

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
στη Ναυτιλία

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
Η Χρήση των Fuel Cell στα Εμπορικά Πλοία

Μάριος Βαλτατζής – MN 06054

Επιβλέπων: κος Ερνέστος Τζαννάτος

Πειραιάς, Ιανουάριος 2009

.....
Μάριος Ε. Βαλτατζής

Copyright © Μάριος Βαλτατζής, 2009.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτη κο. Ερνέστο Τζαννάτο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την μεταπτυχιακή μου εργασία στο συγκεκριμένο θέμα καθώς και για την βοήθεια του κατά την διάρκεια εκπόνησης της μέσω των συμβουλών του και της βιβλιογραφίας που μου παρεχώρησε.

Μάριος Ε. Βαλτατζής

Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων: κος Ερνέστος Τζαννάτος

Εξεταστές: κος Σωτήριος Θεοδωρόπουλος
κος Βασίλειος-Στυλιανός Τσελέντης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΜΟΛΥΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ.....	1
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ	- 3 -
---	-------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELL SYSTEMS)

2.1 ΓΙΑΤΙ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	- 9 -
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	- 9 -
2.3 ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ FUEL CELL	- 11 -
2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ FUEL CELLS	- 13 -
2.5 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ FUEL CELL.....	- 15 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ FUEL CELLS.....	- 20 -
---	--------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ FUEL CELLS

Γερμανική κατηγορία υποβρυχίων με fuel cells 212/214	- 28 -
Water Taxis τροφοδοτούμενα από fuel cells.....	- 30 -
«No.1» Yacht τροφοδοτούμενο από Fuel Cells.....	- 32 -
Καταμαράν «Υδροξύ 3000».....	- 33 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ.....	- 36 -
------------------------------------	--------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ FUEL CELL ΣΤΟ ΣΚΑΦΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 Στόχος Μελέτης.....	- 39 -
6.2 Επιλογή Συστήματος Fuel Cell.....	- 40 -
6.3 Η λειτουργία του συστήματος Fuel Cell στο σκάφος της μελέτης.....	- 41 -
6.4 Σύστημα μεταφοράς και αποθήκευσης καυσίμων υδρογόνου	- 44 -
6.5 Σύστημα παροχής οξυγόνου.....	- 47 -
6.6 Βοηθητικά συστήματα σωληνώσεων.....	- 48 -
6.7 Ηλεκτρικό σύστημα	- 49 -
6.8 Σύστημα εξαερισμού.....	- 52 -
6.9 Σύστημα ελέγχου.....	- 54 -
6.10 Σύστημα ψύξης	- 55 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ FUEL CELL ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Συστήματα Πυρόσβεσης.....	- 57 -
Προστασία από πιθανή έκρηξη.....	- 57 -
Προστατευτικές Συσκευές και Προστατευτικά Συστήματα	- 58 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ FUEL CELL ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL

8.1 Οικονομική σύγκριση	- 60 -
8.1.1 Κόστος εγκατάστασης	- 60 -
8.1.2 Κόστος συντήρησης.....	- 61 -
8.1.3 Κόστος καυσίμων.....	- 62 -
8.2 Σύγκριση εκπομπών	- 62 -
8.3 Περαιτέρω σύγκριση των δύο ηλεκτρικών συστημάτων.....	- 64 -
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	66

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μόλυνση περιβάλλοντος και συστήματα πρόωσης

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος και η όξινη βροχή είναι μερικά από τα αποτελέσματα της ραγδαίας μόλυνσης του περιβάλλοντος από τους ανθρώπους. Στις μέρες μας η μόλυνση του περιβάλλοντος φέρνει την ανθρωπότητα αντιμέτωπη με μεγάλους κινδύνους και καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την υγεία των ανθρώπων μέχρι και την συνέχεια της ζωής στον πλανήτη. Ο άνθρωπος μολύνει το περιβάλλον με διάφορους τρόπους μερικοί από τους οποίους είναι η καύση των καυσίμων και άνθρακα από μηχανές DIESEL και ατμού, είτε από τα μέσα μεταφοράς είτε από τα εργοστάσια. Οι συνηθισμένες μηχανές εσωτερικής καύσης εκπέμπουν καυσαέρια όπως Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2), Μονοξείδιο του Αζώτου (NO_x) και οξείδια του Θείου (SO_x), τα οποία είναι τα κυρίως υπεύθυνα για την μόλυνση του περιβάλλοντος. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, οι επιστήμονες προσπαθούν να εφεύρουν νέες τεχνολογίες για τον έλεγχο των εκπομπών καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Καθώς η ναυπηγική/ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ένας από τους κύριους καταναλωτές βαρειών καυσίμων, δεν μπορεί να μείνει εκτός της έρευνας για τέτοιες τεχνολογίες και για νέους τύπους παραγωγής ενέργειας.

Ένα ακόμα πρόβλημα που παρατηρείται σήμερα σχετικά με την κατανάλωση αργού πετρελαίου από τα πλοία, και κατ' επέκταση από τις ναυτικές μηχανές, είναι ότι καθώς τα φυσικά αποθέματα τελειώνουν και η τιμή του πετρελαίου αυξάνεται, το λειτουργικό κόστος των πλοίων αυξάνεται. Σαν αποτέλεσμα του παραπάνω η ναυπηγική βιομηχανία αναγκάζεται να προσφύγει σε εναλλακτικές μεθόδους πρόωσης των πλοίων καταργώντας ή περιορίζοντας την χρήση πετρελαίου.

Μερικές από τις λύσεις που είχαν προταθεί στο παρελθόν για την παραγωγή ενέργειας στα πλοία ήταν η πυρηνική και ηλιακή ενέργεια και οι κυψέλες υδρογόνου (Hydrogen Fuel Cells). Όλες αυτές οι μορφές παραγωγής ενέργειας είναι μέχρι και σήμερα υπό έρευνα ή χρησιμοποιούνται ήδη σε πολεμικά πλοία είτε στη βιομηχανία αλλά σε πολύ λίγα εμπορικά/επιβατηγά

πλοία. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιούνται ακόμα στην εμπορική ναυτιλία είναι είτε οικονομικοί είτε λόγοι ασφαλείας και μερικές φορές έχει να κάνει με την κατασκευαστική και λειτουργική ευκολία των πλοίων.

Από τις προαναφερθείσες πηγές παραγωγής ενέργειας ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση των Κυψελών Υδρογόνου (hydrogen fuel cells), όσον αφορά την εφαρμογή τους στα εμπορικά και επιβατηγά πλοία. Τα Hydrogen Fuel Cells είναι συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας που τις περισσότερες φορές μοιάζει με αυτή των μπαταριών. Ο λόγος που τα Hydrogen Fuel Cells παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την εφαρμογή τους στα εμπορικά πλοία και είναι ότι καταναλώνουν Υδρογόνο και Οξυγόνο σαν καύσιμα και οι εκπομπές τους είναι νερό (H₂O) και θερμότητα. Εξαιτίας των εκπομπών τους τα Fuel Cells θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον και μπορούν να βοηθήσουν στον έλεγχο των ρυπογόνων προς την ατμόσφαιρα καυσαερίων. Ένα άλλο πλεονέκτημα των Fuel Cells είναι ότι σε σχέση για παράδειγμα την πυρηνική ενέργεια δεν μπορούν να προκαλέσουν περεταίρω μόλυνση του περιβάλλοντος σε περίπτωση ατυχήματος.

Σκοπός της εργασίας

Μέσω αυτής της πτυχιακής εργασίας θα προσπαθήσω να εξετάσω την δυνατότητα εφαρμογής ενός συστήματος πρόωσης τύπου Fuel Cell, σε ένα μικρό επιβατηγό σκάφος και πόσο αποτελεσματικό αυτό θα είναι. Ποιο συγκεκριμένα:

- Να εξετασθεί πώς είναι δυνατό να εγκατασταθεί ένα τέτοιο σύστημα στο επιλεγμένο σκάφος, μαζί με όλα τα απαραίτητα συστήματα όπως, το σύστημα αποθήκευσης των καυσίμων υδρογόνου, το σύστημα ελέγχου και εξαερισμού.
- Να καταγραφούν οι απαιτήσεις και τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να υπάρχουν σε ένα σκάφος με το συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης, σύμφωνα με τους κανονισμούς που έχει υιοθετήσει ο Γερμανικός Νηογνώμονας (Germanischer Lloyd, Section VI Part 3 Chapter 11 "Guidelines for the use of Fuel Cell Systems on board of ships and boats").
- Να γίνει μια αναλυτική σύγκριση των συστημάτων πρόωσης Fuel Cell με τις κοινές μηχανές Diesel

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ

Από την στιγμή που ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί καύσιμα, άνθρακα (παλιότερα) και πετρέλαιο, άρχισε η ρύπανση του περιβάλλοντος. Ειδικότερα η ρύπανση του περιβάλλοντος επιβαρύνθηκε όταν άρχισε η μαζική χρήση των μέσων μεταφοράς.

Καυσαέρια που επηρεάζουν περισσότερο την ρύπανση του περιβάλλοντος είναι κυρίως το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2), το Μονοξείδιο του Αζώτου (NO_x) και τα οξείδια του Θείου (SO_x) τα οποία είναι και τα κυρίως υπεύθυνα για την όξινη βροχή και την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει την μέση θερμοκρασία της γης την οποία ενισχύει και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνει την μέση θερμοκρασία της γης εξαιτίας κάποιων αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο τα οποία παγιδεύουν την ενέργεια του ήλιου. Εξαιτίας αυτών των αερίων η θερμότητα δεν μπορεί να διαφύγει πίσω στο διάστημα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία της γης περίπου $15\text{ }^\circ\text{C}$. Η αύξηση της θερμοκρασίας της γης θα έχει καταστροφικές συνέπειες στο περιβάλλον και θα αλλάξουν οι μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες με αποτέλεσμα την συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, κύματα καύσωνα και τυφώνες. Ένα άλλο πρόβλημα από την αύξηση της θερμοκρασίας είναι το λιώσιμο των πάγων με αποτέλεσμα πολλές παραθαλάσσιες περιοχές και μικρά νησιά να καλυφθούν από το νερό. Το φαινόμενο της τρύπας του όζοντος, το οποίο παρουσιάστηκε στην στρατόσφαιρα πάνω από τον Βόρειο Πόλο είναι επίσης ένα πρόβλημα το οποίο δημιουργήθηκε εξαιτίας της μόλυνσης του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τη γενική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Η καταστροφή της ζώνης του όζοντος έχει σαν αποτέλεσμα η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλίου να μην απορροφάται, όπως κανονικά θα έπρεπε, με

αποτέλεσμα να καταφθάνει στην επιφάνεια της γης και να προκαλεί διάφορες σοβαρές ασθένειες, ακόμα και καρκίνο του δέρματος [1].

Ένας άλλος τύπος μόλυνσης είναι η όξινη βροχή, η οποία προκαλείται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Τα βασικά αέρια τα οποία προκαλούν τη δημιουργία της όξινης βροχής είναι τα οξειδία του αζώτου και τα θειικά οξέα τα οποία σχηματίζουν αντιδράσεις με το νερό, το οξυγόνο, ενώ το φως του ηλίου δρα ως καταλύτης, δηλαδή προκαλεί επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων. Αφού λάβει χώρα η αντίδραση, τα θειικά και νιτρικά άλατα επιστρέφουν στη γη υπό τη μορφή βροχής, χιονιού ή ομίχλης. Έτσι λοιπόν, η όξινη βροχή είναι υπεύθυνη για πολλές καταστροφές στη ζωή του πλανήτη, αφού επιδρά στα δάση, ακόμα και στο νερό προκαλώντας μολύνσεις στη πανίδα και την χλωρίδα. Τέλος, η όξινη βροχή, εξαιτίας του όξινου pH, διαβρώνει τα κτίρια και διάφορα ιστορικά μνημεία, ενώ το σημαντικότερο από όλα είναι το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα βλαβερή για την υγεία του ανθρώπου [2].

Η μόλυνση της ατμόσφαιρας μπορεί να προκαλέσει πολλές καταστροφές στην ανθρωπότητα και στο περιβάλλον, μερικές από τις οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρατηρώντας αυτά τα φαινόμενα και τις συνέπειές τους, έχει ξεκινήσει μία προσπάθεια αναζήτησης λύσεων, με τη βοήθεια των οποίων θα μειωθεί ή ακόμα θα εκλείψει η εκπομπή ρύπων. Μέχρι σήμερα, έχουν ακουστεί διάφορες προτάσεις από φυσικούς, μηχανικούς και άλλους επιστήμονες που παρουσιάζουν λύσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Ο τομέας της ναυτιλίας είναι ένας από τους βασικούς ρυπαντές του περιβάλλοντος και αποτελεί το 13% της ετήσιας εκπομπής αερίων στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ναυτιλία να αποτελεί έναν από τους πρωτεύοντες παράγοντες που πρέπει να αναζητήσουν νέες τεχνολογικές λύσεις για να μειωθούν οι ρύποι που αποβάλλονται από τα πλοία. Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (International Maritime Organization – IMO) έχει ήδη δημοσιεύσει μία σειρά από κανονισμούς για τη μείωση της μόλυνσης, όμως προς το παρόν δεν υπάρχει διαθέσιμη τεχνολογία η οποία να προσφέρει εναλλακτική λύση έτσι ώστε τα συστήματα ενέργειας των πλοίων να προκαλούν ελάχιστες ή ακόμα και μηδαμινές εκπομπές ρύπων.

Στις 27 Σεπτεμβρίου 2003, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός συμπεριέλαβε

στη «Διεθνή Συνθήκη Σχετικά με την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία», γνωστή ως MARPOL 73/78, το παράρτημα VI (Annex VI), με τον τίτλο «Κανονισμοί για την Πρόληψη της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης από τα Πλοία». Σύμφωνα με το παράρτημα VI απαιτείται ο περιορισμός των εκπομπών NOx και SOx στ περιβάλλον από τα πλοία. Για τον περιορισμό των συγκεκριμένων βλαβερών εκπομπών, η ναυπηγική βιομηχανία έχει προτείνει μερικές λύσεις για το πρόβλημα, όπως είναι η έγχυση νερού, τα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καύσιμα, το E.C.R (Exhaust Gas Recirculation) και S.C.R (Selective Catalytic Reduction)[3]. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι οι παραδοσιακές μηχανές diesel, οι οποίες ενίσχυσαν την ανθρωπότητα πάρα πολύ με την υπηρεσία τους κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών, παράγουν πολλούς ρύπους στην ατμόσφαιρα. Σήμερα, αποτελεί μεγάλο ζήτημα η αναζήτηση τρόπων ώστε να ελέγχονται αυτές οι εκπομπές και σαφώς να προστατευθεί το περιβάλλον.

Κάποιες από τις λύσεις που έχουν προταθεί είναι οι εξής:

▼ **Αύξηση της αποδοτικότητας της μηχανής του πλοίου:** Το αποτέλεσμα των μηχανών υψηλής αποδοτικότητας είναι η χαμηλότερη κατανάλωση ειδικών καυσίμων (g/kW hr.) που έχει ως τελικό αποτέλεσμα τη χαμηλότερη εκπομπή συγκεκριμένων αερίων ρύπανσης. Υπάρχουν πολλοί τρόποι αύξησης της αποδοτικότητας της μηχανής, όπως η χρήση του στροβιλοσυμπιεστή, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια των εξαμιζόμενων αερίων για τη βελτίωση της παραγόμενης ενέργειας από τη μηχανή. Ένας άλλος τρόπος αύξησης της αποδοτικότητας των μηχανών, είναι να μειωθεί η ενέργεια που καταναλώνεται από την τριβή των κινούμενων μερών της μηχανής και του άξονα προωστήρων, με την χρήση υψηλής ποιότητας λαδιών πετρελαίου. Η βελτίωση της μηχανής ως μια πολύ καλή ιδέα στην πλευρά των πλοιοκτητών, εξαιτίας του γεγονότος ότι ταυτόχρονα μειώνεται και το τρέχον κόστος του σκάφους.

▼ **Αποδοτικότερος σχεδιασμός της γάστρας του πλοίου και προωστήρων:** Αυτή την περίοδο και κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 30 ετών ερευνάται η πιθανότητα βελτίωσης στην

υδροδυναμική γάστρας, στα επιστρώματα γάστρας, καθώς επίσης και στους προωστήρες, προκειμένου να μειωθεί η αντίσταση αυτών που έχει ως συνέπεια τη μείωση της απαίτηση ενέργειας από τα πλοία, και άρα τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμων. Ένα καλό παράδειγμα της βελτίωσης της υδροδυναμικής της γάστρας, είναι ο βολβός που προστίθεται στο τόξο του πλοίου, ο οποίος μειώνει κατά πολύ την αντίσταση.

- ▼ **Η χρήση LNG και CNG ως καύσιμα:** Το ποσοστό του υδρογόνου που περιλαμβάνεται στο φυσικό αέριο είναι πολύ υψηλότερο από την αναλογία του πετρελαίου, ειδικά του βαρύ μαζούτ που χρησιμοποιούν οι μηχανές των πλοίων. Η χρήση του φυσικού αερίου θα μειώσει την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται ανά μονάδα ενέργειας. Το φυσικό αέριο, επίσης, δεν περιέχει θείο και επομένως μειώνονται οι εκπομπές SOx. Η μορφή φυσικού αερίου που χρησιμοποιεί η ναυπηγική βιομηχανία είναι το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Αυτή την περίοδο, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιστάσεις στη ναυπηγική βιομηχανία. Όμως, από την στιγμή που οι απαιτήσεις για τη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται, η χρήση του φυσικού αερίου επεκτείνεται με όλο και μεγαλύτερο ρυθμό [35].
- ▼ **Η χρήση του biodiesel ως καύσιμο:** Το biodiesel αποτελεί ένα απλό καύσιμο για τις μεταφορές, είναι σε υγρή μορφή, και προέρχεται από βιολογικές πηγές (π.χ. γεωργία). Ο όρος «biodiesel» αναφέρεται στους μεθυλικούς εστέρες, που παράγονται σε μια χημική διαδικασία, όπου έλαιο ή λίπος αερίου πετροχημικής βιομηχανίας αντιδρά με τη μεθανόλη με τη βοήθεια ενός καταλύτη υδροξειδίου καλίου. Το αέριο πετροχημικής βιομηχανίας μπορεί να είναι φυτικό έλαιο ή ζωικό λίπος. Το biodiesel μπορεί να αντικαταστήσει τα καύσιμα πετρελαίου στα σημερινά θαλάσσια οχήματα, δεδομένου ότι μπορεί να συνδυαστεί με τα καύσιμα diesel πετρελαίου σε οποιαδήποτε αναλογία, μέχρι και 100% για τη λειτουργία των συμβατικών μηχανών diesel. Η χρήση του biodiesel ως καύσιμο παρέχει σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές

βλαβερών αερίων σε αντίθεση με τα καύσιμα diesel. Συγκεκριμένα, πολλές μελέτες για τις εκπομπές των biodiesel δείχνουν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειωθούν μέχρι και 70% από τη χρήση του biodiesel σε σχέση με τα καύσιμα diesel [36].

- ✓ **Η εγκατάσταση των κυττάρων καυσίμου υδρογόνου:** Τα κύτταρα καυσίμου είναι συσκευές που καταναλώνουν υδρογόνο και οξυγόνο προκειμένου να δημιουργηθεί ηλεκτρική ενέργεια ύστερα από μια ηλεκτροχημική διαδικασία. Ένας μηχανισμός κυττάρων καυσίμου αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδος και κάθοδος), που εφαρμόζονται γύρω από έναν ηλεκτρολύτη. Το οξυγόνο τροφοδοτείται στην κάθοδο και το υδρογόνο στην άνοδο, και από την ενεργοποίηση ενός καταλύτη επέρχονται διασπάσεις ατόμων υδρογόνου σε πρωτόνια και σε ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια διαρρέουν ένα εξωτερικό κύκλωμα που δημιουργεί ροή της ηλεκτρικής ενέργειας και τα πρωτόνια περνούν από τον ηλεκτρολύτη στην κάθοδο και αντιδρούν με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα την παραγωγή νερού (H_2O) και θερμότητας. Δεδομένου ότι οι εκπομπές των κυττάρων καυσίμου υδρογόνου είναι μόνο νερό και θερμότητα, μπορεί να θεωρηθεί ως μία καθαρή πηγή ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές αερίων ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.
- ✓ **Η εγκατάσταση πυρηνικού αντιδραστήρα:** Η πυρηνική ενέργεια θεωρείται μια ελκυστική λύση στον ναυτικό τομέα, ειδικά για τα υποβρύχια και κάποια άλλα σκάφη. Η εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας στην εμπορική ναυτιλία βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Συγκεκριμένα, δεν έχει προκαλεί εκπομπή ρυπογόνων αερίων και οι δαπάνες διάρκειας ζωής καυσίμων είναι πολύ χαμηλές. Το μειονέκτημα είναι ότι είναι πολύ ακριβή η διαδικασία δημιουργίας και εγκατάστασης σε σύγκριση με τις κανονικές μηχανές και κατά το σχεδιασμό πρέπει να διαβεβαιωθεί ότι δεν θα υπάρξει κανένας κίνδυνος διαφυγής της ραδιενέργειας, αφού κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε οικολογική καταστροφή.

- ✓ **Κοινή τεχνολογία αναρτήρων:** Η κοινή έγχυση καυσίμων με χρήση αναρτήρων είναι μια σύγχρονη μέθοδος άμεσων εγχύσεων για τις μηχανές diesel. Χαρακτηρίζει μια υψηλή πίεση της τάξης των 1000+ bar τροφοδοτώντας το μεμονωμένο σωληνοειδές ή τις πιεζοηλεκτρικές βαλβίδες, σε αντίθεση με τα χαμηλής πίεσεως ακροφύσια αντλιών τροφοδοσίας καυσίμων ή τη γραμμή υψηλών καυσίμων στις μηχανικές βαλβίδες που ελέγχονται από έκκεντρο στον άξονα. Το σωληνοειδές ή οι πιεζοηλεκτρικές βαλβίδες μπορούν να προκαλέσουν ακριβή ηλεκτρονικό έλεγχο για το χρόνο και την ποσότητα εγχύσεων και ανέρχεται, ενώ η υψηλότερη πίεση την οποία παρέχει η κοινή τεχνολογία ραγών, επιφέρει την καλύτερη διάσπαση καυσίμων σε άτομα. Στα κοινά συστήματα ραγών, ο διανομέας της αντλίας εγχύσεων αποβάλλεται. Αντ' αυτού μία εξαιρετικά υψηλής πίεσης αντλία αποθηκεύει μεγάλο απόθεμα καυσίμων σε υψηλή πίεση μέχρι 1.800 bar σε έναν κοινό αναρτήρα, δηλαδή ένα σωλήνα, ο οποίος διακλαδίζεται σε βαλβίδες εγχυτήρων ελεγχόμενες από υπολογιστή, κάθε μια από τις οποίες περιέχει ένα με ακρίβεια επεξεργασμένο ακροφύσιο και ένα έμβολο. Κατά συνέπεια, τα καύσιμα που εγχέονται ατμοποιούνται εύκολα, μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων και αυξάνοντας την αποδοτικότητα [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELL SYSTEMS)

2.1 Γιατί τα συστήματα κυττάρων καυσίμου

Τα Fuel Cell είναι μία φιλική προς το περιβάλλον συσκευή, που χρησιμοποιεί σαν καύσιμα Υδρογόνο και Οξυγόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι κύριες εκπομπές από την διαδικασία αυτή είναι νερό και θερμότητα τα οποία δεν ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι τα συστήματα Fuel Cell δεν έχουν μεταβλητά μέρη (π.χ. έμβολα) με αποτέλεσμα να λειτουργούν χωρίς θόρυβο και δονήσεις, να μην χρειάζονται συστήματα λίπανσης και να μην έχουν απώλειες τριβής. Ακόμα χρειάζονται λιγότερη συντήρηση.

