ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Ανάπτυξη μεθόδου υπολογισμού της λειτουργικής αποδοτικότητας πλοίου με χρήση δεικτών απόδοσης"

ΚΑΤΣΙΜΑΡΔΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (nm16059)

Επιβλέπων: Ν. Θεμελής, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6
1.1.Εισαγωγή στην μελέτη της απόδοσης των πλοίων 6
1.2 Αντικείμενο της διπλωματική εργασίας 8
2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 10
2.1 ΠΛΟΙΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ 10
2.2 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 10
2.2.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Καυσαερίων 11
2.2.2 Μετρητής Ροής 11
2.2.3 Μετρητής Πίεσης 12
2.2.4 Μετρητής Ισχύος 12
2.2.5 Μετρητής ταχύτητας 12
2.3 ΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 13
2.3.1. Μετρήσεις σε Laden και Ballast κατάσταση 13
2.3.2. Κατανάλωση καυσίμου του πλοίου 17
2.3.3. Σύγκριση των μετρήσεων που προκύπτουν από τα Noon Reports και τις μετρήσεις υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας 18
2.4.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 21
2.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 22
2.5.1 Αρχική Επεξεργασία 22
2.5.2. Γραμμική παρεμβολή 24
2.5.3Διόρθωση των τιμών της κύριας μηχανής (ISO CORRECTION) 25
2.5.4. Κανονικοποίηση για την ισχύ και την ταχύτητα με βάση τα Sea Trials και τα βυθίσματα των Noon Reports 28
2.5.5.ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ 29
3. Συνολικός Ενεργειακός Δείκτης 33
3.1 Εισαγωγή στην μελέτη απόδοσης του πλοίου 33
3.2. ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ 34
2.2 Διαγράμματα από μέσους όρους και στατιστικά δεδομένα 37
4. PROPELLER AND HULL KPI 39
5. Δείκτες απόδοσης για την κύρια μηχανή (Main Engine Kpi) 43
5.1. Εισαγωγή 43
5.2. HFO CONSUMPTION KPI 43

5.2.1. Εισαγωγή στον δείκτη απόδοσης κατανάλωσης καυσίμου 43
5.3. Δείκτες απόδοσης στροβιλοσυμπιεστή : TURBOCHARGER KPI και SCAVENGE AIR PRESSURE KPI 46
5.3.1. Εισαγωγή στον δείκτη απόδοσης του στροβιλοσυμπιεστή 46
5.3.5. SCAVENGE AIR PRESSURE KPI 49
5.3.6. EXHAUST GAS TEMPERATURE KPI 52
5.3.6.1 Εισαγωγή στον δείκτη απόδοσης θερμοκρασιών 52
6.ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 56
6.1 Εισαγωγή στο σύστημα των ηλεκτρογεννητριών 56
6.2. Δείκτης Απόδοσης των ηλεκτρογεννητριών (Diesel Generator Indicator) 57
6.3 Παρακολούθηση της κατάστασης των ηλεκτρογεννητριών 58
7. ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΕΒΗΤΑ 64
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 68
9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 73
10.APPENDIX 74
Διαγράμματα τιμών του δείκτη Propeller And Hull KPI για κάθε 60 λεπτά 74
Διαγράμματα τιμών του δείκτη HFO CONSUMPTION KPI για κάθε 60 λεπτά 76
Διαγράμματα τιμών του δείκτη Turbocharger KPI για κάθε 60 λεπτά 76
Διαγράμματα τιμών του SCAVENGE AIR PRESSURE KPI για κάθε 60 λεπτά 78
Διαγράμματα τιμών του δείκτη EXHAUST GAS TEMP. KPI για κάθε 60 λεπτά 78

Περίληψη

Σε αυτήν την διπλωματική έγινε μελέτη της απόδοσης των υποσυστημάτων του πλοίου με χρήση δεικτών απόδοσης. Η μελέτη που διεξάχθηκε βασίστηκε σε ένα αρχείο δεδομένων τριών μηνών που προέκυψε από καταγραφές αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και σε noon reports. Στο αρχείο δεδομένων περιλαμβάνονται στοιχεία για τρείς μήνες από την πορεία του πλοίου και αναφέρονται για κάθε λεπτό πολυάριθμα σημαντικά μεγέθη όπως η κατανάλωση της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών αλλά και η ταχύτητα του πλοίου. Επειδή το αρχείο αυτό είναι μεγάλο σε μέγεθος και περιέχονται κενά, γίνονται αρχικά κάποιες μετατροπές και υπολογίζονται μέσοι όροι για κάθε μέτρηση. Στην συνέχεια, γίνεται σύγκριση ανάμεσα στα δεδομένα των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και στα δεδομένα των noon reports με στόχο την πλήρη κατανόηση της κατάστασης του πλοίου.

Ύστερα, υπολογίζονται δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators) για κάθε υποσύστημα του πλοίου. Για να σχηματιστούν δείκτες απόδοσης πρέπει να συγκριθούν δεδομένα από τις μετρούμενες τιμές των αισθητήρων υψηλής δειγματοληψίας με τιμές αναφοράς από Shop Tests και Sea Trials. Πιο αναλυτικά, σχηματίζεται ο συνολικός ενεργειακός δείκτης που αφορά την κατανάλωση της κύριας μηχανής και την ταχύτητα του πλοίου. Ακόμη, δημιουργείται δείκτης απόδοσης που αφορά την παρακολούθηση της ρύπανσης της γάστρας και της έλικας του πλοίου (Hull and Propeller KPI). Για τον δείκτη αυτόν υπολογίζεται η σχέση ανάμεσα στις στροφές ανά λεπτό και στην ισχύ της κύριας μηχανής για το βύθισμα σχεδίασης. Από την σχέση αυτήν προκύπτουν οι τιμές αναφοράς της ισχύος που θα συγκριθούν με τις μετρούμενες τιμές των αισθητήρων υψηλής δειγματοληψίας. Στην συνέχεια, δημιουργούνται δείκτες απόδοσης για την κύρια μηχανή. Ο πρώτος δείκτης αφορά την κατανάλωση και τις στροφές ανά λεπτό της κύριας μηχανής (Hfo Consumption KPI) και ως τιμές αναφοράς έχει τα Shop Test της κύριας μηχανής. Έπειτα, δημιουργείται ένας δείκτης απόδοσης για την θερμοκρασία των καυσαερίων της κύριας μηχανής (Exhaust Gas KPI) όπου οι τιμές αναφοράς προκύπτουν από τα Shop Test της κύριας μηχανής. Επίσης, σχηματίζονται δείκτες απόδοσης για την λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή. Ο ένας δείκτης είναι το κλάσμα της θερμοκρασίας εξόδου του στροβιλοσυμπιεστή διαιρούμενο με την πίεση του θαλάμου scavenge air (Ttc/Pscav KPI). Ο επόμενος δείκτης απόδοσης είναι η απόκλιση της πιέσεως στον θάλαμο του scavenge air. Τέλος, σχηματίζεται ένας δείκτης απόδοσης για τις ηλεκτρογεννήτριες που αφορά την θερμοκρασία των καυσαερίων των ηλεκτρογεννητριών. Τέλος, γίνεται ανάλυση του υποσυστήματος του λέβητα και ελέγχεται η ορθή λειτουργία του.

Abstract

In this dissertation the performance of the ship subsystems was studied using performance indicators. The study was based on a three month data file resulting from high frequency sampling sensor measurements and noon reports. This file contains data for three months from the course of the ship and recordings for every minute of numerous important measurements such as the consumption of the main engine and the generators as well as the speed of the ship. Because this file is large in size and contains empty spaces, some corrections are made and averages are calculated for each measurement. Then, a comparison is made between the data of the high frequency sampling sensors and the noon reports in order to fully understand the condition of the ship.

Key Performance Indicators are then calculated for each subsystem of the ship. In order to form performance indicators, data from the measured values of the high sampling sensors must be compared with reference values from Shop Tests and Sea Trials. In more detail, the energy indicator is formed regarding the consumption of the main engine and the speed of the ship. In addition, a performance indicator is created regarding the pollution of the hull of the ship (Hull and Propeller KPI). For this indicator the equation between revolutions per minute and the power of the main engine for the design draft is calculated. From this equation emerges the power reference values that will be compared with the measured values of the high sampling sensors. Then performance indicators are generated for the main engine. The first indicator is about the consumption and revolutions per minute of the main engine (HFO Consumption KPI) and the reference values are the Shop Tests of the main engine. Next, a performance indicator for the main engine exhaust temperature (Exhaust Gas KPI) is generated where the reference values are derived from the Main Engine Shop Tests. Also, efficiency indicators are formed for the operation of the turbocharger. The first indicator is the turbocharger outlet temperature divided by the scavenge air chamber pressure (Ttc / Pscav KPI). The next performance indicator is the pressure deviation in the scavenge air chamber. Finally, an efficiency indicator is formed for the generators regarding the temperature of the exhaust gases. Finally, the boiler subsystem is analyzed and its operation is checked.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.Εισαγωγή στην μελέτη της απόδοσης των πλοίων

Η απόδοση του πλοίου είναι ένας παράγοντας υψηλής σημασίας για την ορθή και ασφαλή διαχείρισή του. Η κοινότητα της ναυτιλίας και οι μεγαλύτεροι οργανισμοί που σχετίζονται με αυτήν θέτουν ως στόχο την μείωση των ρύπων και την διαχείριση των πλοίων με φιλικό για το περιβάλλον τρόπο. Σύμφωνα με τον IMO η ποντοπόρος ναυτιλία ευθύνεται για το 3 τοις εκατό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Παρόλα αυτά έχουν ληφθεί μέτρα για την μείωση και τον έλεγχο των εκπομπών. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος του IMO είναι να μειωθεί ο μέσος όρος της κατανάλωσης καυσαερίων των πλοίων κατά 40 τοις εκατό μέχρι το 2030 σε σχέση με τις τιμές του 2008. Ακόμη, μακροπρόθεσμα για το 2050 ο στόχος είναι να μειωθούν κατά 70 τοις εκατό οι συνολικές τιμές της κατανάλωσης σε σχέση με αυτές του 2008 [1]. Για να κατορθώσει, λοιπόν ένας μηχανικός να εξασφαλίσει την μέγιστη παρακολούθηση των εκπομπών του πλοίου του είναι ανάγκη να ορίσει ποσοτικά κριτήρια με διάφορες μεθόδους για την απόδοση του πλοίου. Σε περίπτωση που ένα πλοίο δεν ικανοποιεί τα κριτήρια που έχουν τεθεί θα πρέπει να ακολουθούν ενέργειες βελτίωσης της απόδοσής του, όπως για παράδειγμα καθαρισμός της γάστρας και της έλικας. Για να επιτευχθεί αυτό θα σχηματιστούν μια σειρά από δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators KPIs), οι οποίοι θα σχετίζονται με τα πιο βασικά υποσυστήματα του πλοίου.

