

Φίλης Ευάγγελος

**Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση Σχεδίου Βελτιστοποιημένης Λειτουργίας Συστήματος
Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίου**

Φίλης Χ. Ευάγγελος

Επιβλέπων: Ιωάννης Μιχ. Προσαλίδης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2013

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	2
Πρόλογος	4
Prologue	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή	8
1.2 IMO (International Maritime Organization)-Ο ρόλος του στη κλιματική αλλαγή- Κανονισμοί-Δείκτες ενεργειακής απόδοσης EEDI, EEOI-Σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής αποδοτικότητας πλοίου (SEEMP).....	12
1.2.1 Κανονισμοί IMO	12
1.2.2 Περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών ρύπων-ECA's (Emission Control Areas).....	14
1.2.3 Κανονισμοί εκπομπών NO _x	15
1.2.4 Περιεκτικότητα ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο	16
1.2.5 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG)	17
1.2.6 Ορισμός του δείκτη EEDI-Περιληπτική ανάλυση του δείκτη-Σύνοδοι MEPC	19
1.2.7 Δείκτης λειτουργίας ενεργειακής απόδοσης (EEOI)	20
1.2.8 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)	20
1.2.9 Σύνοψη Μέτρων για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (GHG)	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Εισαγωγή	34
2.2 Χαρακτηριστικά συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων	35
2.3 Αποτελούμενα μέρη	36
2.4 Απαιτήσεις και κανονισμοί.....	40
2.4.1 Γενικά.....	40
2.4.2 Συχνότητα και τάση δικτύου	41
2.4.3 Ηλεκτρικός εξοπλισμός	43
2.5 Βελτιστοποίηση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου	46
2.5.1 Γενικά	46
2.5.2 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος (EPG).....	46
2.5.3 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος (EPD).....	53
2.5.4 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος (EPC).....	54

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

2.5.5 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος (EPMACS) 56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Εισαγωγή 58

3.2 Αλγόριθμος υπολογισμού ΕΕΟΙ (EEOI calculator) 58

3.2.1 ΕΕΟΙ βασισμένος σε καταστάσεις TRIP/ANCHORAGE/LOADING 58

3.2.2 ΕΕΟΙ βασισμένος μόνο στην κατάσταση ταξιδιού (TRIP) 62

3.3 Study Case τριών φορτηγών πλοίων (Bulk Carriers) 64

3.3.1 Study Case 1 (Supramax)-58114 DWT 64

3.3.2 Study Case 2 (Handysize)-33918 DWT 66

3.3.3 Study Case 3 (Panamax)-74333 DWT 67

3.4 Συσχετισμός του δείκτη ΕΕΟΙ με την εκπόνηση σχεδίου SEEMP (για το σύστημα
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου) 69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Συμπεράσματα 74

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα 76

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 77

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 79

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 82

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 στον τομέα Ναυτικής Μηχανολογίας της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Αντικείμενό της είναι η πλήρης διερεύνηση ενός **σχεδίου** βελτιστοποιημένης λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου, το οποίο θα λαμβάνει πληροφορίες ανατροφοδότησης από το αποτέλεσμα του Λειτουργικού Δείκτη Βελτιστοποιημένης Λειτουργίας του Πλοίου-Energy Efficiency Operational Indicator- (EEOI).

Αρχικά γίνεται εκτενής αναφορά στην σημασία της ναυτιλίας στην παγκόσμια οικονομία και στις διεθνείς μεταφορές, καθώς και στο συνεχή αυξανόμενο αριθμό του παγκόσμιου στόλου. Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των παραγόμενων αέριων ρύπων των πλοίων και οι βλαβερές συνέπειές τους στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων. Ως θεσμοθετημένες δράσεις περιορισμού των συνεπειών αναφέρονται, το σύμφωνο του Κιότο και η διεθνής σύμβαση για τη πρόληψη της ρύπανσης στη θάλασσα, γνωστή και ως MARPOL, που έχει προκύψει από τις συνεδριάσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού-International Maritime Organization (IMO). Εκεί προσδιορίζονται με κάθε λεπτομέρεια οι δεσμεύσεις για πλεύση σε περιοχές ελεγχόμενων ρύπων-Emission Control Areas (ECA) καθώς επίσης τα επιτρεπτά όρια αέριων ρύπων SO_x και NO_x σε αυτές τις περιοχές μαζί με τις περιεκτικότητες των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο. Ακολουθεί η παρουσίαση και άλλων νεότερων κανονισμών για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO₂, που αναφέρονται στην υποχρεωτική εφαρμογή δεικτών και σχεδίων ενεργειακής αποδοτικότητας όπως οι EEDI, EEOI(δεν είναι υποχρεωτικός) και SEEMP. Επιπρόσθετα κατατίθενται και οι αναλυτικοί τρόποι υπολογισμού των δεικτών καθώς και προτάσεις εφαρμογής του πλάνου SEEMP, όπως αυτό προτείνεται από τον IMO, LR και DNV.

Στο δεύτερο κεφάλαιο καταδεικνύεται η σημαντικότητα των ηλεκτρικών συστημάτων του πλοίου και η ραγδαία αύξηση της ανάγκης για ρεύμα (λόγω ηλεκτροπρώωσης και γενικότερου εξηλεκτρισμού των πλοίων). Εκτενής ανάλυση γίνεται και στα αποτελούμενα μέρη ενός ηλεκτρολογικού συστήματος πλοίου καθώς και στους κανονισμούς (standards κατά GL) που διέπουν τη λειτουργία τους. Σημαντικό κομμάτι της εργασίας είναι και αυτό που αναφέρεται στη βελτιστοποίηση των ηλεκτρολογικών υποσυστημάτων του πλοίου, δηλαδή στα υποσυστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPG), Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPD), Καταναλωτών Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPC) και Διαχείρισης και Ελέγχου Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPMACS) και πως αυτά είναι εφαρμόσιμα κατά τα στάδια της σχεδίασης και λειτουργίας του ηλεκτρολογικού συστήματος του πλοίου.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Μείζονος σημασίας στη βελτιστοποίηση του Σ.Η.Ε. είναι η γνώση του λειτουργικού δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας όχι μόνο κατά τη διάρκεια ταξιδιού, όπως μέχρι τώρα υπολογίζεται, αλλά και κατά τη διάρκεια άλλων καταστάσεων, όπως αγκυροβόλιου και φόρτωσης/εκφόρτωσης. Αυτό, για να δημιουργείται μια σφαιρικότερη εκτίμηση του δείκτη και της αποδοτικότητας του καταναλισκόμενου καυσίμου. Έτσι κατασκευάστηκε αλγόριθμος υπολογισμού του $EEOI_{(trip)}$ και για τη μεικτή κατάσταση του $EEOI_{(trip/anchorage/loading)}$. Το πρόγραμμα υπολογισμού που προέκυψε δοκιμάστηκε για τρία φορτηγά πλοία (PANAMAX, SUPRAMAX, HANDYSIZE) για έξι συνολικά ταξίδια που έχουν εκτελέσει και με δεδομένα που εξασφαλίστηκαν από τις ημερήσιες αναφορές (daily reports) των πληρωμάτων των πλοίων προς την ιδιοκτήτρια εταιρία. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με τα συμπεράσματα του αναλυτικού παραδείγματος βελτιστοποιημένης λειτουργίας των υποσυστημάτων παραγωγής και ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου Ro-Ro, είναι σημαντικά στην κατάστρωση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου ενεργειακής αποδοτικότητας (SEEMP).

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση της έρευνας που έγινε και εκτίθενται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν. Επιπλέον, παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα χρησιμοποιώντας πιθανόν κάποια από τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Για διευκρινιστικές πληροφορίες γύρω από τις χρησιμοποιούμενες συντομογραφίες, παρατίθεται πίνακας συντομογραφιών του παραρτήματος στη σελίδα: 80 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

PROLOGUE

This thesis was carried during the academic year 2012-2013 in School of Naval Architecture and Marine Engineering in division of Marine Engineering in National Technical University of Athens. The aim of this thesis is the apposition of a fully explored plan in optimized operation of the electrical system of the ship. This plan will be developed in relation to the results of the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI).

Initially a comprehensive reference is made to the importance of shipping in the global economy and international transport, and the continuous growing number of the world fleet. This was followed by the presentation of the derived air pollutants of the ships and their harmful effects on the environment and human health. As measures to reduce the consequences, were reported, the Kyoto Agreement and the International Convention for the Prevention of the Pollution at Sea, known as MARPOL, which has emerged from the meeting of the IMO. There are identified the commitments for navigation in ECA areas, as well as the permissible limits of the air pollutants SO_x and NO_x in these areas along with the levels of fuel sulfur. The following presentation also includes more newer regulations for the air pollutants, which are responsible for the Green House Effect (GHE) and mainly the CO₂ pollutant. Also the mandatory application of indicators and energy efficiency projects such as EEDI, EEOI (not mandatory) and SEEMP. Moreover, filed analytical methods for the calculation of the indicators and contains suggestions for implementation SEEMP as proposed by IMO, LR and DNV.

The second chapter shows the importance of electrical systems of the ship and the rapid increase of electric power (due to electric propulsion system and general electrification of vessels). Furthermore, extensive analysis is composed in the ship's electrical system and the regulations (standards by GL) governing their operation. An important part of this thesis analyses the methods of ship electrical subsystems optimization, such as EPG, EPD, EPC, EPMACS and how they are applicable during the process of design and operation of the electrical system of a ship.

Major meaning in the optimization process of the SES, has the knowledge of Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), not even during the trip of the ship but also in anchorage and loading/discharging condition. That was happened due to have a precise estimation of EEOI. So constructed a subroutine for calculating the **EEOI_(trip)** and another one for the calculation of the **EEOI_(trip/anchorage/loading)**. The algorithm was executed for three bulk carriers (PANAMAX, SUPRAMAX, HANDYSIZE) and for six different voyages, which has been acquired trip

**Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου**

information from the shipping company daily reports. These results combined with the analytic example, which mention the optimisation conclusions of electric power generation and control subsystems of a Ro-Ro ship, are crucial for the SEEMP design.

Finally, in chapter number four there is an overview of the research have been done and some important conclusions are exposed. Also there are proposals for further research based on this thesis.

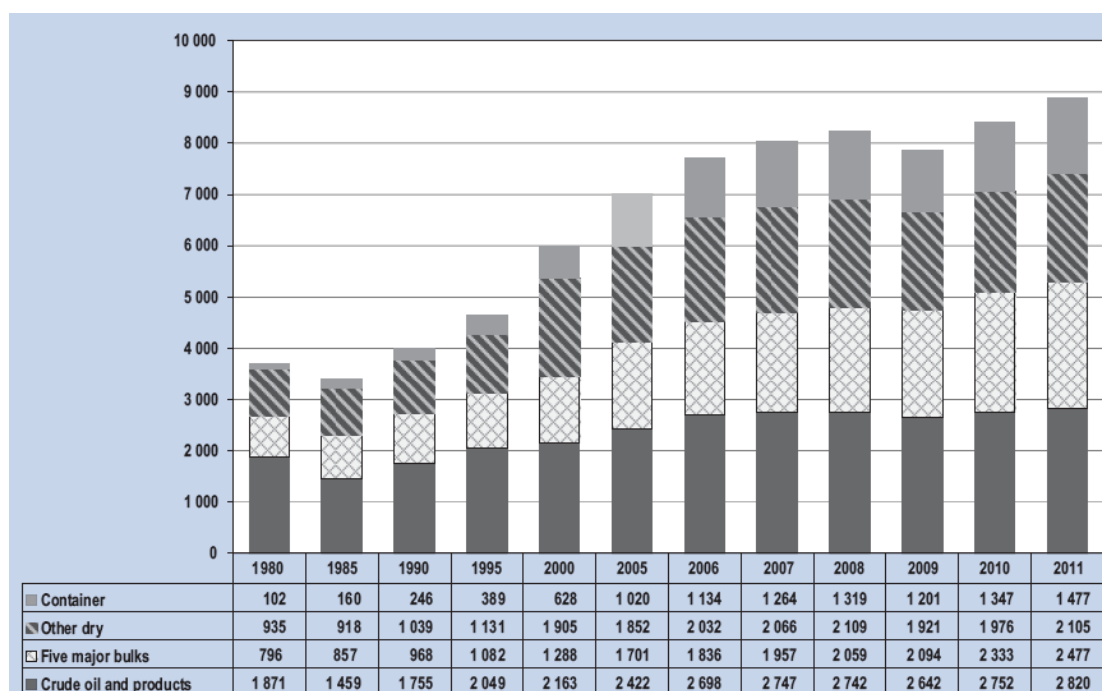
For clarifying information about the used syntomographies, table of abbreviations is stated on page: 80 of this thesis.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η ναυτιλία είναι το σημαντικότερο μέσο μεταφορών εμπορευμάτων μεγάλων αποστάσεων και συχνά αποτελεί και τη μόνη εφικτή μέθοδο. Επιπλέον οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν τον πιο οικονομικό τρόπο μεταφοράς εμπορευμάτων από οποιοδήποτε άλλο μέσο και συνεπώς άνω του 90% των παγκόσμιων μεταφορών εμπορευμάτων, γίνεται δια θαλάσσης.



Σχήμα: 1.1 Μεταφερόμενοι τόνοι εμπορευμάτων ανά έτος (σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος)

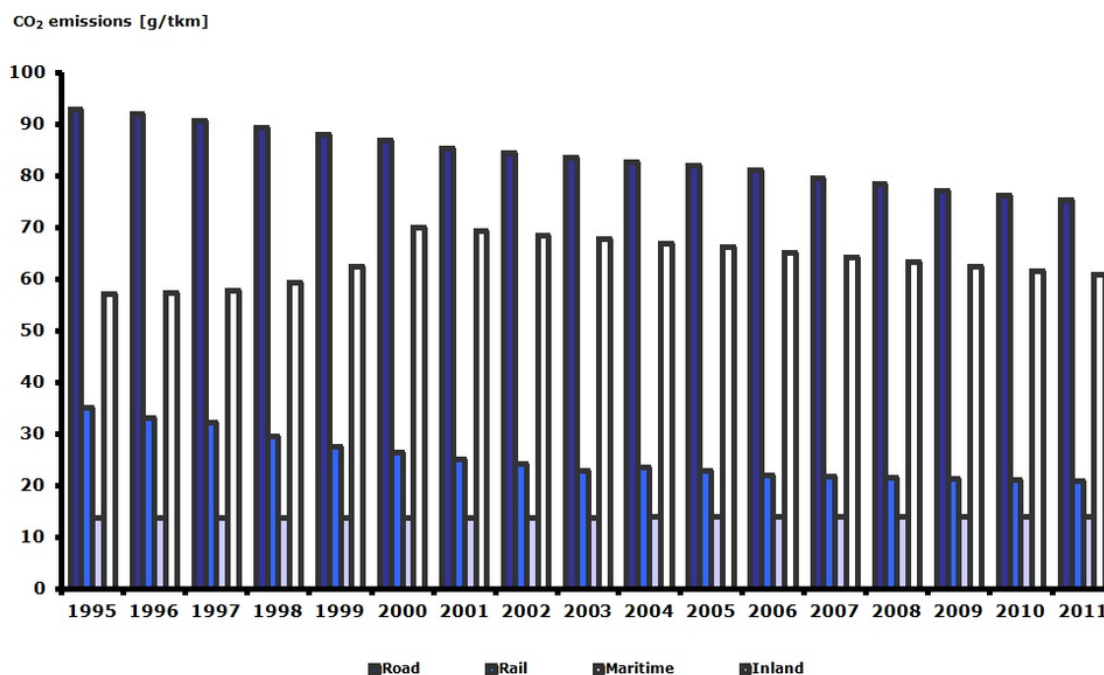
Πηγή: UNCTAD – Review of Maritime Transport 2011

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή-Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC¹), τα πλοία αποτελούν το μέσο με τις μικρότερες εκπομπές CO₂² ανά μονάδα μεταφερόμενου προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι οι θαλάσσιες μεταφορές έχουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τους υπόλοιπους τρόπους μεταφοράς, όπως αερομεταφορές ή χερσαίες μεταφορές. Σήμερα η ναυτιλία ευθύνεται για το 2,7%-5% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Συνεπώς, η συνολική συνεισφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μικρή σε σχέση με το μεταφορικό έργο που εκτελεί.

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change-Συντομογραφίες σελ:80

² Carbon Dioxide-Συντομογραφίες σελ:80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 1.2 Συνεισφορά μεταφορών στην ατμοσφαιρική ρύπανση αναλογικά με το μεταφορικό τους έργο (g/tkm).

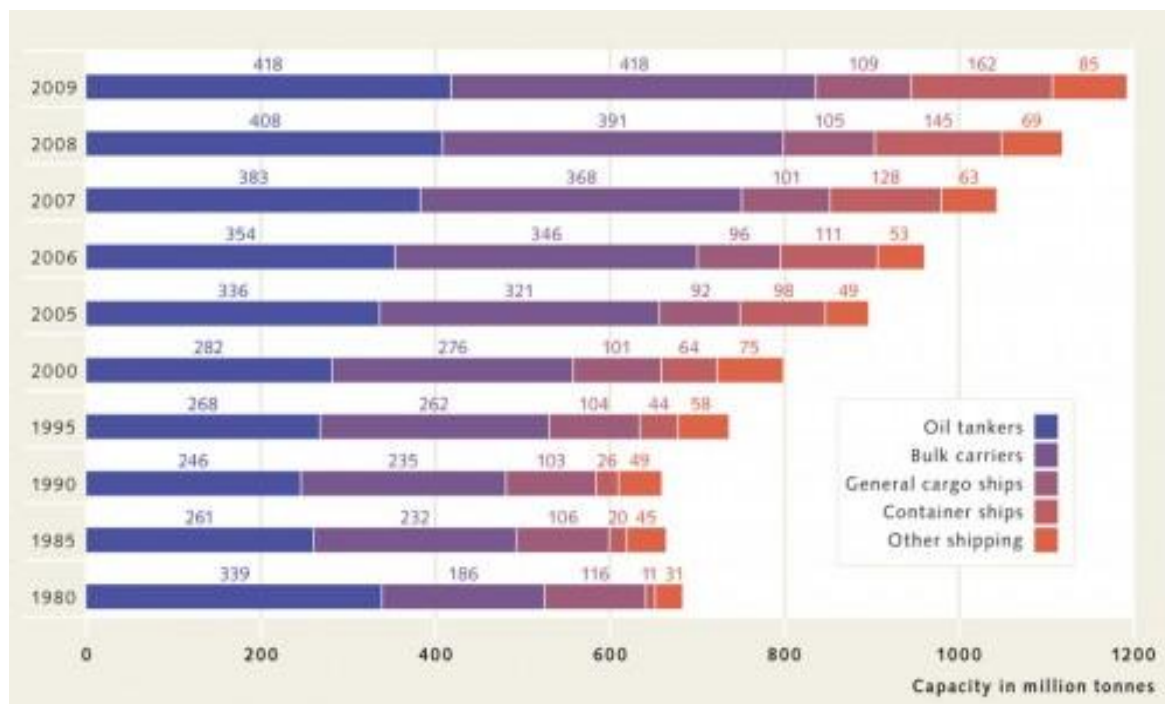
Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-specific-co2-emissions/energy-efficiency-and-specific-co2-5>

Βέβαια η κλιματική αλλαγή που επηρεάζει τον πλανήτη και οι καταστροφικές συνέπειες αυτής, οι δυσοίωνες επιστημονικές προβλέψεις για τις μελλοντικές εκπομπές των πλοίων, και οι βλαβερές επιπτώσεις που έχουν οι αέριοι ρύποι στην ανθρώπινη υγεία, οδήγησαν στην αναγκαιότητα θέσπισης διεθνών κανονισμών για τον περιορισμό των αέριων ρύπων (CO_2 , NO_x^3 , SO_x^4), που εκλύονται από τα πλοία. Η επιτακτικότητα θέσπισης και εφαρμογής αυτών των κανονισμών οφείλεται στην όλο και μεγαλύτερη ζήτηση μεταφοράς εμπορευμάτων δια θαλάσσης, λόγω του μικρότερου σχετικά κόστους σε σχέση με άλλα είδη μεταφορών. Μελλοντικά λοιπόν, η ναυτιλία οδηγείται σε αύξηση του στόλου και κατ' επέκταση σε δραματική αύξηση της απόλυτης συνεισφοράς της σε αέριους ρύπους.

³ Nitric Oxide-Συντομογραφίες σελ:80

⁴ Sulphur Oxide-Συντομογραφίες σελ:80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 1.3 Αύξηση του παγκόσμιου στόλου σύμφωνα με τον τύπο πλοίου.

Πηγή: <http://worldoceanreview.com/en/transport/global-shipping/>

Οι βασικότερες αέριες εκπομπές ρύπων, που παράγονται από τα πλοία είναι:

- Το οξείδιο του θείου (SO_x), που παράγεται κατά την καύση από το περιεχόμενο στα ναυτιλιακά καύσιμα θείο σε ποσοστό 3%-4%, με μια συνολική συνεισφορά οξειδίων του θείου 7,5-11,5 εκατομμυρίων τόνων ανά έτος.
- Το οξείδιο του αζώτου (NO_x) σε ποσοστό 11-12% της παγκόσμιας παραγωγής από καύση ορυκτών καυσίμων και σε ποσότητα περίπου στα 9,3 εκατομμύρια τόνους ετησίως.
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που είναι και μια από τις σημαντικότερες αιτίες του φαινομένου του θερμοκηπίου (GHE⁵). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και άλλες εκπομπές από τα πλοία λιγότερο σημαντικές, όπως κάποιες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC⁶), όπως αιθάλη ιπτάμενα σωματίδια και CO⁷ ως προϊόν ατελούς καύσης.

Συνοπτικά οι παρενέργειες που προκαλούν οι αέριοι ρύποι των πλοίων, κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Περιβαλλοντικές
- Οικονομικές
- Υγείας

⁵ Green House Emissions-Συντομογραφίες σελ:80

⁶ Volatile Organic Compound-Συντομογραφίες σελ:80

⁷ Carbon Monoxide-Συντομογραφίες σελ:80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται άμεσα με τις θαλάσσιες μεταφορές και επηρεάζουν σημαντικά το θαλάσσιο περιβάλλον, είναι η κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα η υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι θάλασσες σχετίζονται άμεσα με την διαμόρφωση του κλίματος και των μετεωρολογικών φαινομένων. Υπάρχει αμφίδρομη σχέση της ρύθμισης του κλίματος από την θάλασσα είτε μέσω μεταφοράς θερμότητας (π.χ. ρεύματα), είτε μέσω της απορρόφησης CO_2 . Η αύξηση της στάθμης των θαλασσών, σύμφωνα με την διακυβερνητική ομάδα για τις κλιματικές μεταβολές (IPPC), θα ανέβει σημαντικά στον αιώνα που διανύουμε και θα απειλήσει την ανάπτυξη ακτών και λιμένων. Σύμφωνα με την Πράσινη Βίβλο της Ε.Ε. η όξυνση των θαλασσών λόγω του διοξειδίου του άνθρακα είναι αναπόφευκτη και θα οδηγήσει σε παρακμή τις θαλάσσιες και παραθαλάσσιες περιοχές, θα επιφέρει μεγάλες αλλαγές στην τροφική αλυσίδα και θα μειώσει την ικανότητα των θαλασσών να απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα. Με τα περιορισμένα στοιχεία που υπάρχουν, είναι εμφανής η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη στάθμη της θάλασσας, αφού μέχρι το τέλος του αιώνα 2000-2100 εκτιμάται ότι η στάθμη της Μεσογείου θα έχει αυξηθεί κατά 0,35 cm, ενώ η θερμοκρασία της Μεσογείου κατά τα τελευταία 30 έτη, έχει αυξηθεί κατά $1^{\circ}C$, σύμφωνα με έρευνες (EEA, 2009).

Ως άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της στάθμης των υδάτων είναι η διάβρωση των ακτών, η επιδείνωση των πλημμυρικών φαινομένων, η αλλοίωση της βιοποικιλότητας, η μείωση αποθεμάτων νερού, η μείωση από πλευράς ποσότητας και ποιότητας των αλιευμάτων και γενικότερα η αρνητική επίδραση σε όλες τις οικονομικές δραστηριότητες που βασίζονται στους παραπάνω τομείς.

Εκτός από τη σημαντική αρνητική συνεισφορά τους στο περιβάλλον και στις οικονομίες των παράκτιων χωρών, όπως αναπτύχθηκε ανωτέρω, επιπτώσεις υπάρχουν και στη δημόσια υγεία με άμεσο τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, διάφοροι δευτερεύοντες μικροοργανισμοί που δημιουργούνται από τους ρύπους των πλοίων, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής στο περιβάλλον και μπορούν να μεταφερθούν σε εκατοντάδες χιλιόμετρα. Έτσι δημιουργείται πρόβλημα υγείας και στους πληθυσμούς της ενδοχώρας. Υπάρχουν μελέτες που δείχνουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία λόγω των ρύπων στις μεγάλες πόλεις και αυτά εντοπίζονται στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων (HEI 2004).

Η πρώτη σημαντική δράση για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου (GHG⁸), έγινε με το πρωτόκολλο του Κιότο υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών στο πλαίσιο μέτρων για την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Το πρωτόκολλο εγκρίθηκε στις 11 Δεκεμβρίου 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Μέχρι σήμερα 191 χώρες έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο με μόνη εκκωφαντική απουσία, αυτή των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο, οι βιομηχανικές χώρες συνολικά υποχρεούνται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 5,2% κατά μέσο όρο σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, κατά τη διάρκεια της πρώτης «περιόδου δέσμευσης», η οποία κάλυπτε τα έτη 2008 έως 2012. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες δεν καθορίζονται στόχοι ως προς τις εκπομπές. Αναφέρεται ότι προτιμήθηκε ο καθορισμός πενταετούς περιόδου δέσμευσης αντί ενός έτους για να εξομαλυνθούν οι ετήσιες διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων που

⁸ Green House Gas-Συντομογραφίες σελ:80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

οφείλονται σε ανεξέλεγκτους παράγοντες, όπως ο καιρός. Στα παραρτήματα Α και Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο περιλαμβάνονται διάφορα σημαντικά στοιχεία που αφορούν στη λειτουργία των μηχανισμών που προβλέπονται από αυτό, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή.

Συγκεκριμένα, στο **Παράρτημα Α** περιλαμβάνονται:

- τα *αέρια* που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και συμμετέχουν στους μηχανισμούς του Κιότο, καθώς και
- οι *τομείς* και οι *κατηγορίες πηγών* που είναι υπεύθυνοι για τα αέρια αυτά και οι οποίοι συμμετέχουν στους μηχανισμούς του Κιότο. Να σημειωθεί ότι οι τομείς των αεροπορικών και θαλάσσιων μεταφορών αντιμετωπίζονται διαφορετικά σε σχέση με άλλες πηγές ρύπων, λόγω του παγκόσμιου χαρακτήρα τους.