Η αποδοτικότητα τέτοιων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η τεχνολογία των Fuel Cell έρχεται να δώσει λύση στην ανάγκη του κόσμου για εναλλακτικές πηγές ενέργειας ώστε να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν και να περιορίσουν την ρύπανση του περιβάλλοντος. Έχοντας το προνόμιο να είναι ένα ασφαλές σύστημα παραγωγής ενέργειας, σε για π.χ. με την πυρηνική ενέργεια, και ελαττώνοντας ακόμα και την ηχορύπανση στον χώρο που είναι εγκατεστημένο, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, σταδιακά θα αντικαταστήσουν της συμβατικές μηχανές και θα γίνουν οι κύριοι παραγωγοί ενέργειας για τις ανάγκες μας.

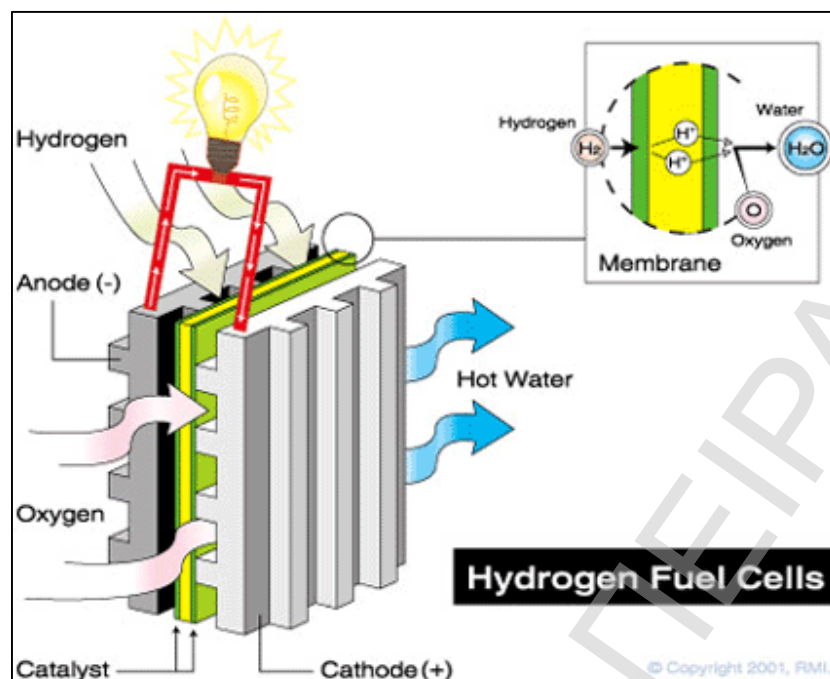
2.2 Βασικές αρχές λειτουργίας των συστημάτων κυττάρων καυσίμων

Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα κυττάρων καυσίμου (fuel cells) είναι συσκευές που χρησιμοποιούν τη χημεία προκειμένου να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία των συστημάτων κυττάρων καυσίμου είναι παρόμοια με τις μπαταρίες. Όμως σε αντίθεση με τις μπαταρίες, τα κύτταρα καυσίμου δεν μειώνουν ή χρειάζονται επαναφόρτιση. Τα κύτταρα καυσίμου έχουν τη δυνατότητα να παραγάγουν συνεχώς ενέργεια και θερμότητα

καταναλώνοντας καύσιμα.

Το PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell είναι ο απλούστερος τύπος κυττάρων καυσίμου και η επεξήγηση αυτού θα δώσει μια καλύτερη άποψη για τις αρχές λειτουργίας των κυττάρων καυσίμου. Ένα fuel cell αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο, τα οποία περιβάλλουν έναν ηλεκτρολύτη. Τα καύσιμα υδρογόνου τροφοδοτούνται στην άνοδο του ηλεκτροδίου και το οξυγόνο από τον αέρα τροφοδοτείται στην κάθοδο. Στην άνοδο το υδρογόνο είναι διασπασμένο σε θετικά ιόντα, πρωτόνια, και σε αρνητικά ιόντα, ηλεκτρόνια. Με βάση τις χημικές ιδιότητές τους, τα και πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια τείνουν να κινούνται προς την κάθοδο προκειμένου να αντιδράσουν με τα άτομα του οξυγόνου. Τα πρωτόνια, σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια, έχουν τη δυνατότητα να περάσουν μέσω του ηλεκτρολύτη κατά τη διαδρομή τους προς την κάθοδο, ενώ τα ηλεκτρόνια πρέπει να ακολουθήσουν έναν διαφορετικό δρόμο, δεδομένου ότι η παρουσία του ηλεκτρολύτη εμποδίζει την άμεση ροή τους στην κάθοδο. Για αυτό το λόγο, μια παράκαμψη συνδέει την άνοδο με την κάθοδο, έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια να μπορούν να ρέουν μέσω αυτής. Η ιδιαίτερη ροή των ηλεκτρονίων μέσω της παράκαμψης παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μπορεί να ληφθεί υπό τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην κάθοδο θετικά ιόντα, τα ηλεκτρόνια και τα άτομα οξυγόνου αντιδρούν μεταξύ τους δίνοντας H_2O που είναι η κύρια εκπομπή ενός fuel cell. Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός fuel cell είναι αποτέλεσμα της τριβής αντίστασης μεταξύ των ατόμων του ηλεκτρολύτη και των πρωτονίων, κατά τη διάρκεια της ροής των ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη. Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί έξω από το fuel cell από τις εκπομπές νερού, καθώς τα πρωτόνια μεταφέρουν την ενέργεια υπό μορφή θερμότητας στην κάθοδο όπου πραγματοποιείται η αντίδραση του νερού. Έτσι, η θερμότητα μπορεί να εξέλθει από το σύστημα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, του νερού μπορεί να ληφθεί με την χρήση της αρμόδιας εγκατάστασης, η οποία οδηγεί αύξηση της αποδοτικότητας των συστημάτων.

Το επόμενο σχήμα απεικονίζει τη βασική λειτουργία των fuel cells:



Σχήμα 2.1: Βασική λειτουργία των fuel cells.



Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, για έναν πλήρη χημικό κύκλο ενός fuel cell, η αναλογία των μορίων υδρογόνου και οξυγόνου που απαιτούνται για να παρασχεθούν στο σύστημα είναι 2:1.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κάθε fuel cell έχει τη μορφή DC (συνεχές ρεύμα) τάσης σε συνθήκες πολύ χαμηλής τάσης, έτσι ώστε να μπορεί να παρέχει ενέργεια σε μια μικρή σειρά εφαρμογών. Για να καταστήσουμε τα fuel cells εφαρμόσιμα στη συνήθη απαιτούμενη ενέργεια, πρέπει να παραχθεί ένα πολλαπλό σύστημα fuel cell το οποίο αποτελείται από μία σειρά μεμονωμένων fuel cells.

2.3 Τα κύρια συστατικά ενός συστήματος fuel cell

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το ίδιο το fuel cell δεν είναι ικανό να

παραγάγει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψει τα υψηλά ποσά ενέργειας που απαιτούν οι εφαρμογές για τη λειτουργία τους. Η σύνδεση πολλών fuel cells σε μία στοίβα μπορεί να δώσει μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και αυτή η στοίβα δεν είναι ικανή να αποτελέσει ένα πλήρες μεμονωμένο ηλεκτρικό σύστημα. Μεμονωμένες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας πρέπει να είναι σε θέση να διαχωρίσουν το καθαρό υδρογόνο από τα διαθέσιμα καύσιμα, για να παραγάγουν τη ηλεκτρική ενέργεια και να μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα που παράγεται από το σύστημα σε εναλλασσόμενο. Τα κύρια συστατικά ενός συστήματος fuel cell που απαιτούνται για μία μεμονωμένη εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας είναι τα εξής:

- Ένας επεξεργαστής για fuel cell
- Μία στοίβα από fuel cells
- Ηλεκτρική δύναμη

Επεξεργαστής fuel cell: Ο σκοπός του να μην αποθηκεύονται τα καθαρά καύσιμα υδρογόνου για την κατανάλωση των συστημάτων fuel cell, είναι ότι το αέριο υδρογόνου έχει πολύ μικρή ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου, γεγονός το οποίο καθιστά την αποθήκευση ενός ικανοποιητικού ποσού καυσίμων για το σύστημα πολύ δύσκολη. Από την άλλη, από το υγρό υδρογόνο έχει ικανοποιητική ενεργειακή πυκνότητα αλλά και πάλι, η αποθήκευσή του απαιτεί εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές πιέσεις. Η βενζίνη, η μεθανόλη και άλλοι υδρογονάνθρακες έχουν αρκετή ενεργειακή πυκνότητα και περιορισμένες απαιτήσεις αποθήκευσης επίσης. Αφού είναι αποδοτικότερο να αποθηκεύονται στοιχεία όπως η βενζίνη και η μεθανόλη, το fuel cell είναι το αρμόδιο μέρος του συστήματος για το διαχωρισμό των καυσίμων υδρογόνου από άλλα στοιχεία, με τον πιο περιβαλλοντικά, καθαρό τρόπο, όπως επίσης και για τον ανεφοδιασμό της στοίβας από fuel cells με καθαρό αέριο υδρογόνο.

Η στοίβα από fuel cells: είναι το συστατικό που λαμβάνει το καθαρό τμήμα των καυσίμων υδρογόνου από τον επεξεργαστή καυσίμων, και το οξυγόνο από τον αέρα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αντίδραση και να δημιουργηθεί ηλεκτρική ενέργεια.

Ηλεκτρονικά συστήματα: Τα τελικά μέρη του συστήματος είναι ηλεκτρονικά συστήματα που είναι αρμόδια για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ένα πρόσθετο συστατικό ενός συστήματος fuel cell είναι το σύστημα διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας που μπορεί να χρησιμοποιήσει θερμική ενέργεια από τις εκπομπές του συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων fuel cells

Τα συστήματα fuel cell έχουν ομοιότητες και διαφορές και με τις μηχανές καύσεως και με τις μπαταρίες, το οποίο που σημαίνει ότι έχουν μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτητά τους. Επιπλέον, τα fuel cells, ως μεμονωμένη τεχνολογία έχουν και κάποια ακόμη πλεονεκτήματα και μειονεκτητά. Η καταγραφή των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων αυτής της τεχνολογίας μπορεί να μας οδηγήσει στην εύρεση των καταλληλότερων εφαρμογών που μπορούν να εφαρμοστούν. Ο προσδιορισμός των μειονεκτημάτων του συστήματος μπορεί επίσης να οδηγήσει στην περαιτέρω ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Πλεονεκτήματα

- Το ελκυστικότερο πλεονέκτημα του συστήματος fuel cell είναι ότι μπορεί να παράγει ενέργεια όπως οι μηχανές καύσεως με ή χωρίς ελάχιστη μόλυνση στο περιβάλλον από τις εκπομπές αερίων όπως το κοβάλτιο και το CO₂.
- Τα συστήματα κυττάρων καυσίμου δεν εκπέμπουν SO_x και NO_x, τα οποία είναι αρμόδια για την ρύπανση του περιβάλλοντος, όπως μέσω της όξινης βροχής.
- Το υποπροϊόν του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει άλλες ανάγκες στην εφαρμογή όπου είναι εγκατεστημένα τα fuel cells, όπως το πόσιμο νερό για το πλήρωμα ενός πλοίου.
- Η δυνατότητα των fuel cells να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω της ηλεκτροχημικής διαδικασίας, αυξάνει σημαντικά τις αποδοτικότητες των συστημάτων σε σύγκριση με την απόδοση των μηχανών καύσεως.

- Η παραγωγή του υδρογόνου μπορεί να επιτευχθεί από όλες τις χώρες του πλανήτη, που σημαίνει ότι η αγορά ενέργειας θα επιφέρει την ενεργειακή ανεξαρτησία στις χώρες που δεν έχουν δικές τους ενεργειακές παραγωγές.
- Τα συστήματα fuel cells δεν έχουν κανένα κινούμενο μέρος που οδηγεί σιωπηλή λειτουργία, καμία απώλεια τριβής και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.
- Σε σύγκριση με τις μπαταρίες, τα fuel cells έχουν μεγαλύτερη διάρκεια λόγω της ανεξαρτησίας που κερδίζουν από τις δεξαμενές αποθήκευσης με τις οποίες είναι εξοπλισμένες τα συστήματα.
- Μερικοί από τους τύπους fuel cells, όπως ο PEM και ο DMFC, μπορούν να είναι πολύ κατάλληλοι για τα στρατιωτικά συστήματα λόγω της χαμηλής λειτουργικής θερμοκρασίας τους και της σιωπηλής λειτουργίας τους.
- Τα κύτταρα καυσίμου έχουν ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τα μικρά τηλέφωνα κυτάρων 1W έως τις μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.

Μειονεκτήματα

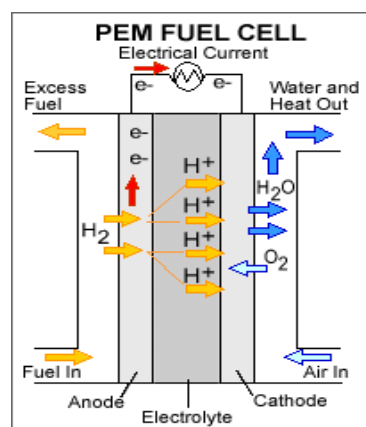
- Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των fuel cells είναι η αποθήκευση του αερίου υδρογόνου το οποίο χρησιμοποιούν ως καύσιμο. Το αέριο υδρογόνου έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα έναντι άλλων καυσίμων και έτσι απαιτεί πολύ μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης. Επιπλέον, η αποθήκευση του αερίου υδρογόνου έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις, όπως δεξαμενές υψηλής πίεσης που καθιστούν την αποθήκευση ιδιαίτερα δύσκολη.
- Η παρούσα υποδομή ενεργειακής διανομής είναι κατασκευασμένη για τη διανομή του ορυκτού καυσίμου και δεν καλύπτει τη διανομή του υδρογόνου ως καύσιμο.
- Η παραγωγή των καυσίμων υδρογόνου σε μεγάλες ποσότητες είναι ακόμα δύσκολη και ακριβή. Μερικές από τις μεθόδους παραγωγής υδρογόνου παράγουν οξείδια του άνθρακα που αποτελούν αέρια ρύπανσης του περιβάλλοντος.

- Η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων από τα συστήματα fuel cells, όπως η αιθανόλη, το οινόπνευμα και η μεθανόλη, απαιτούν την εγκατάσταση ενός επεξεργαστή καυσίμων στο σύστημα, γεγονός που αυξάνει το κόστος.
- Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας μερικών συστημάτων απαιτεί μεγάλη διάρκεια προθέρμανσης προκειμένου να ικανοποιηθεί η συνθήκη λειτουργίας του συστήματος.
- Εξαιτίας των προβλημάτων αποθήκευσης του υδρογόνου, το σύστημα δεν είναι ικανό να επιτύχει τη μακροχρόνια διάρκεια χωρίς ανεφοδιασμό σε καύσιμα, όπως συμβαίνει με τις μηχανές diesel.
- Η ενέργεια των fuel cells προς την πυκνότητα όγκου είναι σχετικά χαμηλή έναντι των μπαταριών και των μηχανών καύσεως. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιούν μεγαλύτερο όγκο για την εγκατάστασή τους σε σύγκριση με άλλα συστήματα, για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας. Ωστόσο σήμερα, ο πρόσθετος όγκος που απαιτείται έχει μειωθεί σημαντικά και δεν επηρεάζει την εγκατάσταση οποιασδήποτε εφαρμογής.
- Το κόστος του συστήματος είναι εκτενώς υψηλό ως αποτέλεσμα της ακριβής διαδικασίας παραγωγής και της χρήσης ακριβών υλικών, όπως ο λευκόχρυσος.
- Ο χρόνος ζωής ενός συστήματος στοιβάς fuel cells είναι πολύ χαμηλός έναντι των μηχανών καύσεως που πρέπει να αντικαθιστούνται κάθε πέντε έτη στους περισσότερους τύπους συστημάτων. Αυτό το γεγονός, αυξάνει εντυπωσιακά τη λειτουργική δαπάνη του συστήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής του.

2.5 Τύποι συστημάτων fuel cell

Τα κύτταρα καυσίμου είναι συνήθως ταξινομημένα με βάση το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν. Ο λόγος για τον οποίο ο ηλεκτρολύτης είναι πολύ σημαντικός είναι ότι καθορίζει τον τύπο χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο fuel cell, τα καύσιμα που απαιτούνται και την εμβέλεια των θερμοκρασιών που καυσίμου ενεργοποιούν το σύστημα. Τα

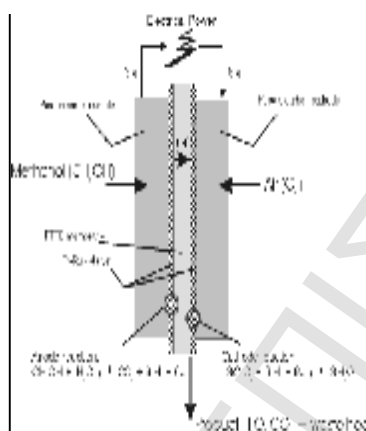
ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κάθε τύπου έχουν επιπτώσεις και στις εφαρμογές. Οι δημοφιλέστεροι τύποι fuel cell είναι οι εξής:



Τα fuel cells πολυμερών ηλεκτρολυτικών μεμβρανών (PEM) που αναφέρονται συνήθως ως

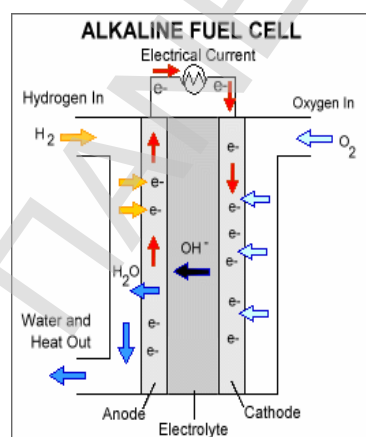
fuel cells μεμβρανών ανταλλαγής πρωτονίων έχουν πλεονεκτήματα που τα καθιστούν ευνοϊκά για εφαρμογές στις μεταφορές. Τα πλεονεκτήματα των PEM είναι ο γρήγορος χρόνος εκκίνησης, η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η χαμηλή ευαισθησία στον προσανατολισμό και ευνοϊκή

αναλογία ενέργειας-βάρους. Ο ηλεκτρολύτης ότι που υιοθετούν τα PEM αποτελείται από στερεό πολυμερές σώμα και τα ηλεκτρόδιά του αποτελούνται από πορώδη άνθρακα που περιλαμβάνει καταλύτη λευκόχρυσου. Σαν καύσιμα απαιτούν μόνο υδρογόνο που παρέχεται από τις δεξαμενές αποθήκευσης και το οξυγόνο από τον αέρα.



Τα fuel cells μεθανόλης (DMFCs), παρέχονται από

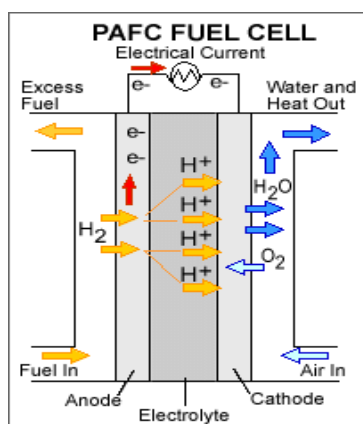
καθαρή μεθανόλη που αναμιγνύεται απευθείας με τον ατμό στην άνοδο του fuel cell. Η μεθανόλη είναι ευκολότερη στην αποθήκευση εξαιτίας του γεγονότος ότι έχει υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από το υδρογόνο και ως υγρό μπορεί να χρησιμοποιήσει το υπάρχον δίκτυο για τη διανομή της, όπως τη βενζίνη.



Τα αλκαλικά fuel cells (AFCs) χρησιμοποιούν το

υδροξείδιο καλίου στο νερό για ηλεκτρολύτη και μια σειρά μη-πολύτιμων μετάλλων ως καταλύτη. Το πρώτο AFCs λειτούργησε σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μεταξύ 100°C και 250°C, αλλά τα σύγχρονα AFC μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες 23°C με 70°C, που είναι σημαντικά

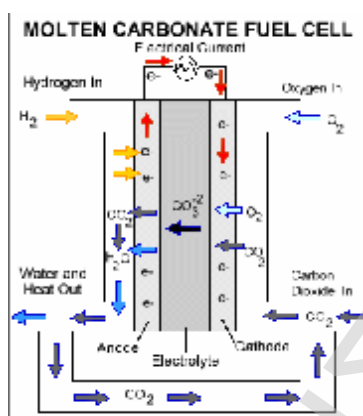
χαμηλότερες. Το ποσοστό χημικής αντίδρασης που λαμβάνει χώρα σε ένα ACFs έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή επίδοση του συστήματος, η οποία μπορεί να φτάσει σε ποσοστά πάνω από 60%.



Τα fuel cells φωσφορικού οξέος (PAFC)

χρησιμοποιούν το φωσφορικό οξύ ως ηλεκτρολύτη και πορώδη ηλεκτρόδια άνθρακα που περιλαμβάνουν καταλύτη λευκόχρυσου. Τα PAFC θεωρούνται ως συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, μιας και λειτουργούν στη θερμοκρασία των 40°C που είναι σχετικά χαμηλή. Ο συνδυασμός θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, που

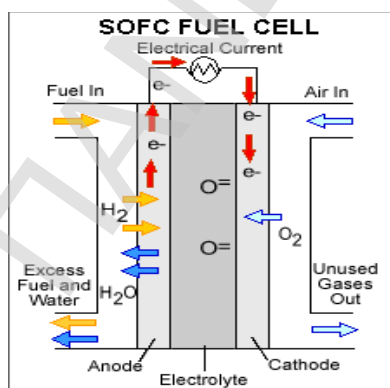
μπορούν να παράγουν τα συστήματα, μπορεί να φθάσει στην αποδοτικότητα του συστήματος πάνω από 85%. Τα PAFC απαιτούν μεγάλες και βαριές δομές που είναι δαπανηρές στην κατασκευή.



