωση μειώνει την βρεχόμενη επιφάνεια (η οποία μειώνει την ταχύτητα) και αυξάνει την χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου και τελικά συνεισφέρει σε μια υψηλής απόδοσης μεταφορά.

Οι κύριες διαστάσεις και το σχέδιο κατασκευής του FAC επηρεάζονται από την απαίτηση να τοποθετηθούν 600 TEU αλλά και το καύσιμο LH₂ σε μια διαμόρφωση η οποία να παρέχει τις επιθυμητές ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα πλοίο (σταθερότητα, ταχύτητα, ικανότητα ελιγμού, ικανότητα να αντιμετωπίζει μεμιάς το εύρος θαλάσσιων καταστάσεων). Στο προτεινόμενο σχέδιο, το κατασκευαστικό πλάνο του container είναι 25 TEU σε μήκος και 12 TEU σε πλάτος, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τις προδιαγραφές που περιγράφονται στον πίνακα 6 για το σχέδιο του πλοίου όπως αυτό παρουσιάζεται στις εικόνες 7 και 8. Για να ελαχιστοποιηθεί το βάρος του πλοίου και να παρασχεθεί μία υψηλή αναλογία δύναμης – βάρους, το πλοίο σχεδιάστηκε να κατασκευασθεί από κράμα αλουμινίου. Ομοίως, αναμένεται ότι και τα containers θα είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο. Η πρόωση του FAC δίνεται από τέσσερις προωθητήρες νερού διαμέτρου 2,5 μέτρων, οι οποίοι τροφοδοτούνται ο καθένας από την δικιά του gas turbine. Αυτός ο τύπος της πρόωσης είναι αναγκαίος διότι οι παραδοσιακές προπέλες δίνονται δύσχρηστες σε πλοία μεγάλων ταχυτήτων. Δύο gas turbines, κατάλληλα τροποποιημένες για χρήση υδρογόνου και δύο υδροπροωθητήρες είναι τοποθετημένοι σε κάθε ημι-κύτος. Το σχέδιο της πρόωσης είναι βασισμένο σε gas turbines LM 6000 Sprint κατασκευής General Electric. Έχουν μέγιστη απόδοση 49,2 MW ανά μονάδα. Η βοηθητική ενέργεια θα παρέχεται από μικρότερα GETS τουρμπινών / γεννητριών με καύσιμο boil-off αέριο.

Ενώ η πρόβλεψη για τον αποθηκευτικό όγκο του καυσίμου δεν αποτελεί μεγαλύτερο πρόβλημα για τα πλοία από ότι σε άλλο μέσο μεταφοράς, η τοποθέτηση και η διασύνδεση των δεξαμενών καυσίμων είναι ακόμα μία σοβαρή σχεδιαστική παράμετρος, ανεξαρτήτως τύπου καυσίμου, ειδικά όταν εμπλέκονται οι ποσότητες που απαιτούνται για

το υπερωκεάνιο ταξίδι ενός πλοίου υψηλής ταχύτητας. Ένα από τα πλεονεκτήματα του προτεινόμενου *Catamaran* είναι ότι η οριζοντίου σώματος (*cross-body*) δομή που συνδέει τα δύο ημι-κύπη, προσφέρεται για την αποθήκευση μεγάλων όγκων LH_2 μέσα σε κρυογενετικές δεξαμενές. Για επιχειρήσεις σε υπερατλαντικές οδούς στη σχεδιαζόμενη ταχύτητα των 64 κόμβων απαιτείται μία χωρητικότητα καυσίμου της τάξεως περίπου των $142 \times 10^3 M^3 LH_2$. Στο προτεινόμενο σχέδιο, αυτή η χωρητικότητα μοιράζεται μεταξύ δώδεκα δεξαμενών τοποθετημένων σε ένα κατάστρωμα πέντε μέτρων ύψους μέσα στο κύριο σώμα του πλοίου. Μία εικόνα του συστήματος καυσίμων φαίνεται παρακάτω.

Εικόνα 3.4 Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος καυσίμων LH_2 πάνω στο FAC



Η σχεδίαση των δεξαμενών αποθήκευσης LH_2 πάνω στο πλοίο είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα του συστήματος. Το κέλυφος των δεξαμενών είναι κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου το οποίο αντίθετα με άλλα μέταλλα δεν παρουσιάζει διάσπρωση στις χαμηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό είναι κατάλληλο για χρήση στις θερμοκρασίες του LH_2 . Οι δεξαμενές είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε ελάχιστη υπερπίεση με βαλβίδες ανακούφισης ρυθμισμένες να λειτουργούν στα 2 bar απόλυτα. Επιπρόσθετα, το πάχος των τοιχών ποικίλει από 6 mm έως 10 mm και τα κελύφη είναι ενισχυμένες με άκαμπτες ράβδους. Ακόμα όμως και αν υπολογίσουμε ότι δεν θα υπάρξει διαρροή υδρογόνου (η οποία μπορεί να αποτραπεί με χρήση φραγμάτων ατμού η οποία θα είναι μέρος της μόνωσης σε όλες τις κρύες σωληνώσεις), υπάρχει ο κίνδυνος της υγραποίησης του αέρα

και ο εμπλουτισμός του οξυγόνου, το οποίο σε επαφή με το πετρέλαιο ή άλλα εύφλεκτα υπολείμματα μπορεί να προκαλέσει έκρηξη. Αυτοί οι κίνδυνοι με τη χρήση του υδρογόνου θέτουν ξεκάθαρα την απαίτηση για αισθητήρες μέτρησης υδρογόνου στους χώρους των δεξαμενών καυσίμων. Επιπρόσθετα, χρειάζονται και αισθητήρες οξυγόνου για την καταγραφή εμπλουτισμού του οξυγόνου εξαιτίας της υγροποίησης του αέρα σε περίπτωση σφάλματος της μόνωσης και του κινδύνου ασφυξίας εξαιτίας έλλειψης οξυγόνου.

2) Υποδομή υδρογόνου ξηράς

Τα κύρια εξαρτήματα / μέρη του επί ξηράς σταθμού ναυτιλιακού υδρογόνου είναι η εγκατάσταση μετατροπής μεθανίου- ατμού (SMR) όπου παράγεται GH_2 από φυσικό αέριο και η κρυογενετική εγκατάσταση όπου το GH_2 υγροποιείται πριν παραδοθεί στις δεξαμενές αποθήκευσης του πλοίου. Είναι γνωστό ότι η διαδικασία SMR παράγει CO_2 σαν υποπροϊόν σε ένα ρυθμό $10,66 \text{ CO}_2 \text{ kg/kg H}_2$ κατά την δημιουργία του καυσίμου υδρογόνου. Οι εκπομπές CO_2 που σχετίζονται με την υγροποίηση είναι περίπου $2,13 \text{ kg / kg H}_2 \text{ LH}_2$, κατά την δημιουργία καυσίμου υδρογόνου. Άρα οι ολικές εκπομπές CO_2 που σχετίζονται με τη διαδικασία μετατροπής και της υγροποίησης είναι της τάξεως των $12,79 \text{ kg /kg LH}_2$ και είναι αυτό το στοιχείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδείξει τις ολικές εκπομπές των σταθμών ναυτιλιακού καυσίμου υδρογόνου σε περίπτωση που δεν έχει σχεδιαστεί απομόνωση CO_2 . Ωστόσο, η απομόνωση του CO_2 θα μπορούσε πιθανόν να παρέχει παραγωγή καυσίμου υδρογόνου ως μία με δύο απαλλαγμένες από εκπομπές CO_2 και συνεπώς να παρέχει ναυτιλιακή μεταφορά containers χωρίς CO_2 . Οι χωρητικότητες των σταθμών ξηράς ναυτιλιακού υδρογόνου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να παράγεται επαρκές LH_2 και να αποθηκεύεται, ενώ τα πλοία θα είναι στη θάλασσα, με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί ότι ο χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι θα καθορίζεται από παραμέτρους χειρισμών του φορτίου τους και όχι από περιορισμούς στη διαθεσιμότητα των καυσίμου.

3) Οικονομικές παράμετροι

Η οικονομική αξιολόγηση του FAC πλοίου μεταφοράς containers που χρησιμοποιεί σαν καύσιμο το υδρογόνο έχει να κάνει με τρεις ωκεάνιες διαδρομές όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.2 – Ωκεάνιες διαδρομές μεταφοράς

Route no.	Start Port	End Port	Distance	Time	Departure freq. ^a	LH ₂ fuel load ^a	
	[N. Miles]	[km]	[hours]	[dep./4wks]	[tonnes]		
1	Yokohama	Tacoma	4274	7915	66.78	9	911.2
2	Philadelphia	Cherbourg	3265	6047	51.02	12	696.1
3	Yokohama	Long Beach	4838	8960	75.59	8	1031.4

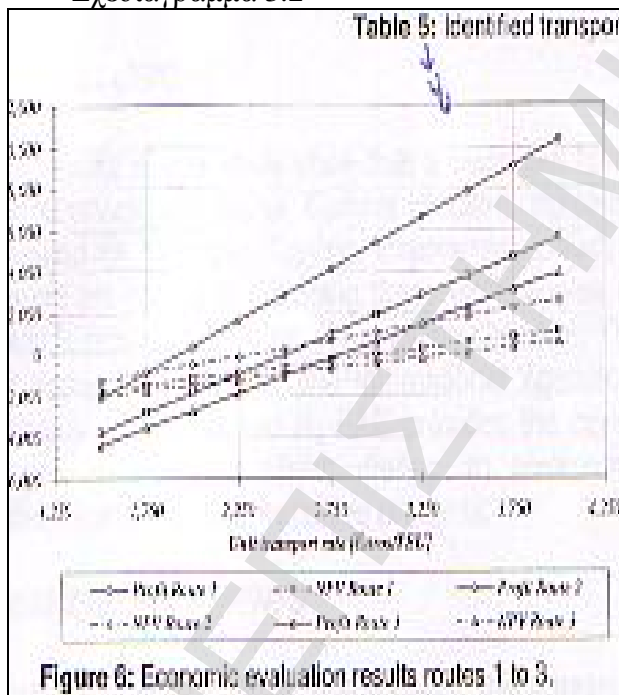
a:
Applies to one ship only

Η ανωτέρω αξιολόγηση έχει ως σκοπό να προσδιορίσει τη θέση των FAC πλοίων μεταφοράς containers με καύσιμο υδρογόνο, στην αγορά της ναυτιλιακής μεταφοράς containers. Χρησιμοποιούνται δύο εργαλεία, το μηδενικό κέρδος (zero profit) και η ανάλυση μηδενικής καθαρής παρούσας αξίας (net Present Value – NPV). Αν και δεν αναμένεται ότι μία ναυτιλιακή εταιρεία που χρησιμοποιεί τέτοια πλοία και σταθμούς καυσίμων ξηράς, θα λειτουργούσε είτε με μηδενικά κέρδη είτε με μηδενική NPV τα προσδιοριζόμενα έξοδα μεταφοράς ανά μονάδα απ' αυτές τις δύο τεχνητές οικονομικές καταστάσεις επιτρέπουν έγκριση με άλλες παραδοσιακές μορφές μεταφοράς. Τέτοια σύγκριση θα παρείχε κάποια ένδειξη για την εμπορική βιωσιμότητα του παρουσιαζόμενου σχεδίου πλοίων καυσίμου υδρογόνου. Στην εν λόγω αξιολόγηση προσδιορίζονται και το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο και τα λειτουργικά έξοδα. Το κόστος κεφαλαίου για τα συγκεκριμένα πλοία είναι δύσκολο να εκτιμηθεί λόγω του καινοτόμου και πολύπλοκου σχεδίου. Ωστόσο, μπορεί να υπάρξει μία ένδειξη με τη σύγκριση αξιών δημοσιευμένων συμβολαίων για ίδιο μέγεθος γρήγορων Catamarans και την εφαρμογή ανάλυσης συνεντεύξεων. Οι συντελεστές βασίζονται στο κλάσμα μεταξύ των κυρίων διασώσεων /