Τα **αέρια** που πραγματεύεται το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι τα εξής έξι:

- διοξείδιο του άνθρακα CO₂ (που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο),
- μεθάνιο CH₄⁹,
- υποξείδιο του αζώτου N₂O¹⁰,
- υδροφθοράνθρακες HFC¹¹,
- πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες PFC και
- εξαφθοριούχο θείο SF₆¹².

1.2 IMO (International Maritime Organisation)-Ο ρόλος του στην κλιματική αλλαγή-Κανονισμοί-Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης EEDI και EEOI-Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)

1.2.1 Κανονισμοί του IMO

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization), είναι ένας πολυεθνικός, διακυβερνητικός Ναυτιλιακός Οργανισμός, ο οποίος επιβλέπει τη σωστή και ασφαλή επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των χωρών-μελών του στον τομέα της ναυσιπλοΐας. Αποτελεί οργανισμό του ΟΗΕ, είναι διακρατικού χαρακτήρα, ιδρύθηκε στην Γενεύη το 1948 ως IMCO (International Maritime Cooperation Organization) και μετονομάστηκε σε IMO¹³ το 1982, με έδρα το Λονδίνο. Ο IMO σήμερα περιλαμβάνει 167 κράτη μέλη και 3 συνεργαζόμενα μέλη. Οι κανονισμοί για την ρύπανση από τα πλοία περιέχονται στη <<Διεθνής Σύμβαση Για Την Πρόληψη Της Ρύπανσης Από Τα Πλοία>>, που είναι γνωστή ως MARPOL 73/78. Στις 27 Σεπτεμβρίου 1997, η Σύμβαση MARPOL τροποποιήθηκε από το "Πρωτόκολλο του 1997», το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI, με τίτλο "Κανονισμοί για την

⁹ Methane- Συντομογραφίες σελ:80

¹⁰ Nitrous oxide- Συντομογραφίες σελ:80

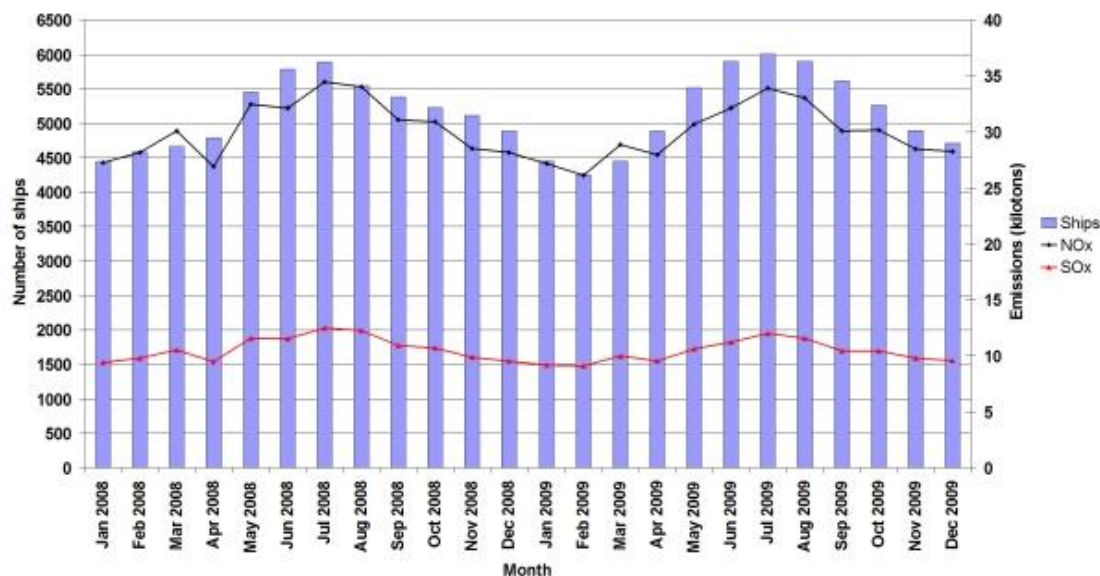
¹¹ Hydrofluorocarbons- Συντομογραφίες σελ:80

¹² Sulphur hexafluoride- Συντομογραφίες σελ:80

¹³ International Maritime Organization- Συντομογραφίες σελ:80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

πρόληψη ρύπανσης του αέρα από πλοία". Το παράρτημα VI της MARPOL θέτει όρια για τις εκπομπές NO_x και SO_x και απαγορεύει τις εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος.



Σχήμα: 1.4 Εκπομπές NO_x και SO_x , στην Βαλτική Θάλασσα, από Ιαν. 2008- Δεκ.2009

Πηγή:

http://www.helcom.fi/BSAP_assessment/ifs/archive/ifs2010/en_GB/ShipEmissions/

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε έντονο ενδιαφέρον στα πλαίσια του IMO και για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂, το οποίο όμως, αναλύεται εκτενέστερα στην συνέχεια της εργασίας.

Τα πρότυπα Tier I ορίστηκαν στην έκδοση του 1997 του παραρτήματος VI, ενώ τα πρότυπα Tier II, III εισήχθησαν από τις τροποποιήσεις του παραρτήματος VI που υιοθετήθηκαν το 2008, ως εξής:

(Tier I): - Σε γενικές γραμμές το "Πρωτόκολλο του 1997" της MARPOL περιλαμβάνει το παράρτημα VI, το οποίο τίθεται σε ισχύ μετά από 12 μήνες από την αποδοχή του από 15 κράτη, περιλαμβάνοντας τουλάχιστον το 50% της παγκόσμιας ολικής χωρητικότητας, της εμπορικής ναυτιλίας. Το παράρτημα VI ισχύει αναδρομικά για νέους κινητήρες άνω των 130 KW σε πλοία που κατασκευάστηκαν απ' την 1^η Ιανουαρίου 2000 και έπειτα ή σε πλοία που ανακατασκευάζονται εκ βάθρων μετά από αυτή την ημερομηνία.

(Tier II,III): - Το παράρτημα VI τροποποιήθηκε εκ νέου το 2008, όπου εισήχθησαν νέες απαιτήσεις για την ποιότητα των καυσίμων των πλοίων (από Ιούλιο 2010),

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

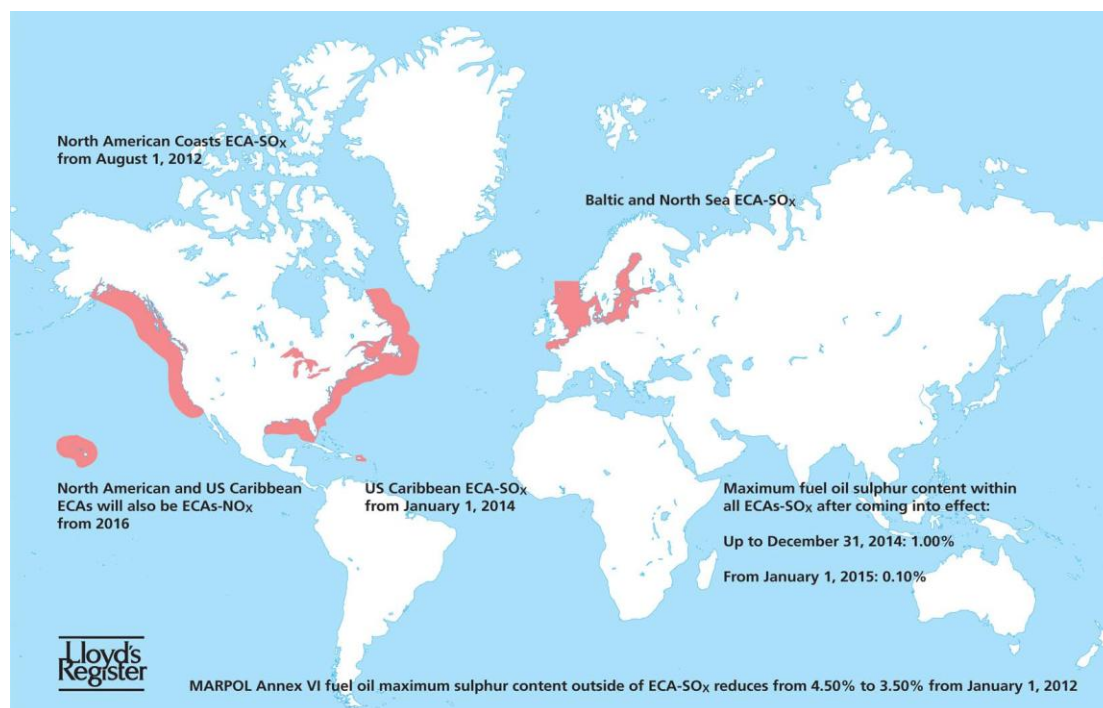
πρότυπα αέριων εκπομπών NO_x για νέους κινητήρες καθώς και απαιτήσεις για ήδη υπάρχοντες κινητήρες.

1.2.2 Περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών ρύπων-ECA's (Emission Control Areas)

Το παράρτημα VI της MARPOL, περιλαμβάνει δυο είδη απαιτήσεων για εκπομπές και ποιότητα καυσίμων.

- Παγκόσμιες απαιτήσεις
- Πιο αυστηρές απαιτήσεις που ισχύουν εντός ελεγχόμενων περιοχών, των λεγόμενων ECA's¹⁴.

Αυτές οι περιοχές ελέγχονται για εκπομπές NO_x και SO_x . Οι περιοχές αυτές είναι ακόμα περιορισμένες και καλύπτουν την Βαλτική και την Βόρειο Θάλασσα, την Βόρεια Αμερική καθώς και τις Καναδικές ακτές, την Καραϊβική μαζί με το Πουέρτο Ρίκο και τις Παρθένες Νήσους. Η άμεση προοπτική του IMO είναι η επέκταση αυτών των κανονισμών και στην περιοχή της Μεσογείου Θάλασσας.



Εικόνα: 1.5 Περιοχές ECA

Πηγή: Lloyd's Register

¹⁴ Emission Control Areas- Συντομογραφίες σελ:80

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

1.2.3 Κανονισμοί εκπομπών NO_x

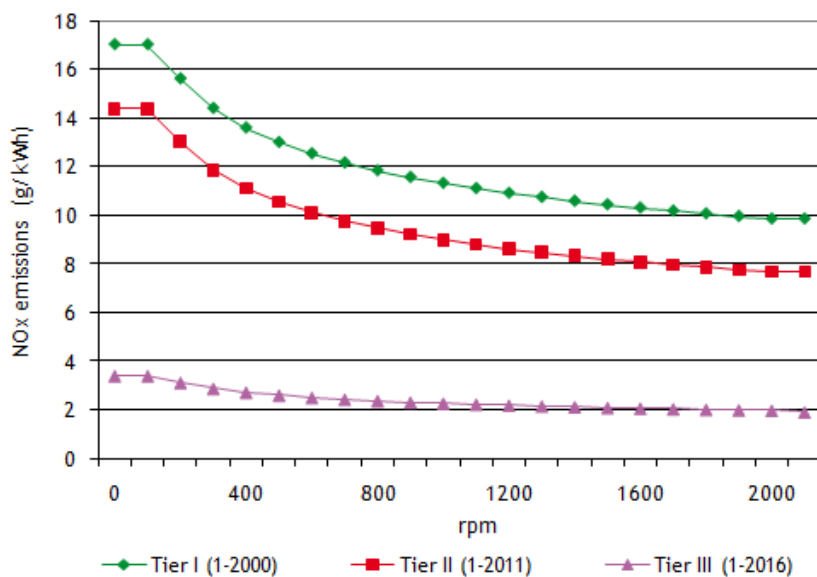
Το παράρτημα VI της MARPOL θέτει υποχρεωτικά όρια στις εκπομπές NO_x , για νέες ναυτικές μηχανές. Για πλοία που είναι κατασκευασμένα πριν την 1^η Ιανουαρίου του 2000, υπάγονται στους κανονισμούς του Tier I. Τον Ιανουάριο του 2011 τέθηκαν σε ισχύ οι κανονισμοί του Tier II. Για περιοχές που χαρακτηρίστηκαν ως NECA's (NO_x Emission Control Areas), τα νέα πλοία θα πρέπει να υπακούουν στα πρότυπα του Tier III, θα υπόκεινται δηλαδή σε μείωση των εκπομπών, της τάξης του 80% σε σχέση με τα πρότυπα του Tier I.

	Εγκατεστημένες μηχανές πλοίων	Ταχύτητα (n) σε rpm	Μέγιστο επιτρεπτό όριο εκπομπών NO_x σε (g/kWh)
Tier I (Engine-based controls)	Από 1 ^η Ιανουαρίου 2000 έως 1 ^η Ιανουαρίου 2011	<130	17.0
		$130 \leq n < 2000$	$45.0 * n^{-0.2}$
		$n \geq 2.000$	9.8
Tier II (Engine-based controls)	Μετά από την 1 ^η Ιανουαρίου 2011	<130	14.4
		$130 \leq n < 2.000$	$44.0 * n^{-0.23}$
		$n \geq 2.000$	7.7
Tier III	Μετά από την 1 ^η Ιανουαρίου 2016 σε λειτουργία εντός ECA	<130	3.4
		$130 \leq n < 2.000$	$9.0 * n^{-0.2}$
		$n \geq 2.000$	2.0

Πίνακας: 1.6 Όρια αέριων ρύπων NO_x για κινητήρες.

Πηγή: <http://cleantech.cnss.no/policies-and-instruments/nox-emissions/>

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 1.7 Εκπομπές αέριων ρύπων NO_x κινητήρων σε (g/KWh).

Πηγή: <http://cleantech.cnss.no/policies-and-instruments/nox-emissions/>

1.2.4 Περιεκτικότητα ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο

Ένα επιπλέον κομμάτι του παραρτήματος VI της MARPOL για τους αέριους ρύπους, αναφέρεται στην περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, χρησιμοποιώντας το ως μέτρο ελέγχου και περιορισμού των εκπομπών SO_x . Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν περιοχές ελέγχου, τις λεγόμενες SECA's (SO_x emission control areas).

Εκτός ελεγχόμενων περιοχών (ECA's)	Εντός ελεγχόμενων περιοχών (ECA's)
4.50% m/m πριν από την 1 ^η Ιανουαρίου 2012	1.50% m/m πριν από την 1 ^η Ιουλίου 2010
3.50% m/m από την 1 ^η Ιανουαρίου 2012	1.00% m/m από την 1 ^η Ιουλίου 2010
0.50% m/m από την 1 ^η Ιανουαρίου 2020	0.10% m/m από την 1 ^η Ιανουαρίου 2015

Πίνακας: 1.8 Όρια αέριων ρύπων SO_x για κινητήρες εντός και εκτός ελεγχόμενων περιοχών.

Πηγή: <http://cleantech.cnss.no/policies-and-instruments/nox-emissions/>

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Το παράρτημα VI περιλαμβάνει διατάξεις που επιτρέπουν σε ορισμένες περιοχές ελέγχου των εκπομπών SO_x (SECA's) να καθοριστούν αυστηρότεροι έλεγχοι για τις εκπομπές θείου. Σε αυτές τις περιοχές, η περιεκτικότητα του θείου στα καύσιμα των πλοίων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.5% m/m. Εναλλακτικά τα πλοία θα πρέπει να προσαρμόσουν ένα σύστημα έκπλυσης των παραγόμενων καυσαερίων (scrubbers), ή οποιαδήποτε άλλη τεχνολογική μέθοδο για τον περιορισμό των εκπομπών θείου (SO_x). Οι περιοχές της Βαλτικής και Βόρειας Θάλασσας, μετατράπηκαν σε περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών θείου (SECA's) τον Ιούλιο του 2005, ενώ περιοχές παράκτιες της Βορείου Αμερικής χαρακτηρίστηκαν ως (SECA's) από τον Αύγουστο του 2012.

Από το 2015 και έπειτα, οι κανονισμοί για την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, υπαγορεύουν την χρήση αποσταγμένων καυσίμων. Αυτό θα προκαλέσει σοβαρή αύξηση στο κόστος λειτουργίας των πλοίων και κρύβει ένα ρίσκο αποδοτικότητας συγκεκριμένων ναυτικών διαδρομών. Η οδηγία (2005/33/EC), θέτει όρια και στην περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, που χρησιμοποιούνται σε Ευρωπαϊκά λιμάνια κατά τη διάρκεια αγκυροβόλιου, τα οποία είναι, μέγιστη περιεκτικότητα θείου στο 0.1%, από την 1^η Ιανουαρίου 2015.

Για να επιβεβαιωθεί ότι η βιομηχανία δύλισης μπορεί να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση για καύσιμα χαμηλού θείου, μέχρι το 2020 έχει εισαχθεί μια ρήτρα επανεξέτασης προγραμματίζοντας μια ανασκόπηση της διαθεσιμότητας των καυσίμων που πρόκειται να ολοκληρωθεί μέχρι το 2018. Αν αυτή η κριτική επανεξέταση αποκαλύψει ότι είναι αδύνατον να ικανοποιηθεί το όριο του 0.5% μέχρι το 2020, σε παγκόσμιο επίπεδο, η απαίτηση θα αναβληθεί μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2025.

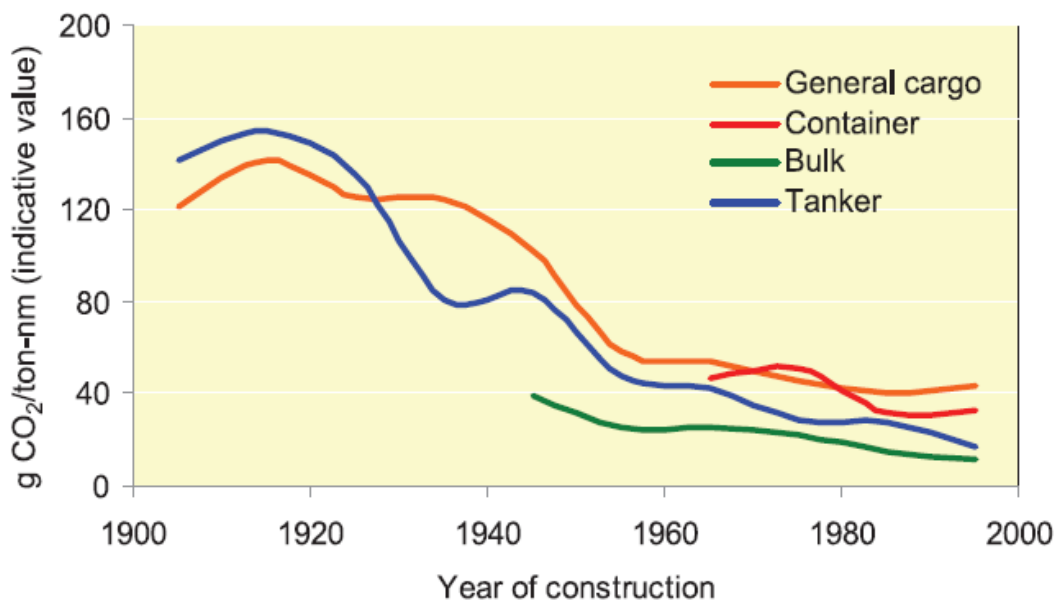
1.2.5 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG)

Η ναυτιλία έχει γίνει η πρώτη βιομηχανία που συμφωνεί σε μια παγκόσμια στρατηγική μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Τον Ιούλιο του 2011 ο IMO με ένα ψήφισμα ενέκρινε την δημιουργία ενός Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI¹⁵), για τα νέα πλοία. Τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL, δημιούργησαν το κεφάλαιο 4, για να κάνουν την χρήση του EEDI, υποχρεωτική για νέα πλοία, όπως επίσης και το SEEMP¹⁶ (Ship Energy Efficiency Management Plan) ή (Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου), για όλα τα πλοία.

¹⁵ Energy Efficiency Design Index- Συνομογραφίες σελ:80

¹⁶ Ship Energy Efficiency Management Plan- Συνομογραφίες σελ:80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 1.9 Διαχρονική βελτίωση της <<αποδοτικότητας>> της ναυτιλίας

Πηγή: Second IMO GHG Study 2009

Οι δράσεις του IMO σχετικά με τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) που παράγονται από τα πλοία, επικεντρώνονται σε τρία πεδία:

A) η ανάπτυξη του πρόσφατα εγκριθέντος EEDI, η οποία προβλέπεται από ορισμένες χώρες για να καθοριστεί ένα ελάχιστο πρότυπο αποδοτικότητας, που τα νέα πλοία θα πρέπει να πληρούν. Σχεδιαστές και κατασκευαστές πλοίων είναι ελεύθεροι να επιλέξουν τις τεχνολογίες και τους τρόπους που θα χρησιμοποιήσουν, έτσι ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EEDI για το εκάστοτε πλοίο. Το EEDI θα καταστεί υποχρεωτικό από το 2015, και θα εφαρμοστεί στα μεγαλύτερα τμήματα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου. Τα πρότυπα αυτά θα γίνονται πιο αυστηρά με το πέρασμα του χρόνου, με στόχο τη βελτίωση του 10% για πλοία κατασκευασμένα στο 2015-19, 15-20% για πλοία κατασκευασμένα στο 2020-24 και 30% για πλοία μετά από το 2024.

B) αγορακεντρικά μέτρα που θα δώσουν κίνητρα στους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του στόλου τους.

Γ) ανάπτυξη του SEEMP (Ship Energy Efficiency Design Index) ή (Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου), με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων.

Οι κανονισμοί ισχύουν για όλα τα πλοία με ολική χωρητικότητα (gross tonnage) πάνω από 400 κόρρους και τέθηκαν σε ισχύ απ 'την 1^η Ιανουαρίου 2013. Σε μια αρχική περίοδο 6,5 ετών από την ημερομηνία έναρξης ισχύος, υπάρχει μια σχετική ευελιξία, καθώς υπάρχει η δυνατότητα από τον IMO να παραιτηθεί από την απαίτηση συμμόρφωσης με EEDI για πλοία που είναι ήδη υπό κατασκευή.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

1.2.6 Ορισμός του δείκτη EEDI-Περιληπτική ανάλυση του δείκτη-Σύνοδοι MEPC

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης EEDI (Energy Efficiency Design Index) είναι ένα μέτρο αποδοτικότητας της σχεδίασης ενός νέου πλοίου σε σχέση με τις εκπομπές CO₂. Μονάδα μέτρησης είναι τα (gr/ton*nm), δηλαδή ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται στο περιβάλλον ανά μονάδα μεταφερόμενου φορτίου επί την διανυθείσα απόσταση. Εκφράζει δηλαδή το περιβαλλοντικό κόστος σε σχέση με το όφελος στην κοινωνία.

Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται σε δεδομένα σχεδιασμού του πλοίου και αντιπροσωπεύει τις εκπομπές CO₂ του συγκεκριμένου πλοίου σε ένα μόνο σημείο του σχεδιασμού, και όχι σε άλλες καταστάσεις φόρτωσης και φόρτισης ή για την πλήρη λειτουργία του πλοίου.

Ο δείκτης EEDI δημιουργήθηκε από τον IMO μέσω των συνεδριάσεων της Επιτροπής Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC). Η πρώτη συνεδρίαση έλαβε χώρα τον Απρίλιο του 2008 (MEPC 57), όπου παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από την Ιαπωνία ως <<δείκτης εκπομπών CO₂>>. Η βασική ιδέα του δείκτη ήταν να δημιουργηθεί μια προκαταρκτική αξιολόγηση της απόδοσης των σκαφών στο στάδιο του σχεδιασμού τους, με τη διαδικασία υπολογισμού να είναι απλή και ικανή για ευρεία εφαρμογή. Έτσι έγινε το πρώτο βήμα που θα οδηγούσε στην μείωση των εκπομπών CO₂, με την απεικόνιση της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός σκάφους σε πραγματική χρήση. Στις επόμενες συνόδους (MEPC 58,59,60,61,62,63,64), υπήρξε ο εμπλουτισμός του δείκτη EEDI με νέους παράγοντες καιρικών συνθηκών, διαφορετικών ειδών πλοίων, χρήσης τεχνολογιών ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια, κ.λπ. Επίσης βασικό θέμα συζήτησης των συνόδων, υπήρξε, ο χρονικός ορίζοντας εφαρμογής του δείκτη EEDI καθώς και οι πιθανές επιπτώσεις που θα είχε στην παγκόσμια ναυτιλία. Τελικά, οι σύνοδοι κατέληξαν στην υποχρεωτική εφαρμογή του δείκτη EEDI από 1-1-3013 για πλοία συμβολαίου κατασκευής από αυτή την ημερομηνία και έπειτα, έχοντας την παρακάτω μορφή:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{FAE}^*) + \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nEFF} f_{EFF(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{FAE} - \left(\sum_{i=1}^{nEFF} f_{EFF(i)} \cdot P_{EFF(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

Φυσικά οι ζυμώσεις που καθορίζουν τα όρια εφαρμογής του κανονισμού, αλλά και άλλες τεχνικές και λειτουργικές λεπτομέρειες, συνεχίζονται μέσω των συνεδριάσεων MEPC. Σκοπός είναι αφενός η μείωση των εκπομπών CO₂, αφετέρου η λειτουργικότητα και η ευρεία εφαρμογή του δείκτη χωρίς αρνητικές συνέπειες στην παγκόσμια ναυτιλία.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον δείκτη EEDI μπορούν να ανευρεθούν στη διπλωματική εργασία του συναδέλφου Θοδωρή Κουτσούρη με θέμα : Διερεύνηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Σε Πλοία Με Ηλεκτροπρόωση (Κεφ. 1.2.6, 1.2.7).

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

1.2.7 Δείκτης λειτουργίας ενεργειακής απόδοσης (EEOI)

Με το σχεδιασμό του Δείκτη Ενεργειακής Αποτελεσματικότητας (EEDI), έγινε η αρχή για τον περιορισμό και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), όπως το CO_2 , από την θαλάσσια βιομηχανία. Όμως ο δείκτης αυτός δεν είναι σχεδιασμένος ώστε να υπολογίζει με ακρίβεια τους παραγόμενους ρύπους καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας των πλοίων. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι πραγματικές εκπομπές ρύπων μπορεί να διαφέρουν αρκετά από αυτές που υπολογίζει ο δείκτης EEDI. Το κενό αυτό ήρθε να καλύψει ο IMO και η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), με τη δημιουργία ενός μηχανισμού επίτευξης κατώτατων ορίων στα εκπεμπόμενα αέρια θερμοκηπίου από την παγκόσμια ναυτιλία. Ο μηχανισμός στην ουσία είναι μια μεθοδολογία περιγραφής της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου από πλευράς δείκτη εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για συγκεκριμένο πλοίο κατά την διάρκεια της λειτουργίας του.

Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης ή διαφορετικά δείκτης απόδοσης για το διοξείδιο του άνθρακα κατά την μεταφορική διαδικασία, ορίζεται ως ο λόγος μάζας CO_2 ανά μονάδα ωφέλιμου μεταφορικού έργου, δηλαδή:

$$EEOI = \frac{m_{CO_2}}{\text{transport work}}$$

Μεγέθη που περιέχονται στον δείκτη EEOI¹⁷ είναι η συνολική κατανάλωση καυσίμου, η διανυθείσα απόσταση, το είδος των πλοίων και των φορτίων, η μάζα των φορτίων καθώς επίσης και η διάρκεια του ταξιδιού.

Η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη EEOI περιλαμβάνει διάφορες πηγές δεδομένων, όπως για παράδειγμα το ημερολόγιο του πλοίου καθώς και άλλα επίσημα έγγραφα του. Επίσης, υπ' όψη στον υπολογισμό λαμβάνονται και ο συντελεστής μετατροπής καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου, σε εκπομπές CO_2 (C_f). Ο (C_f) συντελεστής μετατρέπει την καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου (σε τόνους), σε διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , επίσης σε τόνους, ανάλογα με την περιεκτικότητα των καυσίμων σε άνθρακα. Εν τέλει, η τελική έκφραση του δείκτη EEOI για ένα ταξίδι είναι:

$$EEOI = \frac{(\sum_j (FC_{ij} \times C_{Fij}))}{(m_{CARGO} \times D_i)}$$

Όπου:

- ✓ j ο τύπος του καυσίμου
- ✓ i ο αριθμός του ταξιδιού
- ✓ FC_{ij} η ποσότητα του καταλισκόμενου καυσίμου j στο ταξίδι i
- ✓ m_{CARGO} η μάζα του μεταφερόμενου φορτίου
- ✓ D_i η διανυθείσα απόσταση σε ναυτικά μίλια

1.2.8 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP)

Μια από τις πιο πρόσφατες αποφάσεις του IMO, αναφέρεται στην εφαρμογή του Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP), από πλευράς

¹⁷ Energy Efficiency Operational Indicator-Συντομογραφίες σελ:79

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

πλοιοκτητών και διαχειριστών των πλοίων, υποχρεωτικά από 1^η Ιανουαρίου 2013, για πλοία άνω των 400 GT. Πιο συγκεκριμένα το σχέδιο SEEMP αποτελείται από επιχειρησιακά μέτρα, που εγκαθιστούν ένα μηχανισμό βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου με ένα οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το Σχέδιο Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP), παρέχει επίσης στις ναυτιλιακές εταιρίες, μια προσέγγιση βέλτιστης διαχείρισης των στόλων τους, με σκοπό τις μειώσεις των εκπομπών CO₂ κατά την διάρκεια ζωής του πλοίου.

Οι κατευθυντήριες γραμμές για την ανάπτυξη του σχεδίου SEEMP, για τα νέα και τα υπάρχοντα πλοία, ενσωματώνουν τις βέλτιστες πρακτικές για την αποτελεσματική αξιοποίηση των συστημάτων αλλά και των καυσίμων του πλοίου, καθώς και τις κατευθυντήριες γραμμές για την εθελοντική χρήση του δείκτη EEOI για τα νέα και τα υπάρχοντα πλοία ([MEPC.1/Circ.684](#)). Ο δείκτης EEOI παρέχει στους διαχειριστές τη δυνατότητα μέτρησης της αποδοτικότητας των καυσίμων ενός πλοίου, ώστε να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των αλλαγών στη λειτουργία, όπως π.χ. βελτιωμένο προγραμματισμό του ταξιδιού ή πιο συχνή καθαριότητα της έλικας, ή την εισαγωγή τεχνικών μέτρων όπως τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας των αποβλήτων ή ακόμα και μια νέα έλικα. Το σχέδιο SEEMP καλεί τον ιδιοκτήτη του πλοίου και το φορέα εκμετάλλευσης σε κάθε στάδιο του σχεδίου, να εξετάσουν τις νέες τεχνολογίες και πρακτικές όταν γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης της απόδοσης του πλοίου. Έτσι αυτό θα έχει επίδραση και στις μειώσεις των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και γενικότερα των αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Εικόνα: 1.10 Αέριοι ρύποι

Πηγή: www.imo.org

Προτεινόμενα μοντέλα για το υποχρεωτικό Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου, έχουν παρουσιαστεί από τον IMO, από διάφορους νηογνώμονες (Lloyd's Register, DNV¹⁸, ABS¹⁹ κ.λ.π.), όπως επίσης και από διάφορες εταιρίες παροχής τεχνογνωσίας στον ναυτιλιακό τομέα. Τα προτεινόμενα σχέδια δεν είναι υποχρεωτικά. Σκοπός τους είναι, να δώσουν ιδέες για την τελική δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλάνου ενεργειακής διαχείρισης αποδοτικότητας του πλοίου. Για το τελικό σχέδιο, υπεύθυνοι είναι οι πλοιοκτήτες ή οι διαχειριστές των πλοίων. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις προτάσεις που προτείνονται από νηογνώμονες, μέλη του IACS²⁰ (International Association of Classification Societies) και τον IMO.

Lloyd's Register:

Το γενικό περίγραμμα των προτάσεων του Lloyd's για το σχέδιο SEEMP περιλαμβάνει:

- Εισαγωγή (σχεδιασμός, εφαρμογή, παρακολούθηση, αυτοαξιολόγηση και βελτίωση), τα οποία επεξηγούνται πολύ σύντομα στη συνέχεια:

-Σχεδιασμός (Planning): Προσδιορισμός της τρέχουσας κατάστασης του πλοίου και των αναμενόμενων βελτιώσεων της ενεργειακής αποδοτικότητας του.

-Εφαρμογή (Implementation): Διαμόρφωση συστήματος εφαρμογής των βελτιώσεων που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο (του σχεδιασμού).

-Έλεγχος (Monitoring): Ποσοτικός έλεγχος της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου. Στο στάδιο αυτό παρέχεται η δυνατότητα χρήσης του Λειτουργικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας-ΕΕΟΙ (Energy Efficiency Operational Indicator).

-Επιαναξιολόγηση & Βελτίωση (Self-evaluation & Improvement): Προπαρασκευή για τον επόμενο κύκλο βελτιώσεων.

Αυτό το στάδιο δεν περιλαμβάνει τεχνικά στοιχεία, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ο συμβουλευτικός χαρακτήρας των προτάσεων.

- Μέτρα και πρακτικές ενεργειακής απόδοσης.

Αυτό το τμήμα περιλαμβάνει μια λίστα από τυπικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πιο αποτελεσματικά μέτρα, μπορεί να περιλαμβάνουν έναν μικρό αριθμό ενεργειών και όχι πολύπλοκες διαδικασίες καθώς αυτές είναι

¹⁸ Der Norske Veritas-Συντομογραφίες σελ:80

¹⁹ American Bureau of Shipping-Συντομογραφίες σελ:80

²⁰ International Association of Classification Societies-Συντομογραφίες σελ:80

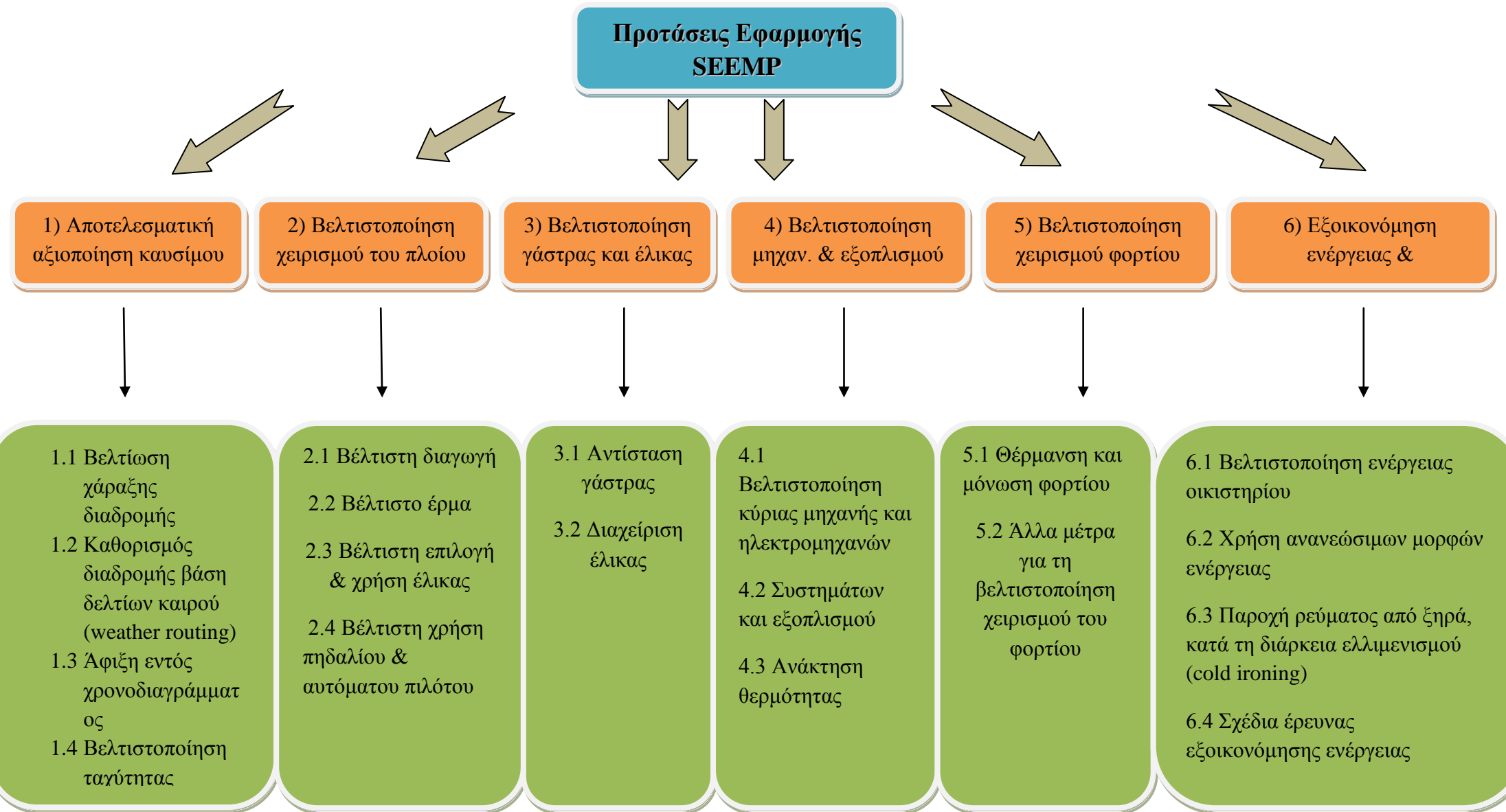
Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

δύσκολο να γίνουν κατανοητές και να εφαρμοστούν. Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ Αποτελεσματική αξιοποίηση καυσίμων
- ✓ Βελτιστοποίηση χειρισμών πλοίου
- ✓ Βελτιστοποίηση γάστρας και προωστήριου μηχανισμού-έλικας
- ✓ Μηχανήματα και εξοπλισμός
- ✓ Βελτιστοποίηση στην διακίνηση των φορτίων
- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας και ευαισθητοποίηση

Τα προτεινόμενα μέτρα ανά κατηγορία παρατίθενται παραστατικά στον Πίνακα 1.11:

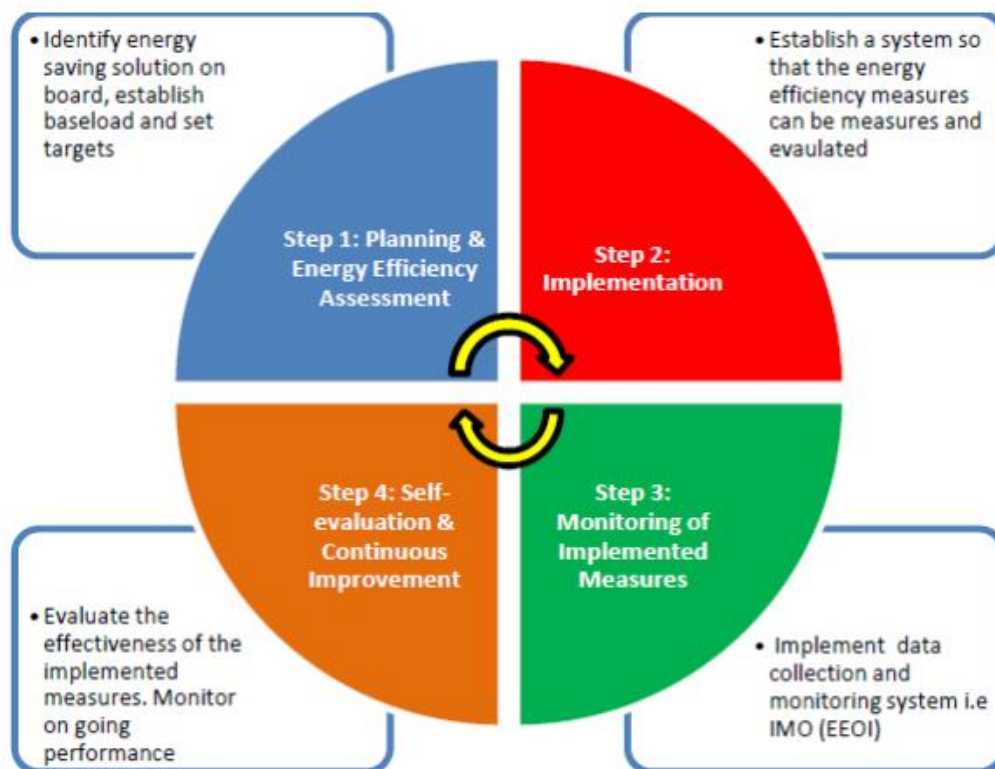
Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Σχήμα: 1.11 Προτεινόμενα μέτρα εφαρμογής του SEEMP κατά Lloyd's.

Πηγή: <http://lr.org>



Σχήμα: 1.12 Σχηματική Περιγραφή SEEMP

Πηγή: http://ship-consultancy.com/?page_id=102

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω διαδικασίες σε ένα παράδειγμα κατάστρωσης Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP), θα πρέπει η προσοχή να εστιαστεί στα παρακάτω:

Σχεδιασμός:

Στο στάδιο αυτό γίνεται σύντομη περιγραφή για τον τρόπο με τον οποίο η διαδικασία σχεδιασμού, πρόκειται να εκτελεσθεί. Για παράδειγμα, σε αυτό το τμήμα μπορεί να γίνει αναφορά για τυχόν στόχους που έχουν τεθεί (όπως ότι η συνολική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης που εκφράζεται σε EEOI όρους κατά x% κατά τους επόμενους μήνες y) ή να γίνεται αναφορά στις αρμοδιότητες του προσωπικού στο πλαίσιο του σχεδίου SEEMP.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Εφαρμογή:

Στο στάδιο αυτό γίνεται σύντομη περιγραφή για το πώς η διαδικασία εφαρμογής των μέτρων πρόκειται να εφαρμοστεί. Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει ο καθορισμός για το ποιός ή ποιοί θα είναι συνολικά υπεύθυνοι για την εφαρμογή του σχεδίου SEEMP, ή αν χρειάζεται κάποια ειδική εκπαίδευση του προσωπικού που είναι επιφορτισμένο με την εφαρμογή του σχεδίου SEEMP.

Παρακολούθηση:

Στο στάδιο αυτό γίνεται σύντομη περιγραφή για το πώς θα γίνεται η παρακολούθηση της διαδικασίας ώστε να υπάρχουν παράλληλα πολύ καλά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, μπορούμε να αναφέρουμε εργαλεία και συστήματα παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται (π.χ. στον υπολογισμό ΕΕΟΙ).

Αυτοαξιολόγηση και βελτίωση:

Στο στάδιο αυτό γίνεται σύντομη περιγραφή για το πώς θα γίνεται η αυτοαξιολόγηση αρχικά και έπειτα η βελτίωση. Για παράδειγμα, θα περιγραφούν τα μέσα και οι μέθοδοι στο κομμάτι της αυτοαξιολόγησης και επίσης πώς τα αποτελέσματα το σχεδίου SEEMP μπορούν να ανατροφοδοτήσουν με πληροφορίες, χρήσιμες για τον επόμενο κύκλο του σχεδίου SEEMP.

Ο πίνακας 1.13 που ακολουθεί αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα του σχεδίου SEEMP, καθώς περιέχονται σε αυτό, όλα τα τεχνικά μέτρα και δράσεις παρακολούθησης και καταγραφής των μέτρων εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκαν/χρησιμοποιούνται. Καθώς και ποιο μέλος του πληρώματος είναι υπεύθυνο. Επίσης, περιλαμβάνονται κάποια παραδείγματα, τα οποία δεν είναι υποχρεωτικά ούτε εφαρμόσιμα σε κάθε είδους πλοίο.

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

1.	Μέτρα αποδοτικότητας καυσίμου	Δράσεις υλοποίησης	Παρακολούθηση και καταγραφή δράσεων
1.1	Βελτιστοποίηση ταχύτητας	<p>a. Σύμφωνα με το ναυλοσύμφωνο, το σκάφος ενθαρρύνεται να πλέει στη βέλτιστη ταχύτητα. Σε αυτή τη ταχύτητα η απόδοση της μηχανής βελτιστοποιείται. Πλέοντας σε άλλες ταχύτητες θα υπάρξει αλλοίωση του σχεδιασμένου</p> <p>b. Υλοποίηση εικονικής άφιξης.</p> <p style="text-align: center;"><<Καπετάνιος>></p>	<p>a. Έλεγχος αναφορών του συστήματος σχεδίασης διαδρομής βάση καιρού, για ταξίδια με αναμενόμενες αφίξεις και αξιολόγησή τους για τον επόμενο σχεδιασμό του SEEMP.</p> <p style="text-align: center;"><<Υπεύθυνη η διαχειρίστρια εταιρία>></p>
2.	Μέτρα βελτιστοπ. εξυπηρέτησης πλοίου	Δράσεις υλοποίησης	Παρακολούθηση και καταγραφή δράσεων
2.1	Βέλτιστη διαγωγή	<p>a. Η διαγωγή βελτιστοποιείται ανάλογα με τη προβλεπόμενη ταχύτητα ταξιδιού και το βύθισμα του πλοίου, ανάλογα με το εγχειρίδιο ευστάθειας του πλοίου στο βαθμό που είναι εφικτό.</p> <p style="text-align: center;"><<Υπεύθυνη η διαχειρίστρια εταιρία>></p>	<p>a. Από τις αναφορές του ταξιδιού ελέγχονται οι ταχύτητες του πλοίου σε σχέση με τα διάφορα βυθίσματα και διαγωγές και παρατηρείται για πόση ώρα πλέει σε βέλτιστη διαγωγή. Συγκρίνονται οι καταναλώσεις καυσίμου για όμοιες καταστάσεις διαγωγής και ταχύτητας για να εξακριβωθούν τα οφέλη.</p>

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

3.	Μέτρα για τη βελτιστοποίηση της έλικας και γάστρας	Δράσεις υλοποίησης	Παρακολούθηση και καταγραφή δράσεων
3.1	Μείωση αντίστασης γάστρας	<p>a. Η κατάσταση της γάστρας αξιολογείται σε τριμηνιαία βάση, κατά τη διάρκεια παραμονής σε λιμάνι όπου είναι πρακτικά εφικτό.</p> <p><<Υπεύθυνος μηχανικός διαχειρίστριας εταιρίας>></p> <p>b. Το υποθαλάσσιο καθάρισμα της γάστρας συνίσταται σε ετήσια βάση, σε λιμάνια στα οποία είναι πρακτικά εφικτό και έπειτα από τις αντίστοιχες επιθεωρήσεις.</p> <p><<Υπεύθυνος μηχανικός διαχειρίστριας εταιρίας>></p>	<p>a. Καταγραφή αρχείων επιθεωρήσεων γάστρας και αξιολόγηση αυτών για την εύρεση ευαίσθητων σημείων.</p> <p><<Υπεύθυνος μηχανικός διαχειρίστριας εταιρίας>></p>
4.	Μέτρα για τη βελτιστοποίηση της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών	Δράσεις υλοποίησης	Παρακολούθηση και καταγραφή δράσεων
4.1	Βελτιστοποίηση κύριας μηχανής και ηλεκτρομηχανών	<p>a. Η βελτιστοποιημένη λειτουργία των ηλεκτρομηχανών συνιστά την χρήση μιας ηλεκτρομηχανής σε υψηλά φορτία παρά δυο σε χαμηλά</p> <p><<Πρώτος Μηχανικός>></p>	<p>a. Παρακολούθηση των φορτήσεων των ηλεκτρομηχανών</p> <p><<Υπεύθυνος μηχανικός διαχειρίστριας εταιρίας>></p>
4.2	Ανάκτηση θερμότητας	<p>a. Πλύση με νερό εφαρμόζεται στα καυσαέρια του εξοικονομητή σε μεγάλες περιόδους επισκευής.</p> <p><<Πρώτος Μηχανικός>></p>	<p>a. Δεν απαιτείται</p>

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

5.	Μέτρα για βελτιστοποιημ. διαχείριση φορτίου	Δράσεις υλοποίησης	Παρακολούθηση και καταγραφή δράσεων
5.1	Μόνωση και θέρμανση φορτίου	<p>a. Έλεγχος κατάσταση της μόνωσης του φορτίου και των παγίδων ατμού (steam traps) κάθε έξι μήνες.</p> <p><<Πώτος μηχανικός>></p>	<p>a. Διατήρηση αρχείων επιθεωρήσεων μόνωσης και παγίδων ατμού (steam traps), για την εύρεση σημείων συχνών αστοχιών.</p> <p><<Υπεύθυνος μηχανικός διαχειρίστριας εταιρίας>></p>
6.	Μέτρα διατήρησης της ενέργειας και ευαισθητοποίησης	Εφαρμογή	Παρακολούθηση και καταγραφή
6.1	Βελτιστοποίηση καταναλισκόμενης ενέργειας οικιστηρίου	<p>a. Λαμπτήρες φθορισμού (TFLs) χρησιμοποιούνται σε όλες τις περιοχές του οικιστηρίου.</p> <p><<Διαχειρίστρια εταιρία>></p> <p>b. Φωτισμός με χρήση φωτοκυττάρων σε περιοχές του οικιστηρίου που το επιτρέπουν οι συνθήκες.</p>	a. Δεν απαιτείται
6.2	Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	<p>a. Φωτοβολταϊκά πάνελ χρησιμοποιούνται για την κάλυψη αναγκών ζεστού νερού του οικιστηρίου.</p> <p><<Διαχειρίστρια εταιρία>></p>	a. Δεν απαιτείται
6.5	Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση	<p>a. Εκπαίδευση πληρώματος σε θέματα ευαισθητοποίησης ενεργειακής αποδοτικότητας.</p> <p><<Διαχειρίστρια εταιρία>></p>	a. Ανατροφοδότηση της διαδικασίας με πληροφορίες από την εφαρμογή των συστάσεων προς το πλήρωμα. Συζήτηση για τα πιθανά πλεονεκτήματα.

Πίνακας: 1.13 Τεχνικά μέτρα και δράσεις παρακολούθησης και καταγραφής των μέτρων εφαρμογής του σχεδίου SEEMP.

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Πηγή: <http://lr.org>

Να σημειωθεί ότι το γενικό πλάνο κατά την εκτέλεση του σχεδίου SEEMP, μπορεί να τροποποιηθεί σε σχέση με αυτό που έχει προταθεί πιο πάνω. Κάποιες άλλες προτάσεις όσον αφορά την προτεραιότητα των ενεργειών και την κατηγοριοποίησή τους, είναι οι ακόλουθες:

A)

1. ΜΕΤΡΑ (από αρμόδιο προσωπικό)

Μέτρα για το πλήρωμα καταστρώματος	Υπεύθυνο προσωπικό	Δράσεις εφαρμογής
Μέτρα 1.1	Πλοίαρχος	....
Μέτρα 1.2	Υποπλοίαρχος	....
...	..	
Μέτρα για το πλήρωμα μηχανής	Υπεύθυνο προσωπικό	Δράσεις εφαρμογής
Μέτρα 2.1	1 ^{ος} Μηχανικός	....
Μέτρα 2.2	2 ^{ος} Μηχανικός	....
...
Κοινά μέτρα	Υπεύθυνο προσωπικό	Δράσεις εφαρμογής
Μέτρα 3.1	....	....
Μέτρα 3.2	....	....
....

2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Περιγραφή εργαλείων παρακολούθησης

3. ΣΤΟΧΟΣ

Μετρήσιμοι στόχοι

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Διαδικασίες αξιολόγησης

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

B)

1. ΣΤΟΧΟΣ

Μετρήσιμοι στόχοι

2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Περιγραφή εργαλείων παρακολούθησης

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Διαδικασίες αξιολόγησης

4. ΜΕΤΡΑ

Υψηλή προτεραιότητα	Εφαρμογή δράσεων και υπεύθυνο προσωπικό	Επίτευξη στόχων εξοικονόμησης και χρονικών ορίων
Μέτρο 1.1	....	....
Μέτρο 1.2	....	....
....
Μεσαία προτεραιότητα	Εφαρμογή δράσεων και υπεύθυνο προσωπικό	Επίτευξη στόχων εξοικονόμησης και χρονικών ορίων
Μέτρο 2.1	....	....
Μέτρο 2.2	....	....
....
Χαμηλή προτεραιότητα	Εφαρμογή δράσεων και υπεύθυνο προσωπικό	Επίτευξη στόχων εξοικονόμησης και χρονικών ορίων
Μέτρο 3.1	...	....
....

Το πλάνο κατάστρωσης του σχεδίου SEEMP όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω, αποτελεί μια πιθανή έκφραση του σχεδίου SEEMP. Η μορφή του τελικού σχεδίου είναι θέμα προτίμησης και συνοχής με τα γενικότερα πλάνα της εταιρίας, αλλά φυσικά και των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζονται σε κάθε περίπτωση.

Φίλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

IMO: (περιέχεται στην MEPC. 213(63))

Το γενικό πλαίσιο ενεργειών του προτεινόμενου σχεδίου από τον IMO, είναι το ακόλουθο:

1. ΜΕΤΡΑ

Μέτρα Ενεργειακής Αποδοτικότητας	Εφαρμογή	Υπεύθυνο προσωπικό

2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Περιγραφή εργαλείων παρακολούθησης

3. ΣΤΟΧΟΣ Μετρήσιμοι στόχοι

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Διαδικασίες αξιολόγησης

DNV:

Κατά τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV), το Σχέδιο Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (SEEMP), συνοψίζεται σε τέσσερα βήματα χωρίς να δίνονται περαιτέρω πληροφορίες:

- Βήμα 1- Καθορισμός μιας βάσης. Είναι βασικό να εξεταστούν λεπτομερώς τα δεδομένα και τα μέσα που διαθέτουμε, ώστε να καθοριστεί η βάση πάνω στην οποία θα αναπτυχθούν τα σχέδια και οι δράσεις για την επίτευξη των στόχων.
- Βήμα 2- Αναγνώριση των σημείων του αρχικού σχεδίου που χρειάζονται κάποια βελτίωση και καθορισμός των καινοτομιών που χρειάζονται να εφαρμοστούν προκειμένου να πραγματοποιηθούν αυτές οι βελτιώσεις.
- Βήμα 3- Εφαρμογή και παρακολούθηση. Το πλάνο τίθεται σε ενέργεια και παρακολουθείται η απόδοση των μέτρων με ποικιλία συστημάτων και μεθόδων.
- Βήμα 4- Αξιολόγηση και αναθεώρηση της εφαρμογής των μέτρων από κάθε υπεύθυνο ξεχωριστά αλλά και γενικότερα αξιολόγηση του σχεδίου SEEMP.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 1.14 Τα τέσσερα περιληπτικά παρουσιαζόμενα βήματα του σχεδίου SEEMP κατά τον DNV.

Πηγή:

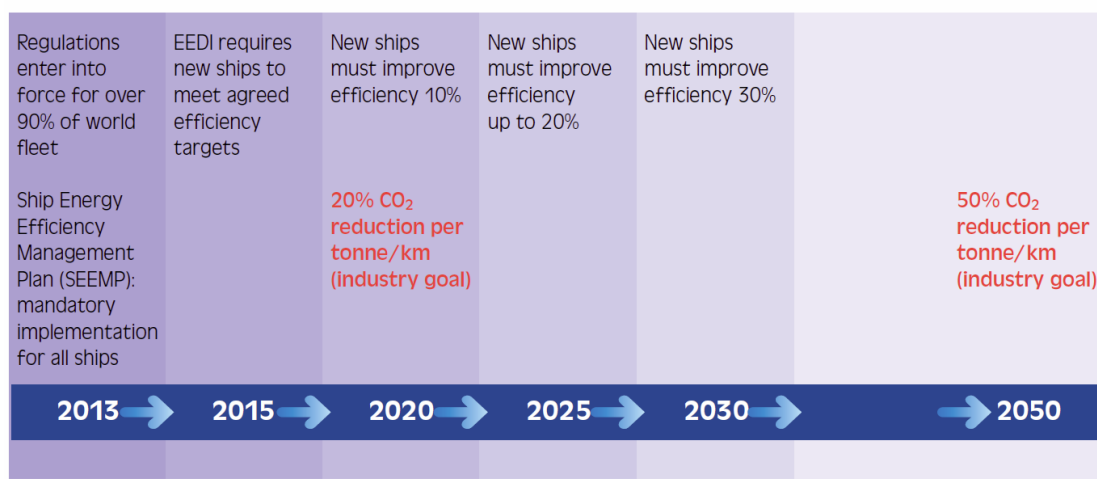
http://www.dnv.com/industry/maritime/publicationsanddownloads/publications/updates/bulk/2012/2_2012/seemp.asp

1.2.9 Σύνοψη Μέτρων για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (GHG)

Μια σύνοψη των μέτρων για τη μείωση των αερίων, υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου στη ναυτιλία, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα σε συνάρτηση με το χρονικό ορίζοντα εφαρμογής των μέτρων.

IMO agreement on technical regulations will reduce ships' CO₂

MARPOL Annex VI, Chapter 4 adopted July 2011



Σχήμα: 1.15 Σύνοψη μέτρων για μείωση CO₂.

Πηγή: <http://www.imo.org/OurWork/Environment/pollutionprevention/airpollution/pages/technical-and-operational-measures.aspx>

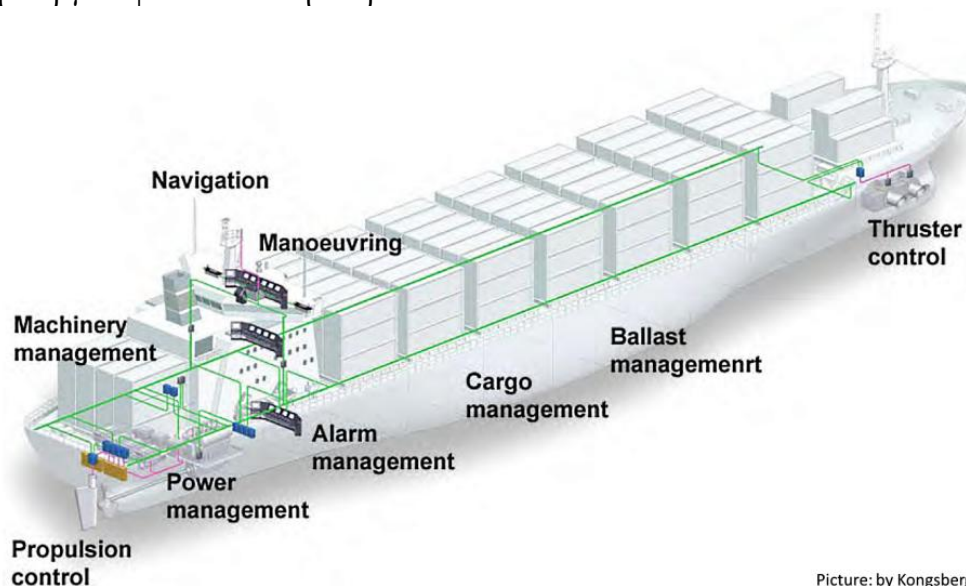
Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΛΟΙΟΥ (ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ)

2.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι πλέον ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του πλοίου και την ασφάλεια των επιβαινόντων. Η εγκατάσταση του πλοίου αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, που χαρακτηρίζεται από αυτάρκεια και αξιοπιστία. Αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα: ισχύος, φωτισμού και επικοινωνιών-ναυσιπλοΐας.

Η εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης και των ηλεκτρονικών συστημάτων αυτοματισμού, τηλεπικοινωνιών και ναυσιπλοΐας είχε ως αποτέλεσμα τη ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από 5W/DWT το 1980 σε 350 W/DWT το 1990 για φορτηγά πλοία, ενώ σε επιβατηγά πλοία φτάνει τα 1100 W/DWT. Μερικά από τα συστήματα ενός σύγχρονου πλοίου, τα οποία καταναλώνουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα: 2.1 Αυτοματισμοί και συστήματα ελέγχου ως καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Πηγή: <http://www.shippedia.com/ship-automation-control-system/>

Ενδεικτικές τιμές του κόστους μιας σύγχρονης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου (συμπεριλαμβανομένου του αυτοματισμού) ως ποσοστού του ολικού κόστους του πλοίου είναι οι εξής:

Δεξαμενόπλοια: 7,0 %

Φορτηγά: 7,3%

Containerships: 9,1%

Ψυγεία: 12%

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

2.2 Χαρακτηριστικά συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων

Το ηλεκτρικό σύστημα των πλοίων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αυτόνομο, μικρής κλίμακας βιομηχανικού τύπου Σ.Η.Ε, το οποίο όμως παρουσιάζει ιδιαιτερότητες σε σχέση με ένα ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα. Μερικές από αυτές είναι:

- i. η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω συστήματος διανομής (καλωδιώσεις, μετασχηματιστές, διακόπτες κλπ) πολύ περιορισμένου μήκους (της τάξης των 50 έως το πολύ 1000 μέτρων).
- ii. το όλο σύστημα είναι αυτόνομο και η μόνη εφεδρική πηγή ενέργειας είναι το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ανάγκης το οποίο όμως είναι ικανό να τροφοδοτήσει ορισμένα μόνο φορτία ανάγκης. Για το λόγο αυτό το όλο σύστημα πρέπει να είναι εξαιρετικά αξιόπιστο.
- iii. το ηλεκτρολογικό δίκτυο πλοίου αποτελείται από υποσυστήματα συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος.
- iv. πρόκειται για συγκεντρωμένα δίκτυα τοποθετημένα σε πολύ μικρό χώρο ανά μονάδα ισχύος (σε σύγχρονες ναυπηγήσεις με ηλεκτρική πρόωση, η εγκατεστημένη ισχύς φτάνει τα 40-80 MW σε έκταση μερικών τετραγωνικών μέτρων).

Τα ηλεκτρολογικά δίκτυα των περισσότερων πλοίων έχουν δίκτυα διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος, καθώς είναι προτιμότερο από το συνεχές γιατί είναι φθηνότερο κατά την εγκατάσταση και την λειτουργία του. Πιο συγκεκριμένα, προσφέρει μεγαλύτερο λόγο ισχύος/βάρος για την παραγωγή, διανομή και χρήση του ρεύματος. Να σημειωθεί ότι η επικινδυνότητα του δικτύου του εναλλασσομένου ρεύματος είναι πολύ μεγαλύτερη από του συνεχούς, καθώς για τάσεις άνω των 60V υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

Η πλειοψηφία των δικτύων των πλοίων είναι τριφασικό εναλλασσομένου ρεύματος των 440 V. Σε πλοία ευρωπαϊκών ναυτιλιακών εταιριών η συνηθέστερη τάση είναι τα 380V. Τα πλοία με μεγάλα ηλεκτρικά φορτία έχουν γεννήτριες που λειτουργούν σε υψηλές τάσεις των 3.3 kV, 6.6 kV ακόμη και 11 kV. Τέτοιες τάσεις είναι οικονομικά αναγκαίες σε συστήματα υψηλής ισχύος για τη μείωση της έντασης του ρεύματος, και επομένως τη μείωση της διατομής των αγωγών και του μεγέθους του απαιτούμενου εξοπλισμού.

Η συχνότητα ενός εναλλασσόμενου ρεύματος συστήματος ηλεκτρικής ισχύος στα πλοία είναι συνήθως 50 ή 60 Hz. Στην Ευρώπη και στο μεγαλύτερο μέρος του κόσμου η συχνότητα είναι 50 Hz, ενώ στη Βόρεια Αμερική και σε κάποιες άλλες χώρες, όπως και στις περισσότερες υπεράκτιες κατασκευές και πλοία, συνηθίζεται η συχνότητα των 60 Hz.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

2.3 Αποτελούμενα μέρη

i. Ηλεκτρογεννήτριες:

Οι ηλεκτρογεννήτριες αποτελούν την καρδιά του ηλεκτρολογικού σχεδιασμού και η σωστή διαστασιολόγησή τους αποτελεί το κλειδί για μια ασφαλή, οικονομική και αποδοτική λειτουργία. Όταν γίνεται η διαστασιολόγηση και η επιλογή των ναυτικών ηλεκτρογεννητριών, θα πρέπει να υπάρχει γνώση της φύσης των φορτίων που θα εξυπηρετούν. Οι γεννήτριες συχνά λειτουργούν από μόνες τους και κατά συνέπεια είναι επιρρεπείς σε μεγάλες διακυμάνσεις των φορτίου του συστήματος και σε παραμορφώσεις του φορτίου. Εκτός από την ικανοποίηση των εμφανών απαιτούμενων φορτίων του συστήματος, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στις ιδιαίτερες απαιτήσεις των μεγάλων φορτίων, σε ασυνήθιστες επιχειρησιακές απαιτήσεις και στην ύπαρξη εφαιδρικής ισχύος.

Οι διεθνείς κανονισμοί (SOLAS²¹), απαιτούν τουλάχιστον δυο ηλεκτρογεννήτριες, για το κύριο ηλεκτρολογικό σύστημα ενός πλοίου. Οι ηλεκτρογεννήτριες συνήθως κινούνται από την δική τους μηχανή, αλλά αυτό ενδέχεται να αυξάνει πολύ το κόστος και τις απαιτήσεις χώρου εντός του μηχανοστασίου. Υπάρχουν βέβαια και πλοία τα οποία για λόγους οικονομίας, λειτουργούν τις γεννήτριές τους παίρνοντας κίνηση από την κύρια μηχανή. Οι διεθνείς κανονισμοί απαιτούν την ύπαρξη εφεδρικής ηλεκτρογεννήτριας (emergency generator), που είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας και της περιστροφής της έλικας του πλοίου, με δικό της κινητήρα και σε χώρο διαφορετικό και άνωθεν του μηχανοστασίου.

Να σημειωθεί ότι αν παρέχονται δυο γεννήτριες, η μια από τις οποίες κινείται από τον άξονα της προπέλας (γεννήτρια άξονα), σε περίπτωση βλάβης θα καταστήσει το πλοίο μη συμβατό με τους διεθνείς κανονισμούς. Για αυτό το λόγο οι πλοιοκτήτες προτιμούν να κάνουν παραγγελίες πλοίων με τρεις γεννήτριες. Η μια μπορεί να είναι η γεννήτρια άξονα (shaft generator), ή με κινητήρα Diesel. Χρησιμοποιείται για φυσιολογικών αναγκών φορτία, ενώ οι άλλες είναι διαθέσιμες για αντιμετώπιση ασυνήθιστων φορτίων ή για περιπτώσεις ελιγμών. Εναλλακτικά η τρίτη διατηρείται ως εφεδρεία και χρησιμοποιείται σε περίπτωση βλάβης ή σε περίπτωση επισκευής και συντήρησης των άλλων γεννητριών.

ii. Κύριος Πίνακας

Τα βασικά μέρη ενός ναυτικού συστήματος **διανομής** ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ο κύριος και έκτακτης ανάγκης ηλεκτρολογικός πίνακας, οι πίνακες ισχύος, τα ηλεκτρονικά ελέγχου των κινητήρων των γεννητριών και οι πίνακες μικρής ισχύος και φωτισμού.

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου είναι σχεδιασμένο κάτω από φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας να διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια από τον κύριο πίνακα. Το σύστημα διανομής είναι σχεδιασμένο για να κρατήσει το κόστος καλωδίων στο ελάχιστο με τη διανομή ενέργειας στον πίνακα να βρίσκεται κοντά στις υπηρεσίες του χρήστη.

Ο κύριος πίνακας συνήθως βρίσκεται κοντά στο κέντρο του συστήματος διανομής

²¹ Convnetion on Safety of Life at Sea-Συντομογραφίες σελ: 80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα τοποθετείται στον κυρίως χώρο του μηχανοστασίου (main engine room) ή στο χώρο ελέγχου των βοηθητικών μηχανημάτων (machinery control room). Οι περιοχές τοποθέτησης του κυρίως πίνακα βρίσκονται συνήθως κάτω της ισάλου πλευσης ή κάτω από το ανώτερο συνεχές κατάστρωμα (π.χ. main deck). Συνεπώς σε περίπτωση πυρκαγιάς ή εισροής υδάτων, οι ηλεκτρογεννήτριες και ο κυρίως πίνακας ενδέχεται να αχρηστευτούν. Για να εξασφαλιστεί ότι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαθέσιμη σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης καθώς και τα συστήματα ασφαλείας η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και ο πίνακας διανομής έκτακτης ανάγκης θα είναι σε πλήρη λειτουργία, θα πρέπει να βρίσκονται πάνω από το κυρίως κατάστρωμα σε ξεχωριστό χώρο, εντελώς απομονωμένο από τους χώρους των κυρίως μηχανημάτων των πλοίων (engine room, pump room, machinery room). Στις εγκαταστάσεις των πλοίων, απαιτούνται ειδικά προστατευτικά συστήματα, ώστε να απενεργοποιούν το σύστημα εξαιρισμού και όλα τα συστήματα κυκλοφορίας του καυσίμου σε περίπτωση πυρκαγιάς, έτσι ώστε να μην διευκολύνεται η εξάπλωση αυτής. Τα βοηθητικά και περιφερειακά του κινητήρα της γεννήτριας, ομαδοποιούνται και τροφοδοτούνται από ένα κέντρο ελέγχου ή πίνακα διανομής. Όταν δε λειτουργούν οι ομαδοποιημένοι πίνακες διανομής, τότε ξεχωριστά καλώδια θα πρέπει να αντιστοιχούν σε κάθε ελεγκτή κινητήρα. Όμως αυτό οδηγεί σε αυξημένο κόστος καλωδίων και αυξάνει επίσης και την πιθανότητα των συστημάτων σε αστοχία.

iii. Ελεγκτές Κινητήρα

Είναι συχνά βολικό τα μηχανοκίνητα περιφερειακά βοηθητικά μηχανήματα να κατηγοριοποιούνται με βάση τη λειτουργία τους, (π.χ. συστήματα καυσίμου και ελαίου, σύστημα εξαιρισμού οικιστηρίου κ.λ.π.). Οι βοηθητικοί κινητήρες θα πρέπει να εξυπηρετούνται από τους **ελεγκτές κινητήρων** που είναι τοποθετημένοι, είτε στο μηχανοστάσιο, είτε στο δωμάτιο ελέγχου των μηχανημάτων, είτε σε μια βολική τοποθεσία κοντά στους βοηθητικούς κινητήρες. Αυτό μπορεί να απλοποιήσει τις διαδικασίες ελέγχου των μηχανημάτων και των απαιτούμενων προστατευτικών συστημάτων.

Σε μικρά σκάφη, τέτοιου είδους ομαδοποιήσεις μπορεί να μην είναι οικονομικές και τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου τροφοδοτούνται απευθείας από τον κεντρικό πίνακα.

Σε αυτή την περίπτωση, οι κινητήρες θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με ξεχωριστά συστήματα εκκινήσεως, τοποθετημένα δίπλα από το κινητήρα. Για ταχύπλοα σκάφη, εκεί που το βάρος παίζει πρωτεύοντα ρόλο, το ελάχιστο βάρος καλωδίων, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μη καταναμημένου συστήματος διανομής.

Οι έλεγχοι του βοηθητικού κινητήρα, θα πρέπει να γίνονται λαμβάνοντας υπ' όψη τη γενικότερη φιλοσοφία ελέγχου που εφαρμόζεται στα συστήματα ελέγχου των μηχανών. Για πλοία που δεν έχουν αυτοματοποιημένη λειτουργία των μηχανημάτων, η πλέον οικονομική μέθοδος ελέγχου είναι να υπάρχουν τοπικοί εκκινητές για κάθε βοηθητικό κινητήρα που τροφοδοτείται από πίνακα ρεύματος στον ίδιο ή σε γειτονικούς χώρους. Αυτοί οι κινητήρες θα πρέπει να ελέγχονται χειροκίνητα (έναρξη και διακοπή), σε τοπικό επίπεδο στον ελεγκτή του κινητήρα (μίζα). Η ρύθμιση αυτή ελαχιστοποιεί το κόστος καλωδίου.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Όπου απαιτείται ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου των μηχανημάτων, τα καλώδια για τις λειτουργίες ελέγχου του κινητήρα, μπορούν να εγκατασταθούν πίσω από το δωμάτιο ελέγχου των μηχανημάτων και η εκκίνηση να βρίσκεται σε μια κεντρική κονσόλα ελέγχου μηχανημάτων. Εναλλακτικά οι κινητήρες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε κέντρα ελέγχου κινητήρα, που βρίσκονται μέσα στο δωμάτιο (θάλαμο) ελέγχου. Οι λειτουργίες ελέγχου του κινητήρα μπορούν να μείνουν στη μίζα του κινητήρα ή ενσύρματα πίσω σε ένα κεντρικό γραφείο ελέγχου.

Όταν χρησιμοποιούνται ενσύρματα συστήματα, η εγκατάσταση είναι επιρρεπείς σε μηχανικά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν από χαλαρές ή σπασμένες συνδέσεις, όπως επίσης και το θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στις συνδέσεις. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τη χρήση μικροεπεξεργαστών και ψηφιακών συστημάτων ελέγχου.

Όταν υπάρχει απαίτηση ύπαρξης πλήρως αυτοματοποιημένου τρόπου ελέγχου των μηχανημάτων, αυτές οι τεχνικές έχουν ευρεία χρήση και συσκευές μικροεπεξεργαστών μπορούν να ελέγχουν τα μηχανήματα του πλοίου μέσα από οθόνες που βρίσκονται στο δωμάτιο (θάλαμο) ελέγχου μηχανών ή στη γέφυρα. Τα βοηθητικά μηχανήματα του πλοίου ελέγχονται με την βοήθεια προγραμματισμένων ελεγκτών που έχουν εγκατασταθεί στο εσωτερικό του κέντρου ελέγχου του κινητήρα και συνδέονται μέσω ενός διαύλου δεδομένων στη θέση ελέγχου της μηχανής. Όταν χρησιμοποιείται τέτοιου είδους σύστημα, το κέντρο ελέγχου της μηχανής μπορεί να βρίσκεται είτε στο κέντρο ελέγχου των μηχανημάτων (machinery control room), είτε εναλλακτικά καταναμημένο σε όλο το πλοίο κοντά στον κινητήρα που ελέγχεται. Δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις απαιτήσεις καλωδίωσης για αυτή τη μέθοδο, ωστόσο όταν το κέντρο ελέγχου βρίσκεται εξωτερικά από ένα ξηρό και ελεγχόμενου περιβάλλοντος χώρο, όπως στο χώρο ελέγχου των μηχανών (control engine room), τότε απαιτείται η ύπαρξη περιβλήματος με μεγαλύτερο δείκτη προστασίας (IP 44 αντί για IP 22), που αυτό σημαίνει και αύξηση κόστους.

iv. Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να παρέχεται από το πίνακα έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιώντας τους καταναμημένους πίνακες για τη ναυσιπλοΐα, την ασφάλεια και τις υπηρεσίες φωτισμού έκτακτης ανάγκης. Αυτοί οι πίνακες διανομής γενικά είναι τοποθετημένοι πάνω από τον κύριο κατάστρωμα. Όσον αφορά στον φωτισμό, θα πρέπει να έχει διασφαλιστεί ότι σε περίπτωση πυρκαγιάς ή εισροής υδάτων σε μέρος του πλοίου, δεν θα έχουμε απώλεια φωτισμού. Επίσης ο φωτισμός σε διαδρόμους και εξόδους διαφυγής, θα πρέπει να έχει τέτοια σχεδίαση ώστε να διευκολύνεται η άμεση εκκένωση του σκάφους σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

v. Βοηθητικές Υπηρεσίες Πλοίου

Έγγραφα του αρχικού σχεδιασμού του πλοίου για τις βοηθητικές υπηρεσίες του πλοίου, περιλαμβάνουν, λίστα φορτίων, ανάλυση φορτίων και ανάλυση βραχυκυκλωμάτων. Στον ηλεκτρικό ισολογισμό γίνεται μια προσέγγιση ιπποδύναμης

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

που αποδίδουν οι ηλεκτροκινητήρες. Τα φορτία φωτισμού υπολογίζονται από τις γενικές ρυθμίσεις του πλοίου και των ηλεκτρικών βοηθημάτων καθώς επίσης λαμβάνονται και στοιχεία από όμοια πλοία. Τελικά, μια πλήρη λίστα φορτίων θα δημιουργηθεί ώστε να υπάρχει εποπτική εικόνα των αναγκών σε ηλεκτρική ισχύ.

Ο ηλεκτρικός ισολογισμός χρησιμοποιεί τη λίστα φορτίων που προαναφέρθηκε για να γίνει εκτίμηση της απαιτούμενης ενέργειας του ηλεκτρικού συστήματος, κάτω από ειδικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου αλλά και για τυπικές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου όπως <<στο αγκυροβόλιο>> ή <<κατάσταση ελιγμών>> κ.λ.π.

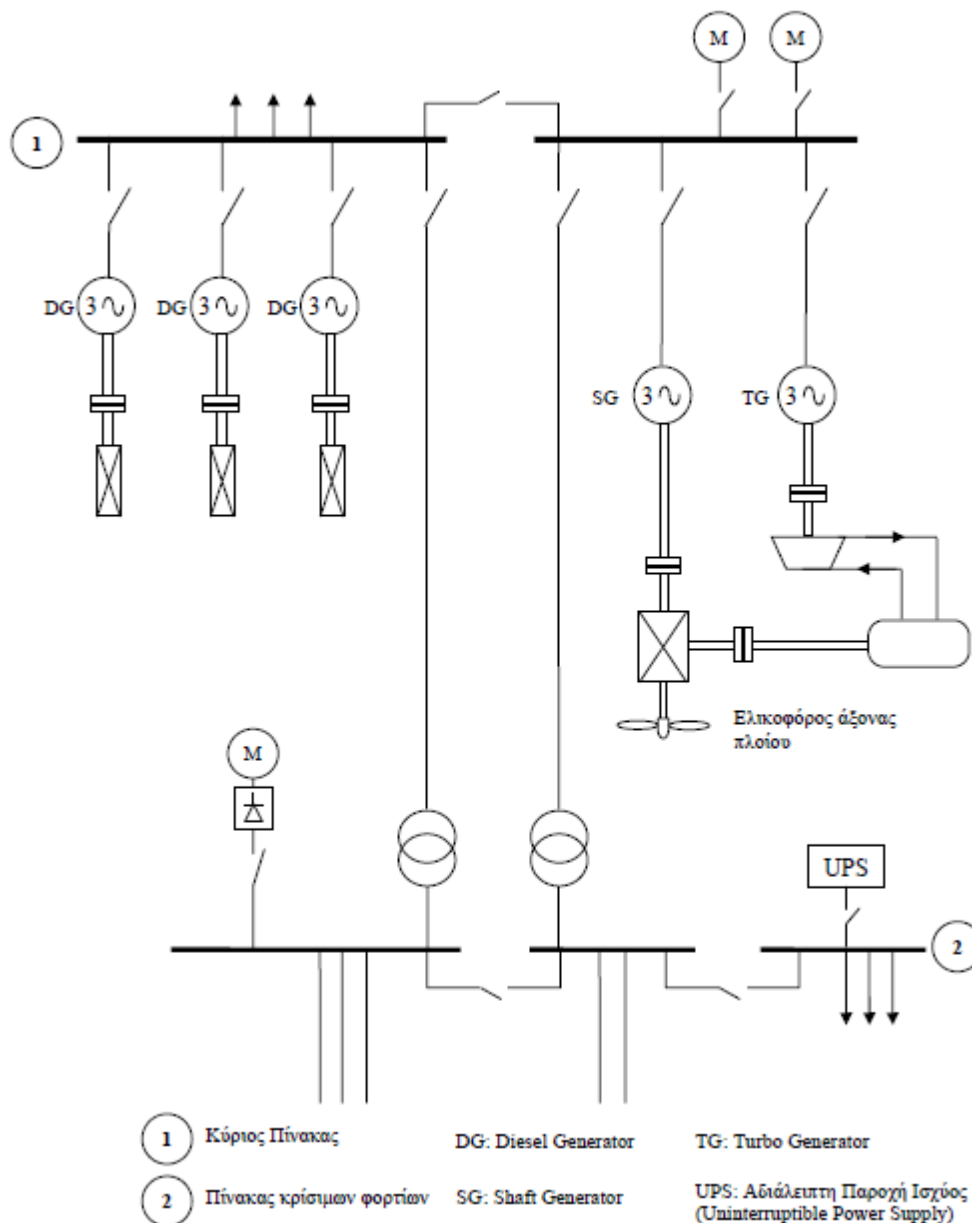
Η ανάλυση των φορτίων υπολογίζει την αναμενόμενη απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας, πολλαπλασιάζοντας την κάθε ισχύ λειτουργίας με ένα παράγοντα ζήτησης. Ο παράγοντας ζήτησης συνδυάζει τον συντελεστή φορτίου με τον παράγοντα ταυτοχρονισμού καταλήγοντας στον λόγο της εκτιμώμενης κατανάλωσης ενέργειας σε μια κατάσταση λειτουργίας του πλοίου. Ο παράγοντας της ζήτησης καθορίζεται με μια εμπειρική εκτίμηση της ισχύος κατά την διάρκεια τεσσάρων με πέντε ωρών, όταν τα φορτία θα πάρουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές.

vi. Ηλεκτρικοί Καταναλωτές

Ηλεκτρικοί καταναλωτές που ενδέχεται να είναι και μεγάλοι κινητήρες, συγκρίσιμης ονομαστικής ισχύος με αυτήν των γεννητριών όπως π.χ. κινητήρες πρόωσης, αντλιών φορτίου κ.τ.λ.