Τα τετηγμένα fuel cells ανθρακικού άλατος (MCFCs)

χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρολύτη τετηγμένου μίγματος ανθρακικού άλατος που ισορροπείται σε μια πορώδη, χημικά αδρανή κεραμική μήτρα οξειδίων αλουμινίου λίθιου (LiAlO₂). Τα MCFCs λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες πάνω από 600 °C και μπορούν να μετατρέψουν τα ενεργειακά πυκνότερα καύσιμα σε

υδρογόνο. Τα MCFCs μπορούν να φθάσουν σε αποδοτικότητα ποσοστά πάνω από 60%, ενώ όταν χρησιμοποιείται θερμότητα η αποδοτικότητα μπορεί να φτάσει μέχρι και 85%.



Τα στερεά fuel cells οξειδίων SOFCs

που χρησιμοποιούνται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μεταξύ 700 °C και 1000 °C, έχουν το μεγαλύτερο ποσό απόδοσης ενέργειας από κάθε άλλο τύπο που ποικίλλει από 1kW έως 2MW. Ο τύπος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν αποτελείται από μια σκληρή, μη-πορώδη

κεραμική σύνθεση. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των SOFCs είναι ότι τα απόδηλητηριασμένα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να λειτουργήσει ένας δευτεροβάθμιος στρόβιλος αερίου. Σε αυτή την περίπτωση η αποδοτικότητα του συστήματος μπορεί να φτάσει πάνω από το 70%.

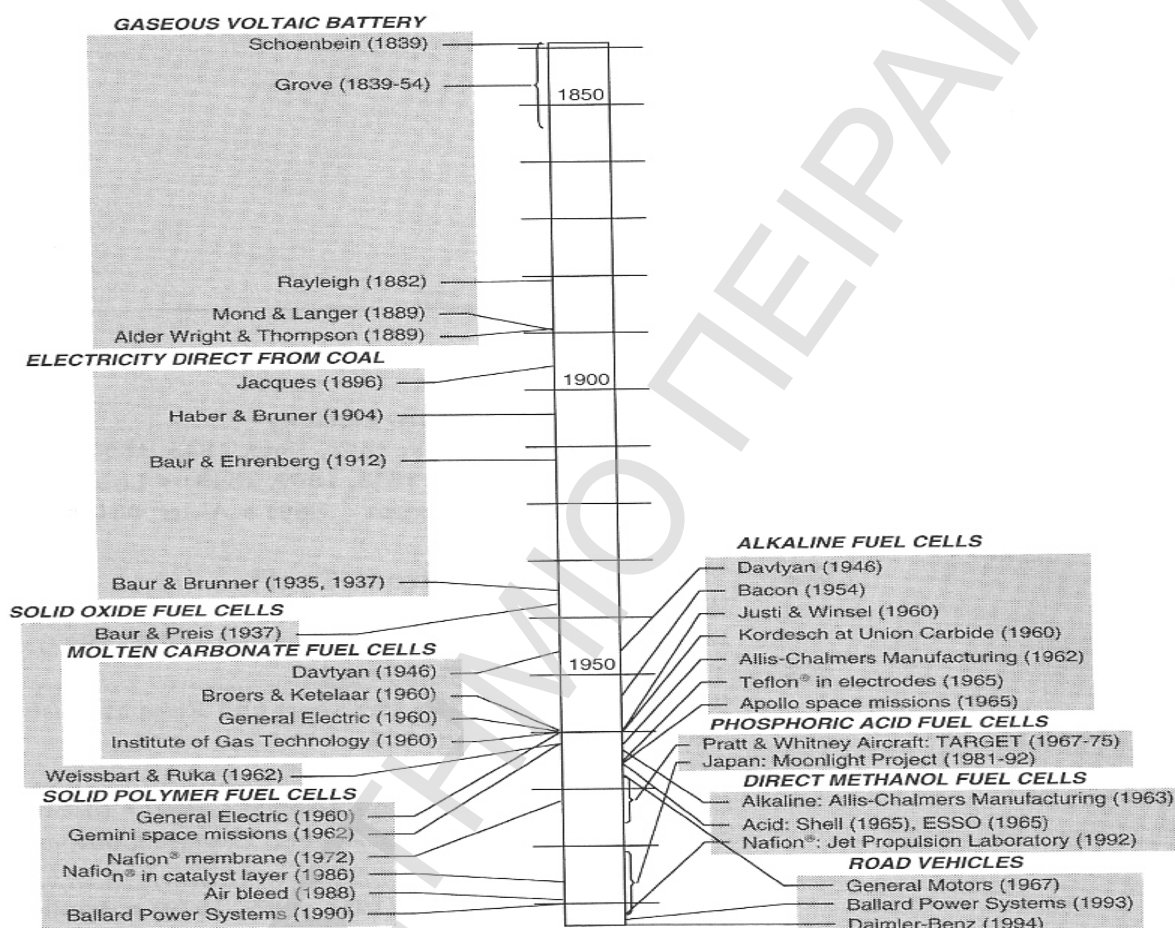
Ακολουθεί ένας πίνακας σύγκρισης των διάφορων fuel cell τεχνολογιών.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELL SYSTEMS)

Fuel Cell Type	Electrolyte	Operating Temperature	System Output	Electrical Efficiency	Applications	Advantages	Disadvantages
PEM	Solid organic polymer polyperfluorosulfonic acid	50-100°C	<1kW-50kW	53-58% (transportation) 25-35% Stationary	-Backup Power -Portable Power -Small Distributed Generation -Transportation	-Solid electrolyte reduces corrosion & electrolyte management problems -Low temperature -Quick start-up	-Requires expensive catalysts -High Sensitivity to fuel impurities -Low temperature waste heat -Waste heat temperature not suitable for combined heat and power (CHP)
AFC	Aqueous solution of potassium hydroxide soaked in a matrix	90-100°C	10kW-100kW	60%	-Military -Space	-Cathode reaction faster in alkaline electrolyte, higher performance	-Expensive removal of carbon dioxide from fuel and air
PAFC	Liquid phosphoric acid soaked in matrix	150-200°C	50kW-1MW	32-38%	-Distributed Generation	-Higher overall efficiency with CHP -Increased tolerance to impurities in hydrogen	-Requires expensive platinum catalysts -Low current and power -Large size and weight
MCFC	Liquid solution of lithium sodium or potassium carbonates in soaked in a matrix	600-700°C	1kW-1MW	45-47%	-Electric Utility -Large Distributed Generation	-High efficiency -Fuel flexibility -Can use a variety of catalysts -Suitable for CHP	-High temperatures speeds corrosion and breakdown of cell components -Complex electrolyte management -Slow start-up
SOFC	Solid zirconium oxide	650-1000°C	5kW-3MW	35-43%	-Auxiliary Power -Electric Utility -Large Distributed Generation	-High efficiency -Fuel flexibility -Can use a variety of catalysts -Solid electrolyte reduces the electrolyte management problems -Suitable for CHP -Hybrid/GT cycle	-High temperature enhances corrosion and breakdown of cell components -Slow start-up -Brittleness of ceramic electrolyte with thermal cycling

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ FUEL CELLS



Σχήμα 3.1: Το χρονόγραμμα της ανάπτυξης των fuel cells .c.

(Πηγή: *Fuel Cell Technology Hand Book* by Gregor Hoogers. CRC Press, 2002)

Με βάση όσα μπορούμε να παρατηρήσουμε από το ανωτέρω διάγραμμα, η χρονολογική ανάπτυξη των fuel cells διαιρείται σε εννέα στάδια που δεν έχουν διαδοχή μετά από το δεύτερο στάδιο. Αυτό συνέβη επειδή μετά από τη μετάβαση από το στάδιο «τρον» των fuel cells, που ονομάζεται ως «αεριώδης βολταϊκή μπαταρία», αμέσως τα των fuel cells άνθρακα δοκιμάστηκαν με διαφορετικούς τύπους ηλεκτρολυτών, όπως αλκαλικό και

ανθρακικό άλας και το στερεό οξείδιο, και κάθε τύπος ακολουθεί τη δική του πορεία ανάπτυξης κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών.

«Αεριώδης Βολταϊκή Μπαταρία»: Αυτό ήταν το πρώτο όνομα που δόθηκε στα fuel cells από τον εφευρέτη τους, τον Sir William Grove, το 1842. Το όνομα «fuel cells» δόθηκε αργότερα από τους Ridal και Evans, το 1922. Η αεριώδης βολταϊκή μπαταρία του Grove χρησιμοποιούσε τα ηλεκτρόδια λευκόχρυσου, σε συνδυασμό με τον ηλεκτρολύτη θειικού οξέος, και υδρογόνο και οξυγόνο ως αντιδραστήρια. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ο λευκόχρυσος ήταν ήδη γνωστός για τις χημικές ιδιότητές του ως καταλύτης για την αντίδραση του υδρογόνου και του οξυγόνου, και ο Grove παρουσίασε αυτή την αρχή στην πρώτη δημοσίευση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων του για τα fuel cells το 1839. Ένα έτος πριν, το 1838, ο Schoenbein είχε αναφερθεί σε αυτήν την αρχή προκειμένου να εξηγήσει το ρεύμα που παρουσιαζόταν στα πειράματά του, στα ηλεκτρόδια λευκόχρυσου, αλλά μετά από την παρουσίαση του Grove, ήταν ευκαιρία για να τραβήξει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας στα αποτελέσματα των πειραμάτων του. Η μπαταρία αερίου των Mond και Langer το 1889 ήταν ένα άλλο ερευνητικό αποτέλεσμα μιας πιο πρακτικής εφαρμογής της αρχής της αντίδρασης μεταξύ του υδρογόνου και του οξυγόνου σε κατάλληλο περιβάλλον.

«Ηλεκτρική Ενέργεια Απευθείας Από Άνθρακα»: Δεδομένου ότι οι μηχανές ατμού εκείνη την χρονική περίοδο ήταν σε θέση να μετατρέψουν το μόνο 10% της χημικής ενέργειας του άνθρακα σε μηχανική ενέργεια, ο Ostwald το 1894 πρότεινε την ηλεκτροχημεία ως λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Ο στόχος του ήταν να μετατρέψει ενέργεια από άνθρακα χωρίς παραγωγή θερμότητας. Η λύση προήλθε από τον Jacques, το 1896, κατά την οποία τα fuel cells ήταν ικανά να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια από άνθρακα. Ο προσδιορισμός των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που λάβαιναν χώρα κατά τη διάρκεια της παραγωγής, προήλθε από τους Haber και Bruner το 1904.

«Στερεό Fuel Cell Οξειδίων»: Με την χρήση των στερεών αγωγών, που αμαπτύχθηκαν από τον Wilhelm Nernst το 1899, οι Baur και Preis ανέπτυξε το στερεό fuel cell οξειδίων. Ο σκοπός των εφευρετών, ήταν να καλύψουν την ανάγκη για έναν καταλληλότερο ηλεκτρολύτη σε σύγκριση με τους ήδη

υπάρχοντες ρευστοποιημένους ηλεκτρολύτες.

«Ρευστοποιημένο Fuel Cell Ανθρακικού Άλατος»: Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του fuel cell από άνθρακα, τα ανθρακικά άλατα αλκαλικών μετάλλων βρίσκονταν μεταξύ διαφόρων δειγμάτων και μιγμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνταν για συγκεκριμένη ανάπτυξη. Ο λόγος για τον οποίο διείσδυσαν μεταξύ των άλλων αλάτων, είχε να κάνει με τη συμβατότητά τους με τα προϊόντα των οξειδωμένων καυσίμων. Οι επιστήμονες που επηρέασαν με την εργασία τους το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης των fuel cells ήταν οι εξής: οι Baur και Preis (1937) στην Ελβετία, ο Davtjan (1946) στη Ρωσία, οι Broers και Ketallar (1960) στις Κάτω Χώρες, ο Baker και λοιποί (1960) στο Ίδρυμα Τεχνολογίας Αερίου και ο Douglas στην επιχείρηση της General Electric.

«Αλκαλικό Fuel Cell»: Η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός fuel cell που θα είναι σε θέση χρησιμοποιεί τον άνθρακα είχε αποδειχθεί ότι είναι ανεπαρκής, λόγω της υποβάθμισης του αλκαλικού ηλεκτρολύτη, γεγονός που προκαλούσαν οι χημικές αντιδράσεις. Η λύση προήλθε από τη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο, αντί του άνθρακα, δεδομένου ότι αυτή η αλλαγή θα καθιστούσε τον αλκαλικό ηλεκτρολύτη εξαιρετικά εφαρμόσιμο. Η χρήση του αλκαλικού ηλεκτρολύτη έδινε την ευκαιρία για αποφυγή του κινδύνου διάβρωσης, σε περίπτωση που για υλικό ηλεκτροδίων χρησιμοποιούνταν διάφορα μέταλλα, όπως τα ευγενή μέταλλα, όπως συνέβαινε μέχρι τώρα με την χρήση των όξινων ηλεκτρολυτών. Αυτή τη χρονική περίοδο, οι ερευνητές εστίαζαν την προσοχή τους στην ανάπτυξη μιας κατάλληλης δομής ηλεκτροδίων, προκειμένου να εσωκλειστεί ο ηλεκτρολύτης αποφεύγοντας την πλημμύρα των ηλεκτροδίων. Μερικοί ερευνητές παρουσίασαν κάποιες λύσεις στην επιστημονική κοινότητα. Ο Davtjan πρότεινε τη χρήση της παραφίνης και ο Bacon ανέπτυξε ένα ηλεκτρόδιο που έχει στρώματα δύο διαφορετικών μεγεθών πόρων. Το 1961 οι Justi και Winsel επηρεάστηκαν από τον Bacon και χρησιμοποίησαν μεγέθη πόρων στα ηλεκτρόδια DSK, όπου λίγα έτη αργότερα, το 1965, οι Niedrach, Alford και ο Kordesch το 1968 διαπίστωσαν ότι η λύση του Teflon ήταν η καταλληλότερη. Μια διαφορετική μέθοδος για την αποφυγή της πλημμύρας των ηλεκτροδίων, χρησιμοποιήθηκε από τις

διαστημικές αποστολές Apollo, η οποία ήταν η συγκράτηση του ηλεκτρολύτη από μια μήτρα αμιάντων, η οποία αναπτύχθηκε από την κατασκευαστική επιχείρηση Allis Chalmers.

«Fuel Cell Μεθανόλης»: Η πρώτη έρευνα για τη χρήση της μεθανόλης ως καύσιμο για την ανάπτυξη ενός «άμεσου» fuel cell, εκπονήθηκε το 1951 από τους Kordesch και Marko. Στην έρευνά τους παρουσίασαν έναν άλλο τύπο ηλεκτροδίων καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα της χρήσης αλδεϋδης και οινόπνεύματος, όπως η μεθανόλη, ως καύσιμα. Με τη χρήση του οινόπνεύματος τα fuel cells των Kordesch και Marko οδήγησαν σε ένα εξαιρετικά χαμηλό ηλεκτρικό ρεύμα, 0.3 mA/cm^2 σε 0.8 ή 0.9V , χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρόδια άνθρακα σε ένα αλκαλικό ηλεκτρόδιο. Το 1965 δύο από τις μεγαλύτερες ενεργειακές επιχειρήσεις, οι Shell και ESSO, παρουσίασαν το αναπτυσσόμενο «direct methanol fuel cell», όπως ονομάστηκε, που χρησιμοποιούσε υδάτινους όξινους ηλεκτρολύτες, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε αντίδραση με το CO_2 που παρήχθη από την ηλεκτροχημική αντίδραση. Το 1965 ο Binder εξέτασε ποικίλους συνδυασμούς όξινων και αλκαλικών ηλεκτρολυτών, δεδομένου του γεγονότος ότι συνειδητοποίησε πως οι καταλύτες που βασίζονται σε κράματα ευγενών μετάλλων, ήταν αποτελεσματικότεροι από τους καθαρούς καταλύτες μετάλλων, για την οξείδωση μεθανόλης στην άνοδο. Τριάντα χρόνια αργότερα, το 1992, κατά τη διάρκεια της δίκης των επιστημόνων του Jet Propulsion Laboratory, αναπτύχθηκε ένα «direct methanol fuel cell», το οποίο χρησιμοποιούσε στερεό πολυμερή ηλεκτρολύτη. Ο βασικός στόχος ήταν να βελτιώσουν τεχνικά το στερεό πολυμερές fuel cell.

«Fuel Cell Φωσφορικού Οξέος»: Η βασική αρχή του συγκεκριμένου fuel cell ήταν η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υδρογόνο, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για το σύστημα. Όμως, η χημική αντίδραση της μετατροπής αυτής, δεν έδωσε μόνο υδρογόνο, αλλά και μονοξείδιο του άνθρακα ως υποπροϊόν, γεγονός που μείωνε την αποδοτικότητα της ανόδου. Έτσι, το σύστημα fuel cell έπρεπε να λειτουργήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες προκειμένου να αυξηθεί το ποσοστό αφαίρεσης του μονοξειδίου του άνθρακα. Ο συνδυασμός ηλεκτροδίων θειικού οξέος και

ηλεκτρολυτών λευκόχρυσου δεν ήταν κατάλληλος για υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 100° C, μιας και το θειικό οξύ μείωνε την παρουσία λευκόχρυσου. Έτσι, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί φωσφορικό οξύ για τον ηλεκτρολύτη. Τα fuel cell φωσφορικού οξέος ήταν ένα αποτέλεσμα του ερευνητικού προγράμματος TARGET και παρουσιάστηκε το 1975 ως τεχνολογία για την εγχώρια ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούσε φυσικό αέριο. Το πρόγραμμα TARGET κατόρθωσε να αυξήσει την ενέργεια παραγωγής των υπαρχόντων συστημάτων fuel cell, που ήταν το πού έως 2.5 KW, και να μειώσει το κόστος των συστημάτων fuel cell με την χρήση του άνθρακα ως καταλύτη, γεγονός που ταυτόχρονα μείωσε και το ποσό λευκόχρυσου που απαιτούνταν για τα ηλεκτρόδια.

«Στερεό Πολυμερές fuel cell»: Αυτό το είδος fuel cell ήταν μια λύση που δόθηκε προκειμένου να υπερνικηθούν τα προβλήματα κυκλοφορίας των υγρών αλκαλικών ηλεκτρολυτών, δεδομένου ότι η χρήση ενός στερεού πολυμερούς ηλεκτρολύτη έδινε μια απλούστερη λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Τα στερεά πολυμερή fuel cells αναπτύχθηκαν το 1960 προκειμένου να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για το πρόγραμμα Gemini Earth-orbiting, από τους Grubb και Niedrach σε ένα έργο της General Electric. Η εφαρμογή των στερεών πολυμερών fuel cells στα οδικά οχήματα προτάθηκε το 1990 από τον Prater μετά από τις βελτιώσεις της επεξεργασίας ηλεκτροδίων από τον Raistrick το 1986, που κατέστησε τον συγκεκριμένο τύπο πιο εφαρμόσιμο. Την ίδια στιγμή που η παρουσία μονοξειδίου του άνθρακα από τη χημική αντίδραση της παραγωγής του υδρογόνου ως υποπροϊόν έπρεπε να υπερνικηθεί, μια νέα μέθοδος από τους Gottesfeld και Pafford το 1988, η αποκαλούμενη «διαρροή αέρα» (air bleed) έδωσε τη δυνατότητα της λειτουργίας του fuel cell από υδρογόνο που παράγεται από καύσιμα οινόπνεύματος ή υδρογονανθράκων.

«Εφαρμογή στα Οδικά Οχήματα»: Το 1964, η ομάδα εφαρμοσμένης μηχανικής General Motors ήταν μπροστά από μια μεγάλη πρόκληση: να δημιουργήσει ηλεκτρικά οχήματα που ανέμεναν να έχουν ηλεκτρικές μηχανές, ελέγχους και πηγή ισχύος. Έχοντας το πλεονέκτημα της απεριόριστης εμβέλειας συγκριτικά με τις μπαταρίες, τα fuel cells ήταν αποδοτικότερα και

πιο οικονομικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Τελικά, ένα αλκαλικό σύστημα fuel cell χρησιμοποιήθηκε για αυτή την εφαρμογή, η οποία είχε αντιδραστήρια υδρογόνο και οξυγόνο ως. Η ανάγκη για ηλεκτρικά μεταφορικά οχήματα προέκυψε πάλι τη δεκαετία του '80, όπου τα fuel cells θεωρήθηκαν πάλι ως κατάλληλη πηγή ισχύος. Εντούτοις, ο τύπος των fuel cells είχε αλλάξει σε fuel cell φωσφορικού οξέος, με τη χρήση της μεθανόλης ή της βενζίνης ως καύσιμο, αφού είχε θεωρηθεί καταλληλότερο λόγω της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας του. Το 1994, ο Daimler-Benz παρουσίασε ένα φορτηγό που χρησιμοποιούσε στερεό πολυμερές fuel cell ως ισχύος, το οποίο αναπτύχθηκε από την Ballard Power Systems, μετά από βελτιώσεις στα ήδη υπάρχοντα στερεά πολυμερή fuel cells. [5] [14] [15]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Θαλάσσιες εφαρμογές των fuel cells

Τα fuel cells μπορούν να αναπτυχθούν σε μια μεγάλη εμβέλεια παραγωγής δύναμης που ποικίλλει από μερικά Watt, στις τηλεφωνικές εφαρμογές fuel cells, έως πολλά megaWatt, στις διάφορες μονάδες δύναμης. Σήμερα, υπάρχουν πολλές εφαρμογές των fuel cells στις μηχανές ενέργειας διάφορων προϊόντων εφαρμοσμένης μηχανικής. Τα fuel cells χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές και πολλές επιχειρήσεις αρχίζουν τώρα να παράγουν τις δικές τους συσκευές ενέργειας από fuel cells, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις των προϊόντων τους. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Η πρώτη κατηγορία είναι οι στάσιμες εφαρμογές. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει όλες τις εφαρμογές των fuel cells που δεν μπορούν να αφαιρεθούν και η κύρια χρήση τους είναι να παράσχουν ηλεκτρική ενέργεια σε κτήρια και σπίτια. Οι στάσιμες εφαρμογές των fuel cells μπορούν να εντοπιστούν σε κτήρια, όπως νοσοκομεία, σχολεία, αερολιμένες και σε έναν αριθμό άλλων εμπορικών κτηρίων. Στα σπίτια που είναι κατασκευασμένα σε περιοχές που η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από το κύριο ηλεκτρικό κύκλωμα του κράτους δεν είναι αρκετή να καλύψει τις ανάγκες τους, τα fuel cells εγκαθίστανται προκειμένου να παρέχουν πρόσθετη ηλεκτρική δύναμη. Αυτός ο τύπος εφαρμογής των fuel cells είναι προτιμητέος συγκριτικά με τις μηχανές γεννήτριες diesel, εξαιτίας της αθόρυβης λειτουργίας τους και του γεγονότος ότι η θερμική ενέργεια που παράγουν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λόγους θέρμανσης των σπιτιών.
2. Οι φορητές συσκευές που χρησιμοποιούν τα fuel cells για να καλύψουν τις ανάγκες τους σε ενέργεια, μπορούν να ταξινομηθούν στη δεύτερη κατηγορία εφαρμογών ανάγκες τους. Σε αυτή την κατηγορία, τα fuel cells

μπορούν κυρίως να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες και στη θέση τους

να μπουν αυτά ως ενεργειακοί προμηθευτές. Αυτό το είδος συσκευών έχει το πλεονέκτημα μιας μεγάλης λειτουργικής περιόδου χωρίς οποιαδήποτε επαναφόρτιση. Τα fuel cells μπορούν να εγκατασταθούν σε προϊόντα όπως τηλέφωνα, εξαρτήματα για lap-top, στρατιωτικά όπλα και σχεδόν σε όλους τους τύπους φορητών συσκευών.