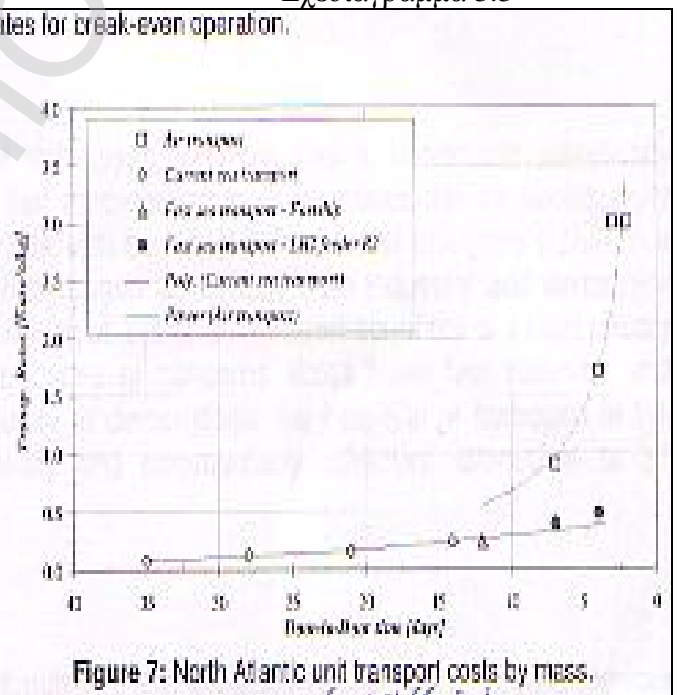
την ταχύτητα του πλοίου και της εγκαταστημένης πρόωσης. Τέτοια ανάλυση ενδεικνύει ένα κεφαλαιουχικό κόστος των 85,6 εκατομμυρίων ευρώ ανά FAC πλοίο μεταφοράς containers. Ένα 15% απρόοπτων εξόδων έχει προστεθεί, τα οποία αντικατοπτρίζει την καινοτομία του FAC πλοίου H2, δίνοντας μία τελική τιμή των 95 εκατομμυρίων ευρώ. Η γραμμική υποτίμηση των πλοίων και άλλα κεφαλαιουχικά κόστη, έχουν συμπεριληφθεί στο οικονομικό μοντέλο. Η υπολειμματική αξία που αναμένεται μετά από μια εικοσιπενταετή υπηρεσία είναι 20% της αρχικής επένδυσης.

Τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης παρουσιάζονται στα σχεδιαγράμματα 3.2 και 3.3 καθώς και στον πίνακα 3.2 ως παρακάτω.

Σχεδιάγραμμα 3.2



Σχεδιάγραμμα 3.3



Πίνακας 3.2

Investment type [-]	No. of [-]	Unit costs [M. €]	Total costs [M. €]
LH ₂ ship.	2	94.97	189.93
Terminals	2	20.00	40.00
H ₂ SMR plant	2	112.69	225.38
LH ₂ plant & site storage	2	9.97	19.95
Aluminium containers	1	117.00	117.00
Total			592.25

Table 4: Capital investment Route 3.

Route	Transport rate Zero Profit*		Transport rate Zero NPV*	
	[€/TEU]	[€/kg]	[€/TEU]	[€/kg]
1	2,505.29	3,069.23	0.501	0.614
2	1,928.18	2,353.58	0.386	0.471
3	2,823.35	3,460.22	0.565	0.692

*Including linear depreciation of invested capital.

Table 5: Identified transport rates for break-even operation.

Το σχεδιάγραμμα 3.2 και ο πίνακας 3.2 δείχνουν τα αποτελέσματα και του μηδενικού κέρδους και της NPV βασισμένα στο κόστος μεταφερόμενης μονάδας ανά TEU. Το κόστος μονάδας μηδενικού κέρδους για ένα γρήγορο πλοίο είναι 1.735€/TEU, ενώ για ένα παραδοσιακό πλοίο μεταφοράς Containers το ίδιο κόστος είναι 939 €/TEU. Ο πίνακας 8 δείχνει ότι το προτεινόμενο κόστος μεταφορικής αλυσίδας θα ήταν 1.928/TEU για τη διαδρομή Νο 2. Αυτά τα αποτελέσματα ενδεικνύουν ότι υπάρχει ανταγωνιστική δυνατότητα για το υψηλής ταχύτητας πλοίων H₂, στη διαδρομή 2. Η ανάλυση μηδενικής NPV επιτρέπει τον υπολογισμό του μικρότερου κόστους μεταφερόμενης μονάδας το οποίο απαιτείται για την απόσβεση της επένδυσης κατά τη διάρκεια ζωής των πλοίων (25 χρόνια). Αυτό το κόστος είναι ανέλπιστα σημαντικά υψηλό. Το σχεδιάγραμμα 6 δείχνει το κόστος μονάδας ανά μονάδα όγκου που μεταφέρεται επιτρέποντας σύγκριση με άλλες μορφές γρήγορης μεταφοράς όπως το αεροπλάνο. Οι αριθμοί του σχεδιαγράμματος 6 δείχνουν ότι οι ρυθμοί μεταφοράς μονάδας όγκου H₂ είναι σημαντικά χαμηλότεροι από τους αεροπορικούς ρυθμούς για τους ίδιους χρόνους μεταφοράς πόρτα – πόρτα.

4) Συμπεράσματα της έρευνας

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι τα πλοία μεταφοράς containers που χρησιμοποιούν υδρογόνο ως καύσιμο είναι, κατ' αρχήν, τεχνικά και οικονομικά βιώσιμα. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι gas turbines μπορούν επιτυχώς να τροποποιηθούν για τροφοδότηση από υδρογόνο. Η εμπειρία ήδη υπάρχει και για gas turbines μπορούν επιτυχώς να τροποποιηθούν για τροφοδότηση από υδρογόνου. Η εμπειρία ήδη υπάρχει και για τις gas turbines και για το κρυγόνου (LNG) σε ναυτιλιακό περιβάλλον. Το να συνδυαστούν αυτές οι τεχνολογίες με τεχνολογίες υδρογόνου από τη βιομηχανία και την αεροδιαστημική είναι κυρίως θέμα μεταφοράς τεχνολογίας. Η ανάπτυξη μιας οικονομίας υδρογόνου από τη βιομηχανία και την αεροδιαστημική είναι κυρίως θέμα μεταφοράς τεχνολογίας. Η ανάπτυξη μιας οικονομίας υδρογόνου είναι υψηλής προτεραιότητας για πολλές κυβερνήσεις λόγω της ανησυχίας για τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και τη ρύπανση. Το προτεινόμενο H₂ FAC παρέχει την ευκαιρία να επιδειχθούν οι δυνατότητες του υδρογόνου σε ναυτιλιακό περιβάλλον ενώ προσφέρει μια εμπορικά και περιβαλλοντολογικά ελκυστική εναλλακτική λύση στην αεροπορική μεταφορά για προϊόντα ευαίσθητα στο χρόνο».

3.2.Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)

Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών το φυσικό αέριο αναμένεται να είναι η γρηγορότερα αναπτυσσόμενη κύρια πηγή ενέργειας. Οι δυνάμεις που θα οδηγήσουν αυτή την ανάπτυξη είναι η μείωση των αποθεμάτων πετρελαίου, η αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον και οι συνεχώς αυστηρότεροι περιορισμοί των εκπομπών αερίων. Το φυσικό αέριο είναι μία από τις μεγαλύτερες πηγές ενέργειας παγκοσμίως και με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης αναμένεται να διαρκέσει περίπου εκατόν πενήντα χρόνια. Επιπλέον οι πηγές του είναι διασκορπισμένες σε όλο τον

κόσμο. Πρόσφατα έχει ανακύψει μεγάλο ενδιαφέρον για χρήση του LNG σε ναυτιλιακές εφαρμογές.

Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) μαζί με μικρές συγκεντρώσεις βαρύτερων υδρογονανθράκων όπως το αιθάνιο και το προπάνιο. Σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος το φυσικό αέριο είναι σε αέρια μορφή αλλά μπορεί να υγροποιηθεί με ψύξη στους -162°C . Σε υγρή μορφή ο εξειδικευμένος όγκος μειώνεται σημαντικά, κάτι το οποίο επιτρέπει ένα λογικό μέγεθος των δεξαμενών αποθήκευσης σχετικό με το περιεχόμενο ενέργειας. Η διαδικασία καύσης του φυσικού αερίου είναι πολύ καθαρή. Η υψηλή του αναλογία υδρογόνου – άνθρακα (η μεγαλύτερη ανάμεσα στα ορυκτά καύσιμα), σημαίνει χαμηλότερες εκπομπές CO_2 σε σύγκριση με καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Όταν το φυσικό αέριο είναι υγροποιημένο όλο το θείο διαχωρίζεται, κάτι το οποίο σημαίνει μηδενικές εκπομπές μονοξειδίου του θείου. Οι ιδιότητες καθαρής καύσης του φυσικού αερίου μειώνουν επίσης σημαντικά το μονοξείδιο του αζώτου, σε σύγκριση με καύσιμα που έχουν ως βάση το πετρέλαιο.

Όσον αφορά στην αποθήκευσή του, ο πιο εφικτός τρόπος να αποθηκεύσει κανείς φυσικό αέριο σε πλοία είναι σε υγρή μορφή. Σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις πλοίου, το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι αποθηκευμένο σε κυλινδρικές, διπλού τείχους, μονωμένες και αντιμαγνητικές δεξαμενές. Η πίεση της δεξαμενής ορίζεται από τις απαιτήσεις των μηχανών που καίνε το αέριο και είναι γενικώς λιγότερη από 5 bar. Ένα σχέδιο δεξαμενής για μεγαλύτερη πίεση (9 bar) επιλέγεται εξαιτίας του φυσικού φαινομένου της εξάτμισης (boil-off). Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα θερμότητας μέσω της μόνωσης της δεξαμενής βράζει το LNG, κάτι το οποίο αυξάνει την πίεση μέσα στη δεξαμενή. Σε περιπτώσεις μεγάλων περιόδων ακινησίας, κάποια ποσότητα του εξατμιζόμενου αερίου πρέπει να απελευθερώνεται ή να καίγεται. Το κύριο πρόβλημα στη χρήση του LNG σε πλοία είναι ο σχετικά μεγάλος χώρος που απαιτείται για τις δεξαμενές αποθήκευσής του. Σε σύγκριση με το ναυτιλιακό πετρέλαιο, ένα ίσο περιεχόμενο ενέργειας του LNG απαιτεί 1,9 φορά περισσότερο όγκο απ' ό

πετρέλαιο. Όταν προσθέσουμε τη μόνωση της δεξαμενής και έχοντας το μυαλό τη μέγιστη αναλογία γεμίσματος του 95%, τότε ο απαιτούμενος όγκος αυξάνεται στις 2,3 φορές. Ο χώρος που απαιτείται σε ένα πλοίο γίνεται 4 φορές περίπου ψηλότερος όταν επίσης ληφθεί υπόψη ο τετραγωνισμένος χώρος γύρω από την κυλινδρική δεξαμενή του LNG. Το βάρος του LNG είναι οριακά χαμηλότερο αυτού του πετρελαίου, παρόλα αυτά, η ειδική δεξαμενή και η σιδερένια κατασκευή του δωματίου της δεξαμενής, αυξάνουν το ολικό βάρος για την αποθήκευση του LNG περίπου, 1,5 φορά παραπάνω απ' ό τι στο πετρέλαιο.

Ένας σημαντικός παράγοντας σε σχέση με τη χρήση του LNG είναι αυτός της ασφάλειας, καθώς κάποιος μπορεί να σκεφτεί ότι το αέριο είναι εξαιρετικά εκρηκτικό και επικίνδυνο σαν καύσιμο πλοίου. Ωστόσο, αν εξετάσουμε τις ιδιότητές του πιο προσεκτικά, θα δούμε ότι αυτό είναι ένα βιαστικό συμπέρασμα. Το φυσικό αέριο είναι στην πραγματικότητα ένα πολύ ασφαλές καύσιμο όταν λαμβάνονται οι απαραίτητες προφυλάξεις. Οι ιδιότητές του σε υγρή και αέρια κατάσταση εξηγούνται παρακάτω:

- **Υγρή μορφή.** Σε υγρή μορφή το LNG δεν είναι εκρηκτικό, ούτε διαβρωτικό ή τοξικό. Έτσι κάποια πιθανή υπερχειλίση δεν προκαλεί μακροχρόνια ρύπανση καθώς το υγρό εξατμίζεται σε αέριο. Ωστόσο, η χαμηλή θερμοκρασία είναι ένα θέμα όταν μιλάμε για κανονικό σίδερο πλοίου, αλλά αυτό το πρόβλημα αποφεύγεται χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα υλικά σε σύστημα LNG.
- **Αέρια μορφή.** Το φυσικό αέριο σε αέρια μορφή είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, που σημαίνει ότι σε περίπτωση διαρροής το αέριο διασκορπίζεται προς τα πάνω και δεν συγκεντρώνεται στα αμπάρια του πλοίου. Η θερμοκρασία ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι σχετικά υψηλή (600° C) σε σύγκριση με το πετρέλαιο (250° C) και είναι εύφλεκτο μόνο σε μια μικρή ακτίνα συγκέντρωσης μεταξύ 5% και 15% του αέρα.