Πληθώρα ερευνών στην διεθνή βιβλιογραφία έχει καταδείξει διάφορα KPI για την παρακολούθηση της απόδοσης του πλοίου. Στις έρευνες αυτές με την χρήση κυρίως αισθητήρων και δεδομένων του πλοίου δημιουργούνται συστήματα παρακολούθησης που ελέγχουν την κατανάλωση και την γενικότερη λειτουργία του. Έχουν σχηματιστεί με τον τρόπο αυτόν δείκτες απόδοσης για την γενική λειτουργία και επίσης για τα περισσότερα υποσυστήματά του πλοίου. Πιο αναλυτικά, στο άρθρο [2] οι ερευνητές με βάση ένα σύστημα αισθητήρων που είχαν εγκαταστήσει όρισαν δείκτες απόδοσης για να ελέγξουν την λειτουργία και την κατανάλωση του πλοίου. Έτσι, όρισαν δείκτες απόδοσης οι οποίοι ήταν οι εξής :

1. Για την απόδοση και την κατανάλωση του πλοίου : Ορίστηκε η απόκλιση της απόστασης που διανύει το πλοίο για κάθε ένα τόνο κατανάλωσης καυσίμου της κύριας μηχανής σε σχέση με τιμές αναφοράς που προκύπτουν από τα Sea Trials.
2. Για την απόδοση του πλοίου : Ορίστηκε η απόκλιση της απόστασης που διανύει το πλοίο για συγκεκριμένη ισχύ της κύριας μηχανής σε σχέση με την απόσταση αναφοράς που προκύπτει από τα Sea Trials.
3. Για την κατάσταση της γάστρας και της προπέλας : Ορίστηκε η απόκλιση της ισχύος που απαιτείται για μια συγκεκριμένη ταχύτητα και της ισχύος αναφοράς του πλοίου που προκύπτει σε σχέση με την ταχύτητα των Sea Trials.
4. Για την φθορά και την απόδοση της κύριας μηχανής : Ορίστηκε η απόκλιση της ισχύος που απαιτείται για μια συγκεκριμένη ταχύτητα και της ισχύος αναφοράς του πλοίου που προκύπτει σε σχέση με την ταχύτητα των Sea Trials.
5. Για την απόδοση των γεννητριών : Σχηματίστηκε δείκτης που υπολογίζει την απόκλιση ανάμεσα στην μετρούμενη και την αναμενόμενη τιμή της ισχύος της γεννήτριας που παράγεται από το καυσίμου μέσα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο (P/FOC). Ως τιμές αναφοράς (P/FOC)e χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των SHOP TEST της γεννήτριας.

6. Για την απόδοση του στροβιλοσυμπιεστή : Ορίστηκε η απόκλιση της πίεσης του scavenge air θαλάμου της κύριας μηχανής σε σχέση με την πίεση αναφοράς που δημιουργείται για ένα συγκεκριμένο ποσοστό φόρτισης της κύριας μηχανής. Οι τιμές αναφοράς προέρχονταν από τα SHOP TEST της κύριας μηχανής.
7. Για το ενεργειακό αποτύπωμα: Ορίστηκε το ποσοστό του χρονικού διαστήματος που ο δείκτης EEOI είναι χαμηλότερος από την τιμή αναφοράς που αντιστοιχεί στο είδος πλοίου που εξετάζεται.

Στην συνέχεια, τα KPI αυτά συγκρίθηκαν με διάφορους δείκτες απόδοσης όπως είναι ο συντελεστής Heinkel και ο συντελεστής της προπέλας. Ελέγχεται έτσι αν οι δείκτες είναι αποτελεσματικοί για την παρακολούθηση της απόδοσης του πλοίου. Επιπλέον, στο άρθρο [3], χρησιμοποιούνται επίσης αισθητήρες και δεδομένα από τα Sea Trials για την δημιουργία δεικτών απόδοσης. Στην συγκεκριμένη εργασία ως δείκτης απόδοσης για την κατανάλωση άνθρακα ορίζεται η κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την απόσταση που διανύει το πλοίο, ενώ για την απόδοση της προπέλας ορίζεται η ισχύς της προπέλας σε σχέση με την ταχύτητα του πλοίου. Περαιτέρω, δημιουργείται και ένας δείκτης που αφορά την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται σε σχέση με την απόσταση που διανύει το πλοίο. Σε όλους τους παραπάνω δείκτες που αναφέρθηκαν, οι ερευνητές συνδύασαν τους δείκτες με το βάρος του φορτίου που μεταφέρει το κάθε πλοίο ώστε να σχηματίσουν διάφορες τιμές αναφοράς για διαφορετικά deadweight ποικίλων πλοίων.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι με μια τέτοια διαδικασία άντλησης δεδομένων από αισθητήρες, ελέγχου και διόρθωσης των δεδομένων και δημιουργίας δεικτών απόδοσης είναι δυνατόν να μειωθούν οι ρύποι που παράγονται από τα πλοία. Επίσης μια τέτοια διαδικασία δίνει την δυνατότητα σχηματισμού μιας σφαιρικής άποψης για την λειτουργία των υποσυστημάτων του πλοίου. Ακόμη, με αυτήν την μέθοδο οι ναυτιλιακές θα διαθέτουν έναν οικολογικό και αποδοτικό στόλο. Αυτό συμβαίνει διότι αποφεύγεται από τις ναυτιλιακές η περιττή κατανάλωση καυσίμου οι τιμές του οποίου έχουν αυξηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια και άρα επιτυγχάνεται και μείωση των εξόδων. Επιπλέον, με την χρήση των KPI δίνεται η δυνατότητα στους μηχανικούς να αντιδράσουν σύντομα σε περίπτωση που κάποιο σύστημα του πλοίου όπως ο κινητήρας αρχίσει να υπολειτουργεί. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγεται και η φθορά των υποσυστημάτων των πλοίων με αποτέλεσμα να μειώνονται και τα κόστη συντήρησης με το οποίο επιβαρύνονται οι ναυτιλιακές.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματική εργασίας

Στόχος, λοιπόν αυτής της διπλωματικής είναι να δημιουργήσει δείκτες απόδοσης για τα υποσυστήματα του πλοίου. Αρχικά, θα δημιουργηθεί ένας γενικότερος δείκτης που θα αφορά την κατανάλωση του πλοίου σε σχέση με την απόσταση που διανύει. Στην συνέχεια, θα δημιουργηθούν δείκτες για τα την απόδοση της προπέλας και την κατάσταση της γάστρας, την κύρια μηχανή, τις ηλεκτρογεννήτριες (diesel generators) και το σύστημα του λέβητα (boiler). Με τους δείκτες αυτούς θα εξετάζεται η απόδοση των υποσυστημάτων του πλοίου. Έτσι, δημιουργείται μια σφαιρική εικόνα για την κατάσταση του πλοίου και σχηματίζονται δείκτες που εξετάζουν την κατανάλωση και την απόδοσή του. Για να κατορθώσουμε να εξετάσουμε την αποδοτικότητα του πλοίου από τον δείκτη χρησιμοποιούμε τιμές αναφοράς οι οποίες προκύπτουν από τα noon reports ή από τα Sea trials του πλοίου και τα Shop test της κύριας μηχανής. Έτσι, προκύπτουν συμπεράσματα για την κατάσταση των υποσυστημάτων του πλοίου. Τα δεδομένα που διαθέτουμε για το πλοίο περιλαμβάνουν μετρήσεις που λαμβάνονται με υψηλή δειγματοληψία από αισθητήρες για μια περίοδο 3 μηνών. Η δημιουργία των δεικτών απόδοσης (Key Performance Indicators) με βάση αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

1. Έλεγχος και διόρθωση των δεδομένων που διαθέτουμε από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας :

Στο πρώτο στάδιο γίνεται έλεγχος των δεδομένων. Σε κάθε αρχείο δεδομένων τέτοιου είδους παρατηρούνται αρκετά κενά και μηδενικές τιμές. Ο λόγος ύπαρξής τους είναι η φύση των διαδρομών που ακολουθεί το πλοίο, με διαδρομές όπου αναμένει φόρτωση σε κάποιο λιμάνι, αλλά και ενδεχομένως η εμφάνιση προβλημάτων με τους αισθητήρες. Διάφοροι φυσικοί παράγοντες όπως η υγρασία ή οι υψηλές θερμοκρασίες ενδέχεται να επηρεάσουν τις ενδείξεις των αισθητήρων του πλοίου. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που προβάλλουν οι αισθητήρες τις κύριας μηχανής επηρεάζονται από την υγρασία και την θερμοκρασία του μηχανοστασίου αλλά και την θερμοκρασία των καυσίμου. Με την μέθοδο αυτή η επίδραση της αντίστασης του ανέμου θα διορθωθεί. Τέλος, κάποιες κενές τιμές θα διαγραφούν είτε θα συμπληρωθούν, ώστε να έχουμε ένα ολοκληρωμένο αρχείο δεδομένων.

2. Δημιουργία μέσων όρων και στατιστικών δεδομένων :

Οι μετρήσεις που λαμβάνουμε με υψηλή δειγματοληψία από αισθητήρες δίνουν δεδομένα και τιμές για κάθε λεπτό. Επειδή όμως αναφέρονται στην κατάσταση του πλοίου για τρείς μήνες, είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς ότι τα δεδομένα από τις μετρήσεις είναι πολύ μεγάλου όγκου. Ακόμη, τα δεδομένα αυτά χαρακτηρίζονται από έντονες διακυμάνσεις. Για να γίνει λοιπόν μια εξομάλυνση σε σχέση με τις έντονες διακυμάνσεις χρησιμοποιούνται μέσοι όροι. Η εξομάλυνση με τον υπολογισμό μέσων όρων για κάθε πέντε, τριάντα και εξήντα λεπτά είναι απαραίτητη, ώστε να γίνεται ορθή σύγκριση με τιμές αναφοράς.

3. Ορισμός των δεικτών απόδοσης (KPI) :

Οι δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators KPI) για τα υποσυστήματα του πλοίου θα είναι το εργαλείο με το οποίο αποκτά ποσοτικά κριτήρια η ανάλυση που γίνεται. Όπως έχει προαναφερθεί, στόχος της ανάλυσης αυτής είναι να εξεταστούν τα συστήματα του πλοίου που σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμου. Για να διαμορφωθεί ο κατάλληλος δείκτης απόδοσης είναι απαραίτητο να εξετάζεται το σύστημα στο οποίο θα γίνει μελέτη απόδοσης. Ο δείκτης απόδοσης πρέπει να περιλαμβάνει τις κατάλληλες μετρήσεις, ώστε να περιγράφει ορθά και ολοκληρωμένα το σύστημα. Επιπρόσθετα, ο δείκτης απόδοσης (KPI) πρέπει να ελεγχθεί για την αποτελεσματικότητά του. Είναι ανάγκη δηλαδή, να οριστεί ο

σκοπός για τον οποίον σχηματίστηκε ο δείκτης και να ελεγχθεί κατά πόσο οι ερευνητές με την χρήση του συγκεκριμένου δείκτη προβλέπουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ένα υποσύστημα του πλοίου. Περαιτέρω, για κάθε δείκτη απόδοσης είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες τιμές αναφοράς. Με τις τιμές αναφοράς εξετάζουμε την κατάσταση του κάθε συστήματος του πλοίου και την απόκλιση που έχει το σύστημα από ορισμένες αποδεκτές καταστάσεις απόδοσης. Είναι, λοιπόν σημαντικό να διαθέτει ο κάθε δείκτης τις κατάλληλες τιμές αναφοράς.