3. Τέλος, η τρίτη κατηγορία εφαρμογών είναι η κατηγορία των μεταφορών. Στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές των fuel cells σε προϊόντα που χρησιμοποιούνται για λόγους μεταφορών, οι οποίοι περιλαμβάνουν το δρόμο, τον αέρα και τις θαλάσσιες μεταφορές. Η τεχνολογία των εφαρμογών fuel cells στα οδικά οχήματα έχει φθάσει ήδη σε υψηλό επίπεδο και διάφοροι κατασκευαστές έχουν παρουσιάσει ήδη οχήματα fuel cells στην αγορά. Δύο καλά παραδείγματα τέτοιων οχημάτων είναι τα λεωφορεία Mercedes Citaro του Λονδίνου, τα οποία έχουν αναπτυχθεί από τον Daimler-Chrysler , και το Ford Focus FCEV Hybrid. Χαρακτηριστικό και των δύο είναι ότι δεν έχουν καμία τοξική εκπομπή, και επίσης χαρακτηρίζονται από μικρή κατανάλωση καυσίμων σε σύγκριση με την παραγόμενη ενέργειά τους.

Σε αντίθεση με τα οδικά οχήματα, στα αεροπορικά η τεχνολογία των εφαρμογών fuel cells βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Το εναέριο όχημα Helios-unmanned ήταν το πρώτο αεροπορικό όχημα, το οποίο έκανε χρήση 25 KW PEM fuel cells και αναπτύχθηκε από το ερευνητικό κέντρο NASA Dryden Flight το 2003. Το Helios είχε καταστραφεί σε μια συντριβή κατά την οποία το σύστημα των fuel cells δεν ανταποκρίθηκε. Ένα άλλο πειραματικό αεροσκάφος που αναπτύχθηκε από τη NASA σε συνεργασία με μερικές άλλες αμερικανικές επιχειρήσεις, είναι το Fuel Cell Powered Electric Plane – FASTec/ATP. Το FASTec/ATP στη τελική φάση ανάπτυξής του είχε δύναμη παραγωγής 75kW και ήταν σε θέση να ταξιδέψει μια απόσταση 500 μιλίων με ταχύτητα 230 μιλίων ανά ώρα.

Τα fuel cells χρησιμοποιούνται και σε θαλάσσιες εφαρμογές είτε για τα μεγάλα ναυτικά πλοία, είτε για μικρότερα ερασιτεχνικά σκάφη. Τα fuel cells χρησιμοποιούνται είτε για να παραγάγουν ενέργεια για το σύστημα

προώθησης ενός σκάφους, είτε για να δημιουργήσουν ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις των σκαφών. Εντούτοις, τα fuel cells δεν είναι τόσο δημοφιλή στις θαλάσσιες εφαρμογές, αλλά ήδη υπάρχουν μερικές ενδιαφέρουσες εγκαταστάσεις fuel cells σε πλοία, οι οποίες αποτελούν υπόσχεση για το μέλλον όπου θα υπάρχουν πλοία που θα έχουν τα συστήματα fuel cells ως κύρια πηγή ενέργειας και θα είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Στον τομέα των θαλασσιών εφαρμογών έχουν υπάρξει παραδείγματα σκαφών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των fuel cells, είτε για εσωτερικό ανεφοδιασμό προώθησης ή/και για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές θα αναφερθούν παρακάτω, προκειμένου να δοθεί μια περισσότερο αναλυτική προσέγγιση στις εγκαταστάσεις των fuel cells στα πλοία.

Θαλάσσιες εφαρμογές των fuel cells:

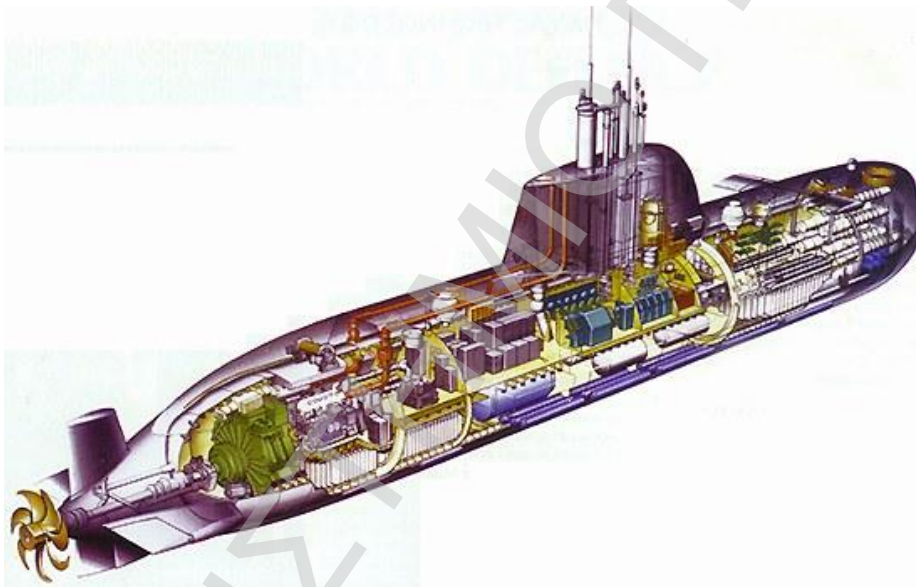
1. Γερμανική κατηγορία υποβρυχίων με fuel cells 212/214.
2. Water Taxis τροφοδοτούμενα από fuel cells.
3. «No.1» γιοτ τροφοδοτούμενο από fuel cells.
4. Καταμαράν «Υδροξύ 3000».

Γερμανική κατηγορία υποβρυχίων με fuel cells 212/214

Μια εναλλακτική λύση χρησιμοποίησης πυρηνικής ενέργειας για υποβρύχια σκάφη προήλθε από τη συνεργασία του γερμανικού ναυτικού σε με τα ναυπηγεία HDW και Siemens. Η κατηγορία υποβρυχίων «212» είχε κατασκευαστεί ώστε να χρησιμοποιεί ένα σύστημα fuel cell PEM για τις απαιτήσεις ενέργειας για την προώθηση. Η κατηγορία υποβρυχίων «212» είναι εξοπλισμένη με εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από fuel cells, που αποτελούνται από εννέα fuel cell Siemens PEM, από τα οποία το καθένα μπορεί να δώσει ενέργεια έως και 34kW.

Χρησιμοποιώντας το ανεξάρτητο από αέρα ηλεκτρικό fuel cell σύστημα προώθησης (AIP), το σκάφος είναι σε θέση να λειτουργήσει αργά και αθόρυβα σε

περίπτωση ανάγκης. Για κανονική πλεύση με υψηλή ταχύτητα, τα σκάφη χρησιμοποιούν μια μηχανή diesel MTU 16V 396, και σε συνδυασμό με μια γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας αναθέτουν σε μια υψηλής απόδοσης όξινη μπαταρία μολύβδου να δώσει προώθηση στο σκάφος. Η γεννήτρια diesel βρίσκεται στις χαμηλότερες γέφυρες του πλοίου, σε μια περιοχή που απομονώνεται και από το θόρυβο και από τη δόνηση. Η όξινη μπαταρία βρίσκεται μεταξύ της χαμηλότερης γέφυρας του σκάφους και της φλούδας στο επόμενο μισό του σκάφους, κάτω από τη μηχανή diesel και το σύστημα fuel cell που βρίσκεται πίσω από τη μηχανή diesel. Η δύναμη από την μπαταρία παρέχεται σε μια ηλεκτρική μηχανή που οδηγεί άμεσα μέσω ενός άξονα σε έναν προωστήρα εννέα λεπίδων.



Σχήμα 8.1: Κατηγορία υποβρυχίων με fuel cells 212/214 – Γενική διάρθρωση

Το σκάφος είναι εξοπλισμένο με δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων οξυγόνου και υδρογόνου, προκειμένου να είναι σε θέση να παραμείνει υποθαλάσσια για περίοδο περισσότερη των τριών εβδομάδων, χωρίς οποιεσδήποτε απαιτήσεις επιφάνειας. Το οξυγόνο αποθηκεύεται στο πλοίο σε υγρή μορφή, προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα της βάρκας. Οι δεξαμενές αποθήκευσης οξυγόνου και υδρογόνου βρίσκονται στο χαμηλότερο στάδιο του σκάφους μεταξύ της χαμηλότερης γέφυρας και της φλούδας, ακριβώς κάτω από τη στέγαση του πληρώματος και το δωμάτιο ελέγχου. Η διαμήκης θέση των δεξαμενών

αποθήκευσης είναι στο κεντρικό μέρος του σκάφους. Το μπροστινό μέρος χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των όπλων του σκάφους.

Λόγω του γενικού σχεδίου των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας με fuel cells, η αποδοτικότητα συστημάτων είναι πολύ υψηλή, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερο ποσό παραγόμενης θερμότητας από το σύστημα. Ένα άλλο πλεονέκτημα της εφαρμογής των fuel cells στα υποβρύχια είναι το γεγονός ότι το ηλεκτρικό σύστημα, σε σύγκριση με άλλα ηλεκτρικά συστήματα, μπορεί να διανεμηθεί κατά μήκος του σκάφους, προκειμένου να παρασχεθεί η ευελιξία στο γενικό σχέδιο διαρρύθμισης και για να εκλείψουν πιέσεις που παράγονται από τα συγκεντρωμένα βάρη των ηλεκτρικών συστημάτων.

Η κατηγορία 212 έχει γενικό μήκος 56 μέτρων, μια μετατόπιση επιφάνειας 1450 τόνων και απαιτεί πλήρωμα 27 ατόμων. Χρησιμοποιώντας το σύστημα fuel cell το σκάφος λειτουργεί φιλικά προς το περιβάλλον έχοντας μηδενικές εκπομπές. Η απόδοση του συγκεκριμένου υποβρυχίου λόγω της εφαρμογής των fuel cells, έχει ήδη προσεγγίσει υψηλά επίπεδα και συγχρόνως μειώνει το κόστος συντήρησης του υποβρυχίου. Λόγω της μεγάλης επιτυχίας των υποβρυχίων κατηγορίας 212, μετά από το γερμανικό ναυτικό, μερικά άλλα εθνικά ναυτικά, όπως το ιταλικό, το ελληνικό, το ναυτικό της Ισπανίας και της Νότιας Κορέας άρχισαν να κατασκευάζουν τον συγκεκριμένο τύπο υποβρυχίων.

Η κατηγορία υποβρυχίων «214» αποτελεί μια πιο πρόσφατη έκδοση της κατηγορίας 212, είναι υπό κατασκευή από το γερμανικό ναυτικό. Η πιο πρόσφατη έκδοση υποβρυχίου με fuel cells θα είναι 11 μέτρα πιο μακριά από την κατηγορία 212 και θα έχει μετατόπιση 1700 τόνων. Η ανεξάρτητη από αέρα προώθηση του σκάφους θα έχει επιπρόσθετα ένα σύστημα με δύο Siemens PEM fuel cells, που το καθένα θα είναι ικανό να παραγάγει 120 KW.

Water Taxis τροφοδοτούμενα από fuel cells

Μια άλλη πολύ ενδιαφέρουσα εφαρμογή των fuel cells στα πλοία προέρχεται από την άλλη πλευρά του Ατλαντικού, που είναι τα fuel cell water taxis έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν 18 επιβάτες και λειτούργησαν για πρώτη φορά

στον κόλπο του Σαν Φρανσίσκο στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το water taxi μήκους 9.144 μέτρων, αναπτύχθηκε από το Κέντρο Της Καλιφόρνια Για Την Εμπορική Ανάπτυξη Των Τεχνολογιών Μεταφορών (CCDoTT), σε συνεργασία με την κατασκευαστική Duffy, την Anuvu, καθώς επίσης και με τους σχεδιαστές των μακράς διάρκειας μπαταριών της MillenniumCell. Το συγκεκριμένο σκάφος είναι το πρώτο σκάφος με εμπορική λειτουργία που είναι φιλικό προς το περιβάλλον και χρησιμοποιεί μόνο το PEM fuel cell για την προώθησή, γεγονός που οδηγεί σε μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Το σύστημα προώθησης του πλοίου απαρτιζόταν από τέσσερα Anuvu Power-X fuel cells 1.5kW. Το σύστημα σε συνεργασία με τις μπαταρίες μπορούσε να παρέχει στο πλοίο δύναμη προώθησης μέσω μιας ηλεκτρικής μηχανής που συνδεόταν με έναν προωστήρα τριών λεπίδων. Το σύστημα fuel cell είχε την επιλογή επαναφόρτισης της μπαταρίας όταν δεν υπήρχε διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Το σύστημα fuel cell χρησιμοποιεί έναν επεξεργαστή καυσίμων του Millennium Cell's Hydrogen on Demand συστήματος, προκειμένου να παράγει καθαρό υδρογόνο. Ο επεξεργαστής αυτός τροφοδοτείται από βοροϋδρίδιο νατρίου με την χρήση ενός καταλύτη, ο οποίος παράγει βορικό άλας νατρίου και καθαρό υδρογόνο. Το βοροϋδρίδιο του νατρίου χρησιμοποιείται ως καύσιμο λόγω της δυνατότητάς του να παράγεται στο πλοίο με τις υπάρχουσες μεθόδους υγρών καυσίμων μεταφοράς, έχοντας την ίδια στιγμή ισοδύναμη πυκνότητα ενέργειας με τα καύσιμα βενζίνης.

Το σκάφος είναι εξοπλισμένο με μια πλαστική δεξαμενή αποθήκευσης βοροϋδριδίου νατρίου χωρητικότητας 170 κυβικών μέτρων. Δεδομένου ότι το βορικό άλας νατρίου είναι ένα υποπροϊόν του επεξεργαστή καυσίμων, μπορούμε

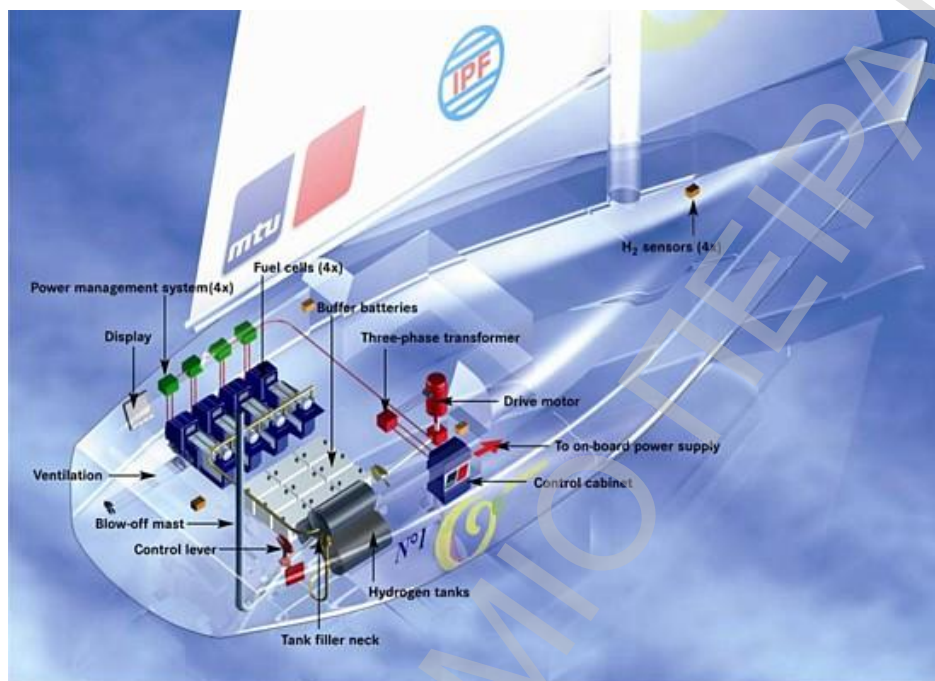
να συνάγουμε ότι οι μόνες εκπομπές του συστήματος είναι νερό από τα συστήματα fuel cells και βορικό άλας νατρίου από τον επεξεργαστή καυσίμων. Η βάρκα είναι εξοπλισμένη με άλλη μια δεξαμενή αποθήκευσης, προκειμένου να αποθηκεύεται το βορικό άλας νατρίου που προέρχεται από τον επεξεργαστή καυσίμων αντί να αποβάλλεται στη θάλασσα.

Χρησιμοποιώντας το σύστημα fuel cell και την μπαταρία, το σκάφος είναι σε θέση να έχει μέγιστη ταχύτητα 9 knots και ταχύτητα υπηρεσιών 8.6 knots. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι ότι το σκάφος έχει μια σημαντική επιτάχυνση που του επιτρέπει να προσεγγίσει ταχύτητα υπηρεσιών ίση με 8.6 knots, μέσα σε 12 δευτερόλεπτα. Το σκάφος μπορεί να πλέει, χρησιμοποιώντας μόνο το σύστημα fuel cell, με ταχύτητα μέχρι 6 knots, έχοντας εμβέλεια 231 ναυτικών μιλίων. Για ταχύτητα πάνω από 6 knots, το σκάφος πρέπει να χρησιμοποιήσει και το σύστημα fuel cell και την μπαταρία, ειδάλως η αντοχή μειώνεται σημαντικά. Πλέοντας με 8.6 knots, το πλοίο έχει ανεξαρτησία 180.5 ναυτικών μιλίων με τη χρήση και των δύο ηλεκτρικών συστημάτων. Σε περίπτωση που το σκάφος πλέει με την ίδια ταχύτητα, χρησιμοποιώντας μόνο το σύστημα fuel cell, χωρίς την μπαταρία, η εμβέλεια του σκάφους μειώνεται σημαντικά στα 10.8 μίλια. Η μέγιστη εμβέλεια του πλοίου είναι ίση με 331.3 μίλια και αντιστοιχεί σε ταχύτητα 3.3 knots, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί και μόνο με τη χρήση του συστήματος fuel cell .

«No.1» Yacht τροφοδοτούμενο από Fuel Cells

Το «No.1» είναι το πρώτο γιοτ που χρησιμοποιεί σύστημα fuel cell για την προώθηση και την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, και αναπτύχθηκε σύμφωνα με τα πρότυπα του Germanischer Lloyd. Το γιοτ κατασκευάστηκε από ένα πρόγραμμα συνεργασίας της γερμανικής επιχείρησης MTU, και του канаδικού Ballard. Το ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου, που ονομάζεται «CoolCell», αποτελείται από ένα σύστημα fuel cell των 4.8 KW PEM, το οποίο μαζί με μια μπαταρία μπορεί να παραγάγει τη δύναμη ίση με 20kW. Για το συγκεκριμένο γιοτ, το σύστημα λειτουργεί για προώθηση σε ήρεμα νερά, για τους ελιγμούς στο λιμάνι και για να καλύψει όλες τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας του σκάφους. Το CoolCell αποτελείται από τέσσερα fuel cells των 1.2 KW PEM, από τα οποία το καθένα καταναλώνει καύσιμα υδρογόνου, που παρέχονται στις δεξαμενές καυσίμων του πλοίου, και οξυγόνο από τον ατμοσφαιρικό αέρα που παρέχεται από το σύστημα εξαερισμού. Η ενέργεια που παράγεται από κάθε fuel cell μεταφέρεται σε ένα χώρο ελέγχου ενέργειας μέσω ενός ειδικού συστήματος διαχείρισης. Ο χώρος ελέγχου ενέργειας λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια και από τις μπαταρίες και από το σύστημα fuel cell, και στη συνέχεια την διανέμει στο σύστημα προώθησης και στους καταναλωτές

ενέργειας. Προτού πάει η ηλεκτρική ενέργεια στη μηχανή προώθησης, περνά μέσω ενός τριφασικού μετασχηματιστή, προκειμένου να μετατραπεί η παρούσα κατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 8.2: CoolCell Fuel cell Σύστημα - Γενική διαρρύθμιση

Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο σύστημα προώθησης, τα σκάφη είναι σε θέση να έχουν ταχύτητα υπηρεσιών 3.25 knots, σε μια λειτουργική εμβέλεια 120 ναυτικών μιλίων. Το γιοτ μπορεί να επιτύχει επιτάχυνση μέχρι και 6.5 knots, αλλά σε αυτήν την περίπτωση η αντοχή του έχει σημαντική μείωση στα 13.5 ναυτικά μίλια. Έχοντας τη συγκεκριμένη εγκατάσταση ενέργειας το γιοτ μήκους 12m έχει ακριβώς μηδενικές εκπομπές και απολύτως αθόρυβη λειτουργία. Λόγω της πάρα πολύ καθαρής λειτουργίας, η γερμανική κυβέρνηση επέτρεψε στο συγκεκριμένο σκάφος να λειτουργήσει στη λίμνη Constance, το νερό της οποίας χρησιμοποιείται ως πόσιμο από έναν μεγάλο αριθμό του πληθυσμού της Ευρώπης.

Καταμαράν «Υδροξύ 3000»

Το «Υδροξύ 3000» ήταν ένα ηλεκτρικό καταμαράν με fuel cells που

αναπτύχθηκε από το «Ίδρυμα Ενέργειας και Ηλεκτρικών Συστημάτων» στην Ελβετία. Ο σκοπός της συγκεκριμένης ανάπτυξης, ήταν να εξεταστούν οι πιθανότητες της χρήσης συστημάτων fuel cell για εφαρμογή στις εσωτερικά σκάφη νερού. Το «Υδροξύ 3000» έχει ένα μήκος 7 μέτρων, πλάτος 2.5 μέτρων και μια μετατόπιση 1.5 τόνων. Το σκάφος είναι σε θέση να ταξιδέψει με ταχύτητα 11 km/h και να φιλοξενήσει 7 επιβάτες. Το ηλεκτρικό σύστημα του καταμαράν αποτελείται από δύο ηλεκτρικές μηχανές τοποθετημένες στις δύο φλούδες του πλοίου, από τις οποίες η καθεμία παράγει ενέργεια της τάξης των 3kW. Οι ηλεκτρικές μηχανές λειτουργούν χρησιμοποιώντας συνεχές ρεύμα 48V.

Ένα σύστημα PEM fuel cell σε συνδυασμό με δύο μπαταρίες 48V, παρέχει τις μηχανές προώθησης με ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα fuel cell βρίσκεται στο μετέπειτα μέρος του κύριου καταστρώματος, μεταξύ των δύο φλοιών, ενώ οι μπαταρίες βρίσκονται στο κέντρο κάθε φλοιού. Το υδρογόνο παρέχεται στο σύστημα fuel cell από τη δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου 76 λίτρων, που έχει πίεση 200 φραγμών και βρίσκεται στο μπροστινό μέρος της κύριας γέφυρας. Επίσης, το σύστημα αποτελείται από 73 fuel cells που είναι σε θέση να παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα 60 αμπερ με τάση που ποικίλλει από 40 έως 60 βολτ. Το κάθε fuel cell είναι εξοπλισμένο με ένα water-cooling σύστημα που απορροφά τη θερμότητα με την χρήση ενός συστήματος ανταλλαγής θερμότητας. Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα ελέγχου για να είναι σε θέση να πλεύσει με τον πιο ικανό τρόπο. Σε κανονική λειτουργία και το σύστημα fuel cell και οι μπαταρίες παρέχουν ηλεκτρική δύναμη στη μηχανή. ενώ οι μπαταρίες είναι αρμόδιες και για τον ανεφοδιασμό του εσωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος του πλοίου.