3.3.1. Το σχέδιο Cruise Ferry της εταιρείας Wärtsila

Η εταιρεία Wärtsila ψάχνει συνεχώς να βρει καλύτερες λύσεις για μηχανήματα πρόωσης πλοίων. Αυτό εμπεριέχει έρευνα σε ολόκληρο το σχέδιο του πλοίου και όχι μόνο στις μηχανές. Μια περιοχή ειδικού ενδιαφέροντος είναι το περιβάλλον, γι' αυτό η Wärtsila έχει εκπονήσει ένα νέο σχέδιο για ένα ακτοπλοϊκό επιβατικό / οχηματαγωγό το οποίο χρησιμοποιεί υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο³³. Το LNG είναι ένας πολύ αποδοτικός τρόπος για να μειωθούν οι εκπομπές αερίων. Όλες οι εκπομπές μονοξειδίου του θείου εξαφανίζονται ενώ οι εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται κατά 80% και 20% αντίστοιχα. Το LNG δεν είναι μόνο μια περιβαλλοντολογικά ορθή λύση, αλλά μπορεί να γίνει και οικονομικά ενδιαφέρουσα όσο οι τιμές του πετρελαίου είναι σε άνοδο. Το καινούργιο ferry σχεδιάστηκε για διαδρομές κατά μήκος των Νορβηγικών ακτών, μεταξύ μικρών παράκτιων κοινοτήτων. Καθώς το τοπίο είναι ανέγγιχτο και φυσικό, είναι επιθυμητή η λύση ενός πλοίου φιλικού προς το περιβάλλον. Το ίδιο σχέδιο πλοίου και μηχανών θα μπορούσε επίσης να εφαρμοσθεί εύκολα και σε άλλα επιβατικά πλοία, όπως ferrys μικρών αποστάσεων και κρουαζιερόπλοια αναψυχής.

Το Cruise Ferry της Wärtsila σχεδιάστηκε για διαδρομές αναψυχής πάνω κάτω, κατά μήκος των Νορβηγικών ακτών. Προσφέρει τις ανέσεις ενός κρουαζιερόπλοιου για 300 επιβάτες, σε 137 καμπίνες και περιλαμβάνει μια ευρεία ακτίνα από κοινόχρηστους χώρους όπως bars, ένα εστιατόριο á la carte, buffet, σαλόνια, κι ένα μικρό spa. Οι περισσότεροι των κοινόχρηστων χώρων βρίσκονται στο 5^ο κατάστρωμα, ενώ μερικά σαλόνια και το spa στο υψηλότερο κατάστρωμα. Το πλοίο επίσης διαθέτει ένα μικρό χώρο μεταφοράς ιδιωτικών αυτοκινήτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως ferry, είτε ως πλοίο που θα πραγματοποιεί εκδρομές, ενώ έχει αυτονομία και ακτίνα δράσης που ταιριάζουν σε κρουαζιέρες που διαρκούν πάνω από

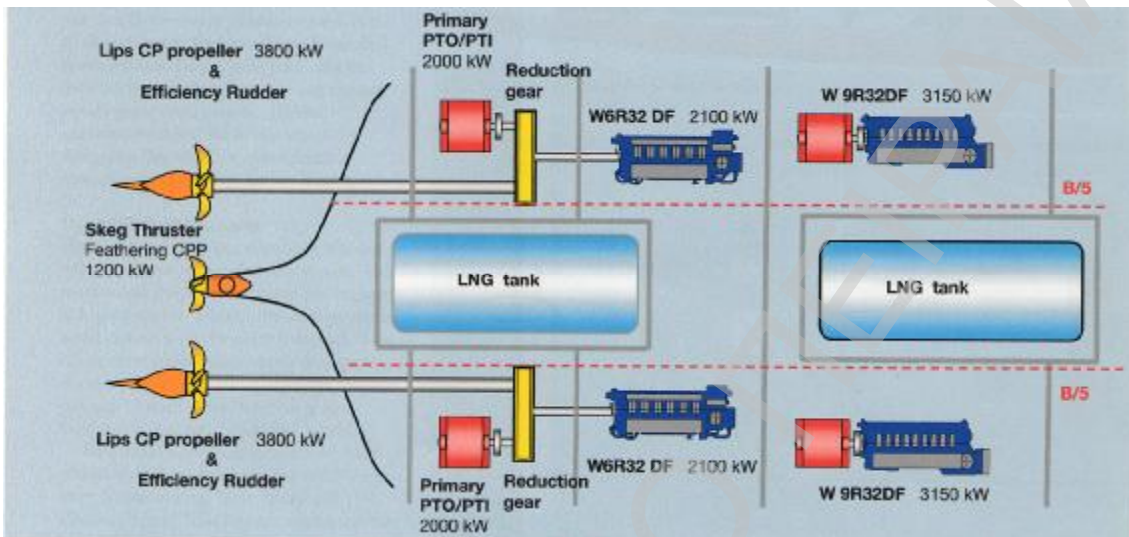
³³ LNG Cruise Ferry – A truly environmentally Sound Ship – www.wartsila.com

μία εβδομάδα χωρίς ανεφοδιασμό σε καύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται πολύ μεγάλες δεξαμενές LNG χωρητικότητας 520 m³. Είναι καθαρή πρόκληση το να βρεθεί χώρος γι' αυτές μέσα στο πλοίο, καθώς επηρεάζουν ολόκληρη τη ρύθμιση και τις διαστάσεις του πλοίου. Σε αυτήν την περίπτωση οι δύο μεγάλες δεξαμενές LNG είναι τοποθετημένες κάτω και στο κέντρο του πλοίου, ανάμεσα στις γραμμές Β/5. Μία μικρή εσοχή στο μπουλμέ έχει γίνει για να εξοικονομηθεί χώρος για την εμπρόσθια δεξαμενή. Το πλοίο είναι χωρισμένο σε δύο μόνο κύριες ζώνες φωτιάς, λαμβάνοντας υπόψη μία πιο αποδοτική ρύθμιση. Τα μηχανήματα είναι τοποθετημένα στο κέντρο του πλοίου με τις μηχανές να είναι χωρισμένες και στις δύο πλευρές του κύριου μπουλμέ. Γι' αυτό οι θήκες των μηχανών και το φουγάρο βρίσκονται αρκετά μπροστά. Μια πλευρική άποψη του πλοίου καθώς και μία σχηματική απεικόνιση της ρύθμισης του μηχανοστασίου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

Εικόνα 3.5 Πλευρική άποψη του LNG Ferry πηγή: LNG Cruise Ferry – A truly environmentally Sound Ship – www.wartsila.com



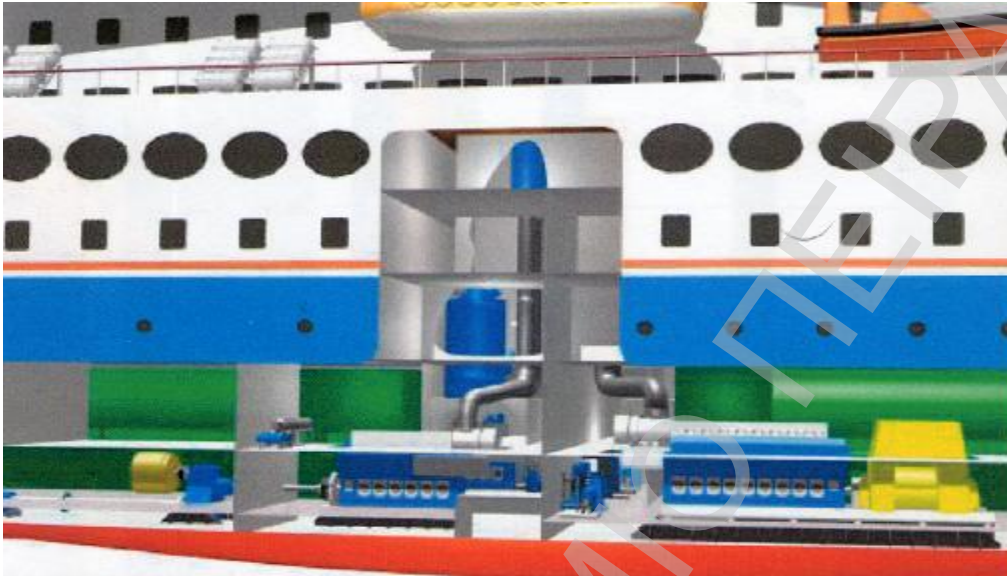
Εικόνα 3.6. Σχηματική άποψη του μηχανοστασίου πηγή: LNG Cruise Ferry – A truly environmentally Sound Ship – www.wartsila.com



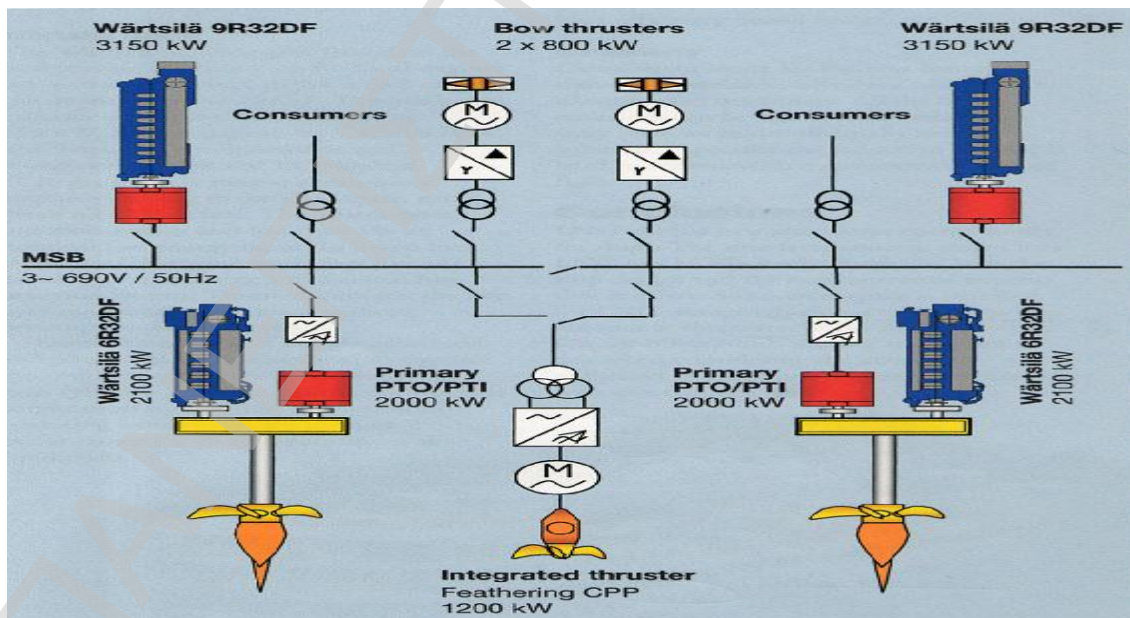
Το ferry περιλαμβάνει μηχανοστάσιο τύπου υβριδικού διπλού καυσίμου (H-DF) το οποίο αποτελείται από δύο μηχανές πρόωσης Wärtsila 6R32DF και δύο ηλεκτροπαράγωγα ζεύγη 9R32DF. Αυτό δίνει μια συνολική εγκατεστημένη δύναμη της τάξεως των 10 MW. Οι μηχανές χρησιμοποιούν LNG ως κύριο καύσιμο και ναυτιλιακό diesel ως καύσιμο υποστήριξης. Ένα παραδοσιακό σύστημα πρόωσης με δύο στροφαλοφόρους άξονες χρησιμοποιείται σ' αυτό το σχέδιο. Οι δύο W6R32DF δίνουν κίνηση σε ελεγχόμενου βήματος προπέλες, η κάθε μία διαμέσου μειωτήρων και συνιστούν τη μηχανική προωστήρια δύναμη του προωστήριου σκεύους. Δύο γεννήτριες 2 MW είναι συνδεδεμένες στα PTO/PTIs πάνω στους μειωτήρες. Μαζί με τα δύο ηλεκτροπαράγωγα ζεύγη W9R32DF συνιστούν την εγκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου. Οι ηλεκτρικές γεννήτριες μπορούν επίσης να δώσουν κίνηση στις προπέλες και είναι εξοπλισμένες με μετατροπείς συχνότητας για λειτουργία σε διάφορες ταχύτητες. Ο κανονικός ωθητήρας (thruster) στην πρύμνη έχει αντικατασταθεί με ένα νέο καθοδηγούμενο ωθητήρα, ενσωματωμένο μέσα στο πηδάλιο. Το μηχανοστάσιο έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με τη φιλοσοφία «επείγουσας διακοπής λειτουργίας». Αυτό