2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 ΠΛΟΙΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ

Σε αυτήν την διπλωματική γίνεται μελέτη αρχείου δεδομένων ενός Product oil Carrier. Βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου αυτού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Χαρακτηριστικά πλοίου	
LOA	182.5 m
LBP	174.5 m
DWT	38500 t
B	27.4 m
T design	9.55 m
Ταχύτητα Υπηρεσίας	15,21 knots
Κύρια Μηχανή	
Engine Maker	Dalian Marine Diesel Factory
Engine Type	B&W 6S50MC
MCR	9480 KW
Στροβιλοσυμπιεστής	
Maximum RPM	16000 RPM
Ηλεκτρογεννήτριες	
DG Maker	ZJMD
DG Type	6L23/30H
MCR	960 kW

Πίνακας 1 Βασικά Χαρακτηριστικά του πλοίου

2.2 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας που διαθέτουμε μας παρέχουν πληθώρα δεδομένων μεγάλης ποικιλίας για ένα τρίμηνο λειτουργίας του πλοίου. Με τα δεδομένα αυτά προκύπτουν οι δείκτες απόδοσης KPI. Παρακάτω βλέπουμε τους αισθητήρες του πλοίου μας :

1) Ηλεκτρονικός Αισθητήρας Θερμοκρασίας Καυσαερίων (Digital Marine Exhaust Temperature Alarm)

2) Αισθητήρας Ροής ή Ροόμετρο (mass Flowmeter)

3) Αισθητήρας Πίεσης (Manifold Pressure Gage (MAP) Sensor)

4) Μετρητής Ισχύος

5) Ταχύμετρο

Το αρχείο δεδομένων (dataset) που μελετήθηκε αποτελείται από συγχρονισμένες μετρήσεις ανά λεπτό, που εκτείνονται σε διάστημα 3 μηνών. Οι μετρήσεις αυτές αναφέρονται στα κύρια συστήματα του πλοίου και περιλαμβάνουν :

a) την κύρια μηχανή και τον λέβητα του πλοίου (θερμοκρασία καυσαερίων, στροφές κινητήρα, κατανάλωση κύριας μηχανής κ.α)

b) τις ηλεκτρογεννήτριες (κατανάλωση ηλεκτρογεννητριών, παρεχόμενη ισχύς, θερμοκρασία καυσαερίων ηλεκτροκινητήρων κ.α.)
c) την ταχύτητα του πλοίου και την κατεύθυνση του ανέμου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο τρόπο λειτουργίας των αισθητήρων για τους οποίους χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε KPI. Παρακάτω, προβάλλονται στον πίνακα οι παράμετροι που χρησιμοποιούμε και η προέλευση των δεδομένων. Όπως φαίνεται παρακάτω κάποια δεδομένα τα αντλούμε από τα Noon Reports και άλλα τα αντλούμε από τις μετρήσεις των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Ορισμένα δεδομένα προέρχονται μόνο από αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας ή από τα noon reports (ημερήσιες αναφορές).

Παράμετροι	Μονάδες	Αυτοματοποιημένο σύστημα συλλογής δεδομένων	Ημερήσιες αναφορές
Draft	m		✓
Speed Over Ground	knots	✓	
Main Engine Output	kw	✓	✓
Main Engine Speed	Rpm	✓	✓
Main HFO consumption	Tns/24hours	✓	✓
Turbocharger Outlet Temp	Celsius	✓	✓
Weather Wind Force	Beaufort	✓	✓
Boiler HFO consumption	Tns/24hours	✓	✓
Auxiliary Engine Generators Power Output	Kw	✓	✓
Main Engine Cyl. Exhaust Temp	Celsius	✓	
Scavenge Air pressure	Bar	✓	
Auxiliary Engine Generators HFO Consumption	Tns/24hours	✓	✓

Πίνακας 2 Όργανα μέτρησης και παράμετροι

2.2.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Καυσαερίων

Οι θερμοκρασίες καυσαερίων των κυλίνδρων της κύριας μηχανής ενδέχεται να αυξηθούν τόσο που να απειλήσουν την κύρια μηχανή προκαλώντας φθορές και αστοχίες υλικών. Για να προστατευτεί το σύστημα της κύριας μηχανής και για να γίνει κατάλληλη παρακολούθηση της απόδοσής της χρησιμοποιείται ο ηλεκτρικός αισθητήρας θερμοκρασίας. Με τον κατάλληλο αισθητήρα έχουμε την δυνατότητα να καταγράφουμε την θερμοκρασία των καυσαερίων, όπως βλέπουμε και στο [4].

2.2.2 Μετρητής Ροής

Ο αισθητήρας ροής χρησιμοποιείται για να καταδείξει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει η κύρια μηχανή, όπως μπορούμε να δούμε στο [5]. Πιο αναλυτικά, το σύστημα που τροφοδοτεί καύσιμο στην κύρια μηχανή στα πλοία είναι ένα κλειστό κύκλωμα. Η μέτρηση της κατανάλωσης του καυσίμου γίνεται με την τοποθέτηση ροόμετρων σε κατάλληλα σημεία του συστήματος. Τα ροόμετρα τοποθετούνται συνήθως ανάμεσα στην δεξαμενή του καυσίμου και των σωληνώσεων τροφοδοσίας της κύριας μηχανής. Για τον ορθό υπολογισμό της κατανάλωσης τοποθετούνται ροόμετρα και στην πλευρά της

σωλήνωσης της δεξαμενής καυσίμου και στην πλευρά της σωλήνωσης που βρίσκεται ύστερα από την κύρια μηχανή.

2.2.3 Μετρητής Πίεσης

Είναι αναγκαίο να υπολογίζεται με αισθητήρες η παροχή αέρα που εισέρχεται είτε στους κυλίνδρους είτε στον στροβιλοσυμπιεστή. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ο αισθητήρας πίεσης τοποθετημένος κατάλληλα στα συστήματα του πλοίου, όπως φαίνεται στο [6]. Ο μηχανισμός αυτός είναι ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης. Η λειτουργία του είναι δυνατόν να εξηγηθεί με τον ορισμό του φαινομένου του πιεζοηλεκτρισμού. Με τον πιεζοηλεκτρισμό εμφανίζεται ηλεκτρικό φορτίο σε ένα σώμα λόγω άσκηση σε αυτό μηχανικής φόρτισης. Η ηλεκτρική φόρτιση που παράγεται μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα που εμφανίζεται μέσα από ένα κύκλωμα σε μονάδες πίεσης. Ο πιεζοηλεκτρισμός είναι μια ιδιότητα που χαρακτηρίζει ορισμένα υλικά, όπως για παράδειγμα κρυστάλλους τουρμαλίνης ή χαλαζία.

2.2.4 Μετρητής Ισχύος

Για να υπολογιστούν οι δείκτες απόδοσης που απαιτούνται για την έρευνα μας είναι αναγκαία η ύπαρξη μετρήσεων για την ισχύ της κύριας μηχανής. Μια τέτοια μέτρηση ισχύος γίνεται μέσω της ροπής του άξονα της κύριας μηχανής. Οι καταγραφές της ροπής πραγματοποιούνται με strain gauge. Ο αισθητήρας είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρικό σύστημα που περιλαμβάνει μπαταρία, η οποία ενισχύεται με έναν ενισχυτή-αποκωδικοποιητή και μεταδίδει σε σταθερό δέκτη μέσω κεραίας τα σήματα που περιλαμβάνουν τις μετρήσεις.

2.2.5 Μετρητής ταχύτητας

Με το ταχύμετρο οι ερευνητές υπολογίζουν τις στροφές ανά λεπτό του άξονα της κύριας μηχανής. Έτσι, έχουν την δυνατότητα να αποκτήσουν μια εικόνα για το σύστημα πρόωσης της κύριας μηχανής. Το ηλεκτρονικό ταχύμετρο για να λειτουργήσει χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς παλμούς για να υπολογίσει τις στροφές της κύριας μηχανής, όπως φαίνεται και στο [7]. Οι ηλεκτρικοί παλμοί παράγονται σε συχνότητα ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Ένας μαγνητικός αισθητήρα τοποθετημένος στο περιστρεφόμενο άκρο του άξονα της μηχανής εκπέμπει τους ηλεκτρικούς παλμούς αυτού του είδους. Τέλος, το αποτέλεσμα παρουσιάζεται μέσω του μετρητή στον μηχανικό με τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης.

2.3 ΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.3.1. Μετρήσεις σε Laden και Ballast κατάσταση

Σε αυτήν την εργασία δόθηκαν δεδομένα από αισθητήρες και από noon reports για την μελέτη της απόδοσης του πλοίου. Θα μελετήσουμε αρχικά την γενική κατάσταση του πλοίου για τους τρείς μήνες που μας δόθηκαν δεδομένα. Ο στόχος μας είναι να συγκρίνουμε τις τιμές της κατάστασης ballast και της κατάστασης laden όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου, τα βυθίσματα και την ισχύ της κύριας μηχανής.

Με τον τρόπο αυτόν θα σχηματιστεί μια σφαιρική εικόνα για το πλοίο και τις συνθήκες πλεύσης του. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις τιμές που έχουμε θα δημιουργήσουμε δύο πίνακες έναν για laden και έναν για ballast κατάσταση στους οποίους αναφέρονται οι μέσοι όροι και διάφορα στατιστικά μεγέθη για τις μετρήσεις μας από τα noon reports. Προκύπτει, λοιπόν ότι το πλοίο βρίσκεται σε Laden κατάσταση φόρτωσης για 39 μέρες μέσα στους τρείς μήνες δεδομένων που μας δόθηκαν και σε κατάσταση Ballast για 22 μέρες. Στην Ballast κατάσταση το πλοίο έχει μέσο βύθισμα 7 μέτρα και κατανάλωση καυσίμου ίση με 5 τόνους την ημέρα, ενώ η κύρια μηχανή αποδίδει 1700 kw κατά μέσο όρο. Στην Laden κατάσταση το σκάφος πλέει με βύθισμα 10 μέτρων κατά μέσο όρο, η κατανάλωση καυσίμου του είναι 11,8 τόνοι την μέρα και η κύρια μηχανή αποδίδει 2700 kw. Παρατηρούμε , συνεπώς ότι η κύρια μηχανή σε κατάσταση laden λειτουργεί με παραπάνω από την διπλάσια ισχύ κατά μέσο όρο, ενώ επίσης και η κατανάλωση καυσίμου είναι υψηλότερη. Ακόμη, η κατανάλωση καυσίμου έχει παρόμοιο εύρος τιμών και στην laden και στην ballast κατάσταση. Όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες βλέπουμε ότι ο μέσος όρος των Beaufort σε ballast κατάσταση είναι 3 και σε laden είναι 3 οπότε συμπεραίνουμε ότι σε γενικές γραμμές οι καιρικές συνθήκες ήταν ομαλές. Παρόλα αυτά, στην laden κατάσταση αναφέρεται ως μέγιστη τιμή τα 5 Beaufort, οπότε υπάρχουν και μέρες με κακοκαιρία.