Το σύστημα ελέγχου του σκάφους, το BC9000, αποτελείται από ένα σύστημα ελέγχου που είναι αρμόδιο για τη λειτουργία του συστήματος fuel cell, καθώς επίσης και για τον ανεφοδιασμό του υδρογόνου, και από το κύριο σύστημα ελέγχου που είναι αρμόδιο για το γενικό ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους. Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο σύστημα ελέγχου, το σκάφος παρουσιάζει πολύ καλή ικανότητα διάπραξης ελιγμών, γεγονός που αποτελεί έναν σοβαρό παράγοντα για τα πλοία που λειτουργούν στο εσωτερικό του νερού.

Επιπλέον, το σκάφος εξοπλίζεται με αισθητήρες θορύβου και δόνησης, και έτσι υπάρχει η δυνατότητα για διακοπή του ανεφοδιασμού υδρογόνου στο σύστημα σε περίπτωση αποτυχιών. Σε καταστάσεις αποτυχίας οι μπαταρίες είναι σε θέση να παρέχουν ενέργεια στη μηχανή. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο είδος σκάφους, είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον, χωρίς να προκαλεί καμία εκπομπή ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

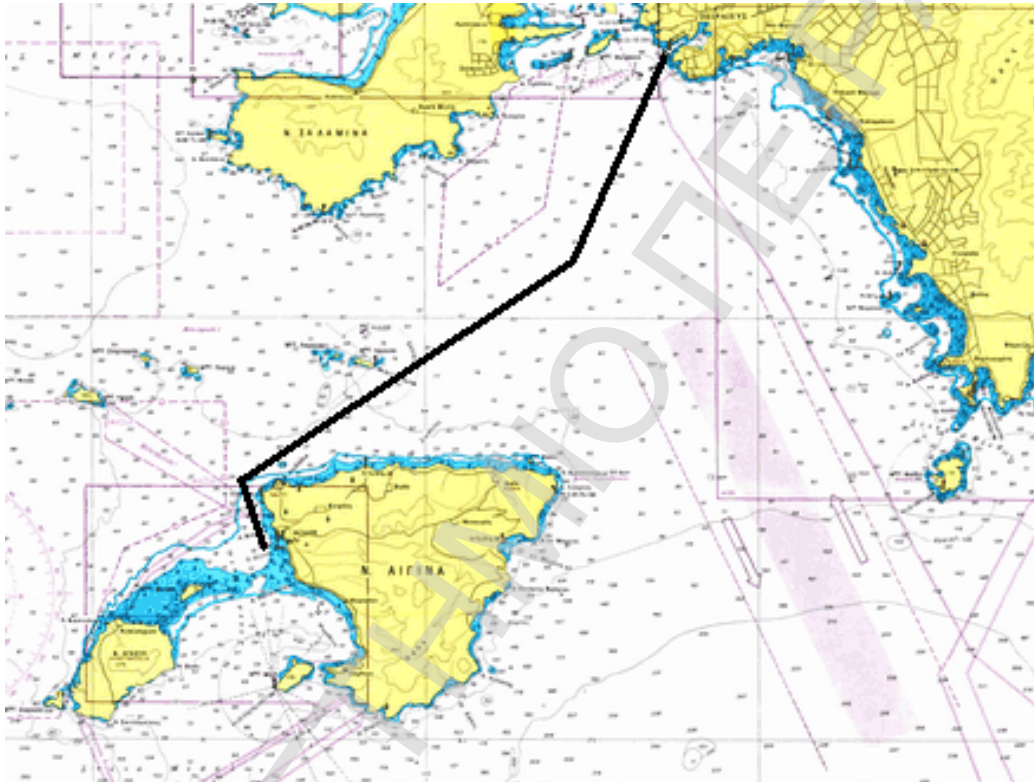
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Με τα παρόντα διαθέσιμα συστήματα fuel cell είναι αδύνατον να υπάρξει μεγάλη εμβέλεια παραγωγής ενέργειας, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις ενός μεγάλου εμπορικού σκάφους, όπως τα σκάφη εμπορευματοκιβωτίων. Ένας άλλος λόγος, για την μη επιλογή ενός μεγάλου εμπορικού σκάφους προς μελέτη, είναι ότι η ενεργειακή πυκνότητα των καυσίμων, που τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούν, είναι πολύ χαμηλή, και η εφαρμογή των συστημάτων στο μεγάλο σκάφος θα απαιτήσει εξαιρετικά μεγάλη ποσότητα για την αποθήκευση καυσίμων. Για τους ανωτέρω λόγους, ο πιο κατάλληλος τύπος εμπορικών σκαφών για την εγκατάσταση ενός συστήματος fuel cell, που μπορεί να καλύψει όλη την απαίτηση ενέργειας του σκάφους, είναι τα μικρά επιβατικά πλοία. Οι απαιτήσεις ενέργειας του συγκεκριμένου τύπου σκάφους δεν είναι υψηλές, ενώ ταυτόχρονα ο τομέας της λειτουργίας είναι αρκετά σύντομος, οπότε δεν απαιτούν μεγάλους όγκους αποθήκευσης καυσίμων. Οι διαδρομές που καλύπτουν τα συγκεκριμένα πλοία είναι κοντά στην ακτή και συνεπώς η εφαρμογή των συγκεκριμένων συστημάτων μπορεί να βοηθήσει δραστικά στον έλεγχο των εκπομπών. Ο έλεγχος εκπομπής είναι πολύ σημαντικός για τη μείωση της ρύπανσης των παράκτιων περιοχών κοντά στις μεγαλουπόλεις, καθώς επίσης και για την προστασία των περιοχών όπου η ρύπανση βρίσκεται ακόμα σε χαμηλά επίπεδα.

Το επιλεγμένο σκάφος για τη συγκεκριμένη μελέτη είναι το “KERAVNOS II”, ένα πλήρως δομημένο αλουμίνιο καταμαράν. Το “KERAVNOS II” κατασκευάστηκε το 1982 από την Westammarine Norway και η κύρια λειτουργία του είναι να ταξιδεύει, σύντομες αποστάσεις, για τη μεταφορά επιβατών. Οι αρχικές διαστάσεις του σκάφους είναι οι εξής: 29.21 m μήκος, 9.25 m πλάτος, κύλο 3,15 m και 1.37 μέτρα έλξης σχεδίου. Το Gross Tonnage του σκάφους είναι 248 GT, και το εκτόπισμά του (DWT) 50 MT η επιχειρησιακή ταχύτητά του είναι 30 knots.

Το σύστημα προώθησης του σκάφους αποτελείται από δύο κύριες μηχανές Vee Oil 4sa ισχύος 2684 KW η καθεμία. Προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας το σκάφος είναι εφοδιασμένο με δύο ηλεκτρογεννήτριες παραγωγής 85 Kw η καθεμία. Έχοντας ένα πλήρωμα τριών ατόμων το σκάφος είναι σε θέση να μεταφέρει 170 επιβάτες.



Σχήμα 5.1: Χάρτης πλοήγησης της μελέτης περίπτωσης.

(source: www.hellenicnavy.gr)

Για τους λόγους της μελέτης, πρέπει να επιλεγεί μια λειτουργική διαδρομή προκειμένου να καθοριστούν μερικές από τις τεχνικές και λειτουργικές απαιτήσεις του σκάφους. Η διαδρομή λειτουργίας που θα επιλεγεί για το σκάφος είναι η σύνδεση μεταξύ του λιμένα Πειραιά και του νησιού Αίγινα, η οποία είναι και η πραγματική διαδρομή που κάνει το πλοίο. Η απόσταση μεταξύ των σημείων είναι περίπου 20 nm, τα οποία το σκάφος καλύπτει σε διάρκεια περίπου 45 λεπτών. Η συγκεκριμένη διαδρομή είναι μια πολύ κοινή

διαδρομή που καλύπτεται από παρόμοια σκάφη σχεδόν 24 ώρες την ημέρα.

[24]

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΩΣΗΣ FUEL CELL ΣΤΟ ΣΚΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 Στόχος Μελέτης

Ο στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι να σχεδιαστεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα Fuel Cell, το οποίο δεν χρησιμοποιεί καθόλου βοηθητικές γεννήτριες diesel και μπαταρίες προκειμένου να καλύψει τις απαιτήσεις προώθησης του σκάφους. Η συγκεκριμένη μελέτη θα έχει ως αποτέλεσμα ένα εμπορικό επιβατικό σκάφος με μηδενικές εκπομπές ρύπων. Το σύστημα του σκάφους θα συμπεριλαμβάνει στοιβές από Fuel Cells, που θα παραγάγουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για να πλεύσει το σκάφος με την ίδια ταχύτητα όπως με τις μηχανές diesel. Εξαιτίας του γεγονότος, ότι δεν υπάρχει μία μεμονωμένη στοιβή από Fuel Cells διαθέσιμη αυτή την στιγμή, η οποία να μπορεί να παραγάγει την ισχύ που απαιτείται, θα χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός από στοιβές για να καλυφθούν οι απαιτήσεις προώθησης του σκάφους. Επιπλέον, το σύστημα θα καλύψει και την απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας πλεύσης του σκάφους. Η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από το σύστημα Fuel Cell, θα μεταφέρεται στους ηλεκτρικούς πίνακες και έπειτα ένα μερίδιο θα καταναλώνεται για την προώθηση του σκάφους και ένα άλλο για τις απαιτήσεις ηλεκτρισμού.

Το γενικό ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου θα αποτελείται από δύο μεμονωμένα και πανομοιότυπα συστήματα τοποθετημένα σε κάθε μία από τις δύο γάστρες του καταμαράν. Τα δύο συστήματα θα συνδέονται μέσω ενός κύριου ηλεκτρικού πίνακα που θα παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο σκάφος, και θα έχει τη δυνατότητα να την μεταφέρει από το ένα σύστημα στο άλλο σε περίπτωση αποτυχίας ενός από τα δύο συστήματα. Ακολουθώντας τον αρχικό στόχο της μελέτης για ένα σκάφος με μηδενικές εκπομπές ρύπων, ως καύσιμα θα χρησιμοποιηθούν καθαρό υδρογόνο, που θα βρίσκεται σε υψηλή πίεση στο σκάφος, και οξυγόνο που θα αντλείται από τον ατμοσφαιρικό αέρα με τη χρήση αεροσυμπιεστών.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το υδρογόνο είναι καύσιμο χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας και απαιτεί μεγάλο όγκο για την αποθήκευσή του, η οποία στην περίπτωσή μας είναι περιορισμένη λόγω του μεγέθους του σκάφους, θα σχεδιαστεί μια εναλλακτική λύση για

την αποθήκευση καυσίμων και τον ανεφοδιασμό σε καύσιμα, προκειμένου να δοθεί στο σκάφος η αντοχή που απαιτείται και να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει την εμπορική του λειτουργία στην συγκεκριμένη γραμμή.

6.2 Επιλογή Συστήματος Fuel Cell

Εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υπάρχει διαθέσιμο Fuel Cell module που να μπορεί να παράγει την απαραίτητη ενέργεια που απαιτεί το σκάφος, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός από πολλά κομμάτια (modules). Για την επιλογή του πιο κατάλληλου τύπου Fuel Cell εξετάστηκαν Fuel Cell modules από διάφορες επιχειρήσεις, όπως την Ballard Power Systems, την Siemens, την Astris Energy Inc. κ.λπ. Ο στόχος ήταν να επιλεγεί ένα PEM Fuel Cell module που ικανοποιεί τα κριτήρια της μέγιστης παραγόμενης ισχύς και των ελάχιστων διαστάσεων, με την μικρότερη κατανάλωση καυσίμων. Τα συστήματα PEM είναι τα καταλληλότερα για τις εφαρμογές μεταφορών λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας τους και του μικρού χρόνου εκκίνησής τους, ενώ συγχρόνως παράγουν ενέργεια ικανοποιητικής εμβέλειας, που φτάνει τα 250 KW. Τα κριτήρια των ελάχιστων διαστάσεων αναφέρθηκαν προκειμένου το σύστημα να είναι απόλυτα αποδοτικό, λαμβάνοντας υπόψη το περιορισμένο διάστημα που είναι διαθέσιμο για τη μηχανή στο συγκεκριμένο σκάφος.

Η τελική επιλογή για το Fuel Cell module ήταν το μοντέλο Siemens SINAVY^{cis} PEM Fuel Cell BZM 120 (Siemens BZM 120). Το Siemens BZM 120 έχει μέγιστη ενέργεια παραγωγής 120 KW και διαστάσεις 0.5 μέτρα ύψος, 0.53 μέτρα πλάτος και μήκος 1.76 μέτρα. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δίνουν την ικανότητα χρήσης ενός συνδυασμού 20 modules σε κάθε γάστρα, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια εμβέλειας 2415 KW για κάθε ένα από τα δύο χωριστά συστήματα που απαιτείται για το σκάφος. Το Siemens BZM 120 χρησιμοποιείται από τα γερμανικά Fuel Cell υποβρύχια και έχει να επιδείξει μια άριστη απόδοση στις ναυτικές εφαρμογές. Επίσης, το συγκεκριμένο μοντέλο έχει τη δυνατότητα να εφοδιάζεται με υδρογόνο και ατμοσφαιρικό αέρα, και στη συνέχεια να παράγει ενέργεια έχοντας μηδενικές ρυπογόνες εκπομπές. Έτσι, το σύστημα δεν χρειάζεται πρόσθετο χώρο για την αποθήκευση οξυγόνου, με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν υπάρχει οποιαδήποτε ανάγκη για ένα ανεξάρτητο σύστημα αέρα. [25]

Οι βασικές αρχές λειτουργίας του Siemens BZM 120 είναι πολύ απλές, όπως εξάλλου

συμβαίνει και με όλα τα συστήματα PEM. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική που πραγματοποιείται στην Fuel Cell στοιβία, αποτελείται έναν πολυμερή ηλεκτρολύτη και από ηλεκτρόδια διάχυσης αερίου, σε συνδυασμό με έναν καταλύτη από λευκόχρυσο και από στρώματα άνθρακα. Η χρήση των διπολικών πιάτων με τη βοήθεια των στρωμάτων άνθρακα διαχειρίζεται την ομοιόμορφη διανομή των αντιδραστηρίων στην Fuel Cell στοιβία. Το Siemens BZM 120 αποτελείται από 320 μεμονωμένα Fuel Cells που μπορούν να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα πάνω από 650 A, σε τάση 243 V. Ο ακόλουθος πίνακας αντιπροσωπεύει τα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου Siemens SINAVAL^{cis} PEM Fuel Cell BZM 120.

Rated Power	120 kW	O₂ pressure	2.6 bar
Voltage Range	208-243 Volts	Length	1.76 meters
Efficiency at rated load	58%	Width	0.53 meters
Efficiency at 20% load	68%	Height	0.5 meters
Operating Temperature	80 °C	Active Area of Fuel Cell	0.1163 cubic meters
H₂ pressure	2.3 bar	Weight	900 kg

Πίνακας 6.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Siemens SINAVAL^{cis} PEM Fuel Cell BZM 120.

(source: www.siemens.com)

Επιπλέον, το Fuel Cell module είναι εξοπλισμένο με βοηθητικά συστατικά που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του. Τα συστατικά του συστήματος είναι οι βαλβίδες και οι σωλήνες διοχέτευσης για την παροχή καυσίμων και για το παραγόμενο νερό. Όλο το σύστημα τοποθετείται σε ένα container με αδρανές αέριο αζώτου σε πίεση 3 bar, προκειμένου να αποτραπεί η απελευθέρωση του υδρογόνου ή του οξυγόνου σε περίπτωση διαφυγής.

6.3 Η λειτουργία του συστήματος Fuel Cell στο σκάφος της μελέτης

Το σχηματικό διάγραμμα της επόμενης σελίδας παρουσιάζει τις αρχές λειτουργίας των Fuel Cell εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας στο σκάφος της συγκεκριμένης μελέτης. Όπως προαναφέρθηκε, αυτές οι εγκαταστάσεις δεν θα εξαρτώνται από οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας, παραμόνο από το σύστημα Fuel Cell, και τη χρήση της μπαταρίας που

γίνεται μόνο για τον ανεφοδιασμό των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας του σκάφους και θα επαναφορτίζεται εν μέρει από το ηλεκτρικό σύστημα Fuel Cell.

Στην κάθε γάστρα του σκάφους είναι τοποθετημένα δύο πανομοιότυπα και μεμονωμένα ηλεκτρικά συστήματα Fuel Cell. Κάθε ηλεκτρικό σύστημα αποτελείται από 20 Fuel Cell modules του τύπου Siemens BZM 120, και είναι σε θέση να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ίση με 2415 KW. Με το προηγούμενο ηλεκτρικό σύστημα μηχανών diesel, κάθε μηχανή είχε μέγιστη παραγωγή ίση με 2680 KW. Έτσι, η απαιτούμενη ενέργεια πλεύσης του σκάφους ήταν ίση με το 90% του μέγιστου MCR. Το 90% του MCR είναι ίσο με 2415 KW, γεγονός που οδηγεί στο ότι η παραγωγή ενέργειας από το σύστημα Fuel Cell είναι αρκετή ώστε να πλεύσει το σκάφος με ταχύτητα 30 knots, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα Fuel Cells μπορούν να λειτουργούν συνεχώς στη μέγιστη απόδοσή τους.

Η παροχή καυσίμων υδρογόνου του συστήματος καλύπτεται από μια δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου, που αποθηκεύει τα καύσιμα σε 350 bar. Η δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου είναι εξοπλισμένη με δείκτες θερμοκρασίας και πίεσης που ελέγχουν την κατάσταση των καυσίμων υδρογόνου. Σε περίπτωση οποιασδήποτε αποτυχίας τα καύσιμα υδρογόνου διαρρέουν μέσω μιας βαλβίδας στο περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθεί έκρηξη της δεξαμενής. Φυσικά, η διαρροή αυτή δεν προκαλεί καμία απολύτως μόλυνση στο περιβάλλον. Τα καύσιμα υδρογόνου τροφοδοτούν τα Fuel Cell modules μέσω σωλήνων, αφού πρώτα περάσουν μέσω μιας βαλβίδας που μειώνει την πίεση από τους 350 στους 2.3 bar. Στην αρχή του κύριου σωλήνα, τοποθετείται μια στενή βαλβίδα προκειμένου να διακοπεί η ροή του υδρογόνου όταν διακόπτεται και η λειτουργία του συστήματος. Επίσης, μεμονωμένες στενές βαλβίδες τοποθετούνται στη γραμμή προμηθειών κάθε Fuel Cell module προκειμένου, να διακοπεί ο ανεφοδιασμός του υδρογόνου σε περίπτωση αποτυχίας.[26]

Το Siemens SINAVY^{ciS} PEM Fuel Cell BZM 120 έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτείται με ατμοσφαιρικό αέρα και από αυτόν να απομονώνει το οξυγόνο που απαιτείται για τη λειτουργία του. Ο ατμοσφαιρικός αέρας παρέχεται μέσω ενός κολπίσκου αέρα, ο οποίος βρίσκεται στην κύρια γέφυρα του σκάφους, και με τη βοήθεια ενός συμπιεστή, η πίεση του αέρα αυξάνεται σε 2.6 bar. Αφού προσεγγιστούν οι 2.6 bar που απαιτούνται από το συγκεκριμένο Fuel Cell module, τα καύσιμα οξυγόνου ακολουθούν την ίδια διανομή με τα καύσιμα υδρογόνου με σκοπό να τροφοδοτήσουν σωστά το module.

Το νερό που παράγεται από τη λειτουργία των Fuel Cells αφαιρείται από το σύστημα μέσω σωληνώσεων που συνδέονται με μια δεξαμενή αποθήκευσης φρέσκου νερού. Τα Fuel Cell modules συνδέονται, επιπρόσθετα, με ένα σύστημα αγωγών υγραερίου, με το οποίο συνδέεται επίσης και η βαλβίδα πίεσης της δεξαμενής αποθήκευσης υδρογόνου. Ο σκοπός του συγκεκριμένου συστήματος είναι να οδηγηθούν στην ατμόσφαιρα όλα τα υπόλοιπα αέρια που παραμένουν στα modules κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Αυτά τα αέρια είναι συνήθως περιεχόμενο του ίδιου του ατμοσφαιρικού αέρα, και έχουν προέλθει από τον ανεφοδιασμό του οξυγόνου και του υδρογόνου, γεγονός που δεν κοστίζει την παραμικρή ρύπανση στο περιβάλλον. [27]

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κάθε module, αφού περάσει από το ηλεκτρονικό σύστημα που είναι αρμόδιο για την ενεργειακή διαχείριση, μεταφέρεται στον ηλεκτρικό πίνακα του συστήματος. Στον ηλεκτρικό πίνακα κάθε συστήματος, αθροίζεται η ενέργεια που παράγεται από όλα τα μεμονωμένα modules, προκειμένου να προκύψει ενέργεια ίση με 960 KW. Με το ποσό αυτό πρέπει να καλυφθούν και οι δύο απαιτήσεις του σκάφους, η απαίτηση για ενέργεια προώθησης και η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας για όλο τον εξοπλισμό. Προκειμένου να καλυφθούν οι συγκεκριμένες απαιτήσεις από το σύστημα, ένας ηλεκτρικός πίνακας συνδέεται με τη μηχανή προώθησης και με τον κύριο ηλεκτρικό πίνακα του σκάφους. Τα δύο συστήματα Fuel Cell του σκάφους διαμοιράζουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί το σκάφος, μεταφέροντάς την στον κύριο ηλεκτρικό πίνακα που είναι αρμόδιος για την διανομή της σε όλους τους ηλεκτρικούς καταναλωτές του σκάφους. Επιπλέον, σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα εγκαθίσταται μια μπαταρία. Ο σκοπός των μπαταριών είναι να καλυφθούν οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας του σκάφους όταν το σκάφος είναι εκτός πλεύσης και τα Fuel Cell modules είναι σβηστά. Οι μπαταρίες πρέπει να έχουν αντοχή δύο ωρών. Είναι τοποθετημένες στις δύο γάστρες του πλοίου και συνδέονται με τον ηλεκτρικό πίνακα κάθε συστήματος. Η επαναφόρτιση των μπαταριών μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός ηλεκτρικού συστήματος με το οποίο το σκάφος είναι εξοπλισμένο, το οποίο συνδέεται στον κύριο ηλεκτρικό πίνακα, ενώ υπάρχει και η επιλογή επαναφόρτισης από τα ίδια τα Fuel Cells μέσω των ηλεκτρικών πινάκων κάθε συστήματος. [28] [29]

Από μια στατιστική διαδικασία επανεξέτασης που διεξήχθη, η εκτίμηση των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας και ενέργειας προώθησης ενός τέτοιου σκάφους δείχνουν ότι από τη συνολική ενέργεια 1890 KW που παρήγαγαν οι μηχανές diesel, σε λειτουργία κατά το

90% του MCR, τα 100 KW χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας του σκάφους, ενώ τα υπόλοιπα για την προώθηση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι και τα δύο συστήματα Fuel Cell του σκάφους μπορούν να παράγουν ενέργεια της τάξης των 1920 KW, και αφού τα 1790kW είναι για την προώθηση και τα 100 KW για τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρούμε πως υπάρχει ένα υπόλοιπο 30 KW, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Αυτό ακριβώς δίνει το εξής πλεονέκτημα: το σκάφος κατά τη διάρκεια πλεύσης του μπορεί να παράγει επιπλέον ενέργεια, την οποία μπορεί να χρησιμοποιεί ακόμα και όταν βρίσκεται στο λιμάνι, χωρίς δηλαδή να βρίσκεται σε λειτουργία.