σημαίνει ότι σε περίπτωση διαρροής αερίου σ' ένα δωμάτιο μηχανής, ο εφοδιασμός αερίου θα κοπεί και οι μηχανές θα αλλάξουν σε λειτουργία diesel. Αν η διαρροή συνεχιστεί, τότε θα κλείσει το δωμάτιο της μηχανής. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται ένα πλήρως εναλλακτικό μηχανοστάσιο. Γι' αυτό το λόγο οι μηχανές πρόωσης και τα παράγωγα ζεύγη χωρίζονται σε δύο διαφορετικά διαμερίσματα, με τους μειωτήρες να βρίσκονται και αυτοί σε ξεχωριστό διαμέρισμα. Αυτό επιτρέπει στις προπέλες να καθοδηγούνται, είτε από τους PTO/PTI κινητήρες πρόωσης, είτε με τις μηχανές diesel σε περίπτωση απώλειας κάποιου διαμερίσματος μηχανής. Οι δεξαμενές αποθήκευσης LNG είναι τοποθετημένες μεταξύ των ζωνών B/5 και οι μηχανές βρίσκονται στις πλευρές σε περιοχές όπου η αποθήκευση αερίου δεν επιτρέπεται. Το μηχανοστάσιο H-DF συνδυάζει το χαμηλότερο κόστος επένδυσης της μηχανικής πρόωσης με τα πολύ καλά χαρακτηριστικά της πετρελαιο-ηλεκτρικής μηχανικής εγκατάστασης. Η αρχή – φιλοσοφία του προωστήριου σκεύους προσφέρει ευελιξία και επιτρέπει απαλή αλλαγή μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας. Επιπλέον, όλες οι μηχανές μπορούν συνήθως να λειτουργήσουν σε συνεχή ταχύτητα κοντά στο βέλτιστο φορτίο, για να επιτύχουν χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων. Χαμηλά φορτία μηχανής μπορούν να αποφευχθούν αλλάζοντας μεταξύ των διαφορετικών επιλογών παραγωγής ενέργειας. Οι υβριδικές μηχανές είναι ιδεώδεις για ferries, όταν το πλοίο σχεδιάζεται για αποδοτική από πλευράς κόστους λειτουργία σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας. Στις παρακάτω εικόνες έχουμε μία καλλιτεχνική απεικόνιση των διαμερισμάτων μηχανών και ένα διάγραμμα της μηχανικής και ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Εικόνα 3.7. Καλλιτεχνική απεικόνιση πηγή: LNG Cruise Ferry – A truly environmentally Sound Ship – www.wartsila.com

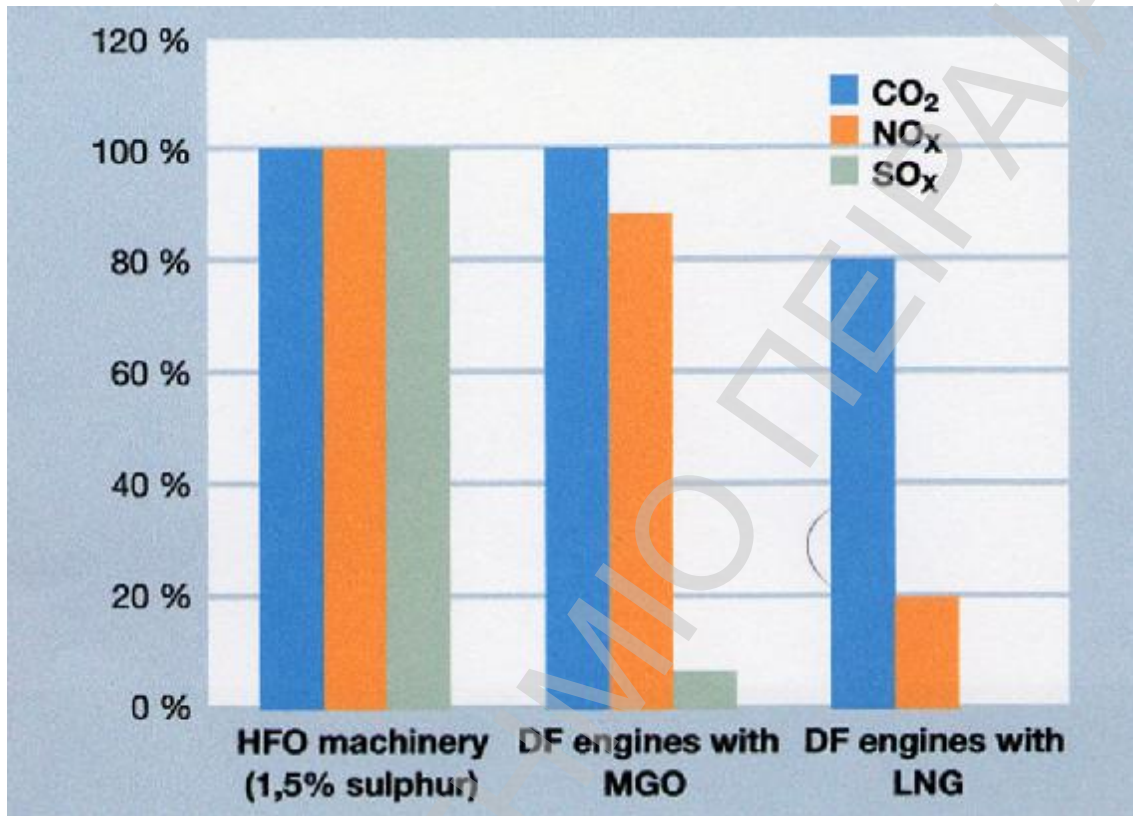


Εικόνα 3.8. Διάγραμμα μηχανικής και ηλεκτρικής εγκατάστασης πηγή: LNG Cruise Ferry – A truly environmentally Sound Ship – www.wartsila.com



Το πλοίο λειτουργεί ως πετρελαιοκίνητο κατά τη διάρκεια ελιγμών και σε χαμηλές ταχύτητες. Οι μηχανές μηχανικής πρόωσης εμπλέκονται σε υψηλότερες ταχύτητες για να ενισχύσουν τη δύναμη του στροφαλοφόρου άξονα σε συνδυασμό με το ηλεκτρικά μοτέρ. Οι μηχανές πρόωσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μόνες τους αλλά αυτό δεν σκοπεύεται να γίνει ως κανονική λειτουργική κατάσταση. Τέσσερις κύριες καταστάσεις λειτουργίας έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό του πλοίου: «λιμάνι», ελιγμών χαμηλής ταχύτητας και ταχύτητας cruising. Οι δύο θαλάσσιες καταστάσεις χρησιμοποιούν τις διπλές CPPs ως κύρια συσκευή προώθησης. Ο ενσωματωμένος στο πεδάλιο ωθητήτας χρησιμοποιείται μόνο κατά την κατάσταση ελιγμών ως συσκευή πεδάλιούχησης σε συνεργασία με τις προπέλες. Ωστόσο, μπορεί να εκκινηθεί και σε περίπτωση αποτυχίας του κύριου συστήματος πρόωσης ως συσκευή υποστήριξης της πρόωσης. Μία από τις μηχανές πρόωσης, οι οποίες είναι μικρότερες από το ηλεκτροπαράγωγο ζεύγος, χρησιμοποιείται στο λιμάνι όταν το ηλεκτρικό φορτίο είναι χαμηλό για να δώσει κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το βέλτιστο φορτίο της μηχανής. Όπως είπαμε το πλοίο χρησιμοποιεί τις μηχανές της Wärtsilä 32DF οι οποίες είναι τετράχρονης, διπλού καύσιμου και λειτουργούν είτε με αέριο είτε με diesel. Η μέγιστη απόδοση κυλίνδρου είναι είτε 335 KW ή 350 KW. Οι μηχανές εν σειρά είναι διαθέσιμες σε μια διαμόρφωση έξι και εννέα κυλίνδρων ενώ οι μηχανές σε διάταξη V με δώδεκα και δεκαοκτώ κυλίνδρους. Όσον αφορά στις εκπομπές αερίων, σύμφωνα με υπολογισμούς που έχουν γίνει για το νέο σχέδιο, υπάρχει αξιοσημείωτη διαφορά σε σύγκριση με τις μηχανές που χρησιμοποιούν diesel. Όλες οι κύριες εκπομπές μπορούν να μειωθούν σημαντικά και ειδικά οι εκπομπές CO₂ που είναι δύσκολο να μειωθούν με τα παραδοσιακά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα φαίνονται οι εκπομπές αερίων ferries που χρησιμοποιούν διαφορετικά είδη καυσίμου.

Σχεδιάγραμμα 3.4 – Εκπομπές αερίων ferries πηγή: LNG Cruise Ferry – A truly environmentally Sound Ship – www.wartsila.com



Το LNG προσφέρει σύμφωνα με την εταιρεία Wärtsilä, μία καινούργια εναλλακτική πηγή ενέργειας σε πλοία. Το καινούργιο σχέδιο του ferry δείχνει πώς μπορεί αποδοτικά το LNG να ενσωματωθεί στο σχέδιο του πλοίου καθώς και τα περιβαλλοντολογικά οφέλη που προσφέρει. Κάποιος έξτρα χώρος απαιτείται για την αποθήκευση του LNG και το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη στο ξεκίνημα της σχεδιαστικής διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά, το τίμημα που πρέπει να πληρωθεί είναι μικρό συλλογίζόμενοι την τεράστια μείωση εκπομπών που μπορεί να επιτευχθεί με αυτό το σχέδιο.

3.4. Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα ονομάζονται τα καύσιμα για την παραγωγή των οποίων χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη ή βιομάζα. Η βιομάζα προέρχεται κυρίως από γεωργικά προϊόντα (καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο κ.τ.λ.) αλλά και από γεωργικά κατάλοιπα, όπως για παράδειγμα φλοιοί δένδρων, κοτσάνια φυτών κ.τ.λ. Τα παραγόμενα καύσιμα όπως για παράδειγμα η αιθανόλη, έχουν αντίστοιχες ιδιότητες με αυτά που παράγονται από την επεξεργασία του πετρελαίου ή του άνθρακα και για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις υπάρχουσες ναυτικές μηχανές που είναι σχεδιασμένες γι' αυτά τα καύσιμα. Χώρες όπως η Βραζιλία, καλύπτουν σε μεγάλο ποσοστό τις ενεργειακές τους ανάγκες με τη χρήση βιοκαυσίμων. Η Βραζιλία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός και εξαγωγέας αιθανόλης στον κόσμο. Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης χρησιμοποιείται το ζαχαροκάλαμο, που καλλιεργείται κυρίως στις νότιες περιοχές της χώρας. Άλλες χώρες παραγωγής αιθανόλης είναι οι ΗΠΑ και η Κίνα όπου η αιθανόλη παράγεται από σόγια και καλαμπόκι. Εξετάζοντας το ενεργειακό ισοζύγιο, έρευνες έχουν δείξει ότι το ενεργειακό κέρδος από την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι είναι της τάξεως του 25%, ποσοστό που θεωρείται μικρό. Αντίθετα, η καλλιέργεια σόγιας για την παραγωγή biodiesel δίνει ενεργειακό κέρδος της τάξεως του 93%.