Οι λεπτομέρειες περί τοποθέτησης και διάταξης των αποτελούμενων μερών του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου ελήφθησαν από την ιστοσελίδα: (www.dieselduck.net).

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 2.2 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου.

Πηγή : Germanischer Lloyd.

2.4 Απαιτήσεις και κανονισμοί

2.4.1 Γενικά

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση του πλοίου πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές του εκάστοτε Νηογνώμονα, των Εθνικών Κανονισμών και των κανονισμών SOLAS (Convention on Safety of Life at Sea). Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι κανονισμοί και οι απαιτήσεις που θέτει ο GL (Germanischer Lloyd) για το σύνολο του ηλεκτρικού δικτύου ενός πλοίου. Πιο αναλυτικά, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός του

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

πλοίου διαχωρίζεται σε ουσιώδη και μη ουσιώδη εξοπλισμό. Ο ουσιώδης εξοπλισμός είναι αυτός που αφορά στα μηχανήματα της κύριας πρόωσης του πλοίου, την κατεύθυνση και πλοήγηση του πλοίου, την διατήρηση της ασφάλειας του πλοίου και τη διατήρηση της ασφάλειας των ανθρώπινων ζώων στη θάλασσα. Ο ουσιώδης εξοπλισμός χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες, σε πρωτεύοντα-ουσιώδη και δευτερεύοντα-ουσιώδη. Ο πρωτεύων ουσιώδης αφορά εξοπλισμό που πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία (π.χ. σύστημα πηδαλίου, αντλίες λίπανσης, αντλίες τροφοδοσίας πετρελαίου, κύρια συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης κλπ). Ο δευτερεύων ουσιώδης περιλαμβάνει εξοπλισμό που για σύντομο χρονικό διάστημα δεν χρειάζεται να είναι σε αδιάκοπη λειτουργία (π.χ. μονάδες επεξεργασίας πετρελαίου, εγκαταστάσεις εκκίνησης των βοηθητικών και κύριων μηχανών, αντλίες έρματος και σεντινών, αντλίες πυρκαγιάς, εργάτης άγκυρας, κλπ.). Τέλος, ο μη ουσιώδης εξοπλισμός περιλαμβάνει τα φορτία που δεν περιλαμβάνονται σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Ο πρωτεύων και ο δευτερεύων ουσιώδης εξοπλισμός του πλοίου θα πρέπει να τροφοδοτούνται κατευθείαν από τον κύριο ή έκτακτης ανάγκης πίνακα.

Ο πρωτεύων και δευτερεύων ουσιώδης εξοπλισμός που προορίζονται για την ίδια λειτουργία θα πρέπει να τροφοδοτούνται από δύο ξεχωριστά καλώδια παροχής από τον κύριο πίνακα ή από δύο ξεχωριστούς υποπίνακες.

2.4.2 Συχνότητα και τάση δικτύου

Τα μέγιστα επίπεδα τάσεων των ηλεκτρικών συστημάτων του πλοίου έτσι όπως καθορίζονται από τους κανονισμούς του GL, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

17500 V	σε μόνιμες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
500 V	<ul style="list-style-type: none">i. σε μόνιμα εγκατεστημένα κυκλώματα ισχύος και ελέγχουii. σε συσκευές και εγκαταστάσεις με συνδέσεις πρίζας-βύσματος, οι οποίες είναι γειωμένες είτε μέσω της βάσης τους (έδραση) είτε μέσω του προστατευτικού αγωγού γειώσεωςiii. σε συστήματα που απαιτείται η ύπαρξη μέτρων πρόληψης ηλεκτροπληξίας κατά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια, θα πρέπει αυτή να παρέχεται δια μέσω διακόπτη ασφαλείας ≤ 30 mA (συνιστάται να μην εφαρμόζεται για ουσιώδη εξοπλισμό)
250 V	<ul style="list-style-type: none">i. σε συσκευές και εγκαταστάσεις, όπως καθορίζονται στις παραπάνω παραγράφους i-iii για 500 Vii. σε μόνιμες εγκαταστάσεις φωτισμούiii. σε μόνιμα εγκατεστημένα συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης και ασφάλειας πλοίωνiv. σε συσκευές που τροφοδοτούνται μέσω σύνδεσης βύσματος-πρίζας και για τις οποίες λαμβάνονται προστατευτικά μέτρα έναντι ηλεκτροπληξίας, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να γίνεται μέσω μονωμένου, προστατευτικού μετασχηματιστή, ή οι

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

	συσκευές να έχουν διπλή μόνωση.
50 V Τάση ασφαλείας	χρήση σε φορητές συσκευές που λειτουργούν σε περιορισμένους χώρους, όπου απαιτείται η λήψη ειδικών μέτρων πρόληψης ηλεκτροπληξίας

Πίνακας: 2.3 Μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα τάσεων.

Πηγή: GL (Germanischer Lloyd)

Ως συστήματα Χαμηλής Τάσης ορίζονται αυτά που λειτουργούν σε τάση από 50 V έως και 1000 V, με συχνότητα λειτουργίας 50 ή 60 Hz ή τα δίκτυα συνεχούς ρεύματος με μέγιστη τάση λειτουργίας τα 1500 V.

Ως Μέσης Τάσης συστήματα ορίζονται αυτά που λειτουργούν σε τάση από 1 kV έως και 17,5 kV, με συχνότητα 50 ή 60 Hz ή τα δίκτυα συνεχούς ρεύματος με τάση λειτουργίας μεγαλύτερη από 1500 V. Σε δίκτυα χαμηλής τάσης, τα παρακάτω συστήματα είναι επιτρεπτά:

- Για συστήματα Σ.Ρ. και μονοφασικού εναλλασσομένου ρεύματος:
 - 2 αγωγοί, με τον έναν αγωγό γειωμένο (1/N/PE)
 - 1 αγωγός με επιστροφή μέσω της γάστρας του πλοίου (1/PEN)
 - 2 αγωγοί μονωμένοι από τη γάστρα του πλοίου (2/PE)
- Για τριφασικά συστήματα εναλλασσομένου ρεύματος:
 - 4 αγωγοί με τον ουδέτερο γειωμένο, χωρίς επιστροφή μέσω της γάστρας του πλοίου (3/N/PE)
 - 3 αγωγοί με τον ουδέτερο γειωμένο μέσω της γάστρας του πλοίου (3/PEN)
 - 3 αγωγοί μονωμένοι από τη γάστρα του πλοίου (3/PE).

Τέλος στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι επιτρεπτές διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας των ηλεκτρικών δικτύων των πλοίων.

Αναφερόμενη Ποσότητα	Διακυμάνσεις	
	Μόνιμες	Παροδικές
Συχνότητα	± 5%	± 10% (5 sec)
Τάση	+ 6%, - 10%	± 20% (1,5 sec)

Πίνακας: 2.4 Διακυμάνσεις τάσης και συχνότητας σε Ε.Ρ. συστήματα διανομής

Πηγή: GL (Germanischer Lloyd)

Παράμετροι	Αποκλίσεις
Ανοχή Τάσης (Συνεχής)	± 10%
Απόκλιση Κύκλου Τάσης	5 %
Τάση Κυμάτωσης	10 %

Πίνακας: 2.5 Διακυμάνσεις τάσης σε Σ.Ρ. συστήματα διανομής

Πηγή: GL (Germanischer Lloyd)

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

2.4.3 Ηλεκτρικός εξοπλισμός

Η σχεδίαση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων του πλοίου θα πρέπει να εξασφαλίζει την ομαλή κάλυψη των συνθηκών λειτουργίας του πλοίου χωρίς τη χρήση της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης.

Οι κύριες γεννήτριες πρέπει να αποδίδουν ισχύ τόσο, που να καλύπτει όλα τα φορτία του πλοίου στη δυσμενέστερη αναμενόμενη περίπτωση. Για λόγους ασφαλείας, υπάρχουν τουλάχιστον δυο κύριες ηλεκτρογεννήτριες (εγκατεστημένες στο μηχανοστάσιο) και μια πηγή ασφαλείας (emergency generator) εγκατεστημένη εκτός μηχανοστασίου. Η πηγή αυτή είναι γεννήτρια που κινείται με αποκλειστικά δικό της κινητήρα. Μόνο σε πολύ μικρά σκάφη επιτρέπονται συσσωρευτές ως πηγή ασφάλειας. Επιπλέον αυτών, υπάρχει διάταξη για λήψη ρεύματος από τη στεριά, η οποία βρίσκεται στο κατάστρωμα, είναι κατάλληλα προστατευμένη και συνδέεται με τον κύριο πίνακα διανομής.

Το πλοίο είναι εφοδιασμένο με επαρκή ανταλλακτικά, ώστε να μπορούν ορισμένες βλάβες να αντιμετωπίζονται εν πλώ.

Δυο από τις σημαντικότερες απαιτήσεις για την επιλογή και εγκατάσταση του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων είναι:

- a) Εξαιρετική αξιοπιστία, ιδιαίτερα για στοιχεία εγκατάστασης που έχουν σχέση με ζωτικές λειτουργίες του σκάφους (πρόωση, πηδαλιουχία, τηλεπικοινωνία).
- b) Ασφάλεια από πλευράς πυρκαγιάς (άκαυστα υλικά, αποφυγή σπινθηρισμών κ.λ.π.)

Η επιλογή και η διάταξη όλων των μηχανημάτων και του εξοπλισμού και των συσκευών του πλοίου, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής και ομαλή λειτουργία του πλοίου. Θα πρέπει να ληφθούν δηλαδή, από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού του πλοίου, τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αντιμετωπιστούν με επιτυχία οι δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία) και οι διάφορες μηχανικές καταπονήσεις (κραδασμοί).

Οι ηλεκτρικές μηχανές και συσκευές θα πρέπει να λειτουργούν ακόμη και με κλίση 15° προς τα δεξιά ή αριστερά, με διατοιχισμό $22,5^\circ$, με διαμήκη κλίση 5° και προνευτασμό $7,5^\circ$. Πρέπει επίσης να μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά σε τελική θερμοκρασία έως 85°C όταν βρίσκονται εκτός μηχανοστασίου και $90-95^\circ\text{C}$ όταν βρίσκονται εντός αυτού. Η τελική θερμοκρασία καθορίζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη θέρμανση του μηχανήματος κατά την λειτουργία του. Ας σημειωθεί ότι η θερμοκρασία αυτή επηρεάζει τόσο την απόδοση του μηχανήματος όσο και τη διάρκεια ζωής του, π.χ., μια επαφή ή ένας αυτόματος διακόπτης μπορεί να μη λειτουργήσει εάν υπερθερμανθεί. Είναι απαραίτητος λοιπόν ο αερισμός των μηχανών, που όταν δεν είναι επαρκής για τη διατήρηση των θερμοκρασιών σε χαμηλά επίπεδα, συμπληρώνεται με κατάλληλο σύστημα ψύξης.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Equipment, components	Angle of Inclination [°] ²			
	athwartships		longitudinally	
	static	dynamic	static	dynamic
Main engines and auxiliary machinery	15	22,5 10 s ⁴	5	7,5
Ship's safety equipment, including for example, emergency source of power, emergency fire pumps and other drives	22,5 ³	22,5 ³ 10 s ⁴	10	10
Switchgear, electric and electronic equipment ¹ , remote controls				
<p>¹ no unintended switching operations or functional changes shall occur up to an angle of inclination of 45°</p> <p>² inclinations may occur simultaneously athwartships and longitudinally</p> <p>³ on ships for the carriage of liquefied gases and chemicals, the emergency power supply shall also remain operational with the ship flooded up to a maximum final athwartship inclination of 30°</p> <p>⁴ rolling period</p>				

Πίνακας: 2.6 Γωνίες κλίσης

Πηγή: Germanischer Lloyd (GL)

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Environmental Category	Environmental Conditions						Comments
	Closed Area			Open Deck Area			
	Temperature	relative Humidity	Vibrations	Temperature	relative Humidity	Vibrations	
A	0 °C to + 45 °C	to 100 %	0,7 g				For general applications, except category B, C, D, F, G, H.
B	0 °C to + 45 °C	to 100 %	4 g				For application at a higher level of vibration strain.
C	0 °C to + 55 °C	to 100 %	0,7 g				For application at a higher degree of heat.
D	0 °C to + 55 °C	to 100 %	4 g				For application at a higher degree of heat and a higher level of vibrations strain.
E	0 °C to + 40 °C	to 80 %	0,7 g				For use in air-conditioned areas. With GL's special consent only.
F				- 25 °C to + 45 °C	to 100 %	0,7 g	For application when additional influences of salt mist and temporary inundation are to be expected.
G				- 25 °C to + 45 °C	to 100 %	2,3 g	For use on masts, with the additional influence of salt mist.
H	In accordance with manufacturer's specifications						The provisions contained in the Certificates shall be observed.

Πίνακας: 2.7 Περιβαλλοντικές συνθήκες/κατηγορίες.

Πηγή : Germanischer Lloyd.

Σημαντικό στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των πλοίων είναι η ύπαρξη προστασίας από ηλεκτροπληξία είτε από άμεση είτε από έμμεση επαφή του ανθρώπου με ηλεκτροφόρους αγωγούς ή συσκευές. Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η πρόσβαση ή η επαφή σε ηλεκτροφόρο εξοπλισμό από τον άνθρωπο. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, σε περίπτωση σφάλματος στη μόνωση του εξοπλισμού, τα παρακάτω μέτρα μπορούν να ληφθούν:

- Γείωση προστασίας : όλα τα αγώγιμα μέρη του ηλεκτρικού εξοπλισμού του πλοίου που δεν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά μπορούν σε περίπτωση σφάλματος να παρουσιάσουν κάποια τάση επικίνδυνη για τον άνθρωπο, θα πρέπει να γειώνονται στη γάστρα του πλοίου.
- Μόνωση προστασίας (διπλή μόνωση)
- Υιοθέτηση τάσεων που δεν είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο σε περίπτωση σφάλματος.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Τέλος τα υλικά του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, όπως καλώδια, πίνακες διακόπτες κ.λ.π. θα πρέπει να έχουν αυξημένη αντοχή σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας (ύπαρξη θαλασσινού νερού, υγρασίας, ψύχους, υψηλής θερμοκρασίας, ατμούς πετρελαίου) και να είναι βραδύκαυστα. Επιπρόσθετα ο ηλεκτρικός εξοπλισμός πρέπει να είναι μονωμένος ενάντια στο νερό και σε ξένα σώματα.

2.5 Βελτιστοποίηση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

2.5.1 Γενικά

Οι τελευταίες εξελίξεις στη παγκόσμια αγορά καυσίμων καθώς και η θέσπιση αυστηρότερων κανονισμών εκπομπών αέριων ρύπων, αυξάνουν την ανάγκη για οικονομία καυσίμων. Η βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων του πλοίου είναι η οδός μέσω της οποίας θα επιτευχθεί η μείωση στην κατανάλωση καυσίμων, εκπομπών αέριων ρύπων και κατ'επέκταση μείωση του λειτουργικού κόστους του πλοίου, αλλά με παράλληλη βέλτιστη λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων αυτού. Γι'αυτό και η παγκόσμια ναυτική βιομηχανία έχει στρέψει το ενδιαφέρον της σε αυτό τον τομέα, με σκοπό να καταστήσει τη λειτουργία του πλοίου οικονομικότερη, αποδοτικότερη και φιλικότερη προς το περιβάλλον.

Η βελτιστοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί στο στάδιο της σχεδίασης του πλοίου καθώς και στο λειτουργικό κομμάτι αυτού (operation optimization). Τα κριτήρια βελτιστοποίησης συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Μείωση ρύπων
- Επίτευξη χαμηλού λειτουργικού κόστους
- Υψηλή λειτουργική αποδοτικότητα

Η βελτιστοποίηση του ηλεκτρολογικού συστήματος του πλοίου έγκειται στην βελτιστοποίηση όλων των επιμέρους υποσυστημάτων που το απαρτίζουν, σε σχεδιαστικό και λειτουργικό επίπεδο. Τα υποσυστήματα αυτά είναι:

- Υποσύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (EPG²²)
- Υποσύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (EPD²³)
- Υποσύστημα καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας (EPC²⁴)
- Υποσύστημα διαχείρισης και ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας (EPMACS²⁵)

2.5.2 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPG)

Η βελτιστοποίηση του υποσυστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου έγκειται στην εφαρμογή τεχνικών μείωσης των παραγόμενων ρύπων καθώς και στην αποδοτικότερη λειτουργία των ενεργειακών πηγών. Πιο συγκεκριμένα, οι ιδέες του Cold Ironing (παροχή ρεύματος από τη στεριά σε κατάσταση ελιμενισμού), και της χρήσης ηλεκτρογεννητριών λιμένος (Port Generators) αποτελούν μεθόδους οι οποίες είναι αποδεδειγμένα αποτελεσματικές στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου,

²² Electric Power Generation-Συντομογραφίες σελ: 80

²³ Electric Power Distribution-Συντομογραφίες σελ: 80

²⁴ Electric Power Consumption-Συντομογραφίες σελ: 80

²⁵ Electrical Power Management and Control-Συντομογραφίες σελ: 80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

κόστους και εκπομπών ρύπων. Η αποδοτικότητα της πρώτης μεθόδου τεκμηριώνεται καθώς η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια από δίκτυο στεριάς προς το πλοίο έχει παραχθεί με αποδοτικότερα μέσα (οικονομικά και περιβαλλοντικά) σε σχέση με τη χρήση των γεννητριών του πλοίου. Όσον αφορά στη δεύτερη μέθοδο, η χρήση ειδικής σχεδίασης ηλεκτρογεννητριών για χρήση κατά τον ελλιμενισμό (Port Generator), έχει μείωση κατανάλωσης καυσίμου και ρύπων καθώς είναι μικρότερης ισχύος.

A) Cold Ironing (παροχή ρεύματος από τη στεριά):

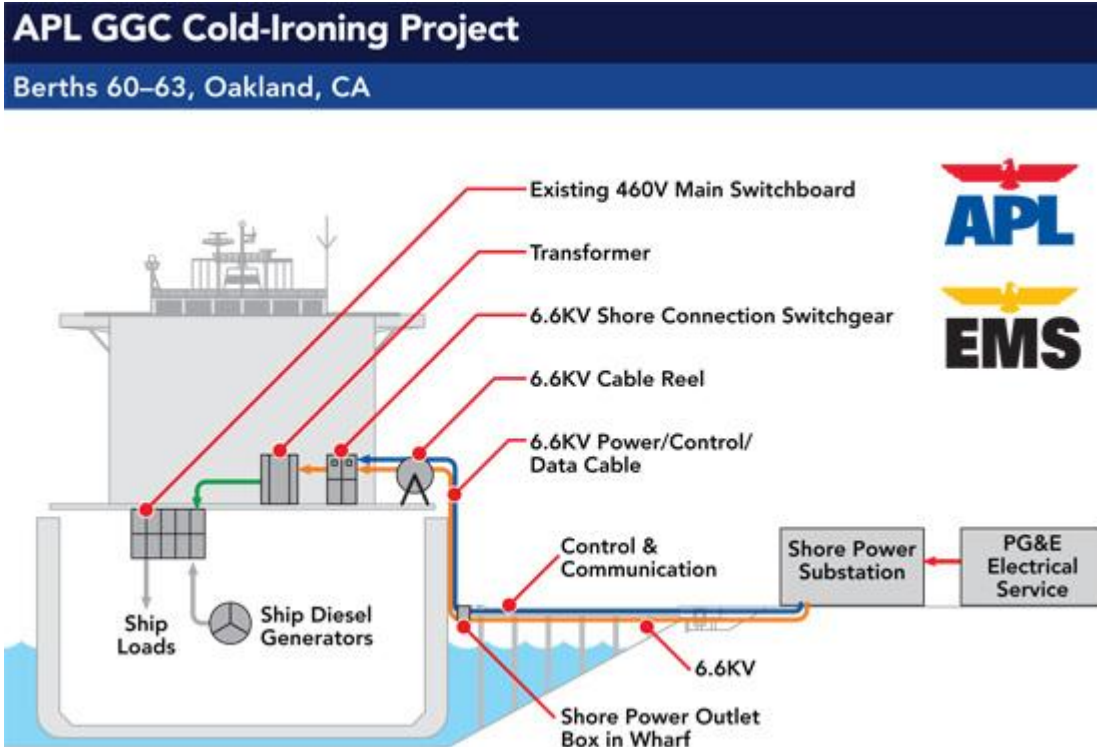
Ο όρος Cold Ironing χρησιμοποιήθηκε αρχικά από το πολεμικό ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτιών και ορίζει τη διαδικασία τροφοδοσίας του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια από το λιμάνι σε κατάσταση ελλιμενισμού του πλοίου και εφόσον το λιμάνι είναι εξοπλισμένο με τις κατάλληλες εγκαταστάσεις. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η βελτίωση του περιβάλλοντος των λιμένων και των παραθαλάσσιων περιοχών. Κατά τον ελλιμενισμό ενός πλοίου γίνεται χρήση των ηλεκτρογεννητριών του με σκοπό την τροφοδοσία με ρεύμα συστημάτων φωτισμού, κλιματισμού, θέρμανσης, ζεστού νερού κ.α. Αυτές οι λειτουργίες καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα καυσίμου παράγοντας αέριους ρύπους, θόρυβο και δονήσεις. Επιπλέον οι παραγόμενοι αέριοι ρύποι έχουν αρνητική επίδραση όχι μόνο στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία των εργαζόμενων στο λιμάνι και τις γύρω περιοχές. Έτσι λοιπόν στις μέρες μας υπάρχει ολοένα αυξανόμενη παροχή υψηλής τάσης ηλεκτρική ενέργεια από την στεριά προς τα πλοία, ώστε να πραγματοποιούνται όλες οι λιμενικές εργασίες με χαμηλότερους παραγόμενους ρύπους.

Σε αυτή τη μέθοδο τα πλοία που επισκέπτονται τα λιμάνια είναι άμεσα εξαρτημένα από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και από άλλες πηγές ενέργειας που ρυθμίζονται από τους τοπικούς κανονισμούς πρόληψης ρύπανσης. Αρκετές μελέτες [1-4] έχουν αποδείξει ότι ανεξάρτητα από τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, υπάρχει ένα συνολικό όφελος από την χρήση ηλεκτροδότησης από την ξηρά. Όταν οι ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου δεν λειτουργούν, οι εκπομπές ρύπων μειώνονται δραστικά. Η μέθοδος Cold Ironing μεταφέρει την επί του πλοίου παραγωγή ηλεκτρικής σε πολύ καθαρότερους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με άμεσα ευεργετικά αποτελέσματα στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η αναφερόμενη μέθοδος είναι αποδοτικότερη σε πλοία με συχνές επισκέψεις σε λιμάνια, όπως Ro-Ro, πλοία ακτοπλοΐας και κρουαζιερόπλοια.

Κατά τη διάρκεια της ενεργειακής σύνδεσης του πλοίου με τη στεριά, ένα βαρύ καλώδιο που μοιάζει με καλώδιο προέκτασης, εκτείνεται από την αποβάθρα και συνδέεται εντός του πλοίου σε ειδική υποδοχή της ισχύος, για την εξυπηρέτηση της λειτουργίας του βοηθητικού εξοπλισμού του πλοίου, αλλά όχι της κύριας μηχανής. Ωστόσο να σημειωθεί ότι οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια στα πολεμικά πλοία είναι μειωμένες σε κατάσταση ελλιμενισμού σε αντίθεση με ένα κενό φορτίο δεξαμενόπλοιο το οποίο χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε κατάσταση ελλιμενισμού από ότι σε εν πλώ κατάσταση. Βέβαια τα εμπορικά

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

πλοία έχουν χρόνο παραμονής σε λιμάνια (24 έως 48 ώρες) πολύ μικρότερο από τα πολεμικά πλοία (βδομάδες ή και μήνες).



Εικόνα: 2.8 Cold Ironing Connection

Πηγή: http://www.dvvelocity.com/articles/20100118cold_ironing_cal_port/

Οι υπάρχουσες εφαρμογές της μεθόδου Cold Ironing μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Μικρές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας (<1 MW), που εξυπηρετούνται χειροκίνητα όσον αφορά τα καλώδια παροχής και τις θύρες υποδοχής. Έτσι είναι και τα περισσότερα λιμάνια της Βαλτικής Θάλασσας με τέτοιες υπηρεσίες.
- 2) Για υψηλές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας (<12 MW), που εξυπηρετούνται από αυτοματοποιημένα συστήματα παροχής και σύνδεσης (ορισμένα λιμάνια των Ηνωμένων Πολιτειών και κυρίως στην περιοχή της Alaska).
- 3) Για υψηλές απαιτήσεις (2 έως 12 MW) σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (λιμάνι Long Beach).