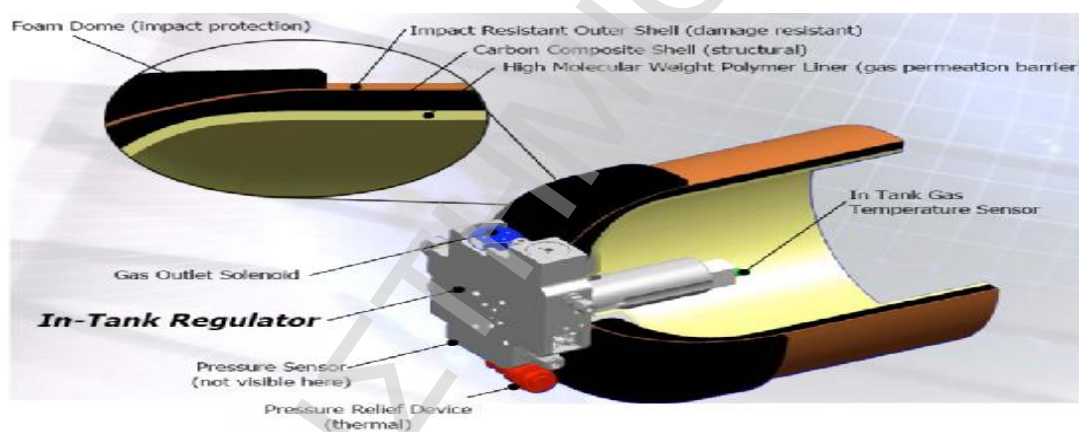
Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί το σχέδιο ολόκληρου του συστήματος επιχειρεί να αποτραπεί η απώλεια της συνολικής ενέργειας του σκάφους σε περίπτωση οποιασδήποτε αποτυχίας. Αν κάποιο module τεθεί εκτός λειτουργίας τότε δεν είναι φυσικό να διακοπεί και η λειτουργία ολόκληρου του σκάφους, απλά το σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί με λιγότερη ενέργεια. Σε περίπτωση αποτυχίας σε ένα από τα δύο συστήματα Fuel Cell, υπάρχει η επιλογή να συνεχίσει να πλέει το σκάφος χρησιμοποιώντας και τις δύο μηχανές, με τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργεια από το σύστημα εργασίας στον πίνακα ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος που παρουσίασε βλάβη. Σε αυτή την περίπτωση, οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο σκάφος, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή ενέργειας. Η επιλογή του να βρίσκονται και οι δύο μηχανές προώθησης σε λειτουργία, δίνει τη δυνατότητα στο σκάφος να χάνει την ικανότητα διάπραξης ελιγμών.

6.4 Σύστημα μεταφοράς και αποθήκευσης καυσίμων υδρογόνου

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην εφαρμογή των συστημάτων Fuel Cell στις μεταφορές είναι η αποθήκευση αρκετών καυσίμων υδρογόνου στο πλοίο. Εξαιτίας της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας των καυσίμων υδρογόνου, είναι πολύ δύσκολο να αποθηκευτεί αρκετή ποσότητα, προκειμένου να επιτευχθεί μια αποδοτική λειτουργική εμβέλεια. Εντούτοις, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το γεγονός ότι το σκάφος είναι σχεδιασμένο για να καλύπτει μια σύντομη απόσταση, δίνει την ευκαιρία για ανεφοδιασμό καυσίμων, προκειμένου να είναι το σκάφος λειτουργικό. Η κύρια ιδέα είναι να εγκατασταθεί μια μικρή δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου σε κάθε γάστρα του σκάφους,

και να εγκατασταθεί επίσης και μία μεγαλύτερη στις λιμενικές εγκαταστάσεις, έτσι ώστε το σκάφος μπορεί να ανεφοδιάζεται σε καύσιμα, ανά δύο κυκλικά ταξίδια.

Ο τύπος αποθήκευσης καυσίμων υδρογόνου που επιλέχθηκε για τη μελέτη, είναι η υψηλή αεριώδης αποθήκευση. Ο λόγος της επιλογής αυτής είναι ότι μπορεί να δώσει στο σκάφος την ευκαιρία να αποθηκεύσει αρκετή ποσότητα υδρογόνου, μειώνοντας αρκετά τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης που απαιτείται. Η πίεση αποθήκευσης των καυσίμων υδρογόνου ισούται με 350 bar. Η δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμων υδρογόνου υψηλής πίεσης κατασκευάζεται από μια διεπαφή τεσσάρων στρωμάτων, που περιλαμβάνει έναν θόλο «αφρού» για την προστασία από τους αντίκτυπους, έναν εξωτερικό φλοιό αντίστασης, και μία σειρά συνθετικού άνθρακα για εσωτερικό στρώμα. Όπως αναφέρεται παραπάνω, η δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου πρέπει να είναι εξοπλισμένη με δείκτες θερμοκρασίας και πίεσης που ελέγχουν την κατάσταση των καυσίμων. Σε περίπτωση οποιασδήποτε αποτυχίας τα καύσιμα υδρογόνου σκόπιμα δραπέτεύουν μέσω μιας βαλβίδας στο περιβάλλον προκειμένου να αποφευχθεί η έκρηξη της δεξαμενής. [26] [30]



Σχήμα 8.1: Εσωτερική όψη τους συστήματος καυσίμων υδρογόνου

(source: www.hydrogen.energy.gov -Quantum Technologies)[30]

Σύμφωνα με υπολογισμούς, ο όγκος των καυσίμων υδρογόνου που απαιτείται από κάθε ηλεκτρικό σύστημα Fuel Cell του σκάφους για να καλύψει δύο κυκλικά ταξίδια είναι ίσος με 15 m² συμπεριλαμβανομένου και του 20% του περιθωρίου. Ο λόγος που καθορίζεται αυτό το περιθώριο, είναι για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος του σκάφους, στην περίπτωση που το σκάφος θα πρέπει να ξοδέψει περισσότερο χρόνο πλεύσης ή θα πρέπει να ελεγχθεί η πίεση της δεξαμενής σπαταλώντας κάποιο ποσό υδρογόνου.

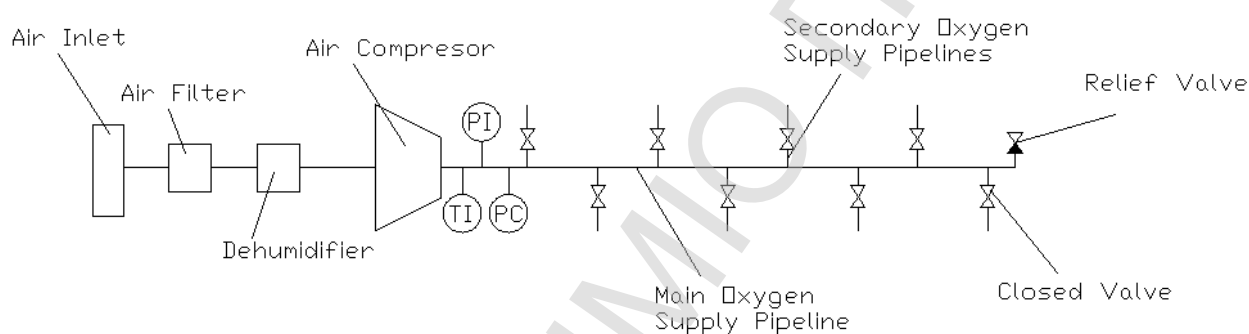
Λαμβάνοντας υπόψη τη διαθέσιμη περιοχή για τη μηχανή του σκάφους, εγκαθίστανται στο μπροστινό μέρος του σκάφους δύο κυλινδρικές δεξαμενές μήκους 10 μέτρων, με διάμετρο 1.4 μέτρα. Σύμφωνα με τους κανονισμούς GL[43], για λόγους ασφάλειας, μεταξύ της δεξαμενής αποθήκευσης και του υπολοίπου του δωματίου πρέπει να τοποθετηθεί ένας εγκιβωτισμός. Για την αποφυγή του κινδύνου έκρηξης που υπάρχει από την υψηλή πίεση αποθήκευσης των καυσίμων υδρογόνου, τοποθετείται στο σύστημα μια βαλβίδα. Η βαλβίδα αφήνει το αέριο υδρογόνου να δραπετεύσει μέσω του αγωγού υγραερίου στο περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθεί η ροή μέσα στο μικρό χώρο που βρίσκονται οι μηχανές.

Ο ανεφοδιασμός της δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μίας βαλβίδας και ενός φίλτρου που συνδέονται με το σύστημα. Η βαλβίδα ανεφοδιασμού πρέπει να είναι τοποθετημένη στην ανοικτή γέφυρα του σκάφους και σύστημα σωληνώσεων ανεφοδιασμού πρέπει να διαθέτει μία βαλβίδα που μπορεί να είναι κλείνει είτε χειρονακτικά, είτε με τηλεχειριστήριο [43]. Στο εξωτερικό μέρος του συστήματος τοποθετείται μια επιπλέον βαλβίδα προκειμένου να μειώνει την πίεση στους 2.3 bar, όπως απαιτούν τα Fuel Cell modules. Ανάλογα, τοποθετείται και στην κύρια σωλήνωση μία βαλβίδα προκειμένου να διακοπεί η ροή υδρογόνου στο σύστημα, αν αυτό είναι απαραίτητο. Λόγω της υψηλής πίεσης της δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμων υδρογόνου, δεν απαιτείται να εγκατασταθεί κάποια αντλία στα modules για να επιτευχθεί ο ανεφοδιασμός. Αρκεί η εγκατάσταση μιας κύριας σωλήνωσης που συνδέεται με τα modules μέσω οκτώ μεμονωμένων σωληνώσεων. Σε κάθε δευτεροβάθμια σωλήνωση εγκαθίσταται μια στενή βαλβίδα. Ο σκοπός κάθε στενής βαλβίδας είναι να διακοπεί ο ανεφοδιασμός του υδρογόνου αν υπάρχει αποτυχία σε κάποιο module, το απομονώνει δηλαδή από το υπόλοιπο σύστημα. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να συνεχίσουμε να έχουμε σε λειτουργία το γενικό σύστημα, με λιγότερη όμως ισχύ. Οι

διάμετροι των σωληνώσεων είναι 350mm για την κύρια σωλήνωση ανεφοδιασμού υδρογόνου και 120mm για τις δευτεροβάθμιες σωληνώσεις. Όλες οι σωληνώσεις παροχής οξυγόνου και υδρογόνου κατασκευάζονται από ανοξείδωτο ατσάλι, προκειμένου να αποφευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η διάβρωση που μπορεί να προκληθεί από τα αέρια που τις διαρρέουν.

6.5 Σύστημα παροχής οξυγόνου

Όπως αναφέρεται και στη λειτουργία των συστημάτων Fuel Cell στο σκάφος της μελέτης, το Siemens SINA^{VY} cis PEM Fuel Cell BZM 120 έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις απαιτήσεις οξυγόνου μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτό οδηγεί σε ένα πολύ απλό σύστημα παροχής οξυγόνου, που δεν απαιτεί να εγκατασταθούν δεξαμενές αποθήκευσης. Η παροχή οξυγόνου του συστήματος μπορεί να κατασκευαστεί με τη χρήση μιας απλής ρύθμισης που παίρνει τον αέρα από την ατμόσφαιρα και τον συμπιέζει σε πίεση 2.6 bar, η οποία αποτελεί και την πίεση λειτουργίας του συστήματος και έπειτα τον παρέχει στα Fuel Cell modules.



Σχήμα 8.2: Σύστημα παροχής οξυγόνου

Ο ατμοσφαιρικός αέρας θα παρασχεθεί από τη βαλβίδα που βρίσκεται στο ανοικτό μέρος της κύριας γέφυρας. Ο αέρας θα μεταφερθεί στον αεροσυμπιεστή, αφού περάσει από το φίλτρο αέρα και τον αποξηραντή. Ο λόγος της εγκατάστασης του φίλτρου αέρα και του αποξηραντή είναι να αποφευχθεί η παρουσία σκόνης και να εξαχθεί η παρουσία πιθανών μορίων νερού

στον αέρα. Ο αεροσυμπιεστής αυξάνει την πίεση του αέρα από τους 1.01325 bar στους 2.6 bar, δηλαδή στην πίεση που απαιτούν τα modules. Μετά από τον αεροσυμπιεστή, το σύστημα αέρα ακολουθεί μια ρύθμιση παρόμοια με αυτή που παρέχεται στα συστήματα υδρογόνου. Ο υψηλά συμπιεσμένος αέρας, μετά την έξοδο του συμπιεστή περνάει μέσω μιας κύριας σωλήνωσης που συνδέεται με δευτεροβάθμιες σωληνώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους καταλήγουν στα modules. Αντίθετα από το σύστημα ανεφοδιασμού υδρογόνου, στην κύρια σωλήνωση του συστήματος παροχής οξυγόνου δεν υπάρχει

στενή βαλβίδα, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο ανεφοδιασμός του οξυγόνου μπορεί να σταματήσει σβήνοντας τον αεροσυμπιεστή. [25]

Σύμφωνα με τον κανονισμό [43] όλες οι σωληνώσεις του συστήματος παροχής καυσίμων πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους μέσω συγκόλλησης και οι ενώσεις φλαντζών, όπου αυτό είναι απαραίτητο. Οι κλειστές βαλβίδες τοποθετούνται στις δευτεροβάθμιες σωληνώσεις, προκειμένου να απομονωθεί η παροχή οξυγόνου σε περίπτωση που κάποιο module αποτύχει. Στο τέλος της κύριας σωλήνωσης τοποθετείται μια βαλβίδα για να αφαιρείται ο αέρας από τη σωλήνωση παροχής οξυγόνου, σε οποιαδήποτε περίπτωση απαιτείται.

Το γεγονός ότι το σύστημα δεν παρέχει μόνο οξυγόνο στα modules, αλλά και αέρα από την ατμόσφαιρα, που περιλαμβάνει μόνο το 20% του οξυγόνου που χρειάζεται πραγματικά για την παραγωγή ενέργειας, οδηγεί το σύστημα στο να παράγει μεγάλο όγκο αέρα, ίσο με 1179.15 m³/h και πίεση 2.6 bar. Επιπλέον, πρέπει να εγκατασταθεί ένας μεγάλος αεροσυμπιεστής. Ακολουθεί μια αρχική εκτίμηση για τη διάμετρο των σωληνώσεων, της διαμέτρου της βαλβίδας και των απαιτήσεων ενέργειας για κάθε έναν από τους αεροσυμπιεστές.

Διάμετρος κύριας σωλήνωσης	550 mm.
Διάμετρος δευτερεύουσας σωλήνωσης	200 mm
Διάμετρος βαλβίδας αέρα	850 mm.
Ενέργεια αεροσυμπιεστή	51.89 kW

6.6 Βοηθητικά συστήματα σωληνώσεων

Εκτός από τις σωληνώσεις ανεφοδιασμού οξυγόνου και υδρογόνου, το ηλεκτρικό σύστημα Fuel Cell του σκάφους είναι εξοπλισμένο και με ένα σύστημα σωληνώσεων κατάλοιπου αερίων, όπως επίσης και με ένα σύστημα σωληνώσεων φρέσκου νερού. Ο σκοπός του πρώτου συστήματος είναι να αφαιρεθεί το κατάλοιπο αερίου από τα modules και να αφεθεί στην ατμόσφαιρα. Τα κατάλοιπα αερίων είναι συνήθως περιεχόμενο του ατμοσφαιρικού αέρα, από την παροχή οξυγόνου, και μέρος του υδρογόνου και οξυγόνου που φυσικά δεν προκαλούν ρύπανση στο περιβάλλον. Το σύστημα αποτελείται από μια

κύρια σωλήνωση που συνδέεται με τα modules, με τη βοήθεια δευτεροβάθμιων σωληνώσεων, που έχουν την παρόμοια ρύθμιση με τις σωληνώσεις υδρογόνου και παροχής οξυγόνου. Η κύρια σωλήνωση του συστήματος παραδίδει τα αέρια σε μια οπή αερισμού, προκειμένου να δραπετεύσουν στην ατμόσφαιρα. Για να μην υπάρξει διαρροή αερίων μεταξύ των modules, σε κάθε δευτεροβάθμια σωλήνωση εγκαθίσταται μια μονόδρομη βαλβίδα. [27] Η κύρια σωλήνωση συνδέεται με την βαλβίδα του συστήματος ανεφοδιασμού υδρογόνου για να οδηγείται το αέριο υδρογόνο έξω από το χώρο της μηχανής, όταν η βαλβίδα ανοίγει.

Ο σκοπός του δεύτερου συστήματος είναι να απομακρύνει το νερό που παράγεται κατά τη λειτουργία των Fuel Cell modules. Η αντίδραση μεταξύ του υδρογόνου και του οξυγόνου παράγει καθαρό νερό ως υποπροϊόν της λειτουργίας τους. Το παραγόμενο νερό είναι πόσιμο και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ένα μέρος των αναγκών νερού του σκάφους. Για αυτό τον λόγο το παραγόμενο νερό δεν καταλήγει στη θάλασσα, αλλά σε μια δεξαμενή φρέσκου νερού, με την οποία είναι εξοπλισμένο το σκάφος. Λόγω της λειτουργικής θερμοκρασίας των 80°C, ο συγκεκριμένος τύπος Fuel Cell modules παράγει νερό που έχει περίπου την ίδια θερμοκρασία. Από αυτό το γεγονός είναι προφανές ότι το εκπεμπόμενο νερό, εκτός από υποπροϊόν της λειτουργίας, λειτουργεί και ως μέσο ψύξης επίσης, αφαιρώντας θερμότητα από τα modules. Το παραγόμενο νερό του ηλεκτρικού συστήματος είναι ίσο με 11.6 m³ καθημερινά. Έχει υπολογιστεί ότι οι ανάγκες ενός τέτοιου σκάφους για φρέσκο νερό είναι περίπου 6 τόνοι ανά ημέρα. Αφού λοιπόν παράγεται η διπλάσια ποσότητα νερού, το σχέδιο περιλαμβάνει δύο δεξαμενές φρέσκου νερού με χωρητικότητα 3 m³ κάθε. Το υπόλοιπο αποθηκεύεται στις λιμενικές εγκαταστάσεις, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους λόγους, όπως τον καθαρισμό του σκάφους μετά από την καθημερινή λειτουργία του.

6.7 Ηλεκτρικό σύστημα

Το ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους είναι αρμόδιο για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τα modules, σε όλους τους καταναλωτές ενέργειας. Η έννοια της διανομής ενέργειας είναι ένας αντίστροφος τύπος συνδυασμένης ζώνης/ακτινωτής διανομής. Τις δύο ζώνες θα αποτελούν δύο μέρη του καταμαράν, το καθένα από τα οποία θα εξοπλιστεί με έναν ηλεκτρικό πίνακα, διαχειρίζοντας έτσι την ηλεκτρική ενέργεια κάθε μεμονωμένου συστήματος. Και οι δύο πίνακες θα συνδεθούν με

τον κύριο ηλεκτρικό πίνακα, που βρίσκεται στην κύρια γέφυρα, και αυτός με τη σειρά του θα παραδώσει την ενέργεια στους καταναλωτές. Η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το BZM 120 Fuel Cell module ποικίλλει μεταξύ 208 έως 248 volts και το ρεύμα είναι ίσο με 560 amperes.

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε ηλεκτρικός πίνακας διανέμει την ηλεκτρική ισχύ που λαμβάνει ως εξής:

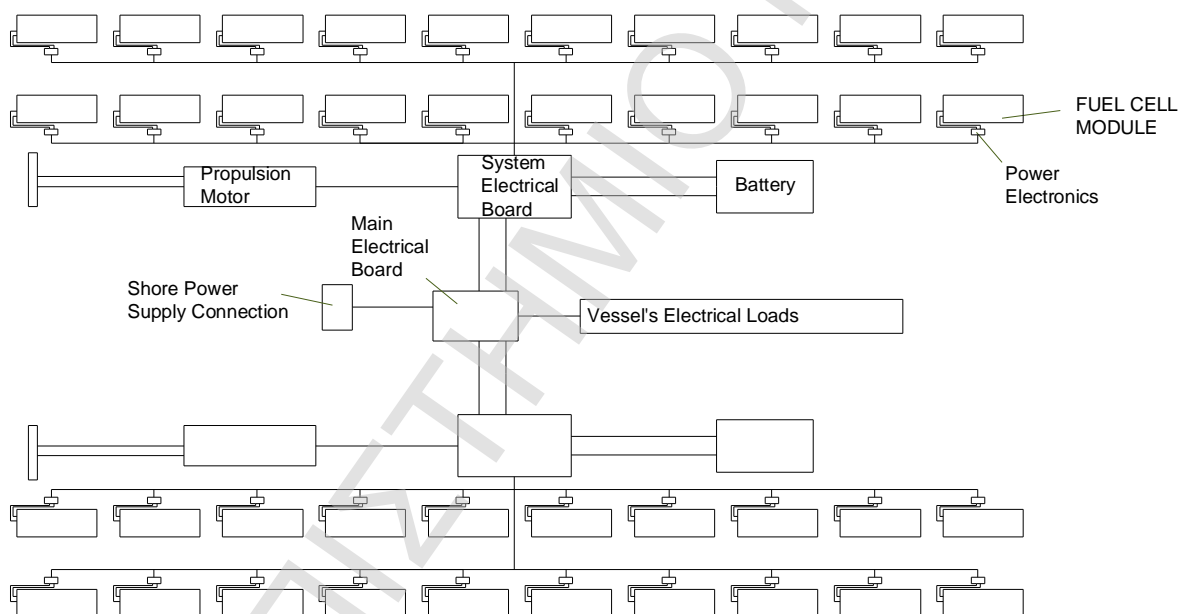
Ηλεκτρικός πίνακας συστήματος	Ισχύς
Μηχανή προώθησης	895 kW
Επαναφόρτιση μπαταρίας	15 kW
Κύριος ηλεκτρικός πίνακας	50 kW
Ολικό ποσό	960 kW

Τα διαφορετικά τμήματα του συστήματος, όπως οι μηχανές προώθησης, απαιτούν ποικίλες μορφές ηλεκτρικής ενέργειας με διαφορές στην τάση, το ρεύμα και ακόμη και τον τύπο του ηλεκτρικού ρεύματος, όπως άμεσο ή εναλλασσόμενο. Λόγω αυτού, ο ηλεκτρικός πίνακας απαιτείται να έχει τους κατάλληλους μετατροπείς, προκειμένου να είναι σε θέση να παρέχει ισχύ σε όλα τα τμήματα του συστήματος. Επιπλέον, ο ηλεκτρικός πίνακας πρέπει να συνδεθεί με το σύστημα ελέγχου του σκάφους, προκειμένου να ελεγχθεί η παροχή

ηλεκτρικού ρεύματος στη μηχανή προώθησης, για τον έλεγχο της ταχύτητας του σκάφους και για τους ελιγμούς του σκάφους. Μιας και τα modules είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, ο ηλεκτρικός πίνακας μπορεί να λάβει ισχύ από το σύστημα ακόμη και αν υπάρχει αποτυχία σε ένα ή περισσότερα modules. Με αυτή την ρύθμιση, σε περίπτωση αποτυχίας, το σύστημα θα έχει λιγότερη ισχύ διαθέσιμη, αλλά θα είναι συνεχίζει να βρίσκεται σε λειτουργία.