Ειδικότερα όσον αφορά στο biodiesel, που είναι πολύ καλής ποιότητας καύσιμο και από τεχνική άποψη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας σε μεσαίας ταχύτητας μηχανές diesel. Είναι παρόλα αυτά ακριβό προϊόν και γι' αυτό είναι πιο κατάλληλο για χρήση σε αυτοκίνητα όπου οι απαιτήσεις στην ποιότητα καυσίμου είναι αυστηρότερες. Το biodiesel συνήθως παράγεται από έλαια φυτών ή ζωικά λίπη. Στην Ευρώπη οι σπόροι γογγυλιών είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο προϊόν για την κατασκευή biodiesel, του οποίου οι ιδιότητες είναι πολύ κοντά σε αυτές του πετρελαίου και γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες μηχανές

diesel χωρίς μετατροπές. Το biodiesel συνήθως παράγεται κατά τη διαδικασία όπου αλκοόλη (συνήθως μεθανόλη) προστίθεται σε αργό φυτικό έλαιο. Τα μόρια του λίπους μέσα στα έλαια διαχωρίζονται, αφήνοντας μόνο καύσιμους υδρογονάνθρακες. Το τελικό προϊόν είναι ένα καύσιμο το οποίο καλείται Methyl Ester ή biodiesel. Η λέξη “Methyl” ενδεικνύει τη χρήση μεθανόλης στη διαδικασία, ενώ η λέξη FAME (Fatty Acid Methyl Ester) χρησιμοποιείται συχνά ως ονομασία για όλη την ομάδα των biodiesels, που φτιάχνονται από φυτά και ζωικά λίπη.

3.4.1. Εμπειρία από τη χρήση biodiesel

Ένα πρώτο χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης biodiesel αφορά στο πλοίο Earthrace το οποίο είναι ένα trimaran εβδομήντα οκτώ ποδών το οποίο χρησιμοποιεί εναλλακτικό καύσιμο και είναι μέρος ενός project για την κατάρριψη του παγκόσμιου ρεκόρ διάπλου της γης αποκλειστικά με χρήση biodiesel³⁴.

Εικόνα 3.9. EARTHTRACE



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

³⁴ www.earthrace.net

χρηματοδότησή του έγινε κυρίως από σπώνσορες. 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. Παράλληλα στοχεύει στην κατάρριψη του παγκοσμίου ρεκόρ διάπλου της υψηλίου χρησιμοποιώντας μόνο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Πολλές περιπτώσεις χρήσεως biodiesel σε πλοία αφορούν σε εταιρείες ferries όπως η εταιρεία Washington State Ferries στις ΗΠΑ. Η συγκεκριμένη εταιρεία είναι η μεγαλύτερη εταιρεία ferries στον κόσμο, Βάσει των οχημάτων που μεταφέρονται ετησίως και της κατανάλωσης καυσίμου, η οποία ανέρχεται στα 64 εκατομμύρια λίτρα diesel για τα πλοία της³⁵. 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, το biodiesel εμφανίστηκε σαν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για τα συγκεκριμένα πλοία. Η διαδρομή Fauntleroy-Southworth-Vashon επιλέχθηκε για τις αρχικές δοκιμές. Το πρότζεκτ χρησιμοποίησε περίπου 540.000 λίτρα biodiesel μέχρι που διακόπηκε το 2005 εξαιτίας προβλημάτων από φραγμένα φίλτρα καυσίμων, κάτι το οποίο είναι επαναλαμβανόμενο ζήτημα όταν χρησιμοποιείται biodiesel. Το Μάρτιο του 2008 άρχισε η τρίτη φάση του προγράμματος biodiesel, χρησιμοποιώντας χαμηλό μίγμα biodiesel. Τα τρία ferries Issaquah, Klahowya και Tillikum ξεκίνησαν τα δρομολόγια τους με 5% biodiesel αναμεμιγμένο σε πετρέλαιο. Όσο το σχέδιο θα προχωρούσε θα αυξάνονταν και το ποσοστό του biodiesel σε 20%. Οι δοκιμές θα συνεχιστούν μέχρι το Φεβρουάριο του 2009 και η τελική αναφορά θα ολοκληρωθεί περί τον Ιούνιο 2009. Το σχέδιο χρηματοδοτείται από ομοσπονδιακές επιδοτήσεις και οικονομικές συνεισφορές από την πόλη του Seattle. Ο προϋπολογισμός εκτιμάται ότι θα φθάσει τα 875.000 δολάρια.

³⁵ ZERO REPORT-JUNE 2008. Biodiesel in car Ferries. www.zero.no

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού 2007 η εταιρεία Pon Power δοκίμασε τη χρήση και biodiesel (B100) στο Ferry Fanofergen (ιδιοκτησίας Scandlines), το οποίο έκανε δρομολόγιο μεταξύ Esbjerg και Fano που είναι μία από τις πιο πολυάσχολες γραμμές στη Δανία. Μία μηχανή Caterpillar 3412 (περίπου 600 KW) βρίσκεται πάνω στο ferry “Fanofrogen” και λειτουργεί αποκλειστικά με biodiesel. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών ήταν θετικά και δεν χρειάστηκε να γίνουν προσαρμογές της μηχανής πριν από αυτές. Το πλοίο λειτουργούσε ομαλά ώσπου πουλήθηκε και το σχέδιο σταμάτησε. Ωστόσο, οι δοκιμές ήταν πολύ επιβοηθητικές για την απόκτηση γνώσης σχετικά με τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στα ferries, τόσο για τους κατασκευαστές όσο και για τους ιδιοκτήτες των πλοίων.

3.4.2. Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Ο κύριος λόγος για τη χρησιμοποίηση biodiesel στα πλοία είναι να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Παρόλο όμως που το biodiesel προέρχεται από ανανεώσιμα υλικά, η χρησιμοποίηση υδρογονανθράκων σε μηχανή καύσης πάντα θα προκαλεί κάποιου είδους εκπομπές αερίων. Τα αποτελέσματα της καύσης σε ένα αριθμό περίπλοκων αντιδράσεων και τα προϊόντα που σχηματίζονται εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Ο βαθμός ανάμιξης βιοκαυσίμου και αέρα μπορεί να ρυθμίσει τις αντιδράσεις που συμβαίνουν όταν το βιοκαύσιμο αναφλέγεται. Σε ένα ιδεώδες σενάριο με πλήρη καύση δεν θα υπήρχαν εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα ή άκαυστοι υδρογονάνθρακες, αλλά αυτό θα αύξανε τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου το οποίο επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία καύσης.

Όσον αφορά στις εκπομπές CO₂, τα βιοκαύσιμα θα πρέπει να θεωρούνται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας διότι το ίδιο ποσό CO₂ που απελευθερώνεται από την καύση των βιοκαυσίμων έχει προηγουμένως ληφθεί από την ατμόσφαιρα μέσω των αναπτυσσόμενων φυτών. Έτσι η αύξηση συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα

αποτρέπεται. Ωστόσο, κάποια ενέργεια από ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιείται όταν παράγεται η πρώτη ύλη του biodiesel. Το θέμα περιπλέκεται περαιτέρω από το γεγονός ότι τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων, απελευθερώνουν πρωτοξειδίο του αζώτου, ένα πολύ δραστικό αέριο του θερμοκηπίου. Σχετικά με τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου, αυτό, όπως και το διοξείδιο του αζώτου, είναι υποπροϊόντα της διαδικασίας καύσης. Δεν είναι αέρια του θερμοκηπίου, αλλά συνεισφέρουν στην τοξικοποίηση που προκαλεί όξινη βροχή, η οποία αποτελεί σοβαρότατο περιβαλλοντολογικό πρόβλημα. Οι εκπομπές NO_x από μηχανές που χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα είναι ελαφρώς υψηλότερες από τα ορυκτά καύσιμα, και μια εξήγηση γι' αυτό είναι ότι η αυξανόμενη θερμοκρασία της φλόγας που προκαλείται από τη μειωμένη συγκέντρωση κάπνας άνθρακα πιστεύεται ότι αυξάνει τις εκπομπές NO_x. Η εταιρεία Wärtsilä έχει αναπτύξει μια τεχνική η οποία, όπως υποστηρίζει, μπορεί να μειώσει τις εκπομπές NO_x μέχρι και 50%. Αυτό επιτυγχάνεται με την έγχυση πρεσαρισμένου νερού μέσα στη διαδικασία καύσης κάτι το οποίο μειώνει το σχηματισμό NO_x. Η κεντρική ιδέα είναι να χαμηλώσει η θερμοκρασία καύσης με το να προστεθεί το νερό στη διαδικασία. Τέλος, και σε ότι έχει να κάνει με τις εκπομπές θείου, εισάγοντας τη χρήση biodiesel στα ferries θα μειωθούν σημαντικά οι ανωτέρω εκπομπές εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητας θείου στα βιοκαύσιμα.

3.4.3. Προκλήσεις στη χρήση βιοκαυσίμων

Το πιο συχνά αναφερόμενο πρόβλημα με τα βιοκαύσιμα είναι το πιθανό φράξιμο των φίλτρων στη διαδικασία εκκίνησης όταν γίνεται αλλαγή από πετρέλαιο σε biodiesel. Οι διαλυτικές ιδιότητες του biodiesel μπορούν πιθανώς να προκαλέσουν φράξιμο των φίλτρων στις δεξαμενές αποθήκευσης των αποθεμάτων HFO. Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο πρέπει να καθαρίζονται επισταμένως οι δεξαμενές πριν τη χρήση. Τα φίλτρα πρέπει να αλλάζονται συχνά όπως ακριβώς και όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα πετρελαίου. Το γεγονός ότι το biodiesel συνδυάζεται με

νερό από το περιβάλλον έχει δημιουργήσει ένα πιθανό σημείο πήξης και δυσκολίας στην απρόσκοπτη ροή. Το standard του biodiesel EN14214 θέτει ένα όριο 500 mg/kg. Η Wärtsila μας πληροφορεί ότι η υγρασία δεν είναι πρόβλημα αν το biodiesel είναι σύμφωνα με τα standards.

Ένα άλλο γεγονός που αναφέρεται σαν πρόβλημα, είναι η ανάπτυξη μικροβίων όταν χρησιμοποιείται biodiesel σε πλοία. Οι διαλυτικές ιδιότητες του biodiesel μπορούν να αποσπασούν σχηματισμούς βακτηρίων από το εσωτερικό των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμου και να μπλοκάρουν τα φίλτρα. Η πρόληψη γι' αυτό είναι ο καθαρισμός των δεξαμενών πριν από τη χρήση biodiesel. Επιπλέον, το biodiesel «παρακαμάζει» γρηγορότερα από το παραδοσιακό diesel. Η γήρανση και η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αξία TAN (Total Acid Number), σε αυξημένη δραστηριότητα διάβρωσης και σχηματισμό ιζήματος που θα μπορούσε να φράξει τα φίλτρα. Υψηλές θερμοκρασίες, ηλιακό φως και ατμοσφαιρικό οξυγόνο μπορούν να επιταχύνουν τη διαδικασία γήρανσης. Για τη χρήση του biodiesel σε πλοία είναι σημαντικό να τονισθεί η προβληματική συμπεριφορά του biodiesel σε χαμηλές θερμοκρασίες κάτι όμως που μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση πρόσθετων, έτσι ώστε το biodiesel να μπορεί να αποδώσει και σε θερμοκρασίες κάτω των -25°C . Γι' αυτό λοιπόν είναι πολύ σημαντικός ο έλεγχος της θερμοκρασίας του biodiesel, το οποίο πρέπει να διατηρείται στη σωστή θερμοκρασία. Το σύστημα καυσίμου θα πρέπει λοιπόν να είναι εξοπλισμένο με επιπλέον εξαρτήματα όπως συσκευές θέρμανσης και ψύξης ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή θερμοκρασία.