Επί του παρόντος υπάρχει έλλειψη υποδομών και στα λιμάνια και στα πλοία καθώς και μη συμβατότητα των δικτύων σε τάση και συχνότητα ηλεκτρικού ρεύματος. Για παράδειγμα κάποια πλοία χρησιμοποιούν 440 V τάση με 50 Hz συχνότητα ή 60 Hz και κάποια 110 V τάση. Η αρχική τάση διανομής μπορεί να πάρει τιμές από 440 V έως και 11 kV. Η ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες W έως και πάνω από κάποια MW, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

του πλοίου. Έτσι γεννιέται το ερώτημα αν τα δίκτυα ξηράς (στο λιμάνι), μπορούν πάντα να καλύπτουν τις δημιουργούμενες ανάγκες από τα πλοία που χρησιμοποιούν τη μέθοδο Cold Ironing. Επίσης σε πολλά πλοία ο εξοπλισμός παροχής ρεύματος από την στεριά, σπανίως χρησιμοποιείται για τους παρακάτω λόγους:

- Η ποσότητα των εγκατεστημένων στοιχείων σύνδεσης με την ακτή, συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων, των διακοπών και άλλων στοιχείων διασύνδεσης, είναι περιορισμένη ειδικά για κάλυψη των αναγκών του πλοίου κατά την κατάσταση φορτο-εκφόρτωσης. Να σημειωθεί επίσης ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η αντιστοιχία τάσης μεταξύ στεριάς και πλοίου γίνεται με τη χρήση μετασχηματιστή τάσεως, ο οποίος όχι μόνο είναι σημαντικού βάρους και όγκου, αλλά δεν μπορεί να αντιστοιχίσει την συχνότητα του ρεύματος.
- Η σύνδεση δεν μπορεί εύκολα να παρακολουθείται και να ελέγχεται μέσω του υποσυστήματος διαχείρισης και ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας (PMS/EPMACS). Αυτό επιτυγχάνεται χειροκίνητα και βασίζεται στην εμπειρία του προσωπικού του πλοίου και του λιμένος. Επιπρόσθετα, στα περισσότερα πλοία δεν είναι ενσωματωμένη εγκατάσταση συγχρονισμού και κατά συνέπεια η αποκλειστική παροχή ρεύματος από την ακτή, επιβάλλει ένα προσωρινό black out (διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας). Αυτό συμβαίνει γιατί διακόπτοντας την λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών, απαιτείται ένα χρονικό διάστημα ως ότου γίνει η σύνδεση με την ακτή και υπάρξει παροχή από εκεί. Ωστόσο ένα προσωρινό black out σε ένα εμπορικό πλοίο θα ήταν ήσσονος σημασίας, δεν ισχύει το ίδιο και σε ένα κρουαζιερόπλοιο, όπου μια τέτοια κατάσταση θα ήταν δυσάρεστη.

B) Γεννήτρια λιμένος (port generator)

Μια ή περισσότερες γεννήτριες οι οποίες προορίζονται για την κάλυψη των εντός λιμένος απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου, σε ένα βέλτιστο σημείο λειτουργίας των γεννητριών. Η επιλογή της γεννήτριας αυτής, πρέπει να γίνεται από το στάδιο της σχεδίασης, γι' αυτό δεν θα ακολουθήσει αναλυτική αναφορά σε λεπτομερή στοιχεία.

Έχει αποδειχθεί ότι η ηλεκτροποίηση των περισσότερων μέσων φορτο-εκφόρτωσης (γερανοί, αντλίες, εργάτες) του πλοίου, αυξάνει σημαντικά τις απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια σε κατάσταση ελλειμνισμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι απαιτήσεις αυτές είναι μεγαλύτερες ακόμα και από καταστάσεις ελιγμών ή κανονικής πορείας του πλοίου. Έτσι λόγω αυτών των αυξημένων απαιτήσεων σε ηλεκτρικό ρεύμα, ίσως δεν θα χρειάζεται να υπάρχει μια ειδική γεννήτρια εγκατεστημένη επί του πλοίου γι' αυτό το σκοπό, αλλά μια από τις κύριες ηλεκτρογεννήτριες θα πρέπει να προορίζεται στην εξυπηρέτηση αυτών των φορτίων. Ωστόσο, η επιλεγόμενη γεννήτρια ή γεννήτριες θα πρέπει να λειτουργεί/ούν πάνω από το 75% της ονομαστικής ισχύος. Επιπλέον, μια κατάλληλη διαχείριση αυτής της γεννήτριας, προϋποθέτει τη λειτουργία της υπό την εποπτεία του υποσυστήματος διαχείρισης και ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας (EPMACS).

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε φορτηγά πλοία (bulk carriers) και σε δεξαμενόπλοια (tankers). Ενδεικτικά στη περίπτωση των δεξαμενόπλοιων τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου είναι:

- Μείωση του βάρους και του όγκου των εγκατεστημένων γεννητριών
- Σημείο λειτουργίας των γεννητριών, κοντά στο βέλτιστο (80-90%)

Γ) Βελτιστοποίηση λειτουργίας συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Η ανάπτυξη μιας διαδικασίας που θα βελτιστοποιεί τη λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου έχει ως άμεσα αποτελέσματα, τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και τη συντήρηση του αέριων εκπομπών κάτω από ένα καθορισμένο όριο. Επιπλέον, ελαχιστοποιείται το κόστος συντήρησης του συστήματος καθώς επίσης υπάρχει και συμμόρφωση με αρκετούς λειτουργικούς περιορισμούς προκειμένου να διασφαλιστεί η ταυτόχρονη οικονομική και οικολογική λειτουργία του συστήματος.

Η διαδικασία βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υπόκεινται σε πολλούς τεχνικούς και άλλους περιορισμούς, με σκοπό την ασφαλή του λειτουργία. Αυτοί οι περιορισμοί είναι:

- Περιορισμός ισχύος ισορροπίας: Εξασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης καθώς και την ευστάθεια συχνότητας.
- Περιορισμός υπερφόρτισης: η γεννήτρια δεν πρέπει να λειτουργεί κοντά στην ονομαστική της ισχύ για περισσότερο από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, γιατί έτσι δημιουργούνται αυξημένες θερμικές απώλειες. Επιπλέον μειώνεται η πιθανότητα διακοπής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (blackout).
- Περιορισμός χαμηλής φόρτισης: η γεννήτρια δεν θα πρέπει να φορτίζεται κάτω από ένα κατώτατο όριο, το οποίο καθορίζεται από τον κατασκευαστή της μηχανής, προκειμένου να μειωθεί το κόστος συντήρησής της και το κόστος, το οποίο δημιουργείται όταν η γεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας.
- Περιορισμός υψηλού ρυθμού μεταβολής φόρτισης της γεννήτριας: ο υψηλός ρυθμός μεταβολής της φόρτισης της γεννήτριας πρέπει να αποφεύγεται, ώστε να μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης μηχανικών καταπονήσεων και ζημιών.
- Περιορισμός αποφυγής διακοπής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (blackout): καθορίζει τη μέγιστη συνεχή φόρτιση της γεννήτριας, όπου το σύστημα δεν διατρέχει κίνδυνο να υποστεί διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (blackout).
- Περιορισμός χρήσης μονάδας έναρξης/διακοπής: η συχνή έναρξη/διακοπή της μονάδας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους συντήρησης και καυσίμων. Δευτερεύων περιορισμός στη χρήση της μονάδας έναρξης/διακοπής, μπορεί να αποτελεί η χρονική διάρκεια μεταξύ μιας έναρξης και μιας διακοπής της λειτουργίας της μονάδας.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Ένα ακόμη σημαντικό σκέλος της βελτιστοποίησης λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η δυνατότητα υπολογισμού της καταναλώσεως των καυσίμων και των παραγόμενων αέριων ρύπων.

Μέσω της κατανάλωσης καυσίμων, παράγονται οι καμπύλες ισχύος, που μπορούν εύκολα να προσεγγιστούν με δεύτερης τάξης πολυωνυμικές συναρτήσεις. Έτσι μπορεί να γίνει η ασφαλής υπόθεση ότι οι εκπομπές αέριων ρύπων του θερμοκηπίου (GHG) είναι ανάλογες της κατανάλωσης καυσίμων. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, ακολουθώντας το συλλογισμό των δεικτών EEDI και EEOI, ως αέριοι ρύποι θεωρείται το CO_2 . Συνεπώς, μπορούν να υπολογιστούν από το παρακάτω τύπο:

$$mCO_2 = \sum_i c_i \cdot FC_i(P_i)$$

Όπου, c_i είναι ένας συντελεστής μετατροπής για τον υπολογισμό της μάζας CO_2 , που αντιστοιχεί στο ειδικό βάρος του καυσίμου που καταναλώνεται από την i γεννήτρια.

Μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης των οικονομικών ωφελιών από τη διαδικασία βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου, λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους προαναφερείς περιορισμούς, οδηγεί στα παρακάτω:

Η αναπτυχθείσα διαδικασία βελτιστοποίησης είναι διακριτού χρόνου. Η διάρκεια των χρονικών διαστημάτων μεταξύ διαδοχικών εκτελέσεων της διαδικασίας, μπορεί να είναι μεταβλητή προκειμένου να ληφθεί το ελάχιστο δυνατό υπολογιστικό φορτίο. Θα πρέπει να είναι μικρότερα όταν το φορτίο του συστήματος αλλάζει, ενώ μεγαλύτερα όταν το φορτίο παραμένει σχεδόν σταθερό. Η διαδικασία βελτιστοποίησης αποδίδει το μέγιστο σημείο λειτουργίας της γεννήτριας, το οποίο περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$COST_{min} = \sum_i COST_i \cdot FC_i(P_{i,k}^*) + C_{ll} + C_{hl}$$

$$\text{Περιορισμός ισχύος ισορροπίας:} \quad \sum_i P_{i,k}^* = P_k$$

$$\text{Περιορισμός υπερφόρτισης και χαμηλής φόρτισης:} \quad P_{i,min} < P_{i,k}^* < P_{i,max}$$

$$\text{Περιορισμός υψηλού ρυθμού μεταβολής φόρτισης της γεννήτριας:} \quad |P_{i,k}^* - P_{i,k-1}^*| \leq Rr_{i,max}$$

$$\text{Περιορισμός εκπομπών αέριων ρύπων (GHG):} \quad \sum_i c_i \cdot FC_i(P_{i,k}^*) \leq GHG_{limit}$$

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

$$\text{Χαμηλής φόρτισης λειτουργικό κόστος: } C_{ll} = \begin{cases} C_0 + \frac{C_0 - C_1}{P_{i,\min} - 0.5} P_{ik}^*, & P_{i,\min} \leq P_{i,k}^* \leq 0.5 \\ C_1, & 0.5 \leq P_{i,k}^* \leq P_h \end{cases}$$

$$\text{Υψηλής φόρτισης λειτουργικό κόστος: } C_{hl} = C_2, \quad P_h < P_{i,k}^* \leq P_{i,\max}$$

Όπου:

$COST_i$, είναι το κόστος του καταναλισκόμενου καυσίμου από την i γεννήτρια ,

$FC_i(P_i)$ συνάρτηση κατανάλωσης καυσίμου από την i γεννήτρια,

P_k , είναι το υπολογισμένο ή μετρημένο φορτίο του συστήματος,

$P_{i,k}^*$, είναι η παρεχόμενη ισχύς από την i γεννήτρια,

$$Rr_{i,\max} = \frac{|P_{i,k}^* - P_{i,k-1}^*|_{\max}}{t_k - t_{k-1}}, \text{ είναι ο μέγιστος μεταβολής της } i \text{ γεννήτριας,}$$

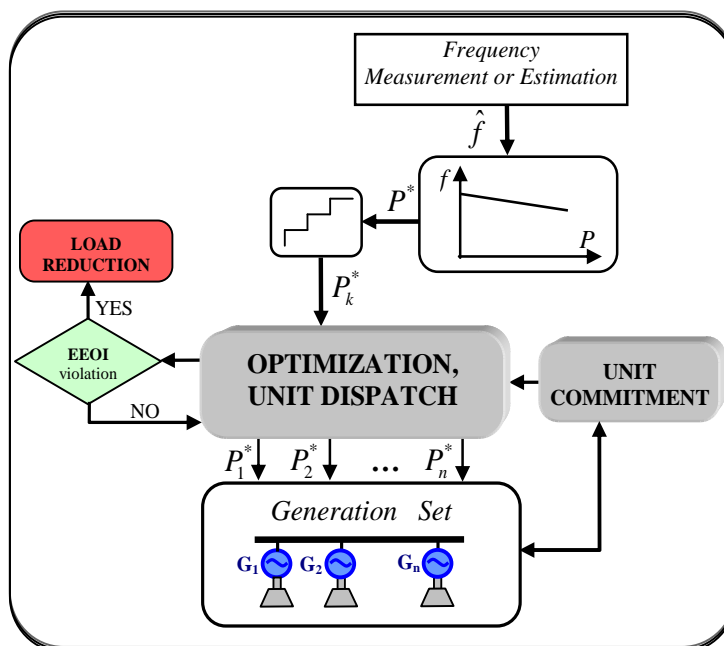
GHG_{limit} το όριο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου,

C_0, C_1 , είναι το κόστος συντήρησης όταν η μονάδα λειτουργεί στην ελάχιστη ισχύ ή πάνω από το 50% της ονομαστικής ισχύος αντίστοιχα,

C_2 , είναι το κόστος συντήρησης όταν η μονάδα λειτουργεί πάνω από το ανώτερο όριο ισχύος.

Μια εφαρμογή που βελτιστοποιεί την λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου και εφαρμόζεται υπό τη μορφή αλγορίθμου, είναι το σχηματικό διάγραμμα (block diagram) του ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας του πλοίου. Η ιδέα πίσω από αυτή τη σχηματική διάταξη του αλγορίθμου, είναι ότι αρχικά μετريέται η συχνότητα και στη συνέχεια υπολογίζεται η παραγωγή ενεργού ισχύος μέσω της γραμμικά φθίνουσας καμπύλης συχνότητας-ενεργού ισχύος. Η ενεργός ισχύς αναφοράς διακριτοποιείται και χρησιμοποιείται ως είσοδος του αλγορίθμου της βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία βελτιστοποίησης λαμβάνει ως είσοδο το σύνολο των δεσμευμένων γεννητριών και λαμβάνοντας υπ'όψη τους περιορισμούς λειτουργίας και ασφαλείας, έτσι ώστε να γίνεται η βέλτιστη κατανομή ισχύος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η βελτιστοποίηση εκτελείται σε συγκεκριμένους χρόνους ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας. Πιθανές προσωρινές μικρές αναντιστοιχίες μεταξύ φορτίου του συστήματος και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διορθώνονται από τις προσαρμογές της παραγωγής των γεννητριών με την ενεργοποίηση πρόσθετων τοπικών φθίνουσων καμπυλών συχνότητας-ενεργού ισχύος (f-P droops). Τέλος, αν τα πρόσθετα μέτρα ρύθμισης της συχνότητας δεν πετύχουν ή οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δεν μειώνονται κάτω από ένα ορισμένο όριο, τότε ενεργοποιείται η διαδικασία απόρριψης των μη κρίσιμων φορτίων. Επίσης υπάρχει περίπτωση φορτίου σε περίπτωση που η απόκλιση συχνότητας γίνεται απειλή για την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Σχήμα: 2.9 Σχηματικό διάγραμμα ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου.

Πηγή: Ship Electrical Energy system analysis (John Prousalidis, Charalampos Patsios, George Antonopoulos, Fotis Kanellos, George Tsekouras)

2.5.3 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPD)

Η βελτιστοποίηση του υποσυστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου (EPD), στο πρώτο της στάδιο περιλαμβάνει τη προοπτική της εγκατάστασης καλωδίων κατάλληλου μεγέθους, με βάση τη μέση εκτιμώμενη ζήτηση ισχύος και όχι την ονομαστική ζήτηση ισχύος. Βέβαια η βελτιστοποίηση του δικτύου διανομής έγκειται σε ενέργειες που πρέπει να γίνονται στο στάδιο της σχεδίασης του υποσυστήματος (design stage), γι' αυτό και η αναφορά θα είναι συνοπτική.

Μια εναλλακτική διαμόρφωση του καλωδιακού δικτύου του πλοίου, θα συνιστούσε την σχεδιάσή του βάσει των πραγματικών απαιτούμενων φορτίων και όχι των ονομαστικών φορτίων του συνόλου των συσκευών. Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόζεται μέχρι σήμερα, αλλά οδηγεί σε αύξηση του κόστους καλωδίων και του βάρους, καθώς είναι γνωστό ότι οι συσκευές λειτουργούν σπανίως στην ονομαστική τους ισχύ. Μια σειρά από ενέργειες στη κατεύθυνση της βελτιστοποίησης μπορούν να εντοπιστούν κυρίως στο στάδιο της σχεδίασης και συγκεκριμένα στη σωστή διαστασιολόγηση των καλωδίων. Πιο συγκεκριμένα, στον ηλεκτρικό ισολογισμό θα πρέπει να λαμβάνεται η μη συνεχής λειτουργία όλου του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Με αυτή τη τακτική θα γίνεται επιλογή μικρότερων διατομών καλωδίων. Αυτό ήδη θεωρείται μια κοινή τακτική σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις ξηράς, ενώ υπάρχει αυξανόμενη αποδοχή και από τους νηογνώμονες και σε εφαρμογές πλοίων. Η μη συνεχής λειτουργία, καθορίζεται από τους παράγοντες του φορτίου εξυπηρέτησης. Μειώνοντας το μέγεθος των καλωδίων προκύπτει:

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

- Μείωση του βάρους καλωδίων, που συνεπάγεται μείωση κόστους
- Πιθανή αύξηση του μεταφερόμενου φορτίου.

Φυσικά να υπογραμμιστεί ότι υπάρχουν και μειονεκτήματα στην εφαρμογή της μεθόδου, τα οποία δεν θα αναλυθούν σε αυτή τη διπλωματική εργασία καθώς περαιτέρω έρευνα είναι σε εξέλιξη στο πλαίσιο άλλης διπλωματικής εργασίας.

Μια ακόμη διαδικασία βελτιστοποίησης η οποία ανήκει επίσης στο στάδιο της σχεδίασης του ηλεκτρολογικού συστήματος διανομής του πλοίου, είναι η εναλλακτική διαμόρφωση του δικτύου διανομής ισχύος.

Παρόλο που τα συστήματα εναλλασσομένου ρεύματος (AC) είναι πιο πολύ χρησιμοποιούμενα, τα τελευταία χρόνια τα ηλεκτρικά συστήματα συνεχούς ρεύματος (DC) κερδίζουν το ενδιαφέρον λόγω των αυξημένων πλεονεκτημάτων τους και με τη βοήθεια των τελευταίων εξελίξεων στο τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος.

Μερικά ενδεικτικά πλεονεκτήματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Μείωση μεγέθους διακοπών
- Απλούστευση των συνδέσεων διαφορετικών τύπων και ισχύος συσκευών
- Εξάλειψη των μεγάλων μετασχηματιστών χαμηλής συχνότητας
- Εξάλειψη της πτώσης τάσης και των επακόλουθων απωλειών
- Ανώτερη ονομαστική ισχύς για δεδομένη διατομή καλωδίου
- Μείωση του όγκου και του βάρους του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση υψηλής ταχύτητας γεννητριών.

Βεβαίως και σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει να εξεταστούν πολλοί παράγοντες κατά τη διάρκεια της σχεδίασης του συστήματος, όπως:

- Θέματα ευστάθειας,
- Ανάλυση σφαλμάτων βραχυκυκλώσεως,
- Αρμονική ανάλυση της ποιότητας ισχύος.

2.5.4 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPC).

Μέσω αυτού του υποκεφαλαίου, θα γίνει η ανάλυση βελτιστοποίησης του υποσυστήματος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου. Το αντικείμενο αυτό ανήκει και στο στάδιο της σχεδίασης αλλά και στο λειτουργικό.

Τα ηλεκτρικά φορτία μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κύριες ομάδες: δυναμικά φορτία περιστροφής (π.χ. ηλεκτρικοί κινητήρες) και παθητικά φορτία (που αποτελούνται κυρίως από τον φωτισμό). Στις μέρες μας οι καινοτόμες ιδέες στρέφονται στην εκ των υστέρων τοποθέτηση παθητικών φορτίων (π.χ. μέσω λαμπτήρων LED). Όσον αφορά στα δυναμικά φορτία περιστροφής, έχει γίνει προσπάθεια για την εκτίμηση των δυο διαφορετικών τύπων κινητήρων. Πιο συγκεκριμένα:

- i) οι κινητήρες της ηλεκτρικής πρόωσης. Να σημειωθεί ότι η υπόθεση αυτή καλύπτει και άλλους τύπους περιστρεφόμενων μηχανημάτων, όπως ανεμιστήρες και φυγοκεντρικές αντλίες που ακολουθούν την ίδια καμπύλη φόρτισης (δηλ., ροπή ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας περιστροφής του).

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ii) άλλες μονάδες με κινητήρα του οποίου το διάγραμμα ροπής-ταχύτητας περιστροφής αποτελείται από συνεχείς βηματικές αλλαγές της ροπής, όπως για παράδειγμα απαιτείται από τους γερανούς ανύψωσης βάρους, βαρούλκα κ.λ.π.

A) Εναλλακτικά συστήματα φωτισμού

Όσον αφορά στα παθητικά φορτία των πλοίων, ο φωτισμός παίζει σημαντικό ρόλο σε μεγάλα επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Έτσι, η αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων φωτισμού, με οικονομικούς λαμπτήρες φθορισμού, αλογόνου ή LED²⁶ θα μπορούσε να μειώσει το λειτουργικό κόστος αλλά και τις εκπομπές καυσαερίων CO₂. Βέβαια, η προοπτική αντικατάστασης των κοινών λαμπτήρων φωτισμού με LED ή MICRO CFL λαμπτήρων, θα πρέπει να διερευνηθεί και από οικονομικής και από τεχνικής απόψεως. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ιδιότητες για δυο συγκεκριμένους τύπους λαμπτήρων LED και MICRO CFL και γίνεται σύγκριση μεταξύ αυτών και του κοινού λαμπτήρα πυρακτώσεως. Επίσης, παρουσιάζονται οι διαφορές σε εκπομπές CO₂ σε κάθε περίπτωση. Οι ιδιότητες του απλού λαμπτήρα πυρακτώσεως λαμβάνεται ως μέτρο αναφοράς.

	LED TYPE A	LED TYPE B	SOFT WHITE INCANDESCENT*	MICRO CFL
Wattage or Wattage equivalent	40	25	40	60
Cost per bulb at 25000 hrs of use	20 USD	28USD	0.75USD	2 USD
No of bulbs	1	1	17	2-3
Cost of bulbs	20 USD	28 USD	12.75 USD	4-6 USD
kWh needed	175	125	1000	325
Energy cost (at average US cost of \$0.10/ kWh)	17.50 USD	12.50 USD	100 USD	32.50 USD
Total cost	37.50 USD (66,6% reduction over reference)	40.50 USD (64% reduction over reference)	112.75 USD (reference)	37.50USD (66,6% reduction over reference)
CO ₂ produced (Gas 0.36kg CO ₂ /kWh)	63 (82,5% reduction over reference)	45 (87,5% reduction over reference)	360 (reference)	117 (67,5% reduction over reference)

²⁶ Light-emitting diode-Συντομογραφίες σελ: 80

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

CO ₂ produced (ship DFO 0.69kg CO ₂ /kWh))	121 (82,5% reduction over reference)	86 (87,5% reduction over reference)	690 (reference)	224 (67,5% reduction over reference)
CO ₂ produced (ship RFO 0.722kg CO ₂ /kWh))	126 (82,5% reduction over reference)	90 (87,5% reduction over reference)	722 (reference)	162 (77,5% reduction over reference)

Πίνακας: 2.10 Σύγκριση λαμπτήρων LED και MICRO CFL²⁷ με κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Πηγή: Ship Electrical Energy system analysis (John Prousalidis, Charalampos Patsios, George Antonopoulos, Fotis Kanellos, George Tsekouras)

Πολλές κυβερνήσεις ανά τον κόσμο έχουν υιοθετήσει μέτρα για την αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων πυρακτώσεως. Ωστόσο, αυτά τα μέτρα επρόκειτο να έχουν αποτελέσματα σε τουλάχιστον πέντε χρόνια. Παρόλο που οι λαμπτήρες LED είναι πολύ πιο οικονομικοί από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με τους πυρακτώσεως, δεν είναι τόσο οικονομικοί σε σχέση με τους λαμπτήρες φθορισμού. Επιπλέον, το κόστος κτήσης των λαμπτήρων LED είναι πολύ μεγαλύτερο, αλλά θα πρέπει να θεωρείται ως μια μακροχρόνια επένδυση και να μην υπάγεται στην κατηγορία των αναλωσίμων, καθώς η διάρκεια ζωής τους υπερβαίνει τις 25000 ώρες λειτουργίας (10-20 έτη). Η χρήση των LED θα μπορούσε να βρει εφαρμογές σε πλοία, καθώς και αυτά προορίζονται για μακροχρόνια χρήση. Βέβαια η εμπορική ανωριμότητα που επικρατεί ακόμα στην αγορά καθώς και πιθανές μελλοντικές διακυμάνσεις των τιμών θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.

2.5.5 Βελτιστοποίηση υποσυστήματος Διαχείρισης και Ελέγχου Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPMACS)

Η βελτιστοποίηση του υποσυστήματος διαχείρισης και ελέγχου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου (EPMACS), είναι ένα ζήτημα που επαφίεται κυρίως στη διαδικασία της λειτουργίας του πλοίου (operation) και λιγότερο στη διαδικασία της σχεδίασής του (design). Αντιθέτως, η προσπάθεια βελτιστοποίησης των υπόλοιπων υποσυστημάτων που προαναφέρθηκαν (Power Generation, Power Distribution and Power Consumption), αφορά και τη σχεδίαση αλλά και τη λειτουργία του πλοίου. Αυτή η περιοχή έρευνας λοιπόν, περιλαμβάνει την μελέτη των χαρακτηριστικών και της γενικότερης συμπεριφοράς ολόκληρης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του πλοίου, δηλ. των υποσυστημάτων της παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λειτουργία. Όπως έχει δείχθει, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου, η συμπεριφορά του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης του EPG συστήματος αντίστοιχα), μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε σημαντικό σημείο. Τα αποτελέσματα της βελτιστοποιημένης λειτουργίας στην κατανάλωση καυσίμων, στις εκπομπές αερίων

²⁷ Compact Fluorescent Lamp-Συντομογραφίες σελ: 80

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ρύπων και στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας είναι σημαντικά. Ένας αλγόριθμος με την ονομασία EPMACS-opt έχει αναπτυχθεί, εστιάζοντας στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας ολόκληρου του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου μέσω της βελτιστοποίησης της λειτουργίας του υποσυστήματος διαχείρισης και ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου (EPMACS). Ο δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας λειτουργίας (EEOI), αποτελεί κριτήριο βελτιστοποίησης. Ωστόσο, άλλα εναλλακτικά κριτήρια, (όπως η κατανάλωση καυσίμου ή η απώλεια ενέργειας ή ακόμα και η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας) έχουν επίσης εξεταστεί. Το ενδιαφέρον σημείο της έρευνας είναι ότι ένας αλγόριθμος σαν και αυτόν, μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου, όπως για παράδειγμα το SEEMP (Ship Energy Efficiency Master Plan).