Ο κύριος ηλεκτρικός πίνακας του σκάφους είναι αρμόδιος για να λάβει την ηλεκτρική ισχύ που παρέχεται από τους ηλεκτρικούς πίνακες των συστημάτων, και να την διανείμει στους ηλεκτρικούς καταναλωτές του σκάφους, όπως είναι ο φωτισμός και όλος ο εξοπλισμός ναυσιπλοΐας. Όπως και οι ηλεκτρικοί πίνακες των συστημάτων, έτσι και ο κύριος πίνακας είναι εξοπλισμένος με τους κατάλληλους μετατροπείς ισχύος, προκειμένου να

μεταρρυθμιστεί η ηλεκτρική δύναμη που παρέχεται στα επιμέρους συστατικά. Για τη φόρτιση των μπαταριών, καθώς επίσης και για την κάλυψη των απαιτήσεων ηλεκτρικής δύναμης, όποτε αυτό απαιτείται, ο κύριος ηλεκτρικός πίνακας συνδέεται με μια ανοιχτή σύνδεση. Επιπλέον, ο κύριος ηλεκτρικός πίνακας έχει το χαρακτηριστικό γνώρισμα της μεταφοράς της δύναμης από το ένα σύστημα στο άλλο. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει στο σκάφος να πλεύσει και με τις δύο μηχανές προώθησης, ακόμη και στην περίπτωση που ένα από τα δύο συστήματα προώθησης αποτύχει. Σε αυτή την περίπτωση, και οι δύο μηχανές προώθησης μοιράζονται όλη τη δύναμη που παράγεται από το διαθέσιμο ηλεκτρικό σύστημα, ενώ το υπόλοιπο των απαιτήσεων καλύπτεται από τις μπαταρίες.



Σχήμα 8.3: Σχηματικό διάγραμμα του ηλεκτρικού συστήματος.

Όταν το σκάφος δεν ταξιδεύει, το ηλεκτρικό Fuel Cell σύστημα πρέπει να είναι κλειστό, προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση υδρογόνου. Για να καλυφθούν οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας του υπολοίπου εξοπλισμού του σκάφους όταν δεν λειτουργούν τα ηλεκτρικά συστήματα, εγκαθίστανται στο πλοίο δύο μπαταρίες. Όπως προαναφέρθηκε, κάθε μπαταρία βρίσκεται σε μια από τις δύο γάστρες του πλοίου και συνδέεται με τον ηλεκτρικό πίνακα του συστήματος. Και οι δύο μπαταρίες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα

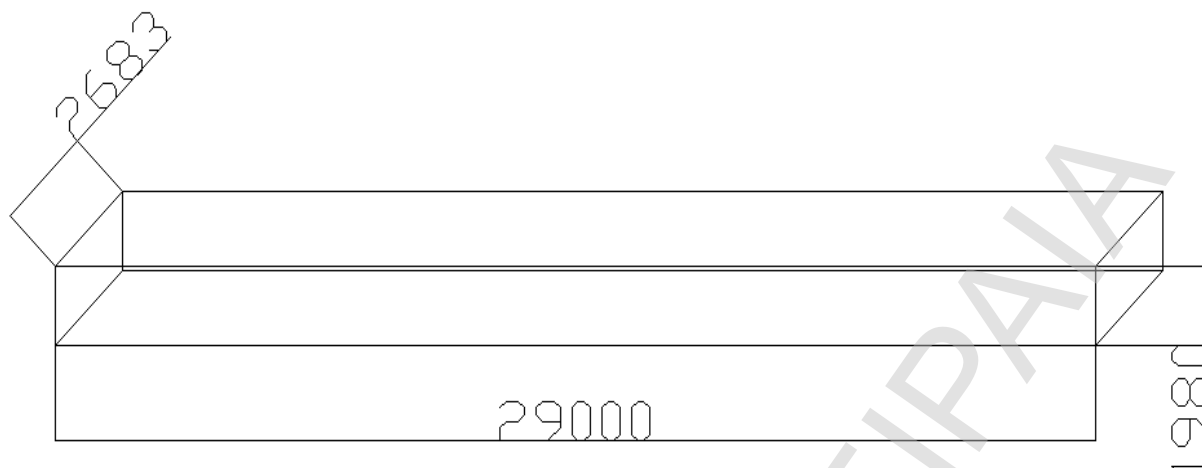
να καλύπτουν την ίδια απαίτηση ισχύος όπως ο κύριος ηλεκτρικός πίνακας για δύο ώρες. Οι μπαταρίες δεν θα χρησιμοποιηθούν για τις μηχανές προώθησης. Επίσης, θα έχουν τη δυνατότητα επαναφόρτισης είτε από την ανοιχτή σύνδεση, είτε από το ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους.

Όλα τα τμήματα τους συστήματος συνδέονται με μονωμένα καλώδια, που καλύπτονται από μεταλλικούς σωλήνες [43]. Ο λόγος που δύο καλώδια συνδέουν τον κύριο πίνακα και τον πίνακα συστήματος, είναι για να μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια από τον πίνακα συστήματος στον κύριο πίνακα, και αντίστροφα. [21] [28] [29] [32]

6.8 Σύστημα εξαερισμού

Οι χώροι των μηχανημάτων που βρίσκονται στις δύο γάστρες του καταμαράν, είναι απομονωμένοι από το φυσικό εξαερισμό. Σε αντίθεση με τις μηχανές diesel, η συγκεκριμένη διαρρύθμιση δεν απαιτεί καθόλου φρέσκο αέρα όταν βρίσκεται σε λειτουργία, δεδομένου ότι καλύπτει τις ανάγκες του από τον κολπίσκο παροχής αέρα που είναι εγκατεστημένος στο σύστημα. Εντούτοις, ο εξαερισμός είναι αναγκαίος, προκειμένου να είναι το δωμάτιο μηχανημάτων προσιτό από το πλήρωμα, και να αφαιρείται η θερμότητα που παράγεται από τα Fuel Cell modules και τον υπόλοιπο εξοπλισμό. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, για μεγάλους χώρους μηχανημάτων πρέπει να εγκαθίσταται εξαερισμός ανάλογου μεγέθους [43], και το συγκεκριμένο σκάφος ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό του αέρα που απαιτείται ώστε να παρέχεται ο κατάλληλος εξαερισμός, είναι η εμπειρική ογκομετρική μέθοδος. [43]

Η ογκομετρική μέθοδος απαιτεί το σύστημα εξαερισμού να τροφοδοτείται με ποσότητα αέρα ίση με το 30πλάσιο του όγκου του δωματίου ανά ώρα. Για να υπολογιστεί ο όγκος του δωματίου μηχανημάτων, υποθέτουμε ότι κάθε γάστρα έχει ορθογώνια μορφή.



Σχήμα 8.4: Ορθογώνιο μέγεθος της γάστρας (διαστάσεις σε mm)

§ Όγκος της γάστρας = 154.1 m^3 .

§ Όγκος του αέρα που απαιτείται για τον εξαερισμό της γάστρας = 30 φορές ο όγκος της γάστρας = 4623 m^3 .

Ο εξαερισμός του χώρου μηχανημάτων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ανεμιστήρων που θα εγκατασταθούν σε όλο το δωμάτιο. Συγκεκριμένα, τρεις ανεμιστήρες εξαερισμού θα εγκατασταθούν σε κάθε γάστρα προκειμένου να καλυφθεί η απαίτηση εξαερισμού του ηλεκτρικού συστήματος. Οι ανεμιστήρες εξαερισμού θα είναι οι εξής:

1. Ένας ανεμιστήρας εξαερισμού μέσα στο χώρο των δεξαμενών αποθήκευσης υδρογόνου
2. Ένας ανεμιστήρας εξαερισμού κοντά στα Fuel Cell modules.
3. Ένας ανεμιστήρας εξαερισμού που βρίσκεται μετά το τέλος του δωματίου μηχανημάτων.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις θέσεις των ανεμιστήρων, καθώς επίσης και τη διάμετρο του κάθε ένα από αυτούς, όπως αυτή υπολογίζεται από τα κατασκευαστικά στοιχεία. [32] Οι θέσεις των ανεμιστήρων εξαερισμού θα είναι:

Όγκος αέρα που παρέχεται από τον ανεμιστήρα (m ³ /h)	Διάμετρος ανεμιστήρα (mm)
1400	315
2000	400
1300	315

Όλοι οι ανεμιστήρες εξαερισμού θα τροφοδοτούνται από έναν κολπίσκο αέρα που τοποθετείται αμέσως μετά την κύρια γέφυρα. Εκτός από τον κολπίσκο αέρα, θα πρέπει να εγκατασταθούν και επιπλέον οπές, προκειμένου να εξαγεται ο αέρας από το δωμάτιο. Και οι κολπίσκοι και οι επιπλέον οπές αέρα, πρέπει να εξοπλιστούν με διατάξεις απόσβεσης πυρκαγιάς, οι οποίες θα ενεργοποιούνται από τους εξωτερικούς χώρους. [43] Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του Fuel Cell συστήματος, δεν υπάρχουν αέρια που απελευθερώνονται στο δωμάτιο μηχανημάτων. Εντούτοις, σε οποιαδήποτε περίπτωση διαρροής, τα μόνα αέρια, εκτός του αέρα, που θα απελευθερωθούν θα είναι είτε υδρογόνο είτε οξυγόνο, που είναι ελαφρύτερα από τον αέρα. Γι' αυτό τον λόγο, ο κολπίσκος εξαερισμού πρέπει να τοποθετηθεί στο χαμηλότερο σημείο του δωματίου μηχανημάτων, ενώ οι οπές αερισμού στο υψηλότερο. [43]

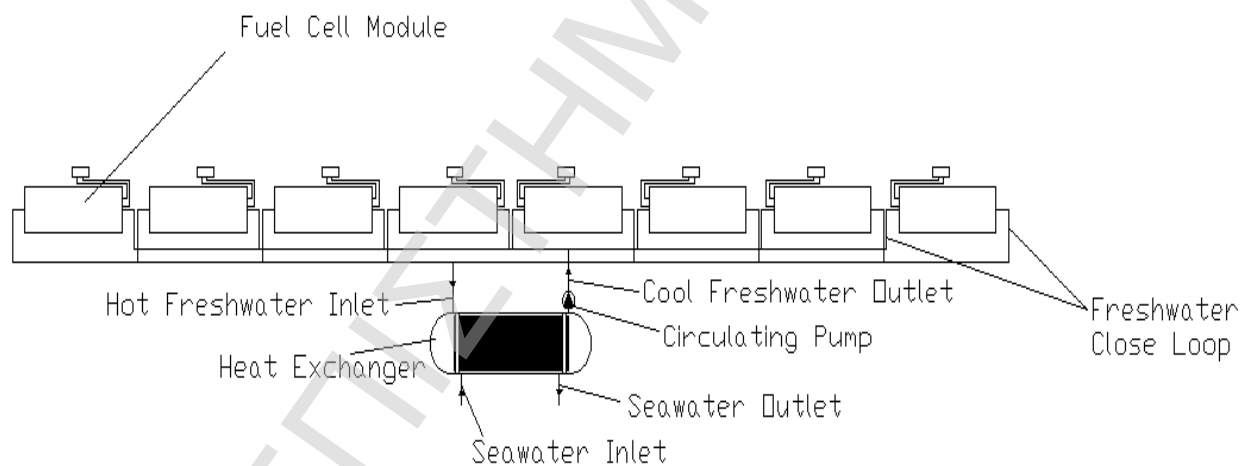
6.9 Σύστημα ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου του ηλεκτρικού Fuel Cell συστήματος που εγκαθίσταται σε ένα πλοίο είναι πολύ σημαντικό για τη λειτουργία του γενικού συστήματος και την ικανότητα διάπραξης ελιγμών του σκάφους. Στο συγκεκριμένο σκάφος κάθε ένα από τα 2 ηλεκτρικά συστήματα έχει τουλάχιστον δύο ανεξάρτητες ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου που βρίσκονται στη γέφυρα ναυσιπλοΐας. [43] Οι συσκευές ελέγχου έχουν τη δυνατότητα να κλείνουν το γενικό σύστημα σε περίπτωση αποτυχίας, ή να σταματούν μεμονωμένα οποιοδήποτε αποτυχημένο module. Μια άλλη δυνατότητα των συσκευών ελέγχου είναι η ευέλικτη διανομή της ηλεκτρικής ισχύος που είναι διαθέσιμη από τα modules και τις μπαταρίες. Ένα άλλο σύστημα ελέγχου βασίζεται στον κύριο ηλεκτρικό πίνακα του συστήματος, προκειμένου να ελεγχθεί η διανομή ισχύος. Η συσκευή ελέγχου είναι ανάγκη να συνδεθεί με ένα GPS, προκειμένου να υποδεικνύεται η ταχύτητα και η πορεία του σκάφους. Πληροφορίες όπως η παραγωγή ισχύος των μηχανών, η ενέργεια των

μπαταριών, η τάση και το ρεύμα του ηλεκτρικού συστήματος του σκάφους πρέπει για να παρασχεθούν από το σύστημα ελέγχου. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος του συστήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση ενός υπολογιστή. [22] [34]

Εκτός από το σύστημα ελέγχου, το σκάφος έχει ανάγκη και από ένα σύστημα συναγερμού. Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μεταδίδει ορατά και ευδιάκριτα σήματα σε περίπτωση μη κανονικής λειτουργίας [43]. Και το σύστημα συναγερμού, και το σύστημα ελέγχου πρέπει να συνδέονται με το σύστημα ανίχνευσης αερίου. Σε περίπτωση που οι ανιχνευτές εντοπίσουν συγκέντρωση αερίου έως και 5%, ενεργοποιείται ένας συναγερμός, ενώ σε περίπτωση η συγκέντρωση είναι περισσότερο από 10%, ενεργοποιείται ένας διακόπτης ασφάλειας με σκοπό να σβήσει το ηλεκτρικό σύστημα. (Παράγραφος 8, μέρος Γ, παράγραφος 2) [43].

6.10 Σύστημα ψύξης



Σχήμα 8.4: Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος ψύξης

Η ψύξη των modules μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ενός συστήματος εναλλαγής θερμότητας. Η ψύξη του συστήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός σωλήνα εναλλαγής θερμότητας σε κάθε Fuel Cell σύστημα. Το σύστημα αυτό θα συνδέεται με το module των οκτώ Fuel Cells, μέσω ενός κλειστού βρόχου φρέσκου νερού. Το φρέσκο νερό απορροφά τη θερμότητα από τα Fuel Cells, και την μεταφέρει στο σύστημα

εναλλαγής θερμότητας. Οι δύο άκρες του σωλήνα εναλλαγής θερμότητας θα συνδεθούν με έναν κολπίσκο και μια έξοδο αντίστοιχα, και έτσι η θερμότητα από τον κλειστό βρόχο θα απορροφάται από το νερό της θάλασσας μέσω της εξόδου. Μια μικρή κυκλική αντλία πρέπει να εγκατασταθεί στο σύστημα για να διευκολύνεται η κυκλοφορία του γλυκού νερού. Προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση, το υλικό του κλειστού βρόχου θα πρέπει να είναι ανοξείδωτο.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ FUEL CELL ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η εγκατάσταση των fuel cell συστημάτων και η χρήση των καυσίμων υδρογόνου, φέρνουν στην επιφάνεια διαφορετικά ζητήματα ασφάλειας από τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις diesel. Η Germanischer Lloyd Classification Society είχε συμπεριλάβει στους κανονισμούς της, ειδικό κεφάλαιο για την ασφάλεια των πλοίων με εγκατεστημένα fuel cell συστήματα (Παράγραφος VI, Μέρος 3, Κεφάλαιο 11). Σε αυτό το κεφάλαιο της μελέτης, γίνεται αναφορά σε αυτά τα τμήματα των κανονισμών.

Συστήματα Πυρόσβεσης

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της παραγράφου 6, πυροσβεστικές φωλιές θα πρέπει να εγκαθίστανται σε όλους τους χώρους μεταφοράς καυσίμων, και στο δωμάτιο εγκατάστασης των κυττάρων καυσίμου, ενώ οι εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού του συστήματος πρέπει να βρίσκονται έξω από το προστατευμένο δωμάτιο.

Για το σκάφος της μελέτης, το πυροσβεστικό σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει όλη την περιοχή, συμπεριλαμβάνοντας και τις δύο γάστρες, μιας και όλα τα ηλεκτρικά fuel cell συστήματα βρίσκονται εκεί. Οι εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού μπορούν να τοποθετηθούν στα ανοικτά μέρη της κύριας γέφυρας, όπου υπάρχει αρκετό διαθέσιμο διάστημα. Για ευκολότερη πρόσβαση στα συστήματα, μπορούν να κατασκευαστούν δύο καταπακτές στο μπροστινό και στο πίσω μέρος της γέφυρας. Έτσι, το πλήρωμα θα έχει εύκολη πρόσβαση σε όλη την περιοχή της γάστρας και δεν θα εγκλωβιστεί σε περίπτωση που ξεσπάσει πυρκαγιά.

Προστασία από πιθανή έκρηξη

Το συγκεκριμένο τμήμα των κανονισμών απαιτεί όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός του συστήματος να είναι κατασκευασμένος σύμφωνα με αναγνωρισμένα πρότυπα, όπως το IEC 600079, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε περίπτωση έκρηξης λόγω ενός ηλεκτρικού σπινθήρα. Ο κανονισμός GL για την προστασία από έκρηξη, ταξινομεί την περιοχή της fuel cell εγκατάστασης σε ζώνες, ανάλογα με την επικινδυνότητα που

παρουσιάζει κάθε περιοχή. Όλες οι περιοχές των εγκαταστάσεων ηλεκτρικών συστημάτων κυτάρων καυσίμου του σκάφους της μελέτης ανήκουν στην «Επικίνδυνη Περιοχή, Ζώνη 1». Οι απαιτήσεις για τις περιοχές που ανήκουν σε αυτή τη ζώνη αναφέρουν ότι όλος ο εξοπλισμός που εγκαθίστανται για το ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους πρέπει να είναι σύμφωνος με το IEC 60079-10, και κατάλληλος για θαλάσσιες εφαρμογές. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται από το σύστημα πρέπει να είναι θωρακισμένα ή προστατευμένα ή να περικλείονται από μεταλλικό σωλήνα.

Προστατευτικές Συσκευές και Προστατευτικά Συστήματα

Το σκάφος πρέπει να είναι εξοπλισμένο με προστατευτικές συσκευές, όπως αισθητήρες υδρογόνου, ανιχνευτές πυρκαγιάς και βαλβίδες που μπορούν να κλείνουν. Οι αισθητήρες υδρογόνου πρέπει να τοποθετηθούν κατά μήκος του σκάφους, προκειμένου να ανιχνευθεί οποιαδήποτε ύπαρξη αερίου υδρογόνου στο σκάφος. Σε περίπτωση που ανιχνευθεί ύπαρξη υδρογόνου από τους αισθητήρες, αυτό σημαίνει ότι έχει διαφύγει υδρογόνο από το σύστημα, γεγονός που μπορεί να βάλει το σκάφος σε κίνδυνο. Οι προστατευτικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται σε όλο το σύστημα σωληνώσεων και στην έξοδο της δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμων, προκειμένου να διακοπεί η παροχή καυσίμων σε περίπτωση αποτυχίας. Οι προστατευτικές βαλβίδες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να κλείνουν αυτόματα σε περίπτωση που ανιχνευτεί κάποια αποτυχία από το σύστημα ελέγχου. Σύμφωνα με τους κανονισμούς τα προστατευτικά συστήματα πρέπει να είναι απλά, ευέλικτα και φυσικά να ανταποκρίνονται άμεσα σε περίπτωση αποτυχίας. Επίσης, το σκάφος πρέπει να εξοπλιστεί με ένα σύστημα παρακολούθησης των υπολογιστικών βάσεων, με σκοπό να επιβλέπονται όλες οι προστατευτικές συσκευές του πλοίου. Το λογισμικό και το υλικό του συστήματος πρέπει εγκεκριμένα από την εταιρεία ταξινόμησης. Το προστατευτικό σύστημα πρέπει να εξοπλιστεί και με έναν συναγερμό, που θα υποδεικνύει την ύπαρξη ενός ελαττώματος.

Όπως μπορεί να συμπεράνει κανείς, οι απαιτήσεις ασφαλείας της εφαρμογής κυτάρων καυσίμου δεν είναι περιοριστικές και είναι αρκετά παρόμοιες με αυτές των εγκαταστάσεων diesel. Η μοναδική νέα απαίτηση είναι η υψηλής πίεσης αποθήκευση του υδρογόνου. Οποιαδήποτε διαρροή στη δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου ή στο σύστημα ανεφοδιασμού, μπορεί να οδηγήσει σε έκρηξη. Συνεπώς, το υδρογόνο πρέπει να ελέγχεται συνεχώς από το αρμόδιο σύστημα ελέγχου, το οποίο είναι σε θέση να

ενεργοποιεί τις προστατευτικές βαλβίδες αμέσως, σε περίπτωση που ανιχνευθεί καθαρό υδρογόνο οπουδήποτε στο σκάφος. Σε περιπτώσεις όπου η πίεση στις δεξαμενές αποθήκευσης φθάνει σε πιο υψηλά επίπεδα από την προβλεπόμενη πίεση, τότε η βαλβίδα των δεξαμενών πρέπει να ανοίξει αμέσως προκειμένου να αποφευχθεί η έκρηξη της δεξαμενής.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ FUEL CELL ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδίου του ηλεκτρικού fuel cell συστήματος του σκάφους της μελέτης, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση μεταξύ αυτού, και της εγκατάστασης μηχανών diesel, προκειμένου να προσδιοριστεί η διαφορά του συγκεκριμένου συστήματος και να αποδειχθεί ότι η συγκεκριμένη λύση για τον έλεγχο εκπομπής ρύπων είναι λογική.

8.1 Οικονομική σύγκριση

Σε αυτό το σημείο, παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ των διαφορών στο λειτουργικό κόστος των δύο ηλεκτρικών συστημάτων. Επειδή και στις δύο περιπτώσεις έχουμε το ίδιο σκάφος, οι αποκλίσεις των δαπανών καλύπτουν μόνο τα ζητήματα που έχουν να κάνουν με το ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους. Λόγω της δυσκολίας που παρουσίασε η συλλογή των σχετικών πληροφοριών, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές προσεγγίσεις.