3.4.4. Κόστος και κατάσταση αγοράς για το biodiesel

Η παραγωγή biodiesel είναι σχετικά νέα βιομηχανία και το biodiesel είναι ακριβότερο από τα άλλα συνηθισμένα ναυτιλιακά καύσιμα. Η πλειοψηφία της παγκόσμιας παραγωγής βασίζεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπου παράγονται 4,9

εκατομμύρια τόνοι από τα 6,4 του παγκόσμιου συνόλου, δηλαδή το 77% της παγκόσμιας παραγωγής, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα:

Σχεδιάγραμμα 3.5 – Παραγωγή biodiesel στην EU το 2005-06 πηγή: ZERO REPORT-JUNE 2008. Biodiesel in car Ferries. www.zero.no

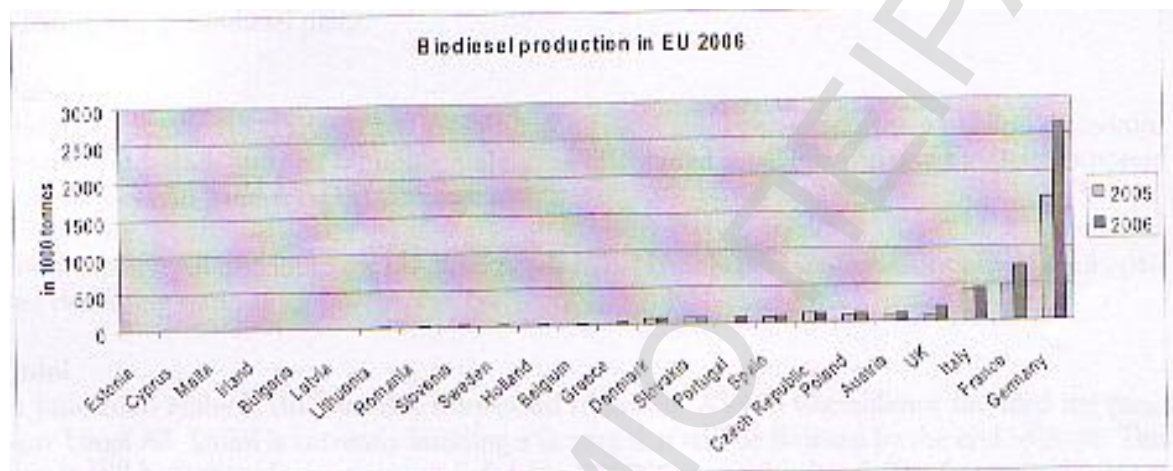


Figure 14: Production in the EU 2006 (European Biodiesel Board 2007)

Η παραγωγή biodiesel αυξάνεται ραγδαία και υπάρχει επαρκής χωρητικότητα για υψηλότερα επίπεδα παραγωγής σε περίπτωση που αυξηθεί η ζήτηση. Για το 2007 το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο biodiesel (EBB) ανέφερε ότι υπάρχει παραγωγική χωρητικότητα 10,3 εκατομμυρίων τόνων μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτό απεικονίζει τις μεγάλες δυνατότητες για αυξημένη παραγωγή. Η παγκόσμια αγορά βιοκαυσίμων προβλέπει ένα 30% ετήσια αύξηση παραγωγής από το 2006 και μία εκτιμώμενη παγκόσμια παραγωγή biodiesel στην περιοχή των 11 εκατομμυρίων τόνων μέχρι το 2010.

Όσον αφορά στο κόστος, μία μελέτη του οργανισμού zero³⁶ σχετικά με την Νορβηγική αγορά ferries αναφέρει ότι ένα μέσο ferry χρησιμοποιεί περίπου 700

³⁶ ZERO REPORT-JUNE 2008. Biodiesel in car Ferries. www.zero.no

τόρνους καυσίμου κάθε χρόνο με το κόστος των καυσίμων να ανέρχεται περίπου σε τέσσερα εκατομμύρια NOK. Μία αλλαγή σε biodiesel θα αυξήσει το κόστος καυσίμων περίπου 55% γύρω στα 6,3 εκατομμύρια NOK. Οι υπολογιστές βασίζονται σε σημερινές τιμές και ρυθμίσεις, ενώ κυβερνητικά κίνητρα μπορούν να αλλάξουν την επωφελία χρήσης biodiesel αντί συνηθισμένων ναυτιλιακών καυσίμων. Επίσης, η τιμή του diesel εμφανίζεται ασταθής με αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια.

3.5. ORIMULSION

Orimulsion ονομάζεται το προϊόν της μίξης ασφάλτου (bitumen) και νερού σε αναλογία 70/30³⁷. Το προϊόν αυτό δημιουργήθηκε προκειμένου να γίνουν αντικείμενο εκμετάλλευσης τα τεράστια αποθέματα φυσικής ασφάλτου που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Ορενόκου στη λατινική Αμερική. Το καύσιμο που προκύπτει από την ανάμειξη της φυσικής ασφάλτου και του νερού είναι ένα γαλάκτωμα, στο οποίο τα σταγονίδια της ασφάλτου αιωρούνται μέσα στο νερό με την βοήθεια χημικών προσθέτων και μηχανικής ανάδευσης. Το καύσιμο έχει πυκνότητα 1.0113 kg/m³ και είναι αρκετά σταθερό. Η διαχείρισή του δεν διαφέρει σε τίποτα από αυτή των κοινών καυσίμων και για το λόγο αυτό δεν απαιτείται αλλαγή του μηχανολογικού εξοπλισμού επεξεργασίας καυσίμου.

Στο χώρο των ναυτικών μηχανών έχουν εκτελεστεί πειράματα κυρίως σε αργόστροφες και μεσόστροφες μηχανές diesel. Τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά και δείχνουν ότι η απόδοση του orimulsion είναι συγκρίσιμη αυτής των κοινών καυσίμων. Η μακροχρόνια χρήση του orimulsion έχει παρουσιάσει αποδεκτά

³⁷ Richard Kelly – Treating fuels in the new millennium – The Institute of Marine Engineers – Propulsion 2000 the great debate

επίπεδα διάβρωσης χωρίς να απαιτείται η χρήση χημικών προσθέτων. Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα σε σχέση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα είναι τα επίπεδα εκπομπής ρύπων. Το οτιμulsion περιέχει θείο σε ποσοστό 2,8% και γι' αυτό απαιτείται η χρησιμοποίηση τεχνικών απομάκρυνσης του διοξειδίου του θείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

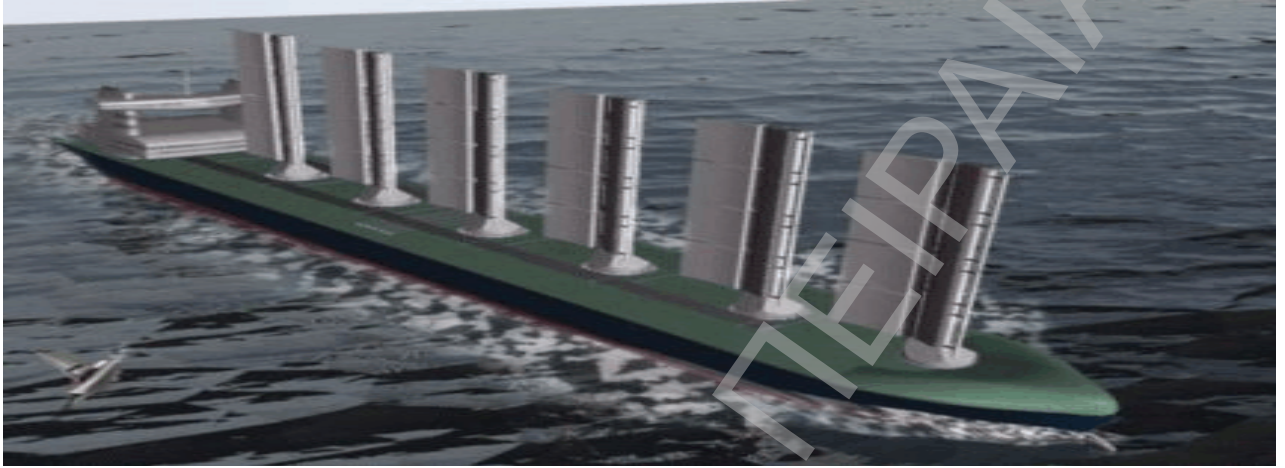
ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

4.1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Από την αρχαιότητα και μέχρι πριν δύο αιώνες, η κύρια πηγή πρόωσης των πλοίων στηρίζονταν στη χρήση της αιολικής ενέργειας με τη χρήση ιστίων. Η χρήση ιστιοφόρων σκαφών εξακολουθεί στις μέρες μας αλλά κυρίως στον τομέα της αναψυχής. Αν σκεφτεί κανείς ότι υπάρχουν πλοία συνολικού εκτοπίσματος 600.000 tons, όπως 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 σχεδιάσεως, δεν επιτρέπουν τη χρήση ιστίων από τα σύγχρονα εμπορικά σκάφη.

Παρόλα αυτά έχουν γίνει πολλές προσπάθειες εφαρμογής και χρήσης πανιών σε εμπορικά πλοία. Το 1995, το Δανέζικο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας χρηματοδότησε μία μελέτη του συμβούλου της Εταιρείας Naval Architects and Marine Engineers, Knud E. Hansen 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:

Εικόνα 4.1. modern windship πηγή: CRS Report for Congress “Nave Ship Propulsion Technologies: Options for reducing oil use



Όταν ολοκληρώθηκε η μελέτη αναφέρθηκαν τα εξής³⁸: «Αποδείχθηκε γενικά αντικοινωνική η χρήση πανιών σε τυπικές οδούς μεταφοράς προϊόντων. Το κόστος αυξάνεται περίπου 10% σε σύγκριση με ίδιου μεγέθους παραδοσιακά εμπορικά πλοία μεταφοράς προϊόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν 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 στα πλοία με πανιά καταναλώνει περισσότερο καύσιμο από ένα παραδοσιακό πλοίο. Η μελέτη καταλήγει ότι με προσεκτική δρομολόγηση, η οποία θα

³⁸ Martin Rosander and Jens O.V. Bloch, Modern Ships, 2000 report www.eceee.org/library

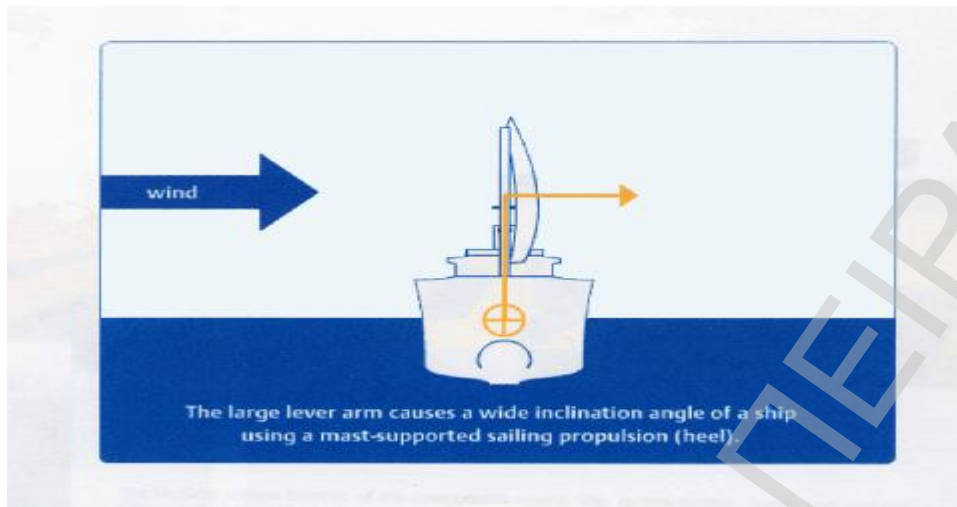
εκμεταλλεύεται τις καιρικές εναλλαγές και μείωση της ταχύτητας, τότε η χρήση πανιών μπορεί να αποδειχθεί περιβαλλοντολογικά και οικονομικά ευεργετική».

Επίσης, εκτός από τον Knud E. Hansen, η Γερμανική Εταιρεία Sail Log ερευνά τη χρήση πανιών 20.000 m² 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.

Ένας άλλος τρόπος για να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια σε πλοία είναι η χρήση «αετών». Ένα άρθρο αναφέρει τα εξής³⁹: *«σε μη ευνοϊκούς ανέμους, οι μεγάλοι ιστοί δημιουργούν πολλά εμπόδια. Κατά τη διάρκεια καταιγίδων, οι ιστοί κάνουν το πλοίο να γέρνει, πολλές φορές επικίνδυνα»* (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα).