A) Αλγόριθμος EPMACS-opt

Όπως έχει είδη αναφερθεί ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ενσωματώνει τον αλγόριθμο EPG-opt, με τον τελευταίο να αναφέρεται στη βελτιστοποιημένη λειτουργία του συστήματος παραγωγής. Η ανάπτυξη της βελτιστοποιημένης λειτουργίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, στη διατήρηση των αέριων εκπομπών κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, στην ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης και στη συμμόρφωση με αρκετούς λειτουργικούς περιορισμούς ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής, οικονομική και οικολογική ταυτόχρονη λειτουργία. Η ανάλυση του προβλήματος εφαρμογής της βελτιστοποιημένης λειτουργίας (και με την βοήθεια του αλγορίθμου EPMACS-opt), περιλαμβάνει την εγκατάσταση **πλήρους ηλεκτροποιημένου συστήματος πρόωσης του πλοίου. Βέβαια με μικρές τροποποιήσεις μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους εγκαταστάσεων πρόωσης.** Επίσης προορίζεται για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, που αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (ο χρόνος εκτέλεσης είναι σημαντικά μικρότερος από το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών εκτελέσεων του αλγορίθμου). Ωστόσο, είναι εύκολα παρατηρήσιμο ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για μεγάλες χρονικές περιόδους δεν είναι εύκολα υπολογίσιμα.

Θα πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με άλλες διαδικασίες βελτιστοποίησης που αφορούν τα υποσυστήματα διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, και στα οποία η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται μια φορά κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος ή της αναμόρφωσής του. Η βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζεται συνεχώς και επιτυγχάνει λειτουργικά αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί, να βελτιωθεί και να τροποποιηθεί δεδομένου ότι εξαρτάται κυρίως από το λογισμικό και τις εγκαταστάσεις μέτρησης που βρίσκονται συνήθως σε συστήματα ισχύος εξοπλισμού πλοίων.

Η βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της αποδοτικότητας του μετατροπέα, σε συνδιασμό με τη βέλτιστη διαχείριση των ηλεκτρικών φορτίων, κατάλληλα ενσωματωμένων στο EPMACS, θα οδηγήσει στη συνολική βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο, της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε μια από τις παραπάνω διαδικασίες βελτιστοποίησης δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται ανεξάρτητα, αλλά κάθε δυνατή συνέργεια πρέπει να

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

αξιοποιηθεί, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα κέρδη στην κατανάλωση καυσίμου και στη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΕΟΙ-ΕΝΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ SEEMP.

3.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας των ενεργειακών εγκαταστάσεων (ηλεκτρικών και συμβατικών) του πλοίου, απαιτεί τη γνώση του δείκτη ΕΕΟΙ, καθώς αποτελεί βασικό στοιχείο κρίσης και διαμόρφωσης του σχεδίου SEEMP. Στην πραγματικότητα καταδεικνύει την εν μέρει αποτελεσματικότητα του σχεδίου SEEMP που έχει εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση, μεταφραζόμενη σε μείωση εκπομπών ρύπων CO_2 ανά μεταφορικό έργο του πλοίου και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες ανατροφοδότησης (feedback) και αναθεώρησης του εκάστοτε σχεδίου SEEMP.

Ο λεπτομερής υπολογισμός του δείκτη ΕΕΟΙ, αποτελεί ένα σύνθετο εγχείρημα, καθώς έχει επίδραση από πλήθος λειτουργικών παραγόντων, όπως:

- Η ταχύτητα του πλοίου
- Ο καιρός που πλέει το πλοίο
- Το είδος και η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου
- Το μεταφερόμενο φορτίο
- Η κατάσταση πλεύσης του πλοίου (full load, ballast, anchored)
- Η φόρτιση της κύριας μηχανής, καθώς και των ηλεκτρογεννητριών
- Η καθαριότητα της γάστρας και της έλικας
- Ο χρόνος χρήσης του καυστήρα

Όπως είναι προφανές, είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί η ακριβής συνεισφορά όλων αυτών των παραγόντων σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), έτσι ώστε η ακρίβεια του δείκτη να είναι η μεγαλύτερη δυνατή. Ακόμα και οι προσπάθειες πολλών μεγάλων νηογνωμόνων (μέλη του IACS) για την κατασκευή μιας τέτοιας υπορουτίνας (EEOI calculator), περιορίζονται σε χρήση βασικών πληροφοριών όπως η χρήση μιας μέσης ταχύτητας πλοίου, το είδος και η ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται, η κατάσταση φόρτωσης του πλοίου καθώς και το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου. Σε αυτά τα δεδομένα βασίστηκε και η κατασκευή του παρακάτω αλγορίθμου υπολογισμού του δείκτη ΕΕΟΙ, ο οποίος θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

3.2 Αλγόριθμος υπολογισμού ΕΕΟΙ (EEOI calculator)

3.2.1 ΕΕΟΙ βασισμένος σε καταστάσεις TRIP/ANCHORAGE/LOADING-DISCHARGING.

Ο υπολογισμός του δείκτη ΕΕΟΙ σε αυτή τη διπλωματική εργασία υπολογίζεται μέσω της χρήσης μιας υπορουτίνας (subroutine) κατασκευασμένης σε υπολογιστικό

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

περιβάλλον Microsoft EXCEL. Τα στοιχεία που λαμβάνει υπ' όψη στον υπολογισμό είναι η διανυθείσα απόσταση σε ναυτικά μίλια (nm), το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου σε τόνους (mt), την κατανάλωση καυσίμου HFO ανά ταξίδι σε τόνους (mt), καυσίμου MDO ανά ταξίδι σε τόνους (mt), και MGO σε τόνους (mt). Επειδή στην πλειονότητα των πλοίων δεν υπάρχουν μετρητές για τον προσδιορισμό της ποσότητας των εκπεμπόμενων ρύπων, η προσέγγιση έγινε μέσω χρήσης δεδομένων για τις καταναλώσεις καυσίμων και με τη βοήθεια συντελεστών μετατροπής. Τα στοιχεία των καταναλώσεων προήλθαν από τις ημερήσιες αναφορές (daily reports) των πληρωμάτων τριών φορτηγών πλοίων, συγκεκριμένης ναυτιλιακής εταιρείας.

Έχοντας λοιπόν ως δεδομένα την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα (m_{CO_2}) σε τόνους (tons), την ποσότητα του μεταφερόμενου φορτίου m_{CARGO} σε τόνους (tons) και την διανυθείσα απόσταση σε ναυτικά μίλια (nm), γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη EEOI μέσω της γνωστής σχέσης:

$$EEOI = m_{CO_2} / \text{transportwork}$$

δηλαδή:

$$EEOI = m_{CO_2} / (m_{CARGO} * D)$$

Όπου :

- m_{CARGO} η μάζα του μεταφερόμενου φορτίου (mt)
- D η διανυθείσα απόσταση σε ναυτικά μίλια
- m_{CO_2} η ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων CO_2 σε τόνους (tons)

Η παραπάνω σχέση παρουσιάζει όμως ένα σημαντικό υπολογιστικό κενό στον προσδιορισμό του συντελεστή EEOI. Δεν λαμβάνει υπ' όψη τις καταναλώσεις καυσίμων από τα πλοία κατά την διάρκεια ελλιμενισμού (κατάσταση φορτο-εκφόρτωσης) και αγκυροβολίου τους. Να σημειωθεί ότι οι προαναφερθέντες χρόνοι δεν είναι αμελητέες ποσότητες και αποτελούν για ένα πλοίο ένα σημαντικό χρονικό κομμάτι της ολικής διάρκειας ζωής του. Κατ'επέκταση οι καταναλώσεις των καυσίμων και η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα CO_2 κατά τη διάρκεια αυτών των καταστάσεων είναι ένα ακόμα στοιχείο που δίνει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της αρχικής εκτίμησης του συντελεστή EEOI. Σαφώς μπορούν να ληφθούν υπ' όψη και πολύ άλλοι παράγοντες που έχουν επίδραση, βέβαια με το κόστος ενός πολύ δύσκολου αλγορίθμου, καθώς τα στοιχεία για τέτοιου είδους μελέτες δεν είναι επαρκή από εταιρείες του χώρου, όπως επίσης και η μεγάλη πολυπλοκότητά του.

Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει η υπορουτίνα αυτής της διπλωματικής εργασίας. Γίνεται δηλαδή ένας λεπτομερέστερος υπολογισμός των καταναλισκόμενων καυσίμων ταξιδιού, συνυπολογίζοντας και τις καταστάσεις φόρτωσης-εκφόρτωσης και αγκυροβολίου. Αυτό προϋποθέτει την γνώση των καταναλώσεων καυσίμων κατά τη διάρκεια ελλιμενισμού και αγκυροβολίου του πλοίου, που προκύπτει όπως και ανωτέρω από τις ημερήσιες αναφορές (daily reports) καταναλώσεων του πληρώματος.

**Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου**

Ως δεδομένο θεωρείται ότι σε κάθε ταξίδι του κάθε πλοίου, θα υπάρχει διάστημα ημερών δαπανώμενων στο λιμάνι και το αγκυροβόλιο. Οπότε στον υπολογισμό του δείκτη ΕΕΟΙ θα εισάγεται όχι μόνο το καταναλισκόμενο καύσιμο την ώρα του ταξιδιού αλλά και αυτό που αφορά τις άλλες δυο προαναφερθείσες καταστάσεις.

Η εν λόγω υπορουτίνα παρουσιάζεται ακολούθως:

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

A	B	C	D	E	F	G	H
EEOI BASED ON TRIP/ANCHORAGE/LOADING-DISCHARGING							
Voyage No.	ΣHFO Consum.(trip/anchor./loading) (tons)	ΣLFO Consum.(trip/anchor./loading) (tons)	ΣMDO Consum.(trip/anchor./loading) (tons)	ΣLoaded Distan. (nm)	Cargo (tons)	Factor (tons-Miles)	EEOI total
1	287,04	18,45	1,2	2758,3	44600	123020180	7,76947E-06
2	633,62	60	1,3	5786,64	43055	249143785	8,69496E-06
3	85,5	0,4	4,9	571	32000	18272000	1,54947E-05
4	157,1	0	0,8	1886	32363	61036618	8,05677E-06
5	163,05	0,5	0,6	1903,68	32363	61608795,8	8,29792E-06
6	1038,13	0	0,9	11594,88	66000	765262080	4,2281E-06
Total:	2364,44	79,35	9,7	24500,5	250381	1278343459	5,97946E-06

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Στην παρούσα υπορουτίνα υπολογισμού του συντελεστή ΕΕΟΙ κύριο ρόλο στους υπολογισμούς έχει το είδος του καταναλισκόμενου καυσίμου ή κάποιος συνδυασμός αυτών, όπως επίσης και το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου. Στους υπολογισμούς εμπλέκονται εμμέσως και δευτερεύουσες παράμετροι, όπως η ταχύτητα και οι χρόνοι παραμονής του πλοίου σε λιμάνια και αγκυροβόλια. Ο συντελεστής που παράγεται αφορά το σύνολο των ταξιδιών που εισάγει ο χρήστης (total), καθώς και κάθε ταξίδι χωριστά. Όσον αφορά την εισαγωγή δεδομένων στον αλγόριθμο, ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει μονάχα τα κόκκινα κελιά με την ακόλουθη σειρά:

- Στήλη Α: το νούμερο του εκτελούμενου ταξιδιού ή την ακολουθούμενη διαδρομή
- Στήλη Β: την κατανάλωση ανά ταξίδι (συμπεριλαμβανομένου του αγκυροβολίου και της φόρτωσης-εκφόρτωσης) καυσίμου Heavy Fuel Oil (HFO) σε τόννους
- Στήλη C: την κατανάλωση ανά ταξίδι (συμπεριλαμβανομένου του αγκυροβολίου και της φόρτωσης-εκφόρτωσης) καυσίμου Low Sulphur Fuel Oil (LSFO) σε τόννους
- Στήλη D: την κατανάλωση ανά ταξίδι (συμπεριλαμβανομένου του αγκυροβολίου και της φόρτωσης-εκφόρτωσης) καυσίμου Diesel Oil (DO) σε τόννους
- Στήλη E: την διανυθείσα απόσταση ανά ταξίδι σε ναυτικά μίλια (nm)
- Στήλη F: το βάρος μεταφερόμενου φορτίου σε τόννους

Τα μπλέ κελιά είναι παραγόμενα από το πρόγραμμα και υπολογίζουν δεδομένα απαραίτητα για την εφαρμογή του τύπου του ΕΕΟΙ, χωρίς να υπάρχει κάποια περαιτέρω υποχρέωση από τον χρήστη. Αυτές οι πληροφορίες είναι:

- Στήλη G: ένας παράγοντας σε μονάδες (tn/nm)

Τέλος, τα πράσινα κελιά,

- Στήλη H: είναι τα παραγόμενα αποτελέσματα του δείκτη ΕΕΟΙ για κάθε ταξίδι χωριστά. Καταληκτικά υπάρχει η κίτρινη σειρά, η οποία παρουσιάζει τα αθροίσματα όλων των παραπάνω μεγεθών, όπως επίσης και του συνολικού συντελεστή ΕΕΟΙ (total ΕΕΟΙ), ο οποίος αναφέρεται για το σύνολο των ταξιδιών που έχουν εκχωρηθεί από το χρήστη.

Η υπορουτίνα έχει κατασκευαστεί όσο δυνατόν φιλικότερη ως προς τον χρήστη, με γρήγορη κατανοητή και εύκολη συμπλήρωση δεδομένων εισόδου, έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεστεί και από κάποιο μέλος του πληρώματος του πλοίου.

3.2.2 ΕΕΟΙ βασισμένος μόνο στην κατάσταση ταξιδιού

Η απλοποίηση της παραπάνω υπορουτίνας, βασίζεται στον υπολογισμό του δείκτη ΕΕΟΙ λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο τις καταναλώσεις καυσίμων κατά τη διάρκεια ταξιδιού. Αυτή η μορφή υπολογισμού είναι που χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι και τώρα. Ο απλοποιημένος αλγόριθμος ακολουθεί παρακάτω και παρατίθεται ώστε να γίνουν συγκρίσεις αποτελεσμάτων.

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

A	B	C	D	E	F	G	H
EEOI BASED ON TRIP							
Voyage No.	ΣHFO Consum.(trip) (tons)	ΣLFO Consum.(trip) (tons)	ΣMDO Consum.(trip) (tons)	ΣLoaded Distan. (nm)	Cargo (tons)	Factor (tons-Miles)	EEOI trip
1	610,2	0	0	5791	43055	249331505	7,62103E-06
2	265,96	0	0	1608	75000	120600000	6,86733E-06
3	39,31	0	0,3	571	32000	18272000	6,7517E-06
4	127,33	0	0,8	1886	32363	61036618	6,53795E-06
5	133,85	0	0,6	1903,68	32363	61608795,8	6,79644E-06
6	1028,96	0	0	11594,88	66000	765262080	4,18704E-06
Total:	2205,61	0	1,7	23354,56	280781	1276110999	5,38643E-06

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

3.3 Εφαρμογή αλγορίθμου σε τρία φορτηγά πλοία (Bulk Carriers)

Σε αυτή την ενότητα γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη EEOI με τη χρήση και των δύο ανωτέρω παραλλαγών του αλγορίθμου, για τρία φορτηγά πλοία (bulk carriers), για τα οποία έχουν εξασφαλιστεί επαρκή στοιχεία ταξιδιού. Έτσι, καθίσταται δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων του δείκτη EEOI για την κατάσταση ταξιδιού των πλοίων και για την μεικτή κατάσταση (ταξίδι/αγκυροβόλιο/ελλιμενισμός).

Το πλοίο 1 αναφέρεται σε ένα φορτηγό πλοίο (**SUPRAMAX**) έτους κατασκευής 2010, με DWT 58114 τόνους και βασικές διαστάσεις:

$$L_{bp} = 190m$$

$$B = 32m$$

$$V_s = 7.5kn(average)$$

Το πλοίο 2 είναι επίσης ένα φορτηγό πλοίο (**HANDYSIZE**) έτους κατασκευής 2011, με DWT 33918 τόνους και βασικές διαστάσεις:

$$L_{bp} = 181m$$

$$B = 30m$$

$$V_s = 11.7kn(average)$$

Το πλοίο 3 αναφέρεται σε ένα ακόμη φορτηγό πλοίο τύπου (**PANAMAX**) έτους κατασκευής 2011, με DWT 74333 τόνους και βασικές διαστάσεις:

$$L_{bp} = 225m$$

$$B = 32m$$

$$V_s = 8.2kn(average)$$

3.3.1 Study Case 1 (SUPRAMAX)- 58114 DWT

Το πλοίο 1 κινείται μέσω συμβατικής προώσεως από 2-χρονο αργόστροφο κινητήρα Diesel MITSUI-MAN B&W 6S50MC-C ισχύος 8400 KW και είναι εξοπλισμένο με τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη DAIHATSU τετράχρονων κινητήρων, τύπου 6DC-17A ισχύος 530 KW. Τα στοιχεία καταναλώσεων καυσίμου έχουν ληφθεί από τις ημερήσιες αναφορές του πληρώματος, σε συνάρτηση με δευτερεύουσες πληροφορίες, όπως ταχύτητα, μεταφερόμενο φορτίο και απόσταση ταξιδιού. Τα ταξίδια για τα οποία θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος για το πλοίο 1, είναι δύο.

Εφαρμόζοντας την υπορουτίνα για τον υπολογισμό του EEOI, προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:

- Ταξίδι 1: Vancouver-Lazaro Cardenas (2758.3 nm) με μεταφερόμενο φορτίο 44600 tons.

EEOI (trip/anchorage/loading): 7,76947E-06

EEOI (trip): 6,86733E-06

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

- Ταξίδι 2: Manzanillo-Akita (5786,64 nm) με μεταφερόμενο φορτίο 43055 tons.

EEOI (trip/anchorage/loading): 8,69496E-06

EEOI (trip): 7,62103E-06



Εικόνα 3.1: Το πλοίο 1 στο Hammond, OR USA (2010-11-03).

Πηγή: www.marinetraffic.com

Στα ταξίδια του πλοίου I παρατηρείται ελαφρά αύξηση του δείκτη βελτιστοποιημένης απόδοσης (EEOI) στη μεικτή κατάσταση ταξιδιού και φόρτωσης-εκφόρτωσης (anchorage-loading/trip) από αυτή του ταξιδιού (trip). Αυτό προφανώς οφείλεται στις επιπλέον καταναλώσεις καυσίμων για την εξυπηρέτηση των φορτίων που προκύπτουν από τη χρήση των βοηθητικών μηχανημάτων του πλοίου, όπως γερανοί, αντλίες κ.α. Σε αυτά τα δύο εξεταζόμενα ταξίδια η αύξηση του δείκτη κυμαίνεται περίπου στο 11,5-12,3%. Βέβαια αυτή η αύξηση καθορίζεται από πλήθος παραγόντων και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ως “de facto” αύξηση για κάθε περίπτωση.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

3.3.2 Study Case 2 (HANDYSIZE)- 33918 DWT

Το πλοίο 2 κινείται μέσω συμβατικής προώσεως από 2-χρονο αργόστροφο κινητήρα Diesel HYUNDAI-MAN B&W 6S42MC7 ισχύος 6480 KW. Τα στοιχεία καταναλώσεων καυσίμου έχουν ληφθεί από τις ημερήσιες αναφορές του πληρώματος, σε συνάρτηση με δευτερεύουσες πληροφορίες όπως ταχύτητα, μεταφερόμενο φορτίο και απόσταση ταξιδιού. Τα ταξίδια για τα οποία θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος για το πλοίο 2, είναι τρία.

Εφαρμόζοντας την υπορουτίνα για τον υπολογισμό του EEOI, προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:

- Ταξίδι 1: Viskhapatnam-Chittagong (571 nm) με μεταφερόμενο φορτίο 32000 tons

EEOI (trip/anchorage/loading): 1,54947E-05

EEOI (trip): 6,7517E-06

- Ταξίδι 2: Kakinada-Singapore (1886 nm) με μεταφερόμενο φορτίο 32363 tons

EEOI (trip/anchorage/loading): 8,05677E-06

EEOI (trip): 6,53795E-06

- Ταξίδι 3: Singapore-Shihu (1903.68 nm) με μεταφερόμενο φορτίο 32363 tons

EEOI (trip/anchorage/loading): 8,29792E-06

EEOI (trip): 6,79644E-06

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου



Εικόνα 3.2: Το πλοίο 2 Fredrikstad Norway (2010-11-03).

Πηγή: www.marinetraffic.com

Στα ταξίδια του πλοίου 2 παρατηρείται σημαντική αύξηση του δείκτη βελτιστοποιημένης απόδοσης (EEOI) στις καταστάσεις του αγκυροβόλιου και της φόρτωσης-εκφόρτωσης (anchorage-loading) από αυτές του ταξιδιού (trip). Αυτό όπως και στην περίπτωση του πλοίου 1, προφανώς οφείλεται στις επιπλέον καταναλώσεις καυσίμων για την εξυπηρέτηση των φορτίων που προκύπτουν από τη χρήση των βοηθητικών μηχανημάτων του πλοίου, όπως γερανοί, αντλίες κ.α. **Αλλά**, στα εξεταζόμενα ταξίδια του πλοίου 2, **καθοριστικός παράγοντας** αυτών των αυξήσεων που κυμαίνονται από το 18,1-56,41% είναι οι πολύ μεγάλοι χρόνοι αναμονής για την εξυπηρέτηση των πλοίων από το λιμάνι σε σχέση με τη μικρή απόσταση ταξιδιού, η οποία καλύπτεται σε μόλις δυο ή τρεις μέρες. Αυτοί οι χρόνοι προέρχονται από τις ημερήσιες αναφορές του πληρώματος.

3.3.3 Study Case 3 (PANAMAX)- 74333 DWT

Το πλοίο 3 κινείται μέσω συμβατικής προώσεως από 2-χρονο αργόστροφο κινητήρα Diesel MITSUI-MAN B&W 6S60MC-C ισχύος 9710 KW και είναι εξοπλισμένο με τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη της TAIYO ELECTRIC Co, Ltd τετράχρονων κινητήρων, τύπου 5DC-17A ισχύος 440 KW. Τα στοιχεία καταναλώσεων καυσίμου έχουν ληφθεί από τις ημερήσιες αναφορές του πληρώματος, σε συνάρτηση με δευτερεύουσες πληροφορίες όπως ταχύτητα, μεταφερόμενο φορτίο

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

και απόσταση ταξιδιού. Ο αλγόριθμος για τη περίπτωση του πλοίου 3 θα εκτελεστεί για ένα ταξίδι, λόγω έλλειψης επιπλέον δεδομένων.

Εφαρμόζοντας την υπορουτίνα για τον υπολογισμό του EEOI, προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:

- Ταξίδι 1: Tianjin-Rio de Janeiro (11594,88 nm) με μεταφερόμενο φορτίο 66000 tons.

EEOI (trip/anchorage/loading): 4,2281E-06

EEOI (trip): 4,18704E-06



Εικόνα: 3.3 Το πλοίο 3 Port of Vancouver (2010-11-03).

Πηγή: www.marinetraffic.com

Στο ταξίδι του πλοίου 3 (Tianjin-Rio de Janeiro), παρατηρείται ότι ο μεικτός δείκτης $EEOI_{(TRIP/ANCHORAGE/LOADING)}$ είναι ελαφρά μεγαλύτερος από τον $EEOI_{(TRIP)}$. Η αύξηση είναι της τάξης του 0,97% , καθώς για μεγάλα φορτηγά πλοία τύπου PANAMAX, CAPESIZE ή ακόμα και σε άλλες περιπτώσεις, ο χρόνος φόρτωσης-εκφόρτωσης είναι πολύ σύντομος (2-4 ημέρες) και έτσι περιορίζεται η κατανάλωση καυσίμου σε αυτές τις καταστάσεις. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας της μικρής διαφοροποίησης του EEOI σε αυτούς τους τύπους πλοίων είναι ότι δεν έχουν ίδια μέσα φόρτωσης-εκφόρτωσης (γερανοούς), και έτσι οι ανάγκες ηλεκτρικών φορτίων είναι περιορισμένες.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

3.4 Συσχετισμός του δείκτη ΕΕΟΙ με την εκπόνηση σχεδίου SEEMP (για το Σ.Η.Ε. πλοίου)-Αναλυτικό παράδειγμα βελτιστοποιημένης λειτουργίας υποσυστημάτων EPG,EPMACS σε πλοίο Ro-Ro.

Όπως έχει προαναφερθεί, για να γίνει μια ακριβέστερη και πιο αποτελεσματική εκπόνηση του ενεργειακού σχεδίου βελτιστοποιημένης διαχείρισης του πλοίου (SEEMP), είναι προαπαιτούμενη η γνώση του δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας (ΕΕΟΙ). Αυτό, γιατί προσφέρεται ένα μέτρο σύγκρισης και αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων ενεργειών. Τα παραγόμενα αποτελέσματα του δείκτη ΕΕΟΙ παρόλο που θεωρούν το πλοίο ως μια ενιαία μονάδα, (δεν γίνεται διαχωρισμός του συστήματος πρόωσης από το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) μπορεί εύκολα να γίνει μια χονδρική εκτίμηση της συνεισφοράς του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα CO_2 . Αυτή η εκτίμηση κυμαίνεται γύρω στο 30%, για μεγάλα εμπορικά πλοία συμβατικής προώσεως.