8.1.1 Κόστος εγκατάστασης

Για να έχουμε μία πρώτη εκτίμηση σχετικά με το κόστος των δύο συστημάτων, χρησιμοποιούμε προσέγγιση της τιμής κόστος/μονάδα ισχύος.[37]

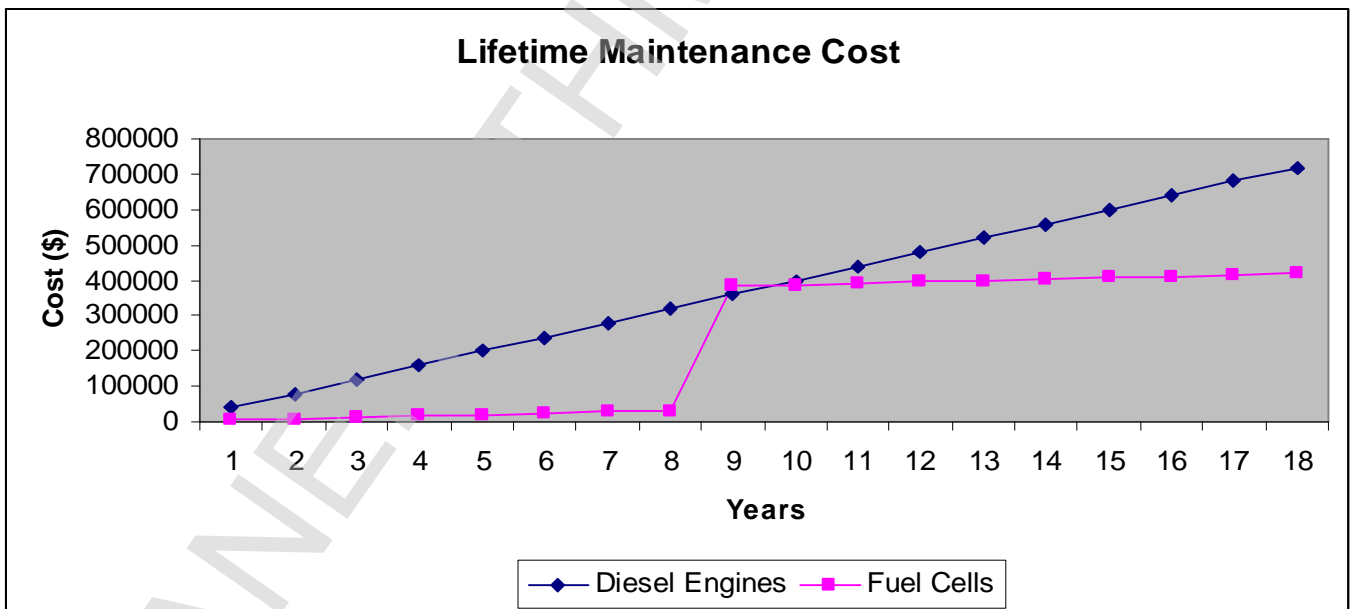
	Κόστος ανά μονάδα Ισχύος (\$/kW)	Ισχύς (kW)	Ολικό Κόστος (\$)
Fuel Cell Σύστημα	1500	2415	3622500
Σύστημα Μηχανών Diesel	200	2680	536000
			Διαφορά
			3086500

Όπως παρατηρούμε, το κόστος εγκαταστάσεων του ηλεκτρικού Fuel Cell συστήματος είναι \$3086500 υψηλότερο από το κόστος εγκαταστάσεων του ηλεκτρικού συστήματος μηχανών diesel.

8.1.2 Κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης μιας μηχανής diesel για ένα σκάφος όπως αυτό της περίπτωσης μας, είναι περίπου \$40000 ετησίως. Αυτό το ποσό περιλαμβάνει τις ώρες εργασίας και τα ανταλλακτικά που απαιτούνται. Η συντήρηση που απαιτείται για το ηλεκτρικό fuel cell σύστημα είναι πολύ λιγότερη, αφού η συντήρηση που απαιτείται από τα modules είναι αμελητέα κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Η διάρκεια ζωής μιας στοιβας από fuel cells είναι περίπου 40.000 ώρες λειτουργίας. Μόλις ξεπεραστεί αυτό το όριο πρέπει να αντικατασταθούν. Σύμφωνα με την καθημερινή λειτουργία του σκάφους της μελέτης, που ανέρχεται στις 12 ώρες, για να ξεπεραστεί αυτό το όριο χρειάζονται 9 έτη. Επίσης, το κόστος μιας στοιβας fuel cell είναι περίπου \$181 ανά KW. Έτσι το σκάφος συνολικά θα πρέπει να ξοδεύει \$ 437115 κάθε 9 έτη προκειμένου να αντικατασταθούν οι στοιβες. Προσεγγιστικά, το υπόλοιπο του εξοπλισμού του ηλεκτρικού συστήματος απαιτεί \$4000 για ετήσια συντήρηση. [38] [39]

Το ακόλουθο γράφημα παρουσιάζει το κόστος συντήρησης του σκάφους, και για τα δύο συστήματα, για 18 χρόνια. Θεωρούμε ότι έχει πραγματοποιηθεί μία αντικατάσταση στα fuel cells modules.



Όπως παρατηρούμε, για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το κόστος συντήρησης του fuel cell συστήματος είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με τις μηχανές diesel.

8.1.3 Κόστος καυσίμων

Fuel Cell Σύστημα		Σύστημα μηχανών Diesel	
Κατανάλωση ανά ώρα	181.6kg	Κατανάλωση ανά ώρα	536 kg
Κόστος (\$) (υδρογόνο)	\$2.65per kg	Κόστος (\$) (diesel)	\$300 per ton
Κόστος ανά ώρα	\$ 481.24	Κόστος ανά ώρα	\$ 160.8
Καθημερινό κόστος (\$) (12 ώρες λειτουργίας)	\$ 5774.88	Καθημερινό κόστος (\$) (12 ώρες λειτουργίας)	\$ 1929.6
Ετήσιο κόστος(\$)	\$ 2107831.2	Ετήσιο κόστος (\$)	\$ 704304

Η κατανάλωση καυσίμων της μηχανής υπολογίζεται να είναι 200 g/kW την ώρα. Έχοντας ισχύ 2680 KW και στις δύο μηχανές, η ολική κατανάλωση καυσίμων του ηλεκτρικού συστήματος diesel είναι ίση με 536 kg ανά ώρα. Από την ανάλυση κόστους καυσίμων της μελέτης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το κόστος καυσίμων του ηλεκτρικού συστήματος υδρογόνου είναι αρκετά υψηλότερο συγκριτικά με το ποσό που ξοδεύεται ετησίως για το πετρέλαιο diesel. [40] [41] [42]

8.2 Σύγκριση εκπομπών

Παρόλο που η λειτουργία του fuel cell συστήματος στο πλοίο δεν προκαλεί ρυπογόνες εκπομπές στο περιβάλλον, οι διαδικασίες παραγωγής του υδρογόνου εκπέμπουν μολυσματικά αέρια. Γι' αυτό το λόγο, στο συγκεκριμένο τμήμα της μελέτης συγκρίνουμε τις εκπομπές στο περιβάλλον, που δημιουργούνται από τη χρήση και των δύο ηλεκτρικών συστημάτων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παραγωγής υδρογόνου όπως:

- Διαδικασία ηλεκτρόλυσης
- Παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα
- Παραγωγή του υδρογόνου από υψηλής θερμοκρασίας διαχωρισμό χρησιμοποιώντας πυρηνική και ηλιακή θερμότητα
- Παραγωγή του υδρογόνου από τη βιομάζα

Σήμερα, οι πιο κοινές διαδικασίες είναι η παραγωγή υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα. Οι τέσσερις διαδικασίες παραγωγής υδρογόνου και οι αντίστοιχες αναλογίες εκπομπών είναι οι εξής:

Διαδικασία	CO ₂	CO	H ₂
Ανασχηματισμός ατμού	1 mol	1 mol	4 mol
Ανασχηματισμός CO ₂	0	2mol	2mol
Αυτοθερμικός Ανασχηματισμός	1mol	2 mol	4 mol
Καταλυτική μερική οξειδωση	1 mol	0	2 mol

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα, η χειρότερη περίπτωση από άποψη ρύπανσης για την παραγωγή υδρογόνου, είναι ο αυτοθερμικός ανασχηματισμός. [26] Η παραγωγή του υδρογόνου δεν εκπέμπει οποιαδήποτε άλλα αέρια, όπως SOX, NOX και υδρογονάνθρακες.

Εκτίμηση των εκπομπών CO και του CO₂ κατά την παραγωγή του υδρογόνου που απαιτείται από το σκάφος:

-Η κατανάλωση του ηλεκτρικού fuel cell συστήματος του σκάφους είναι 20.92 mol H₂ ανά ώρα.

-Η αναλογία παραγωγής μεταξύ H₂ και CO είναι 2:1 και η αναλογία μεταξύ H₂ και του CO₂ είναι 4:1.

Από τα ανωτέρω, μπορούμε να υπολογίσουμε ότι οι εκπομπές του CO και του CO₂ είναι 10.46 moles/hour και 5.23 moles/hour αντίστοιχα. Από τη μοριακή μάζα των δύο αερίων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι εκπομπές ρύπανσης από τον αυτοθερμικό ανασχηματισμό είναι:

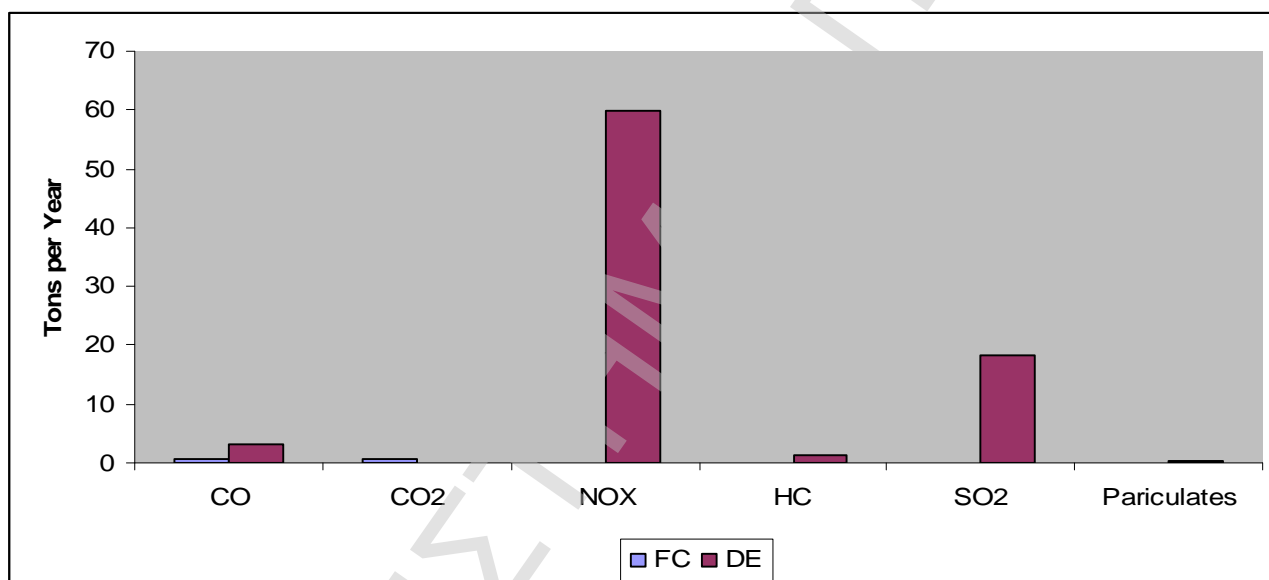
CO (molar mass= 14 g/mol) = 146.44 g/hour

CO₂ (molar mass= 22/mol) = 115.06 g/hour

Ο ακόλουθος πίνακας αντιπροσωπεύει τις εκπομπές που παράγουν τα δύο ηλεκτρικά συστήματα. [42]

Σύστημα Fuel Cell				Σύστημα Μηχανών Diesel			
Συστατικό	Εκπομπές ανά ώρα (g/hour)	Καθημερινές Εκπομπές (kg/day)	Ετήσιες Εκπομπές (tons/year)	Συστατικό	Εκπομπές ανά ώρα (g/hour)	Καθημερινές Εκπομπές (kg/day)	Ετήσιες Εκπομπές (tons/year)
CO	146.44	1.758	0.64	NOx	13660	163.92	59.83
CO ₂	115.06	1.381	0.51	CO	718	8.62	3.15
				HC	288	3.46	1.26
				SO ₂	4140	49.68	18.13
				Particulates	44.4	0.54	0.2

Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει μια σύγκριση μεταξύ των εκπομπών που παράγουν τα δύο συστήματα.



Όπως μπορούμε να δούμε, οι εκπομπές των αερίων ρύπανσης στο περιβάλλον από τη χρήση του fuel cell υδρογόνου, είναι σημαντικά λιγότερες από την εκπομπή των μηχανών diesel.

8.3 Περαιτέρω σύγκριση των δύο ηλεκτρικών συστημάτων

- Η αντοχή του σκάφους που χρησιμοποιεί τα fuel cells είναι σημαντικά λιγότερη από την αντοχή που έχει το σκάφος με τις μηχανές diesel.
- Το ηλεκτρικό fuel cell σύστημα απαιτεί πολύ όγκο διαθέσιμο σε σχέση το ηλεκτρικό σύστημα μηχανών diesel.

- Το επίπεδο θορύβου του ηλεκτρικού συστήματος του σκάφους μειώνεται σημαντικά με την εγκατάσταση των fuel cells.
- Η ικανότητα διάπραξης ελιγμών του σκάφους αυξάνεται με τη χρήση του ηλεκτρικού fuel cell συστήματος.
- Η διανομή βάρους του σκάφους με την εγκατάσταση των fuel cells μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η επίδραση της περιβαλλοντικής ρύπανσης συνολικά έχει οδηγήσει σε διάφορα φαινόμενα που βάζουν την ανθρωπότητα μπροστά από σε ένα μεγάλο κίνδυνο για τη συνέχεια της ζωής στον πλανήτη. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης είναι αποτέλεσμα της καύσης ορυκτού καυσίμου. Επομένως, η μόνη επιλογή για τη συντήρηση ζωής χωρίς ανεπιθύμητες συνέπειες, είναι η μείωση των διεθνών εκπομπών μολυσματικών ουσιών. Μια από τις μεθόδους μείωσης εκπομπών, είναι η χρήση των εναλλακτικών πηγών της ενέργειας, όπως είναι και η τεχνολογία των fuel cells.

Σήμερα, υπάρχουν μερικά θαλάσσια οχήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των fuel cells για να καλύψουν ένα μέρος των απαιτήσεων τους σε ισχύ. Τα θαλάσσια οχήματα που ενσωματώνουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι είτε στρατιωτικά σκάφη, είτε μικρά σκάφη. Εντούτοις, μέχρι αυτή την στιγμή δεν έχει υπάρξει εμπορική εφαρμογή ενός πλήρως τροφοδοτημένου από fuel cells σκάφους. Η συγκεκριμένη μελέτη καλύπτει ένα πλήρες σχέδιο εγκατάστασης ενός ηλεκτρικού fuel cell συστήματος σε ένα εμπορικό σκάφος. Αν και το συγκεκριμένο σκάφος είναι ένα ήδη υπάρχον σκάφος που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό σύστημα diesel, το σχέδιο δεν λαμβάνει υπόψη την μέθοδο πρόωσης. Αντ' αυτού, περιλαμβάνει το σχέδιο ενός ηλεκτρικού συστήματος που θα δώσει στο σκάφος τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά από άποψη ικανότητας πλεύσης και ταχύτητας.

Το σχέδιο εγκατάστασης του fuel cell συστήματος, αποδεικνύει ότι ο στόχος της μελέτης μπορεί να επιτευχθεί, προκειμένου να υπάρξει ένα σκάφος που θα είναι σε θέση να καλύψει τη συγκεκριμένη θαλάσσια διαδρομή που έχει επιλεχτεί για τη λειτουργία του σκάφους. Εντούτοις, η λειτουργική εμβέλεια του σκάφους ελαττώνεται από τη χρήση του fuel cell συστήματος, σε σύγκριση με το σύστημα μηχανών diesel. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας του υδρογόνου που περιορίζει την αποθήκευση αρκετής ποσότητας καυσίμων, προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια λειτουργική εμβέλεια με το σύστημα diesel. Για να υπερνικηθούν αυτά τα προβλήματα, έγινε η εξής πρόταση: το σκάφος να απαιτεί συχνότερα ανεφοδιασμό σε καύσιμα, κάτι που πραγματοποιείται από τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδρογόνου που βρίσκονται στο λιμάνι.

Όσον αφορά το κόστος της συγκεκριμένης εγκατάστασης, υπολογίζεται ότι η επένδυση

που απαιτείται είναι εξαιρετικά υψηλή σε σύγκριση με το ηλεκτρικό σύστημα μηχανών diesel. Η τεράστια διαφορά στη δαπάνη μεταξύ των δύο ηλεκτρικών συστημάτων, είναι βασισμένη στο κόστος εγκατάστασης των fuel cells, καθώς επίσης και στο ποσό που απαιτείται για τα καύσιμα υδρογόνου. Όμως, ανεξάρτητα από αυτό το μειονέκτημα, οι μολυσματικές εκπομπές αερίων από τη χρήση της τεχνολογίας fuel cells είναι σημαντικά λιγότερες. Επομένως, η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση στη λύση για τη μείωση των εκπομπών. Εν τούτοις, σίγουρα πρέπει να βρεθούν μέθοδοι που μειώνουν το κόστος, και σίγουρα, κρατικές επιχορηγήσεις που θα καταστήσουν εφαρμόσιμη την τεχνολογία των fuel cells.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] www.wikipedia.com

Online Encyclopaedia, Subjects: Global Warming. Common rail technology

[2] www.usgs.gov

United States Geological Survey (USGS), Subject: What is Acid Rain.

[3] www.dieselnet.com

Subject: Emission Standard, International Marine Engine Regulations

[4] <http://www.princeton.edu/>

Subject: why fuel cells , history of fuel cells, application of Fuel Cells

[5] www.rmi.org

Rocky Mountain Institute (RMI), Subject How Do Fuel Cells Work

[6] www.mtpc.org

Massachusetts Technology Collaborative, Subject: Fuel Cell System Components

[7] www1.eere.energy.gov

U.S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy

Subjects: Fuel Cell System Components, Types of Fuel Cells

[8] auto.howstuffworks.com

Subject: Fuel Processor

[9] www.fuelcelltoday.com

Fuel Cell Today Global Internet Portal,

Subject: Advantages & Disadvantages of Fuel Cells, Applications of Fuel Cells

[10] Marine Application for Fuel Cell Technology

Authors: John H. Gibbons

Published by U.S. Government Printing Office, Washington 1986

Subject: Advantages & Disadvantages of Fuel Cells, Current is an Amount

[11] www.fuelcells.org

Online Fuel Cell Information Resource, Subject: Types of Fuel Cells , Applications of Fuel Cells

[12] <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/>

Smithsonian Institution of National Museum of American History, Subject: History of Fuel Cells

[13] www.naval-technology.com

Website for navy defence industries Subject: U212/U214 Attack Submarine, Germany

[14] www.tk-marinesystems.de

Μεταπτυχιακή Δ. Εργασία: Η Χρήση Των Fuel Cell στα Εμπορικά Πλοία

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην Ναυτιλία

ThyssenKrupp Marine Systems, Subject: U212 Submarine

[15] www.marinelog.com

American Marine Engineering Publications, Subject: Fuel Cell powered Water Taxis

[16] <http://powerandmotoryacht.com>

Power and Motoryacht Online Magazine, Subject: Fuel Cell powered Water Taxis

[17] www.fuelcellmarkets.com

Subject: MTU Unveils First Yacht with Certified Fuel Cell Propulsion System.

[18] www.pc-control.net

PC-control Automation Technology Magazine, Subject: Electric boat features hydrogen fuel cell

[19] Significant Small Ships of 2004” publication of R.I.N.A
Example Vessel: “WHALING CITY EXPRESS”

[20] www.siemens.com

Fuel Cell system manufactures. Subject: SINAVY^{CIS} PEM Fuel Cell BZM34/BMZ120 PDF

[21] Prospects for Hydrogen and Fuel Cells, Energy Technology Analysis, International Energy Agency, France, 2005 Subject: Hydrogen Storage.

[22] Hydrogen Based System for Emergency Power Supply. Centre of Renewable energy Sources & Hydrogen Technology Department, Athens, Greece. Dr E Varkaraki, Dr N, Lymberopoulos
Dr E. Zoulias. Subject: Fuel Cell System Design.

[23] 2.5 MW PEM Fuel Cell System for Navy Ship Service Power, R.M.Privette, T.A Flynn, M.A.Perna- McDermont Technology, Inc, R. Holland , S.Rahmani, C.Woodburn – Ballard Power Systems, S.W.Scoles, R.C.Watson- BWX Technology Inc. Subject: Fuel Cell System Design.

[24] Design All Electric Ships, Ninth International Marine Design Conference, May 2006
Capt. Norbert H. Doerry, Howard Fireman Subject: Design of the Vessel's Electrical Propulsion System.

[25] www.hydrogen.energy.gov Quantum Technologies,
Low Cost, High Efficiency, High Pressure Hydrogen Storage. May 2004 Subject Hydrogen Storage

[26] Development of a Hybrid Fuel Cell Ferry, Summary Report, Water Transit Authority
John J.McMullen Associates Inc, 2003 Subject: Fuel Cell Cooling System.

[27] www.eltafans.com Ventilation Fan Manufacturer

Subject: Diameter of ventilation fans.

[28] <http://www.controrg.hu/Beckhoff/> Becckhoff Control Systems

Subject: Control System

[29] www.westcoastdiesel.org Diesel Emissions Migration Opportunities

Subject: The use of LNG and CNG as fuel

[30] Biofuels for transport, An international Perspective- International Energy Agency, 2004

Subject: The use of Bio-Diesel as fuel

[31] Cost Analysis of Fuel Cell Systems for Transportation -Compressed Hydrogen and PEM Fuel Cell System, Discussion Fuel Cell Tech Team Freedom Car Detroit. October 2004

Subject Fuel Cell Stack Cost

[32] Marine Fuel Cells- Marine Vessel and Air Quality Conference

Donald Hoffman, Naval Sea Systems Command, Philadelphia February 2001

Subject: Fuel Cell Stack Lifetime.

[33] <http://fuelcellsworks.com/JustthebasicsonHydrogen.html>

Subject: Hydrogen Fuel Cost

[34] www.oceanconnect.com Oceanconnect Global Brokerage Services

Subject: Diesel Fuel Cost

[35] www.detroitdiesel.com Engine Manufacturer

Subject: Main Engine's information

[36] Germanischer Lloyd, Rules for Classification and Construction, Section VI, Part 3, Chapter 11 "Guidelines for the Use of Fuel Cell Systems on Board of Ships and Boats". 2003 Edition