³⁹ “Sailing Ships with a New Twist”, The Economist September 15 2005 www.skysails.info

Εικόνα 4.2. πηγή www.skysails.info



Οι ιστοί και τα πανιά τους καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στο κατάστημα containers. Η φόρτωση και η εκφόρτωση γίνονται πιο ακριβές, αφού οι γερανοί που σηκώνουν τα containers πρέπει να δουλεύουν γύρω από τους ιστούς. Οι μηχανικοί έχουν σχεδιάσει ψηλότερους (και πιο ακριβούς) 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 θα ήταν απαγορευτικά ακριβοί να φτιαχτούν, λειτουργήσουν και συντηρηθούν. Το κόστος εφοδιασμού ενός εμπορικού πλοίου με μία σειρά ιστών και η ενδυνάμωση του κύτους και του καταστρώματος για να αντέξουν και πρόσθετη πίεση, εκτιμάται γύρω στο 10 εκατομμύρια ευρώ. Έτσι τα πανιά θα έπρεπε να έχουν γύρω στα 15 χρόνια, έτσι ώστε να καλύψουν τα έξοδά τους μέσω της οικονομίας καυσίμων.

Ο στόχος της από «αετού» βοηθούμενης πρόωσης είναι να μειώσουν ή να αποφύγουν τα παραπάνω θέματα εκμεταλλευόμενη παράλληλα τα πλεονεκτήματα των δυνατότερων ανέμων που είναι διαθέσιμοι σε ύψη μεγαλύτερα απ' αυτού που μπορούν να φθάσουν τα πανιά. Δύο τουλάχιστον εταιρείες, η Αμερικανική Kiteship και η Γερμανική SkySails έχουν αναπτύξει συστήματα που υποβοηθούνται από «αετούς»

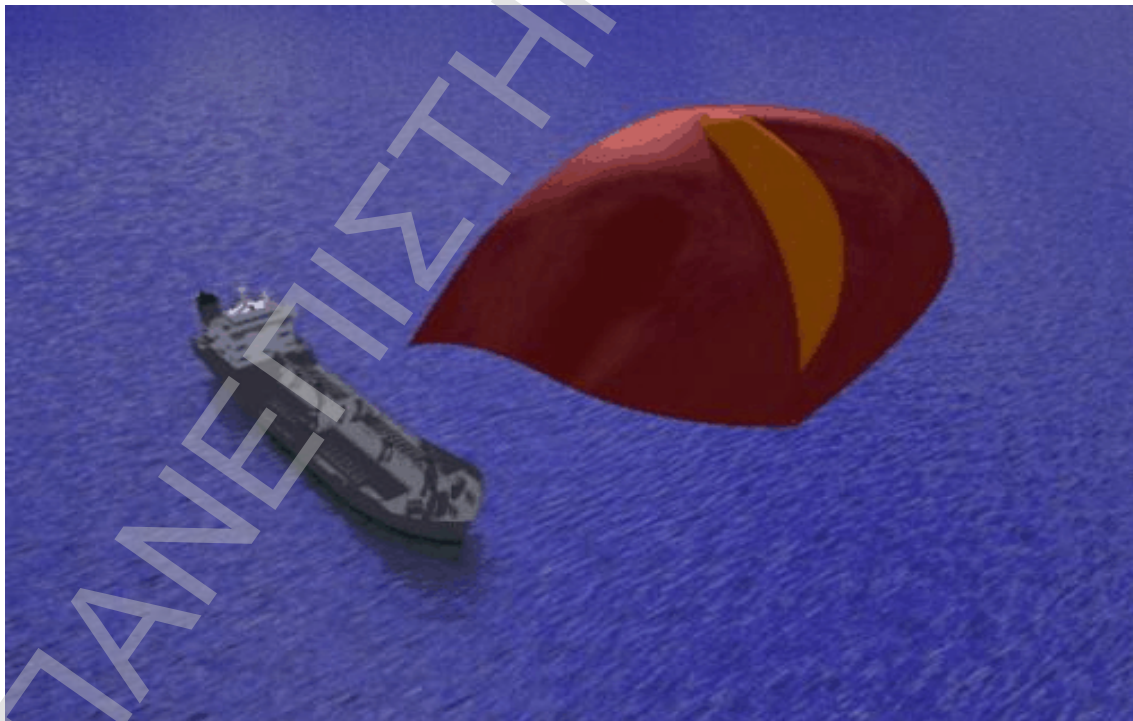
(kites) για πιθανή εφαρμογή σε εμπορικά πλοία. Συγκεκριμένα η εταιρεία Kiteship υποστηρίζει τα εξής⁴⁰. «Καθώς το κόστος καυσίμων γίνεται σημαντικά υψηλό και οι κυβερνητικοί κανονισμοί για τον αέρα και το νερό γίνονται πιο αυστηροί, η βιομηχανία εμπορικής ναυτιλίας θα κοιτάζει προς την ιστιοπλοΐα σαν βοήθεια σε πλοία που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο. Οι πολιτικές και οικονομικές συνθήκες είναι κατάλληλες για να γίνει αυτό, καθώς η αύξηση του κόστους των καυσίμων δεν θα είναι προσωρινή και οι περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί θα γίνουν δρακόντειοι. Οι παραδοσιακές λύσεις πανιών σε κατάρτια έχουν έμφυτους περιορισμούς, οι οποίοι θα συνεχίζουν να καθυστερούν την εφαρμογή τους. Η ικανότητα και η δυνατότητα να σχεδιαστεί μαζική αιολική ενέργεια χωρίς την ανάγκη για έρμα, χωρίς κατάρτια να επηρεάζουν τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, χωρίς να προστίθενται εκατοντάδες τόνοι και δεκάδες εκατομμύρια δολάρια στο κόστος κατασκευής, είναι εξαιρετικά κρίσιμη. Επίσης και η ικανότητα να εξοπλίζονται υπάρχοντα πλοία φθηνά και αποδοτικά είναι υψίστης σπουδαιότητας

Η εμπορική ναυτιλία με χρήση πανιών είναι καταδικασμένη να αποτύχει, πρώτον διότι το κόστος του εξοπλισμού είναι πολύ υψηλότερο απ' αυτό των πλοίων που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των καυσίμων, δεύτερον, η θεμελιώδης ανικανότητα να σχεδιαστεί η δύναμη του αέρα κάνει θραύση στο να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά ακριβά πλοία. Η ναυσιπλοΐα με μηχανές μπορεί να το διορθώσει αυτό αλλά απαιτούνται παράλληλα συστήματα πάνω στο πλοίο – αέρος και πετρελαίου – κάτι που αυξάνει κι άλλο το συνολικό κόστος. Τα εναέρια πανιά («αετοί») από την άλλη, μπορούν να προστεθούν σε ήδη υπάρχοντα πλοία. Δεν καταλαμβάνουν χώρο στο κατάστρωμα, απαιτούν ελάχιστη μετατροπή, δεν χρειάζονται έρμα, μπορούν να τοποθετούνται κάτω από τις γέφυρες κι να μαζεύονται όταν θα χρησιμοποιούνται. Μπορούν να αφαιρούνται για συντήρηση και ακόμα να χρησιμοποιούνται σε δεύτερο πλοίο όταν στο πρώτο αναμένονται αντίθετοι ή καθόλου

⁴⁰ Kiteship's online site. www.kiteship.com

άνεμοι. Οι παραπάνω παράγοντες ελαττώνουν δραματικά το αρχικό κεφάλαιο του εξοπλισμού των πανιών. Αν προστεθούν σε ήδη υπάρχον πλοίο, ειδικά εάν αυτό είναι μερικώς παροπλισμένο γίνεται πολύ αποδοτικό σε σχέση με το κόστος να συνυπάρξουν σε ένα πλοίο και ενέργεια από συμβατικά καύσιμα και τα εναέρια πανιά που είναι φθηνά». Η εταιρεία kiteship έχει υπογράψει «ένα γράμμα πρόθεσης» με την εταιρεία πλοίων Cruise Adventure Spa Cruises προκειμένου να σχεδιάσει και κατασκευάσει ένα εναέριο πανί 8.000 sq ft το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για να τραβήξει ένα εμπορικό cruise ship διακοσίων ποδών. Ο σκοπός είναι να επιδειχθεί η περίπτωση φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων και η εξοικονόμηση ενέργειας. Τελικά, το εναέριο πανί για το cruise ship που έχει διαστάσεις περίπου 2.000 τετραγωνικά πόδια, επρόκειτο να εγκατασταθεί στο Adventure II μήκους 187 ποδών και βάρους 924 τόνων. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μία εφαρμογή της Εταιρείας (KiteShip).

Εικόνα 4.3. CRS Report for Congress “Nave Ship Propulsion Technologies: Options for reducing oil use



Όσον αφορά στην άλλη εταιρεία που δραστηριοποιείται στο χώρο των εναέριων πανιών, τη Γερμανική Skysails, αυτή αναφέρει τα εξής⁴¹: «Με τη χρήση του συστήματος Skysails η λειτουργία πλοίου θα γίνει πιο επικερδής, πιο ασφαλής και ανεξάρτητη από τη μείωση των αποθεμάτων των καυσίμων. Σε ετήσιο μέσο όρο, το κόστος καυσίμων μπορεί να μειωθεί μεταξύ 10%-35% σε εξάρτηση με τις πραγματικές συνθήκες του ανέμου. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες ανέμου η κατανάλωση καυσίμων μπορεί προσωρινά να μειωθεί μέχρι 50%. Το σύστημα της Skysails μπορεί να εγκατασταθεί σε νεότευκτα πλοία όπως επίσης και σε ήδη υπάρχοντα χωρίς να χρειαστούν εκτεταμένες τροποποιήσεις. 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. 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. Το σύστημα της Skysails μπορεί να λειτουργήσει σε ύψος 100 μέχρι 300 m, όπου επικρατούν αξιοσημείωτα δυνατότεροι και πιο σταθεροί άνεμοι. Σε ένα ύψος 100 μέτρων η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 10% με 20% υψηλότερη από το ύψος των δέκα μέτρων, εξαιτίας της απουσίας αντίστασης από τις επιφάνειες του νερού και της γης. Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι η δύναμη του αετού ρυμούλκησης μεταφέρεται μέσα στη δομή του πλοίου στο επίπεδο του καταστρώματος όμως ο μοχλός που προκαλεί την κλίση στα παραδοσιακά ιστιοφόρα πλοία, είναι μικρότερος και σαν αποτέλεσμα η κλίση που προκαλείται από το σύστημα της Skysails είναι πολύ μικρή και δεν επηρεάζει την ασφάλεια και λειτουργία του πλοίου».

Στις 18 Ιανουαρίου του τρέχοντος έτους, στη Βρέμη, το MS “Beluga Skysails” έγινε το πρώτο εμπορικό πλοίο με το πρωτοποριακό σύστημα ρυμούλκησης με αετό της Skysails που χρησιμοποιήθηκε για μετατροπή.

⁴¹ www.skysails.info

Εικόνα 4.4 Beluga πηγή:www.gcaptain.com



Το πλοίο πραγματοποίησε οκτώ τμηματικές μεταφορές από Βρέμη για Βενεζουέλα μεταφέροντας φορτίο για λογαριασμό της εταιρείας DHL Global Forwarding. Ο κυβερνήτης Beluga Lutz Heldt και το πλήρωμά του, εκπαιδεύτηκαν εντατικά για το ταξίδι και το χειρισμό του βοηθητικού συστήματος αιολικής πρόωσης της Skysails. Σύμφωνα με εκτιμήσεις αναμένονταν οικονομία καυσίμου μεταξύ 10% και 20% με την προϋπόθεση ότι οι άνεμοι θα ήταν ευνοϊκοί.

Το πλεονέκτημα σε όλες τις περιπτώσεις αυτών των συστημάτων είναι ότι είναι απλά στην κατασκευή τους, ενώ παράλληλα είναι πολύ εύκολο να τοποθετηθούν σε υπάρχοντα πλοία, χωρίς την απαίτηση σημαντικών μετασκευών. 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.

4.2. Ηλιακή ενέργεια

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. Στον τομέα της ναυτιλίας έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες για τη χρήση ηλιακής ενέργειας ως προωστήρια δύναμη. Η Αυστραλιανή Εταιρεία solar Sailor Holdings Ltd, έχει αναπτύξει μία σειρά μοντέλων που χρησιμοποιούσαν την ηλιακή ενέργεια για την πρόωση των σκαφών.

Εικόνα 19. Πλοία της Solar Sailor⁴²

Solar Catamarans
Ideal on rivers, lakes & canals

With low cost, low emissions, enhanced passenger comfort and low impact on the environment, you will enjoy support from patrons, government, councils, waterfront restaurants, shop owners and local residents.