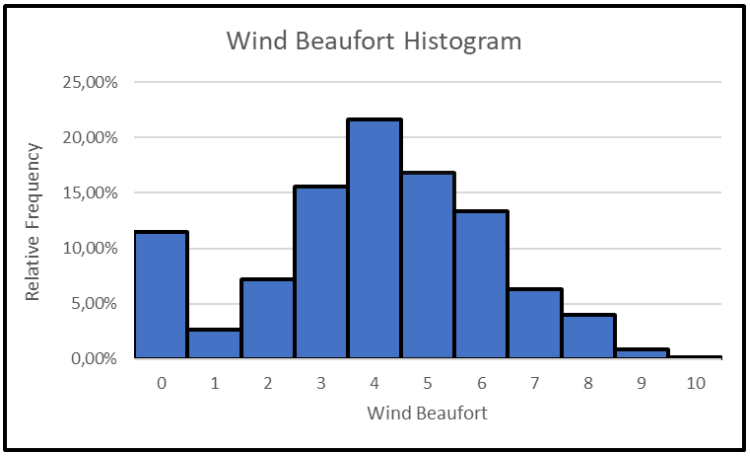
BALLAST	*Mean Draft (m)*	*Wind Force (beaufort)*	*Fuel Oil Consumption (tns/24hours)*	*Main Engine Power (kw)*
Mean	7.6	2.9	5,16	1257
Standard Deviation	1,8	0.86	5.8	1778
Range	6	3	18.2	4370
Minimum	5,7	2	0	0
Maximum	11,7	5	18,2	4370

Πίνακας 3 Στατιστικά στοιχεία για την κατάσταση ballast από τα Noon Reports

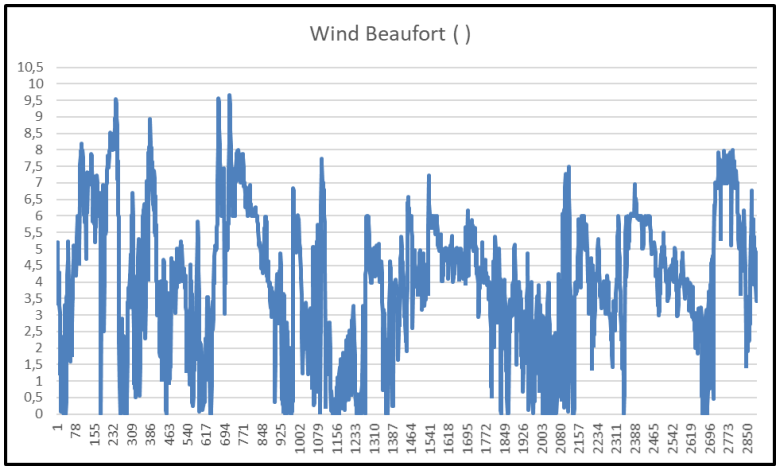
LADEN	*Mean Draft (m)*	*Wind Force (beaufort)*	*Fuel Oil Consumption (tns/24hours)*	*Main Engine Power (kw)*
Mean	10,8	3,2	11,8	2717,6
Standard Deviation	0,6	0,9	7,9	1894,2
Range	3,5	3,0	25	4530,0
Minimum	8,2	2,0	0,0	0,0
Maximum	11,7	5,0	25	4530,0

Πίνακας 4 Στατιστικά στοιχεία για την κατάσταση laden από τα Noon Reports

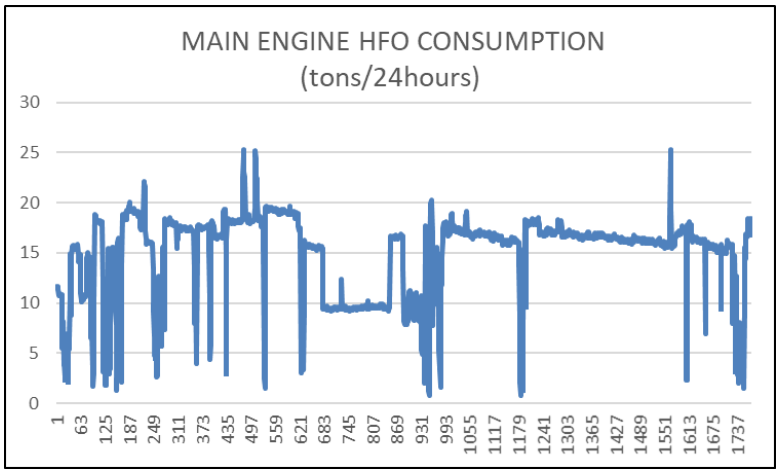
Παρακάτω, δίνονται ορισμένα διαγράμματα και ιστογράμματα που αφορούν τις καιρικές συνθήκες, την κατανάλωση του πλοίου, το βύθισμα αλλά και την ταχύτητα πλεύσης του πλοίου. Ορισμένα από αυτά προκύπτουν από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και άλλα από τις τιμές των noon reports και παρατίθενται για να σχηματιστεί μια πιο πλήρης εικόνα για την κατάσταση του πλοίου.



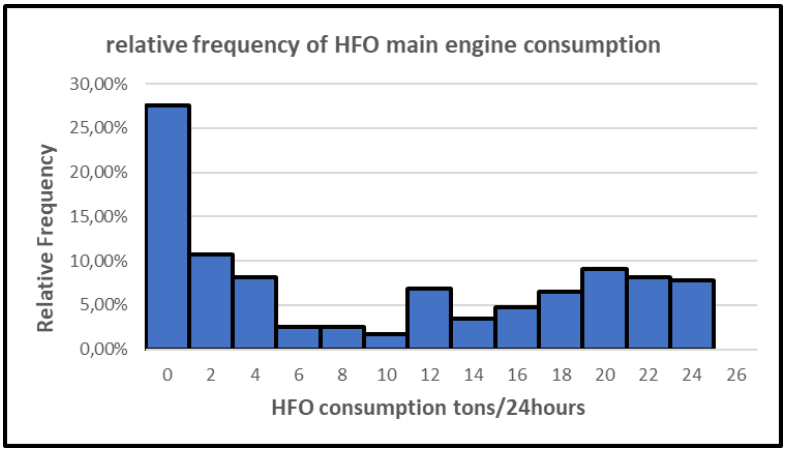
Εικόνα 1 Ιστόγραμμα καιρικών συνθηκών από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας



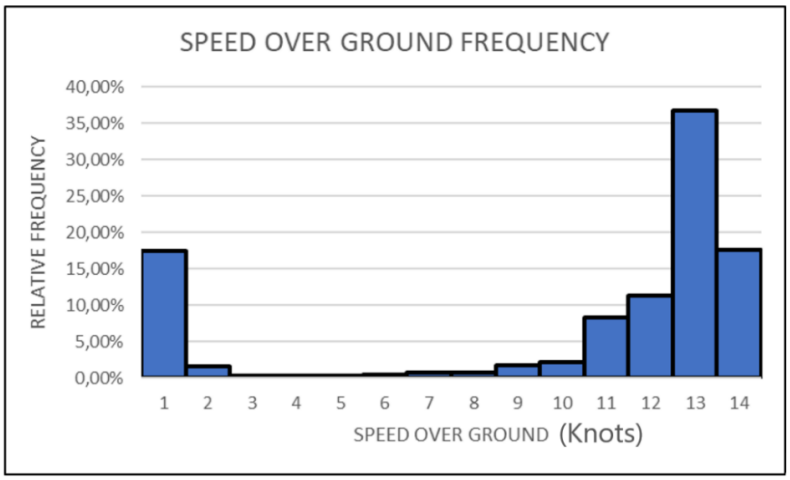
Εικόνα 2Διάγραμμα καιρικών συνθηκών σε σχέση με τον χρόνο από τα τους μέσους όρους των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας



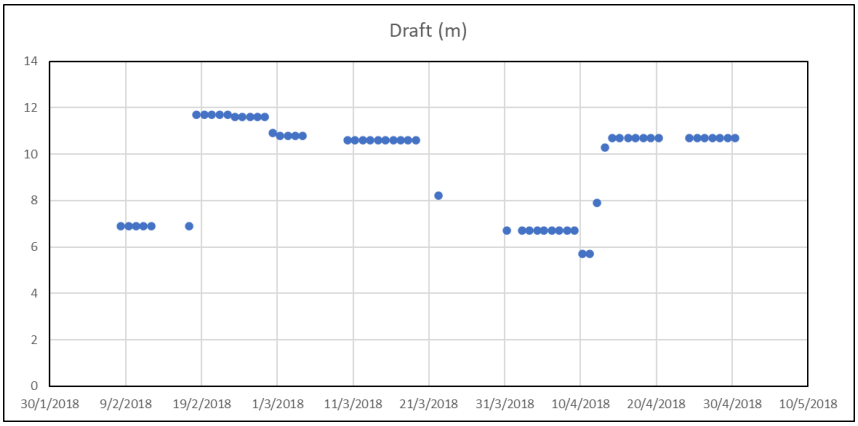
Εικόνα 3Μέσος όρος κατανάλωσης καυσίμου κύριας μηχανής από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας



Εικόνα 4ιστόγραμμα κατανάλωσης καυσίμου κύριας μηχανής από τα noon reports



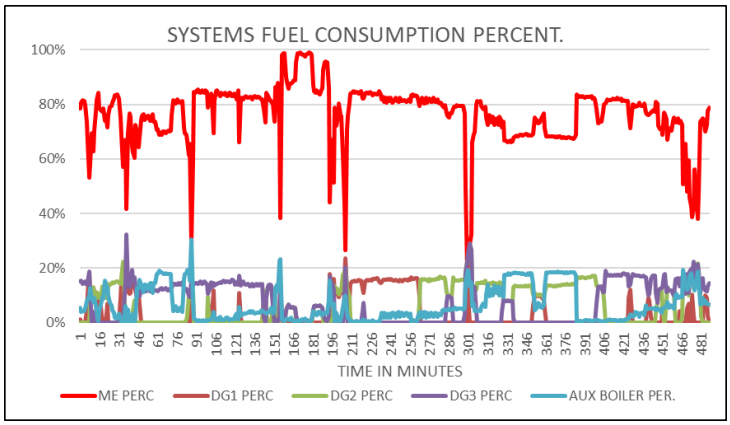
Εικόνα 5 Ιστόγραμμα ταχύτητας πλοίου από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας



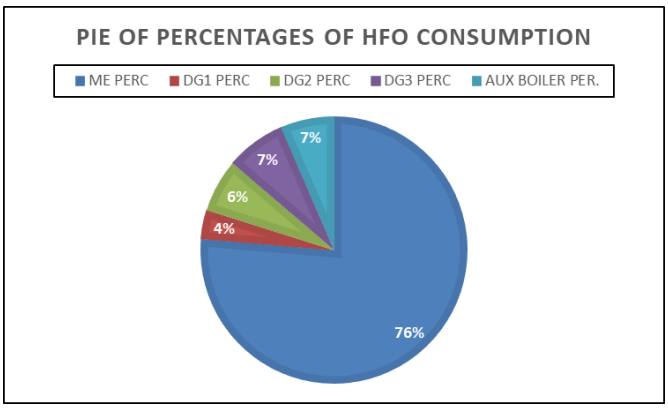
Εικόνα 6 Διάγραμμα βυθισμάτων σε σχέση με τον χρόνο από τα noon reports

2.3.2. Κατανάλωση καυσίμου του πλοίου

Παρακάτω, προβάλλεται το διάγραμμα των ποσοστών της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε σύστημα του πλοίου. Στο διάγραμμα της εικόνας έχει γίνει φιλτράρισμα στο αρχείο excel, ώστε να φαίνονται τα δεδομένα για ταχύτητα υψηλότερη των 8 κόμβων. Αυτό έγινε ώστε να εξετάσουμε τα δεδομένα κοντά στην ταχύτητα υπηρεσίας. Άρα, δεν θα έχουμε τιμές που ορίζονται από χαμηλές ταχύτητες και ίσως οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Ακόμη, προβάλλονται οι καταναλώσεις για κάτω από 6 μποφόρ ώστε να μειωθούν οι επιδράσεις από τις καιρικές συνθήκες. Ακόμη, στην εικόνα 8 από τον μέσο όρο των μετρήσεων των καταναλώσεων από τις μετρήσεις υψηλής συχνότητας υπολογίζουμε τα ποσοστά των καταναλώσεων για κάθε υποσύστημα του πλοίου. Παρατηρούμε ότι η κύρια μηχανή αποτελεί πάνω από το εβδομήντα τις εκατό της κατανάλωσης καυσίμου και το υπόλοιπο ποσοστό σχεδόν μοιράζεται ισότιμα στις γεννήτριες και τον λέβητα. Τέλος, παρατηρούμε ότι όταν μειώνεται το ποσοστό της κατανάλωσης της κύριας μηχανής, τότε η κατανάλωση του λέβητα αυξάνεται άρα δηλαδή αυξάνονται οι ανάγκες για θερμό ατμό.