Ένα σχέδιο αποτελεσματικής και οικονομικής διαχείρισης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου, που θα βασίζεται και στον δείκτη ΕΕΟΙ, θα μπορεί να αποτελείται από ενέργειες βελτιστοποίησης κυρίως στα υποσυστήματα παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου (EPG), κατανάλωσης (EPC) και διαχείρισης και ελέγχου (EPMACS). Αυτό γιατί σε αυτά τα υποσυστήματα μπορεί να γίνει επέμβαση στο στάδιο της λειτουργίας τους και πολύ λιγότερο στο στάδιο της σχεδίασης. Για λεπτομέρειες περί βελτιστοποίησης των ανωτέρω υποσυστημάτων (EPG, EPC, EPMACS) στα αντίστοιχα υποκεφάλαια 2.5.2 , 2.5.4 , 2.5.5 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ένα αναλυτικό παράδειγμα βελτιστοποιημένης λειτουργίας του υποσυστήματος παραγωγής και διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας (EPG,EPMACS) ενός πλοίου Ro-Ro (Roll on-Roll off), που εξειδικεύεται στην συνεργασία της αξονικής γεννήτριας και των ηλεκτρογεννητριών, παρουσιάζεται μέσα από τη διπλωματική εργασία <<Σχεδίαση συστήματος ελέγχου αξονικής γεννήτριας και ανάλυση λειτουργίας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου>> του Ευστράτιου Χατζηνικολάου. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται προτάσεις ελέγχου του συστήματος αξονικών γεννητριών, οι οποίες επιβεβαιώνονται μέσω προσομοιώσεων σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταδεικνύουν την ικανότητα του συστήματος να ελέγχει τη τάση και τη συχνότητα του δικτύου, αλλά και την ποσότητα ενεργού ισχύος που παρέχει η αξονική γεννήτρια στο δίκτυο ή την ταχύτητα με την οποία κινείται όταν λειτουργεί ως κινητήρας. Ο έλεγχος των γεννητριών διαχωρίζεται σε δυο μέρη, στον μηχανικό και τον ηλεκτρικό έλεγχο. Ο μηχανικός έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος ελέγχου της κλίσης της προπέλας και τον έλεγχο μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων, ώστε να διατηρείται σταθερή η ταχύτητα της αξονικής γεννήτριας (μόνιμων μαγνητών). Ο ηλεκτρικός έλεγχος αφορά τον έλεγχο της τάσης, της συχνότητας και της ενεργού ισχύος μέσω ηλεκτρικών μετατροπέων και εξαρτάται από το είδος της γεννήτριας.

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Η εφαρμογή του συστήματος ελέγχου μεταφράζεται σε οφέλη όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου. Ο τρόπος υπολογισμού της κατανάλωσης των συνολικά τεσσάρων μηχανών τύπου Wartsila (12V46), οι οποίες ανά δυο συνδέονται με το αντίστοιχο γρανάζι στο μειωτήρα στροφών της εταιρίας Schelde, γίνεται μέσω των τεχνικών φυλλαδίων των μηχανών, καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα λειτουργίας σε πραγματικές συνθήκες. Αντίστοιχα το ίδιο γίνεται και για τις τρεις ηλεκτρομηχανές της εταιρίας MAN-BW τύπου (L28/32), ονομαστικής ισχύος 2100 kVA και μιας επιπλέον γεννήτριας έκτακτης ανάγκης της εταιρίας Caterpillar ονομαστικής ισχύος 1125 kVA. Γνωρίζοντας τις ονομαστικές καταναλώσεις μπορεί να γίνει η εκτίμηση και η αξιολόγηση των επαγόμενων ωφελιών για διάφορες καταστάσεις λειτουργίας, μετά την εφαρμογή του συστήματος ελέγχου των αξονικών γεννητριών.

φορτίο μηχανής %	Sfoc DG g/kWh	Sfoc ME g/kWh
100	194	175
85	192	170
75	192	170
50	197	175
25	210	195

Πίνακας: 3.4 Ειδικές καταναλώσεις καυσίμου κύριων μηχανών και ηλεκτρογεννητριών.

Πηγή: Διπλωματική εργασία Ευστράτιου Χατζηνικολάου

Τα ποσοστά φορτίσεων των κύριων μηχανών και των ηλεκτρογεννητριών είναι μέσοι όροι των φορτίσεών τους στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας που προκύπτουν από τις αναφορές λειτουργίας του πλοίου (για λεπτομέρειες στο 2.7-, 6.3 , 6.2 κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας του Ευστράτιου Χατζηνικολάου). Οι καταστάσεις λειτουργίας για τις οποίες έχουν εξαχθεί αποτελέσματα και αφορούν τη μη βελτιστοποιημένη λειτουργία είναι:

- Λειτουργία πλοήγησης στη θάλασσα με μια αξονική και μια Diesel

SG	DG
66,86%	73,25%

- Λειτουργία ελιγμών με δυο αξονικές-τρεις Diesel

SG1	SG2	DG1	DG2	DG3
4.9%	8.3%	50%	50%	51%

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Για τη λειτουργία πορείας στη θάλασσα υπολογίζεται πως οι κύριες μηχανές έχουν επιλεγεί, έτσι ώστε να λειτουργούν στο 90% της ονομαστικής τους ισχύς για το μέγιστο φορτίο που μπορεί να δεχτεί η προπέλα στη λειτουργία αυτή. Επιπροσθέτως, το φορτίο των αξονικών γεννητριών αντιστοιχεί στο 8% του φορτίου των κύριων μηχανών, επομένως είναι ασφαλές να υποθεθεί πως στη λειτουργία πορείας στη θάλασσα οι κύριες μηχανές μπορούν να υποστηρίξουν τις αξονικές γεννήτριες χωρίς πρόβλημα. Όσον αφορά τη λειτουργία των ελιγμών, οι αξονικές γεννήτριες προσφέρουν στο δίκτυο ισχύ 5% της ισχύος των κύριων μηχανών. Επομένως, οι κύριες μηχανές μπορούν να προσφέρουν το παραπάνω φορτίο στις αξονικές για αυτή την κατάσταση λειτουργίας. Συνεπώς, για το υπάρχον σενάριο λειτουργίας η φόρτιση των κύριων μηχανών παρουσιάζεται παρακάτω:

- Λειτουργία πλοήγησης στη θάλασσα

	SG	DG	MG
Φορτίο %	66,86	73,25	95,60
Sfoc g/kWh		192,14	173,08

- Λειτουργία ελιγμών

	SG1	SG2	DG1	DG2	DG3	ME1	ME2
Φορτίο %	4,9	8,3	50	50	51	95,4	95,7
Sfoc g/kWh			197,23	197,23	196,88	153	173,12

Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι ο υπολογισμός της κατανάλωσης των μηχανών του πλοίου υπολογίζεται για ένα τυπικό ταξίδι επτά ωρών. Στο πλαίσιο αυτό θεωρείται ότι για έξι ώρες το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ταξιδιού και τη μια ώρα σε κατάσταση ελιγμών καθώς επισκέπτεται τρία λιμάνια και ο χρόνος εισόδου και εξόδου αντίστοιχα από το λιμάνι είναι περίπου δέκα λεπτά. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε στους **3,478 τόνους**.

Στο βελτιστοποιημένο σενάριο λειτουργίας θεωρείται πως βρίσκονται σε λειτουργία δυο αξονικές γεννήτριες σε συνδυασμό με μια γεννήτρια Diesel. Οι καταστάσεις λειτουργίας για τις οποίες έχουν εξαχθεί αποτελέσματα και αφορούν τη βελτιστοποιημένη λειτουργία είναι:

Φύλης Ευάγγελος

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

- Λειτουργία πλοήγησης στη θάλασσα

	SG1	SG2	ME1	ME2
Φορτίο %	71,33	71,33	95,71	95,71
Sfoc g/kWh			173,12	173,12

- Λειτουργία ελιγμών

	SG1	SG2	DG1	ME1	ME2
Φορτίο %	40	40	81,36	98,2	98,2
Sfoc g/kWh			191,89	174,19	174,19

Η κατανάλωση του καυσίμου στη περίπτωση αυτή υπολογίζεται στους **3,375 τόνους**. Για αυτή τη κατάσταση λειτουργίας παρατηρείται μείωση της κατανάλωσης σε ποσοστό 3% σε σχέση με την υπάρχουσα μη βελτιστοποιημένη λειτουργία.

Μια συνολική αποτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου εφαρμόζοντας το σύστημα ελέγχου αξονικών γεννητριών, παράγει τον παρακάτω πίνακα:

	Μη βελτιστοποιημένο σενάριο λειτουργίας	Βελτιστοποιημένο σενάριο λειτουργίας
Λειτουργία πλεύσης στη θάλασσα	2,92 ton	2,84 ton
Λειτουργία ελιγμών	5,49 ton	5,29 ton

Πίνακας: 3.5 Συνολική αποτίμηση κατανάλωσης καυσίμου, εφαρμόζοντας το σύστημα ελέγχου αξονικών γεννητριών.

Πηγή: Διπλωματική εργασία Ευστράτιου Χατζηνικολάου

Τα αποτελέσματα μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και κατά συνέπεια των παραγόμενων αέριων ρύπων και του λειτουργικού κόστους του πλοίου, είναι

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

προφανή. Ειδικά σε περιόδους υψηλού κόστους του πετρελαίου και επιβολής διεθνών μέτρων περιορισμού των αέριων ρύπων, οι παραπάνω μειώσεις είναι σημαντικές και αν ληφθεί υπ' όψη ότι το εξεταζόμενο ταξίδι είναι διάρκειας μόνο επτά ωρών. Επιπλέον σε συνδυασμό με την ικανότητα του συστήματος ελέγχου να επιτρέπει τη χρήση της αξονικής μηχανής ως κινητήρα, πιστοποιείται η συνολική ανωτερότητα του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου αξονικών γεννητριών, το οποίο αναπτύχθηκε διεξοδικά στη διπλωματική εργασία του Ευστράτιου Χατζηνικολάου με τίτλο <<Σχεδίαση συστήματος ελέγχου αξονικής γεννήτριας και ανάλυση λειτουργίας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου>>.

Σύμφωνα και με τα ανωτέρω, δίνεται η δυνατότητα σχηματισμού μιας γενικής άποψης περί εκπόνησης ενός σχεδίου ενεργειακής αποδοτικότητας ενός πλοίου. Φυσικά, ένα αποτελεσματικό σχέδιο SEEMP εξαρτάται και από μη τεχνικούς παράγοντες, όπως η κατάλληλη εκπαίδευση των πληρωμάτων και των υπεύθυνων μηχανικών μιας ναυτιλιακής εταιρίας για την σωστή σχεδίαση, εκτέλεση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων αυτής της διαδικασίας.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ
ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ**

4.1 Συμπεράσματα

Αρχικά η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει κάποιες αναφορές στη μεγάλη σημασία της ναυτιλίας στο παγκόσμιο εμπόριο μέσω των μεταφορών προϊόντων αλλά και της συνεισφοράς της στην οικονομία. Επίσης υπογραμμίζεται η αποδοτικότητα των πλοίων ως μεταφορικό μέσο σε σχέση με άλλα μέσα (επίγειες ή εναέριες μεταφορές). Παρόλα αυτά η παραγωγή αέριων ρύπων που συμβάλλουν στη κλιματική αλλαγή καθώς και οι δραματικές επιπτώσεις αυτής, καθιστούν επιτακτική τη θέσπιση κανονισμών μείωσης αέριων ρύπων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (GHG) και όχι μόνο. Έτσι αυτό το διάστημα στη πρώτη γραμμή των διαπραγματεύσεων στις συνεδριάσεις του IMO, είναι οι μείωση αέριων ρύπων σε σχέση με τη συνεχή αύξηση του παγκόσμιου στόλου.

Στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά για τις δράσεις των Ηνωμένων Εθνών και του IMO όσον αφορά στην αυστηροποίηση των κανονισμών μέσα από τις συνόδους του οργανισμού. Σημαντικά αποτελέσματα είναι ο καθορισμός περιοχών- ECA's (Emission Controlled Areas) μέσα στις οποίες πρέπει να γίνεται κατανάλωση συγκεκριμένου τύπου καυσίμου για τον περιορισμό της ρύπανσης. Σε αυτό που επικεντρώνεται όμως η παρούσα διπλωματική είναι οι εκπομπές CO₂ και μεθόδους μείωσης αυτών. Γι' αυτό γίνεται μια επιμελής αναφορά στη χρήση και χρησιμότητα των δεικτών EEDI (σχεδιαστικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης), EEOI (λειτουργικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης) και κυρίως του SEEMP (σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής αποδοτικότητας πλοίου). Για το SEEMP παρουσιάζονται και προτάσεις διαφόρων νηογνωμόνων και του IMO ως προς μια ορθή εκπόνηση ενός τέτοιου σχεδίου. Συμπερασματικά η ανάλυση του SEEMP, καταλήγει σε μια λογική ορθού και σχεδιασμένου πλάνου δράσεων που αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου, ανεξάρτητα από τα μέσα που χρησιμοποιούνται και την σειρά αυτών.

Στη συνέχεια (δεύτερο κεφάλαιο) γίνεται αναφορά στα γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων και στα επιμέρους υποσυστήματα των δικτύων, καθώς και τους κανονισμούς που διέπουν τη λειτουργία τους. Αναλυτικότερα αναπτύσσεται το ζήτημα της βελτιστοποίησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου με απώτερο στόχο τη μείωση των ρύπων, το μικρό λειτουργικό κόστος και την υψηλή λειτουργική αποδοτικότητα. Η βελτιστοποίηση αυτή εκτείνεται σε όλο το εύρος του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου, στα υποσυστήματα δηλαδή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (EPG), διανομής (EPD), καταναλωτών (EPC), διαχείρισης και ελέγχου (EPMACS). Για το κάθε υποσύστημα ξεχωριστά αναφέρονται τρόποι βελτιστοποίησης της λειτουργίας τους περισσότερο

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

σε λειτουργικό επίπεδο και λιγότερο σε σχεδιαστικό. Τέτοιες εφαρμογές ανάλογα με το εξεταζόμενο υποσύστημα μπορεί να είναι το Cold Ironing, η Port Generator , η χρήση λαμπτήρων LED και η χρήση του αλγορίθμου EPMACAS-opt.

Εξάλλου, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σημασία της αξιοποίησης του λειτουργικού δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας (EEOI), ως χρήσιμο εργαλείο για την ορθή εκπόνηση ενός σχεδίου ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου (SEEMP). Με την ευκαιρία αυτή, γίνεται αναφορά στην πολυπλοκότητα υπολογισμού του δείκτη EEOI λόγω έλλειψης λειτουργικών παραμέτρων του πλοίου και της μηχανής, όπως το επίπεδο καθαρότητας της γάστρας και της έλικας, ο καιρός και η ταχύτητα πλεύσης, το είδος των καυσίμων, η κατάσταση φόρτωσης του πλοίου και το είδος του μεταφερόμενου φορτίου. Παρόλα αυτά οι μέθοδοι υπολογισμού του δείκτη μέχρι σήμερα βασίζονται στον κλασικό τύπο: $EEOI = m_{CO2} / (m_{CARGO} * D)$, λαμβάνοντας υπ' όψη **μόνο** τις καταναλώσεις καυσίμου από την κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες **κατά τη διάρκεια ταξιδιού**.

Η παρουσίαση αλγορίθμου υπολογισμού του δείκτη EEOI (EEOI calculator), έχει δυο εκδοχές, όπως παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Η κλασική εκδοχή που υπολογίζει το δείκτη μόνο κατά το ταξίδι και την “καινοτόμα” εκδοχή, σύμφωνα με την οποία συνοπολογίζονται και οι καταστάσεις αγκυροβολίου και φόρτωσης/εκφόρτωσης. Αυτές οι καταστάσεις δεν είναι αμελητέες ποσότητες στην διάρκεια ζωής του πλοίου (χρονικά), αλλά κυρίως από πλευράς καταναλώσεων καυσίμων. Έτσι δημιουργείται ένα σαφέστερο πλαίσιο για τους συνολικούς παραγόμενους ρύπους διοξειδίου του άνθρακα αλλά και την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων.

Στη συνέχεια του τρίτου κεφαλαίου γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη **EEOI_{trip}** και **EEOI_(trip/anchorage,loading)** για τρία φορτηγά πλοία, για τα οποία έχουν εξασφαλιστεί λεπτομερή στοιχεία ταξιδιού από ναυτιλιακή εταιρία. Επίσης γίνεται προσπάθεια ανάλυσης των αποτελεσμάτων βάσει των ιδιοτήτων των συγκεκριμένων πλοίων και των εξεταζόμενων ταξιδιών τους. Ακόμα, γίνεται ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων του δείκτη EEOI με ένα σχέδιο ενεργειακής αποδοτικότητας πλοίου (SEEMP), που κάθε ναυτιλιακή εταιρία καλείται πλέον να καταστρώσει βάσει των κανονισμών του IMO. Ο συσχετισμός γίνεται με ευθεία αναφορά στη βελτιστοποίηση των ηλεκτρικών υποσυστημάτων του πλοίου όπως έχει ήδη αναφερθεί. Τέλος παρατίθεται ένα αναλυτικό παράδειγμα βελτιστοποίησης των υποσυστημάτων παραγωγής και ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας (EPG,EPMACS) ενός πλοίου Ro-Ro, με την εφαρμογή συστήματος ελέγχου των αξονικών γεννητριών του συγκεκριμένου παραδείγματος. Τα αποτελέσματα συνηγορούν στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, παραγωγής αέριων ρύπων και λειτουργικού κόστους για ένα εξεταζόμενο ταξίδι επτά ωρών.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα που θα έχουν εφαλτήριο την παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούν να είναι οι παρακάτω:

- ◆ Δημιουργία ακριβέστερων δεικτών ενεργειακής αποδοτικότητας, λαμβάνοντας υπ' όψη δευτερεύοντες παράγοντες όπως ταχύτητα, στροφές και φορτίσεις μηχανών, ρύπανση γάστρας, θάλασσα πλεύσης, κατάσταση πλεύσης (ballast condition, full load departure, panama condition κ.α.) χωρίς όμως η πολυπλοκότητα υπολογισμού να είναι ιδιαίτερα αυξημένη.
- ◆ Δημιουργία μίας βάσης δεδομένων πλεύσης και λειτουργίας πλοίων (σε επέκταση της ήδη υπάρχουσας εφαρμογής marinetraffic), προκειμένου να είναι δυνατή η στατιστική μελέτη των δεδομένων και ως αποτέλεσμα η ακριβέστερη εξαγωγή δεικτών ενεργειακής αποδοτικότητας.
- ◆ Μελέτη εκπόνησης σχεδίων ενεργειακής αποδοτικότητας (SEEMP) που θα βασίζονται σε συγκεκριμένες ενέργειες (weather routing, slow steaming, cold ironing, port generator) και θα εξυπηρετούν τις ανάγκες κάθε περίπτωσης χωριστά.
- ◆ Υπολογισμός του λειτουργικού δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας (EEOI), που θα εξυπηρετεί πιο εξειδικευμένους τύπους πλοίων όπως LNG Carriers (πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου) και δεν καλύπτεται από την υπάρχουσα μεθοδολογία υπολογισμού.
- ◆ Ανάπτυξη κύκλου βελτιστοποίησης του ηλεκτρικού συστήματος πλοίου, αναθεωρούμενο από τα αποτελέσματα του ενεργειακού δείκτη EEOI.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- <http://www.lr.org/>
- <http://cleantech.cnss.no/>
- <http://www.unfccc.int>
- <http://www.dieselduck.net/>
- <http://www.theseanation.gr/>
- www.marinetraffic.com
- www.shipfinder.com
- <http://www.naftikachronika.gr/>
- <http://www.sea-distances.com>
- <http://www.totemplus.com/>
- <http://cleantech.cnss.no/policies-and-instruments/nox-emissions/>
- www.gl-group.com

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- Διπλωματική εργασία <<Ship energy efficiency indices within the framework of IMO>>, Νικόλαος Κ. Τσεκούρας, Ιούλιος 2011
- Διπλωματική εργασία <<Διερεύνηση δεικτών ενεργειακής απόδοσης σε πλοία με ηλεκτροπρώωση>>, Θεόδωρος Κουτσούρης, Φεβρουάριος 2013
- Διπλωματική εργασία <<Πλήρης ηλεκτρολογική μελέτη ενός πλοίου μεταφοράς φορτίου χύδην, ενός δεξαμενόπλοιου και ενός γενικευμένου τύπου πλοίου>> Θίμο Γ. Άντζελα, Φεβρουάριος 2013
- Διπλωματική εργασία <<Θαλάσσιες μεταφορές & θαλάσσια ρύπανση στη Μεσόγειο. (Οικολογικές και οικονομικές επιπτώσεις)>> Κατερίνα Διαμάντη, Σεπτέμβριος 2010 (Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών στη Ναυτιλία)
- Διπλωματική εργασία <<Σχεδίαση συστήματος ελέγχου αξονικής γεννήτριας και ανάλυση λειτουργίας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου>> Ευστράτιος Χατζηνικολάου, Δεκέμβριος 2012

ΑΡΘΡΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- http://www.lr.org/Images/LR%20SEEMP%20template%20v2.2_tcm155-240650.pdf
(γενικές αρχές εφαρμογής SEEMP)
- http://www.dieselduck.net/machine/03%20electricity/electrical_sys.htm
(μέρη ηλεκτρικού συστήματος πλοίου)
- http://www.bankofgreece.gr/BoGDocuments/EMEKA_Panagiotou_4_7_2012.pdf
(σύγκριση εκπομπών ανά μεταφορικό μέσω, αποδοτικότητα ναυτιλίας, όγκος εμπορίου δια θαλάσσης, πρωτοβουλίες IMO)
- <http://www.dnv.com/industry/maritime/servicessolutions/consulting/environment/seemp.asp>

**Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου**

(ανάλυση SEEMP)

- Ship electrical energy system analysis << John Prousalidis, Charalampos Patsios, George Antonopoulos, Fotis Kanellos, George Tsekouras>>
(electrical subsystems optimization)

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνες-Σχήματα-Πίνακες

Σχήμα: 1.1 Μεταφερόμενοι τόνοι εμπορευμάτων ανά έτος (σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος)

Σχήμα: 1.2 Συνεισφορά μεταφορών στην ατμοσφαιρική ρύπανση αναλογικά με το μεταφορικό τους έργο (g/tkm).

Σχήμα: 1.3 Αύξηση του παγκόσμιου στόλου σύμφωνα με τον τύπο πλοίου.

Σχήμα: 1.4 Εκπομπές NO_x και SO_x , στην Βαλτική Θάλασσα, από Ιαν. 2008- Δεκ.2009

Εικόνα: 1.5 Περιοχές ECA

Πίνακας: 1.6 Όρια αέριων ρύπων NO_x για κινητήρες Diesel.

Σχήμα: 1.7 Εκπομπές αέριων ρύπων NO_x κινητήρων Diesel σε (g/KWh)

Πίνακας: 1.8 Όρια αέριων ρύπων SO_x για κινητήρες Diesel εντός και εκτός ελεγχόμενων περιοχών.

Σχήμα: 1.9 Διαχρονική βελτίωση της <<αποδοτικότητας>> της ναυτιλίας

Εικόνα: 1.10 Αέριοι ρύποι

Σχήμα: 1.11 Προτεινόμενα μέτρα εφαρμογής του SEEMP κατά Lloyd's.

Σχήμα: 1.12 Σχηματική Περιγραφή SEEMP

Πίνακας: 1.13 Τεχνικά μέτρα και δράσεις παρακολούθησης και καταγραφής των μέτρων εφαρμογής του σχεδίου SEEMP.

Σχήμα: 1.14 Τα τέσσερα περιληπτικώς παρουσιαζόμενα βήματα του σχεδίου SEEMP κατά τον DNV.

Σχήμα: 1.15 Σύνοψη μέτρων για μείωση CO₂.

Εικόνα: 2.1 Αυτοματισμοί και συστήματα ελέγχου ως καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Σχήμα: 2.2 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου.

Πίνακας: 2.3 Μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα τάσεων.

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Πίνακας: 2.4 Διακυμάνσεις τάσης και συχνότητας σε E.P. συστήματα διανομής

Πίνακας: 2.5 Διακυμάνσεις τάσης σε Σ.Ρ. συστήματα διανομής

Πίνακας: 2.6 Γωνίες κλίσης

Πίνακας: 2.7 Περιβαλλοντικές συνθήκες/κατηγορίες.

Εικόνα: 2.8 Cold Ironing Connection

Σχήμα: 2.9 Σχηματικό διάγραμμα ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου.

Πίνακας: 2.10 Σύγκριση λαμπτήρων LED και MICRO CFL με κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Εικόνα: 3.1 Το πλοίο 1 στο Hammond, OR USA (2010-11-03).

Εικόνα: 3.2 Το πλοίο 2 Fredrikstad Norway (2010-11-03).

Εικόνα: 3.3 Το πλοίο 3 Port of Vancouver (2010-11-03).

Πίνακας: 3.4 Ειδικές καταναλώσεις καυσίμου κύριων μηχανών και ηλεκτρογεννητριών.

Πίνακας: 3.5 Συνολική αποτίμηση κατανάλωσης καυσίμου, εφαρμόζοντας το σύστημα ελέγχου αξονικών γεννητριών.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AC: Alternating current

ABS: American Bureau of Shipping

CFL: Compact fluorescent lamp

CO₂: Carbon dioxide

CH₄: Methane

DG: Diesel generator

DNV: Der Norske Veritas

DO: Diesel oil

DWT: Deadweight tonnage

EPC: Electric power consumption sub-system

EPD: Electric power distribution sub-system

EPG: Electric power generation sub-system

EPMACS: Electrical power management and control sub-system

ECA: Controlled emission areas

EEDI: Energy efficiency design index

EEOI: Energy efficiency operation index

GHG: Green house gases

HFC: Hydrofluorocarbons

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

HFO: Heavy fuel oil
IACS: International Association of Classification Societies
IPPC: Intergovernmental Panel on Climate Change
IMCO: International Maritime Cooperation Organization
LED: Light-emitting diode
LNG: Liquefied natural gas
LR: Lloyd's Register
LSFO: Low sulphur fuel oil
MDO: Medium Diesel oil
MEPC: Marine Environment Protection Committee
NECA's: NO_x Emission controlled areas
NO_x: Nitric oxide
N₂O: Nitrous oxide
Ro-Ro: Roll on Roll off
SEEMP: Ship energy efficiency management plan
SES: Ship's electric system
SECA's: (SO_x emission controlled areas)
SF₆: Sulphur hexafluoride
SG: Shaft generator
SOLAS: Convention on Safety of Life at Sea
SO_x: Sulphur oxide
VOC: Volatile organic compound
Σ.Η.Ε: Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Διερεύνηση σχεδίου βελτιστοποιημένης λειτουργίας συστήματος
ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη συμπαράσταση και την ανεκτίμητη βοήθειά τους, όλους όσους με στήριξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα:

Τον κ. Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη, αν. Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή του και το άριστο κλίμα συνεργασίας που καλλιέργησε.

Την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση και τη στήριξη που μου παρείχε και ιδιαίτερα τους γονείς μου.