Model	Passengers	Length	Energy	Speed	Facilities
100 pax	100 pax	19.3m	Parallel Hybrid	0 - 6 knots Solar / Batteries, 7 - 20 knots Fuel	Cafe - TV, DVD, Cabin Air Con, Toilet
250 pax	250 pax	34.3m	Series Hybrid	0 - 6 knots Solar / Batteries, 7 - 12 knots Fuel	Bar - Internal x 1, External x 1 Dining / Lounge Area, Cabin Air Con, Toilets

Solar Sailor Catamarans
Ideal on harbours, bays & inter-island transport

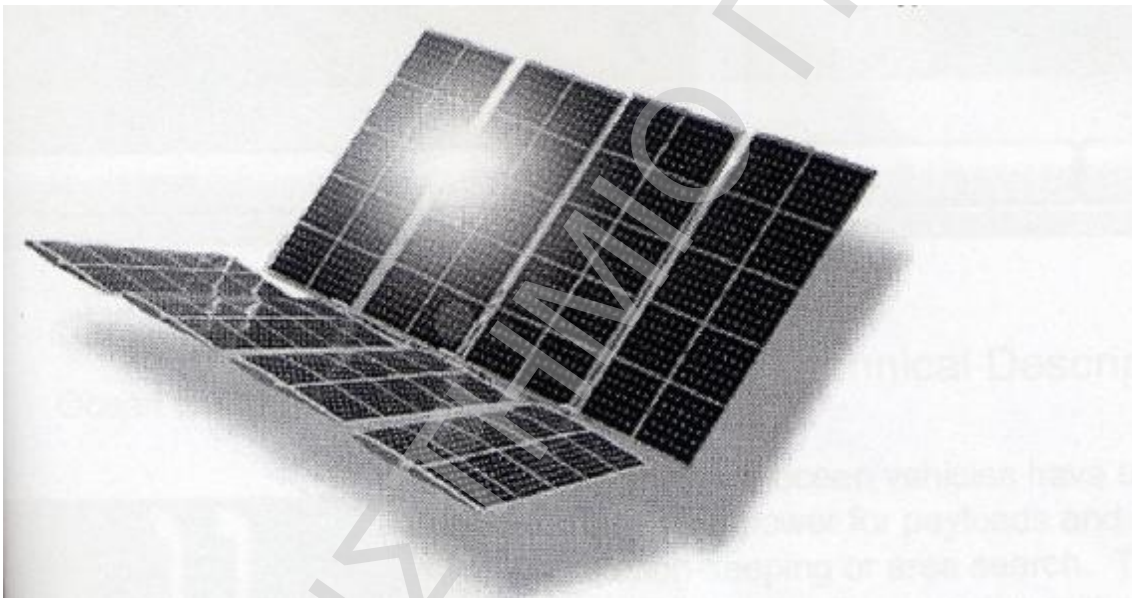
Solar Sailor Cats add sun and wind to offer compelling returns on investment for operators and the best solution for reducing pollution available in the market today. Utilising Hybrid Marine Power, these technically advanced vessels are enabled for the use of fuel cells when they become commercially available.

Model	Passengers	Length	Energy	Speed	Facilities
100 pax	100 pax	20m / 66ft	Series Hybrid	0 - 7 knots Solar / Wind / Batteries, 8 - 12 knots Fuel	Cafe, Bar, Toilets x 2
149 pax	149 pax	27m / 81ft	Series Hybrid	0 - 7 knots Solar / Wind / Batteries, 8 - 20 knots Fuel	Cafe, Bar, Toilets - standard x 2, disabled x 1

⁴² www.solarsailor.com/solutions

Επίσης η εταιρεία έχει κατασκευάσει από το 2000 ένα σκάφος τύπου Catamaran, το οποίο εξυπηρετεί επιβάτες στο λιμάνι του Σύδνεϋ. Το πλοίο είναι χωρητικότητας 200 ατόμων και πρωτοχρησιμοποιήθηκε στους ολυμπιακούς αγώνες του Σύδνεϋ. Το σκάφος έχει τοποθετημένες στο πρωραίο 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.

Εικόνα 4.5. Solar Wing Technology πηγή: www.solarsailor.com/solutions



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.

Σύμφωνα με την εταιρεία Solar Sailor τα υβριδικά πλοία της έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- **Αξιοπιστία.** Οι μοντέρνοι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν μόνο ένα κινούμενο μέρος και είναι πολύ αξιόπιστοι. Υψηλή ροπή στρέψης σε χαμηλή ταχύτητα σημαίνει ότι οδηγούν τον άξονα της προπέλας απευθείας χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.
- **Χειρισιμότητα.** Υψηλή ροπή στρέψη και απευθείας καθοδήγηση σημαίνει καλύτερη επιτάχυνση, γρηγορότερο σταμάτημα ανάγκης και ευκολότερο χειρισμό. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες δεν μπλοκάρουν.
- **Μείωση εξόδων συντήρησης και καυσίμων.**
- **Περιβαλλοντολογικά διαπιστευτήρια.** Το υβριδικό πλοίο υπερκαλύπτει όλους τους υπάρχοντες και προτεινόμενους κανονισμούς. Όταν ταξιδεύει με υψηλή ταχύτητα, τότε μπαίνει σε λειτουργία η μηχανή εσωτερικής καύσης σε μέγιστη αποδοτικότητα. Κατά μέσο όρο ένα υβριδικό ferry που επιχειρεί σε αστικό περιβάλλον παράγει 50% λιγότερες εκπομπές. Υβριδικό επίσης σημαίνει μηδενική ρύπανση του νερού κάτω από όλες τις συνθήκες.

Το κυριότερο πρόβλημα που υπάρχει με την ηλιακή ενέργεια είναι τα τεχνολογικά προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν και αφορούν στην αποθήκευσή της. Οι σημερινές μπαταρίες έχουν μικρή απόδοση και σημαντικό βάρος, που σε πολλές περιπτώσεις εξανεμίζει τα πλεονεκτήματα χρήσεως ηλιακής ενέργειας. Συγκριτικά για την παραγωγή ίδια ποσότητας ενέργειας, το βάρος των μπαταριών είναι δέκα φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο βάρος καυσίμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι θάλασσες αποτελούν περίπου τα 2/3 του πλανήτη και είναι η κύρια οδός διακίνησης αγαθών μεταξύ των ηπείρων. Η κατάσταση αυτή δεν πρόκειται να αλλάξει στο μέλλον, μιας και η εναέρια μεταφορά αγαθών έχει πολύ υψηλό κόστος, ενώ παράλληλα δεν είναι δυνατή η μεταφορά μεγάλων φορτίων. Σε πολλές περιπτώσεις οι θαλάσσιες μεταφορές έχουν αντικαταστήσει τις επίγειες μεταφορές για τη διακίνηση αγαθών σε μικρές αποστάσεις (Short Sea Shipping), σε παραθαλάσσιες χώρες. Γενικότερα και όσον αφορά στις πηγές ενέργειας πλοίων μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τα επίπεδα εκπομπών NO_x και SO_x από πλοία, έχουν φθάσει σε τέτοια επίπεδα που δεν μπορούν να αγνοηθούν σε σύγκριση με τις χερσαίες μεταφορές.
- Ακόμα και αν επιτευχθούν τα αυστηρά όρια NO_x που έχει θέσει ο IMO με το MARPOL 73/78 Annex VI, οι κανόνες θα γίνονται όλο και πιο αυστηροί στο μέλλον.
- Για τις ναυτικές μηχανές diesel, το πιο σοβαρό ζήτημα για τον τρέχοντα αιώνα θα είναι περιβαλλοντολογικά προβλήματα με επίκεντρο την καθαρότητα των αερίων που εκπέμπονται.
- Αναμένεται ότι οι κατασκευαστές ναυτικών μηχανών θα συνεργαστούν και θα χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά τη τεχνολογία τους στον τομέα της έρευνας και της ανάπτυξης.
- Αναμένεται ότι οι κατασκευαστές ναυτικών μηχανών θα αντιμετωπίσουν σοβαρά την προστασία του περιβάλλοντος και θα συνεργαστούν με κατασκευαστές πλοίων και ναυτιλιακές εταιρείες.
- Οι προσδοκίες για τις κυψελίδες καυσίμων είναι πολύ μεγάλες. Αν αναπτυχθεί μία κυψελίδα καυσίμου κατάλληλη για πλοία, τότε και η υβριδική πρόωση θα

αναβαθμιστεί σε πιο πρακτική χρήση και η εκτεταμένη χρήση ενός καθαρού καυσίμου, όπως το υδρογόνο ή η μεθανόλη θα γίνει πραγματικότητα.

- Η μεγαλύτερη πιθανότητα για τα επόμενα χρόνια είναι ότι οι ναυτικές μηχανές diesel θα διατηρήσουν την κυριαρχία τους έναντι των ανταγωνιστών (gas turbines, gas engines, fuel cells), όπου τα περιβαλλοντολογικά ζητήματα θα είναι πιο πειστικά.

Αν και όλες οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας που αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη δεν είναι νέες ως ιδέες, εν τούτοις δεν μπορούν να εφαρμοσθούν σε μεγάλη κλίμακα, χωρίς πρώτα να επιλυθούν σημαντικά τεχνολογικά προβλήματα. Είναι σχεδόν βέβαιο, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, ότι η χρήση των συμβατικών συστημάτων θα αποτελεί την κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας και πρόωσης στις ναυτικές εφαρμογές. Παρόλα αυτά, οι μέχρι τώρα έρευνες αποδεικνύουν ότι τα ποσοστά παραγωγής ενέργειας από εναλλακτικές πηγές θα αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Συνεχίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

α) Πλεονεκτήματα

- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα παραγωγής ενέργειας αφού προσφέρουν χαμηλά ή καθόλου επίπεδα εκπομπών αερίων.
- Είναι αθόρυβες, άοσμες και χωρίς κραδασμούς πηγές ενέργειας.
- Παρέχουν υψηλή αξιοπιστία και αποδοτικότητα αφού έχουν πολύ λίγα κινούμενα μέρη και απαιτούν μικρότερη συντήρηση (κυψελίδες καυσίμων).
- Προσφέρουν υψηλή προοπτική για οικονομία καυσίμων και χαμηλότερα λειτουργικά κόστη.
- Η προμήθειά τους είναι ανεξάντλητη (υδρογόνο).
- Κάποιες από τις πηγές (biodiesel) μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να γίνει μετατροπή στις μηχανές diesel.

- Εύκολη εγκατάσταση και εύκολη συντήρηση («αετοί»).

β) Μειονεκτήματα

- Υψηλό επενδυτικό κόστος.
- Απαιτηση για υψηλής ποιότητας καύσιμα.
- Μειωμένη παραγωγή ενέργειας.
- Τεχνολογική ανωριμότητα και προβλήματα.
- Προβλήματα στην αποθήκευση του καυσίμου και ιδιαίτερα του υδρογόνου.
- Προβλήματα στην παραγωγή και μεταφορά του καυσίμου (υδρογόνου).
- Μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας για την παραγωγή υδρογόνου.
- Μεγαλύτερο κόστος προμήθειας (biodiesel)
- Σε καμιά περίπτωση δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύρια πρόωση παρά μόνο ως υποβοήθηση (εναέρια πανιά).
- Αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Δεδομένων λοιπόν των πλεονεκτημάτων, της αύξησης των τιμών του πετρελαίου και την αυξανόμενη ανησυχία για την προστασία του περιβάλλοντος, ιδέες και τεχνολογίες όπως εναλλακτικές πηγές ενέργειας που παρουσιάστηκαν, οι οποίες είχαν εγκαταλειφθεί στο παρελθόν ως οικονομικά ασύμφορες, καθίστανται σήμερα ανταγωνιστικές και οικονομικά ελκυστικές. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εξάλειψη ή τουλάχιστον η μείωση των μειονεκτημάτων που ταλανίζουν τις παραπάνω τεχνολογίες. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας θα μειώσει το υψηλό κόστος και τους επενδυτικούς κινδύνους χρησιμοποίησης μιας μη συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Ταυτόχρονα, καθίσταται άκρως απαραίτητη η στήριξη από τις κυβερνήσεις των κρατών, οι οποίες θα πρέπει να επενδύσουν σε προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