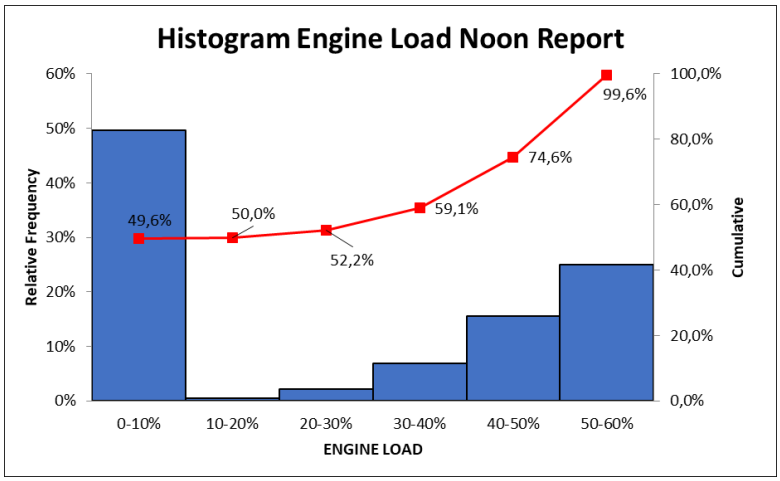
Εικόνα 7 Ποσοστά της κατανάλωσης καυσίμου από αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας



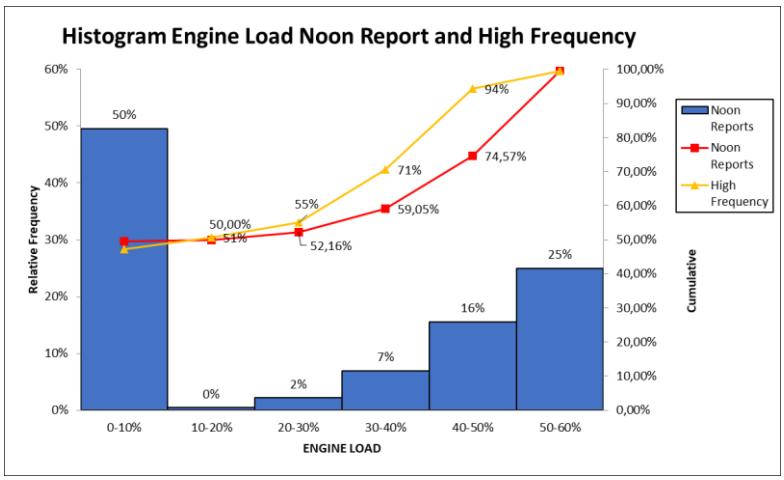
Εικόνα 8 Ποσοστά της κατανάλωσης καυσίμου από αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας

2.3.3. Σύγκριση των μετρήσεων που προκύπτουν από τα Noon Reports και τις μετρήσεις υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας

Παρακάτω θα γίνει μια σύγκριση ανάμεσα στα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και τα noon reports. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα προβληθούν ιστογράμματα για την κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής, τον καιρό και το φορτίο της κύριας μηχανής. Στην εικόνα 9 βλέπουμε το ιστόγραμμα του φορτίου της κύριας μηχανής από τα noon reports. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα της αθροιστικής συχνότητας του φορτίου της κύριας μηχανής από τα δεδομένα υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και τα noon reports. Παρατηρούμε ότι το φορτίο της κύριας μηχανής είναι υψηλότερο στα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Στον πίνακα βλέπουμε τα στατιστικά στοιχεία για την περίπτωση των noon reports και για την περίπτωση των μετρήσεων από αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Παρατηρούμε ότι τα βασικά στατιστικά δεδομένα είναι όμοια στα noon reports και στους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας.



Εικόνα 9 Ιστόγραμμα με αθροιστική συχνότητα του φορτίου της κύριας μηχανής

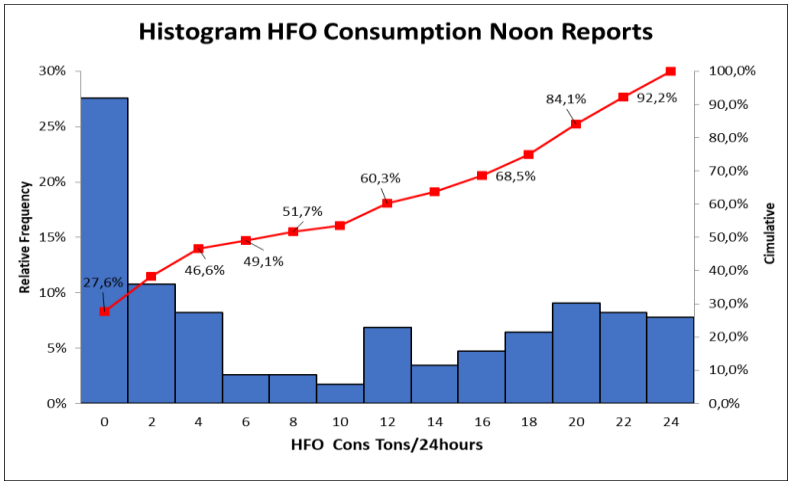


Εικόνα 10 Ιστόγραμμα με αθροιστική συχνότητα του φορτίου της κύριας μηχανής

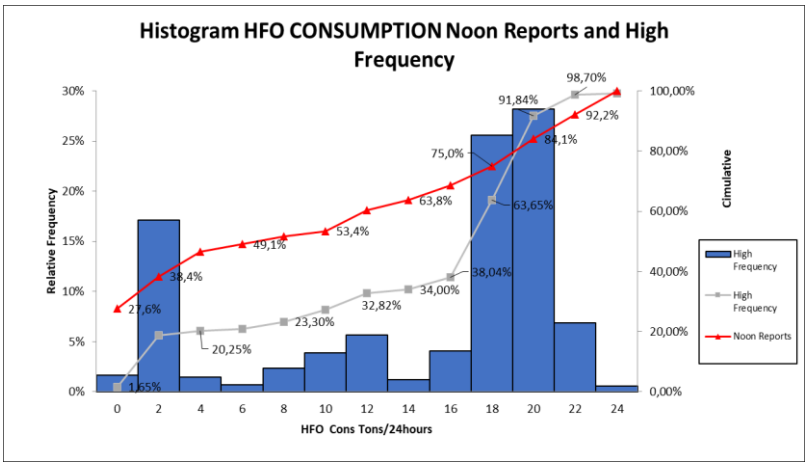
ME Engine Load	Αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας	noon reports
mean	21%	24%
st. Deviation	0,0005	0,2496
minimum	0	0
maximum	70%	64%

Πίνακας 5 στατιστικά δεδομένα για το φορτίο της κύριας μηχανής

Στην εικόνα 11 προβάλλεται το ιστόγραμμα της κατανάλωσης HFO της κύριας μηχανής από τα noon reports, ενώ στην εικόνα 12 παρουσιάζεται η κατανάλωση από τα δεδομένα των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Παρατηρούμε ότι υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα στις τιμές της αθροιστικής συχνότητας των noon reports και των αισθητήρων. Γενικά στα noon reports οι μετρήσεις της κατανάλωσης είναι υψηλότερες μέχρι τους 20 τόνους την ημέρα. Από τους είκοσι τόνους την ημέρα και μετά οι μετρήσεις από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας είναι πιο υψηλές. Παρακάτω στον πίνακα 6 προβάλλονται στατιστικά δεδομένα για την κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής τόσο από τα noon reports όσο και από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Παρατηρούμε ότι και ο μέσος όρος και η μέγιστη τιμή των δεδομένων των αισθητήρων είναι υψηλότεροι από τις αντίστοιχες τιμές των noon reports.



Εικόνα 11 Ιστόγραμμα με αθροιστική συχνότητα της κατανάλωσης της κύριας μηχανής

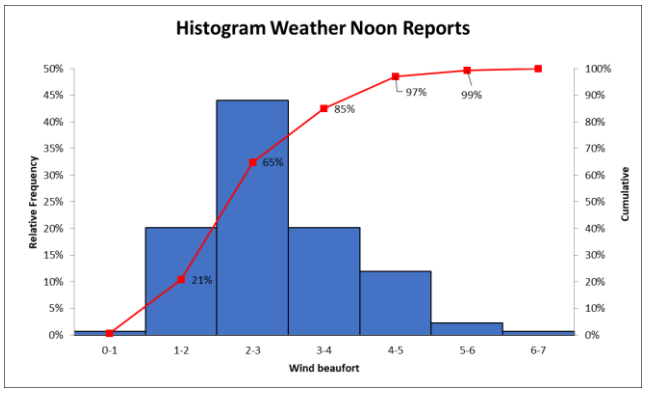


Εικόνα 12 : Ιστόγραμμα με αθροιστική συχνότητα της κατανάλωσης της κύριας μηχανής από noon report και μετρήσεις υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας

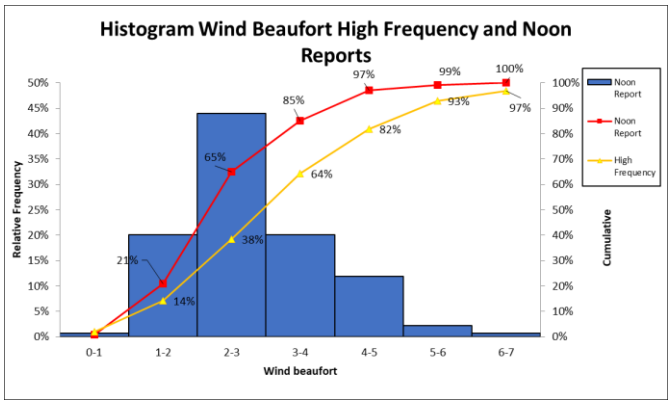
ME HFO (tns/24hours)	Αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας	noon reports
Mean	13,55	9,01
st. Deviation	0,0232	0,58
minimum	0	0
Maximum	30,02	24,00

Πίνακας 6 στατιστικά δεδομένα για την κατανάλωση της κύριας μηχανής

Τέλος, παρακάτω στις εικόνες 13 και 14 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ιστογράμματα με την αθροιστική συχνότητα των καιρικών συνθηκών από τα noon reports και τα δεδομένα των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Παρατηρούμε ότι στα τέσσερα Beaufort η διαφορά αναμεσά στις αθροιστικές συχνότητες είναι 20 τις εκατό και ότι στα noon reports παρουσιάζονται γενικά υψηλότερες τιμές Beaufort. Ακόμη, στον πίνακα 7 φαίνονται τα στατιστικά δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες από τα noon reports και από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Οι αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας παρουσιάζουν χειρότερες καιρικές συνθήκες από τα noon reports.



Εικόνα 13 Ιστόγραμμα με αθροιστική συχνότητα των καιρικών συνθηκών



Εικόνα 14 Ιστόγραμμα με αθροιστική συχνότητα των καιρικών συνθηκών από noon report και μετρήσεις υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας

Wind Beaufort	Αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας	noon reports
mean	4,1015	1,9181
st. Deviation	0,0035	0,1203
minimum	1,00	0
maximum	10,00	7,00

Πίνακας 7 στατιστικά δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες

2.4.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που διαθέτουμε, ειδικά οι μετρήσεις των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας περιέχουν κενά στοιχεία και λανθασμένες τιμές που επηρεάζουν τις μετρήσεις και τα συμπεράσματα στα οποία επιθυμούμε να καταλήξουμε. Για αυτόν τον λόγο θα επεξεργαστούμε τα δεδομένα που μας δίνονται κατάλληλα. Πιο συγκεκριμένα, θα αφαιρέσουμε τις κενές τιμές από τα δεδομένα που μας δίνονται και επίσης θα υπολογίσουμε τις μέσες τιμές ανά διάφορα χρονικά διαστήματα μετρήσεων για να οδηγηθούμε σε ουσιώδη συμπεράσματα για την απόδοση των συστημάτων του πλοίου. Γενικότερα, τα αρχεία δεδομένων που διαθέτουμε είναι δύσκολο να μελετηθούν όχι μόνο λόγω των κενών στοιχείων που περιλαμβάνουν αλλά και λόγω της ποσότητάς τους. Τα κενά στοιχεία στο αρχείο δεδομένων που έχουμε οφείλονται εν μέρη σε κάποιους αισθητήρες που ενδέχεται να είναι προβληματικοί. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνει κανείς πως ο ποιοτικός έλεγχος των αισθητήρων και γενικότερα των συστημάτων του πλοίου είναι κρίσιμος για την επίτευξη ενός ασφαλούς, αποδοτικού και οικονομικού στόλου. Ακόμη, σε κάποιες μετρήσεις παρατηρούμε ότι υπάρχουν και μηδενικές τιμές οι οποίες επηρεάζουν την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, στην μέτρηση της ταχύτητας του πλοίου παρατηρούμε πως υπάρχουν αρκετές ημέρες με μηδενική ταχύτητα, οι οποίες δικαιολογούνται, αφού το πλοίο θα είναι ακινητοποιημένο σε κάποιο λιμάνι κατά την διάρκεια εκείνων των ημερών. Συνεπώς, δημιουργούνται πολλές κενές και μηδενικές τιμές σε κάποιες μετρήσεις με αποτέλεσμα να δυσκολεύουν την μελέτη της απόδοσης του πλοίου. Τα κενά που διαθέτει το αρχείο δεδομένων χωρίζονται στα δύο διαφορετικά είδη :

a) μεμονωμένα κενά μικρού μήκους : δηλαδή κενά τα οποία είναι τυχαία και οφείλονται σε στιγμιαία υπολειτουργία του αισθητήρα.
b) κενά μεγάλης διάρκειας : κενά στα οποία ο αισθητήρας εμφανίζει προβληματικά χαρακτηριστικά για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά θα ακολουθήσει μια μελέτη, ώστε να εξαλειφθούν.

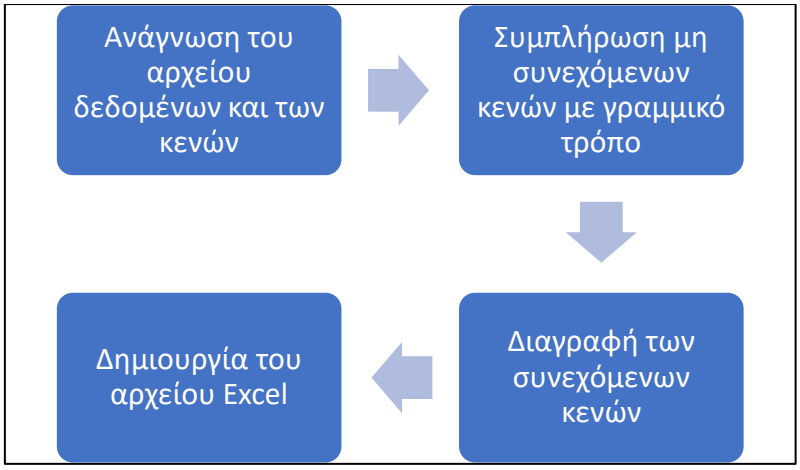
2.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.5.1 Αρχική Επεξεργασία

Για να γίνει κατάλληλη μελέτη των δεδομένων είναι αναγκαία η επεξεργασία τους. Αυτό συμβαίνει διότι το αρχικό αρχείο δεδομένων περιλαμβάνει κενά στοιχεία. Για την διαχείριση των κενών από τα δεδομένα που δόθηκαν χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον python και το excel. Τα βήματα που ακολουθούνται για την επεξεργασία φαίνονται και στην εικόνα 15. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε η εντολή read_excel , ώστε να αποθηκευτεί στην python το αρχείο με τις μετρήσεις. Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η εντολή interpolate με την οποία συμπληρώθηκαν οι μετρήσεις με κενά. Η εντολή interpolate συμπληρώνει τα κενά στοιχεία των μετρήσεων με παρεμβολή. Στην εντολή interpolate χρησιμοποιείται το όριο limit = 1, έτσι ώστε να μην συμπληρωθούν περισσότεροι από 1 συνεχόμενοι όροι. Με τον τρόπο αυτό τα τυχαία κενά μικρής διάρκειας συμπληρώνονται. Όπως φαίνεται και από το παράδειγμα παρακάτω με την εντολή αυτή τα κενά συμπληρώνονται κατάλληλα με γραμμικό τρόπο. Πιο αναλυτικά, το παράδειγμα όπως φαίνεται στον πίνακα 8 είναι ένα αρχείο excel που αποτελείται από αριθμούς και κενά κατάλληλα τοποθετημένα ώστε να παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η παρεμβολή.

l	k	K
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4		4
5	5	5
6	6	6
7		7,5
8	9	9
9	9	9
10		9
11	9	9
12		9,333333333
13		
14	10	10
15	11	11
16		11
17		
18	11	11
19	12	12
20		12,5
21	13	13
22	14	14
23		14,4
24		

Πίνακας 8 Ενδεικτικό Παράδειγμα για το τις εντολές python



Εικόνα : *Flowchart για τα βήματα της διόρθωσης των δεδομένων*

Στην συνέχεια, με την εντολή dropna οι σειρές που διέθεταν κενά διαγράφηκαν. Καταλήγουμε λοιπόν στην εξάλειψη και των συνεχόμενων κενών μεγάλης διάρκειας. Τέλος, για κάποιες μελέτες ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν και μέσοι όροι για να την ανάλυση των δεδομένων. Για την εύρεση των μέσων όρων ανά κάποιο χρονικό διάστημα χρησιμοποιήθηκε κώδικας python. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιείται η εντολή groupby ,ώστε να ομαδοποιείται το αρχείο και η εντολή mean για την εύρεση του μέσου όρου. Έτσι, προκύπτουν μέσοι όροι για κάθε πέντε, είκοσι και εξήντα λεπτά μετρήσεων. Οι εντολές της γλώσσας προγραμματισμού python δίνονται και στην εικόνα παρακάτω.

```
consumption_MEAN=consumption_final.groupby(consumption_final.index // 5).agg({'Time':'last', 'LOADING':'last', 'ME Power ( )':'me
consumption_MEAN.to_excel('consumption_MEAN.xlsx')
consumption_MEAN_15=consumption_final.groupby(consumption_final.index // 15).agg({'Time':'last', 'LOADING':'last', 'ME Power ( )'
consumption_MEAN_15.to_excel('consumption_MEAN_15.xlsx')
consumption_MEAN_30=consumption_final.groupby(consumption_final.index // 30).agg({'Time':'last', 'LOADING':'last', 'ME Power ( )'
consumption_MEAN_30.to_excel('consumption_MEAN_30.xlsx')
```

Εικόνα 15 η εντολή groypby

Τέλος, με την εντολή to_excel() το αρχείο μεταφέρεται στο excel για περαιτέρω επεξεργασία. Τα βήματα που αναφέρθηκαν παρουσιάζονται σε ένα flowchart που παρουσιάζεται παρακάτω.

2.5.2. Γραμμική παρεμβολή

Για να υπολογιστούν τα KPI πρέπει να βρεθούν reference values, δηλαδή οι τιμές αναφοράς για μια σειρά μετρήσεων (θερμοκρασία καυσαερίων, πίεση εξόδου στροβιλοσυμπιεστή). Για να γίνει αυτό είναι ανάγκη να ακολουθηθεί μια διαδικασία που θα εκτελεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ των μετρούμενων τιμών υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας με βάση τα Shop Test και τα Sea Trials. Στο excel η εντολή Forecast πραγματοποιεί γραμμική παρεμβολή :

$$\text{FORECAST}(X, Ai{:}Ai{+}1, Bi : Bi{+}1)$$

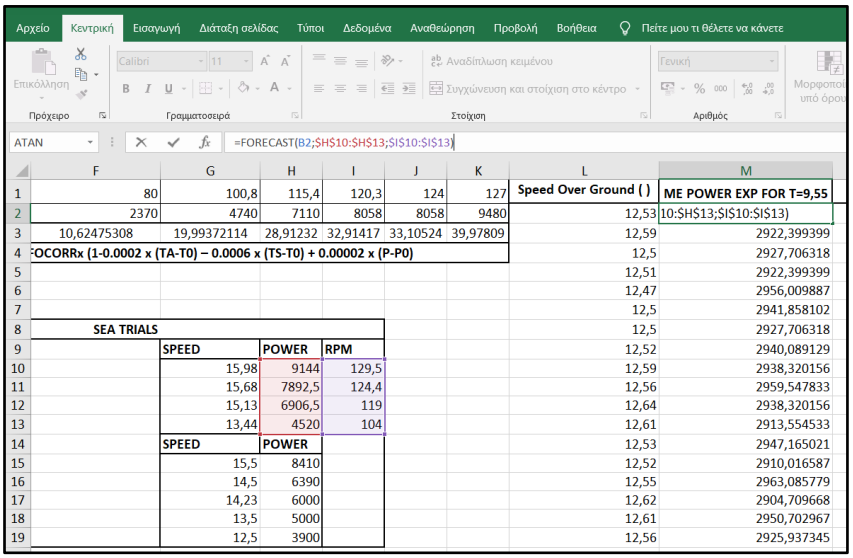
Όπου :

X : το τμήμα που επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε γραμμική παρεμβολή

$[Ai{:}Ai{+}1]$: το διάστημα που είναι ανάμεσα στην τιμή ενός μεγέθους που επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε γραμμική παρεμβολή

$[Bi : Bi{+}1]$: το διάστημα της τιμής αναφοράς

Τέλος, ανάλογα με το KPI που θέλουμε να υπολογίσουμε φιλτράρουμε και τα ανάλογα δεδομένα στο αρχείο του EXCEL, ώστε να έχουμε την σωστή εικόνα για την απόδοση του πλοίου. Έτσι, για τα KPI που ασχολούνται με την κύρια μηχανή και αντιπαραβάλλονται με τα Shop Test, φιλτράρονται οι τιμές κάτω από τα 25% του MCR. Αυτό συμβαίνει διότι στα Shop Test οι τιμές των παραμέτρων αρχίζουν από το 25% του MCR.



Εικόνα 16 Η εντολή FORECAST

2.5.3Διόρθωση των τιμών της κύριας μηχανής (ISO CORRECTION)

Το πλοίο λειτουργεί σε συνθήκες που είναι διαφορετικές από τις συνθήκες των τιμών αναφοράς από τα sea trials και τα shop test. Για παράδειγμα, παρατηρούνται διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις στο μηχανοστάσιο, ενώ και η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου αποκλίνει από την τιμή των shop tests και των sea trials. Οι διαφορές αυτές στις συνθήκες λειτουργίας αλλοιώνουν την απόδοση της κύριας μηχανής και επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Για να είναι λοιπόν πιο ακριβής ο υπολογισμός των μετρήσεων της κύριας μηχανής θα γίνει διόρθωση σύμφωνα με το ISO 3046 [8]. Με την ISO correction γίνονται κατάλληλες διορθώσεις , ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων των Shop Test, των Sea Trials και των μετρήσεων από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας.

<u>Διόρθωση ISO για την ποιότητα του καυσίμου</u>

Για την ποιότητα του καυσίμου έχουμε τις εξής διορθώσεις από την ISO :

Διόρθωση θερμογόνου δύναμης :

$$HFO_{CORR} = \frac{HFO_{meas}}{LCV_{constant}} * LCV_{FUEL} \quad (1)$$

Όπου :

HFO_{CORR} : κατανάλωση καυσίμου με διόρθωση ως προς τη θερμογόνο δύναμη (τόνοι/ημέρα)

HFO_{meas} : Καταγεγραμμένη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (τόνοι/ημέρα)

LCV_{FUEL} : Τιμή της θερμογόνου δύναμης (kJ/kg)

$LCV_{constant}$ = 42707 kJ/kg : Τιμή αναφοράς της θερμογόνου δύναμης

Εκτελούμε διόρθωση της τιμής της κατανάλωσης για τις περιβαλλοντικές συνθήκες αναφοράς. Παρακάτω δίνονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες αναφοράς :

$$T_o = 25\ °C$$

$$P_o = 1\ bar\ (1000\ mmbar)$$

Η εξίσωση διόρθωσης είναι η παρακάτω :

$$HFO_{ISO} = HFO_{CORR} \times (1-0.0002 \times (T_a-T_o) - 0.0006 \times (T_s-T_o)) + 0.00002 \times (P-P_o) \quad (2)$$

Όπου :

HFO_{ISO} : Τιμή κατανάλωσης με διόρθωση

T_a : Θερμοκρασία αέρα μηχανοστασίου

T_s : Θερμοκρασία νερού ψύξης $T = 36\ °C$

P : Ατμοσφαιρική Πίεση που προκύπτει από τα Noon Reports (mmbar)

<u>Διόρθωση ISO για τις τιμές πίεσης και θερμοκρασίας στην κύρια μηχανή</u>

Για την κύρια μηχανή θα διορθώσουμε τα παρακάτω μεγέθη :

1) P_{comp}: πίεση εντός του κυλίνδρου

2) P_{scav} : πίεση στον θάλαμο *scavenge air*

3) T_{exh} : θερμοκρασία καυσαερίων

Γίνεται διόρθωση με την παρακάτω σχέση :

$$A_{corr}=(T_{meas} - T_{ref})\times F\times(K+A_{meas}) \quad (3)$$

Όπου:

A_{corr} : Τιμή διορθωμένη

T_{meas} : Θερμοκρασία του μηχανοστασίου (δίνεται στα Noon Reports)

T_{ref} : Η θερμοκρασία αναφοράς, θεωρείται 25°C

F : σταθερά διόρθωσης του αέρα εισόδου στον κύλινδρο

K : σταθερά διόρθωσης

A_{meas} : Μέγεθος που θα διορθωθεί

Προβάλλεται πιο κάτω πίνακας με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν :

Parameter to be corrected	F	K
T_{exh}	-0,00245	273
P_{scav}	0,002856	1
P_{comp}	0,002954	1
P_{max}	0,002198	1

Πίνακας 9 διορθώσεις ISO

Η παραπάνω διόρθωση γίνεται στις τιμές των Shop Test και στις τιμές των μετρήσεων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Παρακάτω στους πίνακες έχουμε τις τιμές των Shop Test μετά την διόρθωση ISO.

ROOM TEMP (°C)	11,1	12,1	12,3	12,8	10,7	12,7
TEST LOAD (NORMINAL)	25%	50%	75%	85%	85%	100%
M/E LOAD (mean)	25%	50%	75%	85%	85%	100%
ENGINE'S RPM	80	100,8	115,4	120,3	124	127
ENGINE POWER KW	2370	4740	7110	8058	8058	9480
HFO CONSUMPTION HFO (ISO Correction) t/day	10,67	20,08	29,04	33,06	33,24	40,16
FUEL INJECTION PUMP RACK Cyl. No.						
1	38	53	67	72	70	80
2	37	52	66	71	70	80
3	37	52	65	71	70	80
4	37	53	65	72	70	80
5	37	53	67	72	70	80
6	37	52	66	72	70	80
TEMPERATURE OF EXH. GAS Cyl. No.						
1	270	275	285	290	285	320
2	270	280	290	300	300	320
3	255	270	280	290	290	320
4	260	275	290	295	290	320
5	265	275	290	300	295	325
6	270	285	300	305	300	330
MEAN	265	276	289	296	293	322,5
Scav.Air Rec.						
Temperature	30	30	35	34	34	35
Pressure bar	0,38	1,26	2,16	2,45	2,4	2,86
TURBOCHARGER No.1	TEMPERATURE OF EXH. GAS outlet temp					
TEMP	240	205	200	205	200	210
ROOM TEMP (°C)	11,1	12,1	12,3	12,8	10,7	12,7

Πίνακας 10 διορθώσεις ISO

M/E LOAD (mean)	25%	50%	75%	85%	85%	100%
SFOC	187,6	176,5	170,2	171,0	171,9	176,5
HFO CONSUMPTION	10,7	20,1	29,0	33,1	33,2	40,2
HFO COR	10,7	20,1	29,0	33,1	33,2	40,1
HFO ISO	10,6	20,0	28,9	32,9	33,1	40,0
ISO TEMPERATURE OF EXH. GAS Cyl. No.						
1	288,5	292,3	302,3	306,8	304,5	337,8
2	288,5	297,4	307,5	317,1	320,0	337,8
3	273,0	287,1	297,2	306,8	309,7	337,8
4	278,1	292,3	307,5	311,9	309,7	337,8
5	283,3	292,3	307,5	317,1	314,9	343,0
6	288,5	302,6	317,8	322,2	320,0	348,1
MEAN ISO	283,3	294,0	306,6	313,7	313,1	340,4
Scav.Air Rec.						
Pressure bar ISO	0,33	1,18	2,05	2,33	2,26	2,72
TURBOCHARGER No.1	TEMPERATURE OF EXH. GAS outlet temp					
TEMP ISO	257,4	220,1	214,7	219,3	216,5	224,5

Πίνακας 11 διορθώσεις ISO

2.5.4. Κανονικοποίηση για την ισχύ και την ταχύτητα με βάση τα Sea Trials και τα βυθίσματα των Noon Reports

Όταν υπολογίζουμε τα KPI και χρειαζόμαστε τα Sea Trials για αντιπαραβολή, πρέπει να εκτελέσουμε ορισμένες διορθώσεις, ώστε να κάνουμε συγκρίσεις και να εξάγουμε ορθά συμπεράσματα. Πιο αναλυτικά, γίνεται διόρθωση στην μετρούμενη ισχύ (ME POWER) με τον συντελεστή ναυαρχείου. Αυτό γίνεται διότι το πλοίο βρίσκεται σε διαφορετικά βυθίσματα ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσής του και έτσι επηρεάζεται σημαντικά η ισχύς του και η ταχύτητά του. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής :

Η μετρούμενη ισχύς διορθώνεται με τον τύπο :

$$\text{Pcorrected} = \text{Pmeas}*\left(\frac{Tseatrial}{Tnoonreport}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

όπου:

Pmeas : Μετρούμενη ισχύς

Pcorrected : Διορθωμένη ισχύς

$Tseatrial$: Βύθισμα των δοκιμών Sea Trials

$Tnoonreport$: Βύθισμα του πλοίου από τα noon reports

Η εξίσωση (4) μπορεί να αποδειχθεί από τον συντελεστή Ναυαρχείου :

$$\text{Pcorrected} = \text{Pmeas}*\left(\frac{\Delta seatrial^{2/3}}{\Delta noonreport^{2/3}}\right)^{1/3} \quad (5)$$

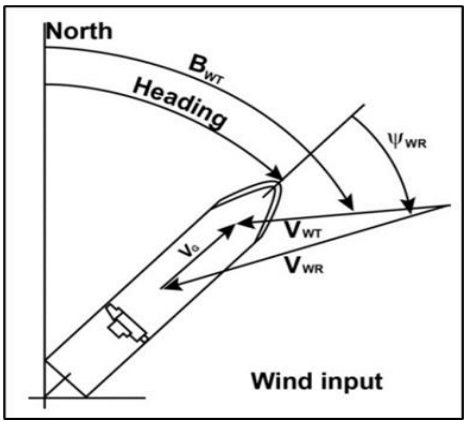
Την σχέση εκτοπίσματος και βυθίσματος και την διόρθωση του cb :

$$\frac{\Delta noonreport}{\Delta seatrial} = \frac{cbnoonreport}{cbseatrial} * \frac{Tnoonreport}{Tseatrials} \quad (6)$$

$$\text{Cbnoonreport} = 1 - (1-\text{cbseatrial})*\left(\frac{Tseatrial}{Tnoonreport}\right)^{2/3} \quad (7)$$

2.5.5.ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ

Οι τιμές της ισχύος του κινητήρα του πλοίου διορθώνονται για να ληφθεί υπόψη η αντίσταση λόγω ανέμου. Η διόρθωση είναι απαραίτητη έτσι ώστε να εξαλειφθεί η πρόσθετη ισχύς που απαιτείται για την επίτευξη μιας δεδομένης ταχύτητας πλοίου σε δεδομένες συνθήκες ανέμου. Η διόρθωση για την αντίσταση του ανέμου είναι μια διαδικασία που ακολουθούμε σύμφωνα με τον ITTC (International Towing Tank Conference) [9]. Αρχικά, γίνεται υπολογισμός της πραγματικής ταχύτητας vwt (m/s) και διεύθυνσης ψwt ανέμου στο ύψος του ανεμόμετρου. Στην εικόνα παρακάτω παρουσιάζονται τα διανύσματα των μεγεθών που θα υπολογίσουμε.



Εικόνα 17 Διανύσματα ταχύτητας και ανέμου του πλοίου σύμφωνα με τον ITTC

Για να γίνουν αυτοί οι υπολογισμοί χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι :

vwt=$\sqrt{vwr^2 + vg^2 + 2 * vwr * vg * \cos(\psi wr)}$ (8)

όπου ψwr είναι :

$\psi_{wt} = \tan^{-1}(\frac{V_{wr}\sin(\psi_{wr}+\psi_0)-V_g\sin(\psi_0)}{V_{wr}\cos(\psi_{wr}+\psi_0)-V_g\cos(\psi_0)})$ για $V_{wr}\cos(\psi_{wr}+\psi_0) - V_g\cos(\psi_0) \geqslant 0$ (9)

$\psi_{wt} = \tan^{-1}(\frac{V_{wr}\sin(\psi_{wr}+\psi_0)-V_g\sin(\psi_0)}{V_{wr}\cos(\psi_{wr}+\psi_0)-V_g\cos(\psi_0)}) + \pi$ για $V_{wr}\cos(\psi_{wr}+\psi_0) - V_g\cos(\psi_0) \leqslant 0$ (10)

όπου :

V_{wr} : *σχετική ταχύτητα ανέμου*

V_g : *ταχύτητα του πλοίου ως προς το έδαφος*

ψ_{wr} : *διεύθυνση του ανέμου*

ψ_0 : *κατεύθυνση του πλοίου*

Στη συνέχεια χρειάστηκε να γίνει ο υπολογισμός της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου στο ύψος αναφοράς σύμφωνα με τις εξής σχέσεις:

$$V_{wt,ref} = V_{wt}(\frac{Z_{ref}}{Z_a})^{1/7} \quad (11)$$, όπου:

Vwt,ref (m/s) *: πραγματική ταχύτητα στο ύψος αναφοράς*

Vwt (m/s): *πραγματική ταχύτητα στο ύψος του ανεμομέτρου*

Zref (m): *ύψος αναφοράς άνω της επιφάνειας ισάλου*

Za (m): *ύψος ανεμόμετρου άνω της επιφάνειας ισάλου*

Τα Zref, Za προσδιορίστηκαν από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$Z_{ref} = \frac{A_{ref}(Z_{ref,ref}+\Delta T)+\frac{1}{2}B\Delta T^2}{A} \text{ όπου :}$$

$$A = A_{ref} + \Delta T * B$$

$$\Delta T = T_{ref} - T$$

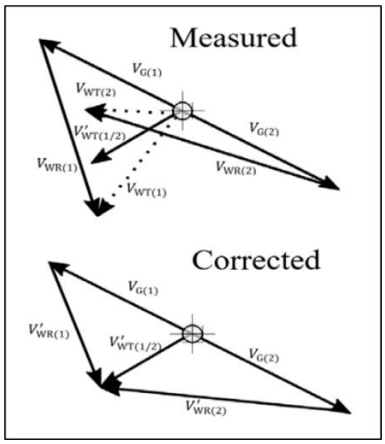
$$Z_a = Z_{a,ref} + \Delta T$$

Η σχετική ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου στο ύψος αναφοράς παρουσιάζονται στην εικόνα 19 και υπολογίζονται με βάση τους τύπους (12), (13),(14) παρακάτω.

$$V_{wr,ref} = \sqrt{V_{wt,ref}^2 + V_g^2 + 2V_{wt,ref}V_g\cos(\psi_{wt}-\psi_0)} \quad (12)$$

$$\psi_{wr,ref} = \tan^{-1}\left(\frac{V_{wt,ref}\sin(\psi_{wt}-\psi_0)}{V_g+V_{wt,ref}\cos(\psi_{wr}-\psi_0)}\right) \text{για } V_g + V_{wt,ref}\cos(\psi_{wt}-\psi_0) \geqslant 0 \quad (13)$$

$$\psi_{wr,ref} = \tan^{-1}\left(\frac{V_{wt,ref}\sin(\psi_{wt}-\psi_0)}{V_g+V_{wt,ref}\cos(\psi_{wr}-\psi_0)}\right) + \pi \quad \text{για} \quad V_g + V_{wt,ref}\cos(\psi_{wt}-\psi_0) \leqslant 0 \quad (14)$$



Εικόνα 18 Διανύσματα ταχύτητας με βάση τον ITTC

Στην συνέχεια, υπολογίζεται ο συντελεστής αντίστασης αέρα Wind Resistance Coefficient Cda με την μέθοδο Fujiwara. Η μέθοδος fujiwara είναι η ακόλουθη :

$$Cda = A + CXLI * B + \Gamma \text{ (15), όπου :}$$

$$A = CLF * \cos(\psi wr)$$

$$B = \left[\sin(\psi wr) - \frac{1}{2}\sin(\psi wr)\cos(\psi wr)^2\right] * \sin(\psi wr)\cos(\psi wr)$$

$$\Gamma = CALF * \sin(\psi wr)\cos(\psi wr)^3$$

όπου οι συντελεστές CLF, CXLI και CALF υπολογίζονται ανάλογα με την γωνία ψwr ως εξής :

0 < ψwr < 90
$CLF=0{,}922-0{,}507*\frac{AYV}{LOA*hbr}-1{,}162*\frac{CMC}{LOA}$
$CXLI=-0{,}458-3{,}245*\frac{AYV}{LOA*hbr}+2{,}313*\frac{AXV}{B*hbr}$
$CALF=0{,}585+0{,}906*\frac{AOD}{AYV}-3{,}239*\frac{B}{LOA}$

Πίνακας 12 Συντελεστές CLF, CXLI και CALF

90 < ψwr < 180
$CXLI=1{,}901-12{,}727\frac{AYV}{LOA*hbr}-24{,}407\frac{AXV}{AYV}+40{,}301*\frac{B}{LOA}+5{,}481*\frac{AXV}{B*hbr}$
$CLF=-0{,}018-5{,}091*\frac{B}{LOA}-10{,}367*\frac{hc}{LOA}+3{,}011*\frac{AOD}{LOA^2}+0{,}341*\frac{AXV}{B^2}$
$CALF=0{,}314+1{,}117*\frac{AOD}{AYV}$

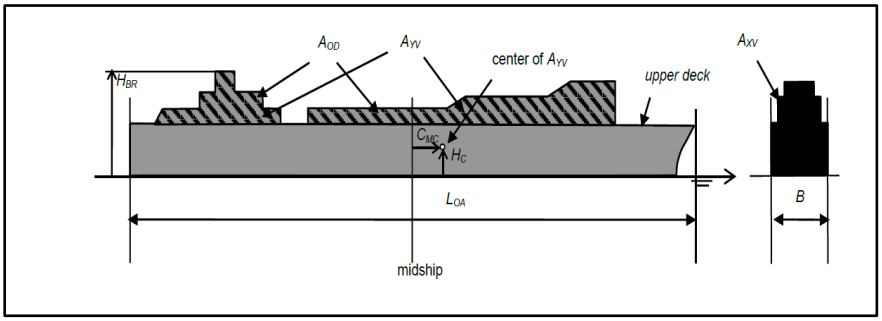
Πίνακας 13 Συντελεστές CLF, CXLI και CALF

όπου

AOD : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια των υπερκατασκευών AOD= 360 m^2

AYV : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια πάνω από την ίσαλο πλεύσης. υπολογίζεται ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσης : $AYV=AOD+(D-T)\cdot LWL$

AXV : Η μέγιστη εγκάρσια προβεβλημένη επιφάνεια.



Εικόνα 19 Συντελεστές της μεθόδου fujiwara

Επομένως, η διορθωμένη ισχύς $P_{D,CORR}$ προκύπτει με την αφαίρεση της ισχύος λόγω αντίστασης του ανέμου ΔP_w :

$$P_{D,CORR} = P_D - \Delta P_w \text{ όπου,}$$

$$P_w = \frac{(R_{rw}-R_{0w})v_g}{n_{DO}} + P_D \quad (16)$$

$$R_{rw} = \frac{1}{2}\rho_a v_{wr,ref}^2 A C_{rw}(\psi_{wr,ref}) \quad (17)$$

$$R_{0w} = \frac{1}{2}\rho_a v_g^2 A C_{0w}(0)(N) \quad (18)$$

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί των μεγεθών που χρησιμοποιούνται :

v_g (m/s) : *ταχύτητα του πλοίου προς το έδαφος*

Crw : *συντελεστής αντίστασης ανέμου, συναρτήσει της σχετικής γωνίας του ανέμου* $\psi_{wr,ref}$

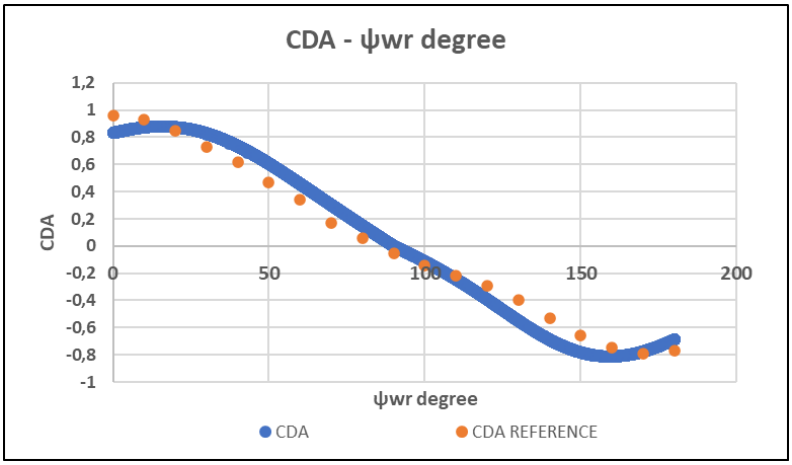
$C_{0w}(0)$: *συντελεστής αντίστασης ανέμου σε μετωπικό άνεμο (0°)*

ρ_α (kg/m^3) : *πυκνότητα αέρα ισούται με 1,225 kg/m^3*

A (m^2) : *εμβαδόν εγκάρσιας προβεβλημένης επιφανείας*

n_{DO} : *συντελεστής απόδοσης πρόωσης σε ήρεμη κατάσταση , ισούται με 0,7*

Παρακάτω, στην εικόνα 20 παρουσιάζεται σε διάγραμμα ο συντελεστής αντίστασης του ανέμου σε Laden κατάσταση σε σχέση με την σχετική διεύθυνση της γωνίας του ανέμου. Για να ελέγξουμε την ορθότητα των υπολογισμών μας στο διάγραμμα έχουν προστεθεί και σημεία αναφοράς που μας δίνονται από τον ITTC για τον συντελεστή αντίστασης που αναφέρονται σε oil tanker.



Εικόνα 20 Διάγραμμα Συντελεστή Αντίστασης Ανέμου σε Laden κατάσταση με Reference Points από ITTC

3. Συνολικός Ενεργειακός Δείκτης

3.1 Εισαγωγή στην μελέτη απόδοσης του πλοίου

Για την παρακολούθηση της αποδοτικής λειτουργίας του πλοίου έχουν οριστεί διάφοροι δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators Kpi). Οι δείκτες αυτοί εξετάζουν διάφορες συμπεριφορές του πλοίου και τμήματά του. Με τους δείκτες απόδοσης KPI χρησιμοποιούνται διάφορες τιμές αναφοράς ώστε με σύγκριση ανάμεσα στις μετρούμενες τιμές των αισθητήρων και τις τιμές αναφοράς από τα Shop Test και τα Sea Trials, να προκύπτουν συμπεράσματα για την απόδοση των συστημάτων του πλοίου. Πιο αναλυτικά, έχουν σχηματιστεί οι εξής δείκτες απόδοσης για τα παρακάτω υποσυστήματα του πλοίου:

a) Συνολικός Ενεργειακός Δείκτης

b) Παρακολούθηση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του πλοίου (Hull and Propeller KPI)

c) Δείκτες απόδοσης για την κύρια μηχανή (Main Engine Kpi) :
   1. Παρακολούθηση της Κατανάλωσης (Hfo consumption KPI)
   2. Παρακολούθηση της πίεσης του θαλάμου Scavenge Air (Scavenge Air Pressure KPI)
   3. Παρακολούθηση των θερμοκρασιών καυσαερίων (Exhaust Gas Temperature KPI)
   4. Παρακολούθηση της λειτουργίας του στρόβιλο συμπιεστή (Turbocharger KPI)

Περαιτέρω, για ορισμένα υποσυστήματα του πλοίου δεν διαθέταμε τιμές αναφοράς. Δημιουργήθηκαν παρόλα αυτά δείκτες για την παρακολούθηση των συστημάτων αυτών οι οποίοι ελέγχουν την απόδοση τους. Με τους αισθητήρες μετρήσεων υψηλής συχνότητας μπορούμε να ελέγξουμε την απόδοση και την λειτουργικότητα κύριων συστημάτων. Πιο αναλυτικά, στις ηλεκτρογεννήτριες και στον βοηθητικό λέβητα καυσαερίων έγινε μελέτη κυρίως για την κατανάλωση καυσαερίων. Προέκυψε, λοιπόν ο εξής δείκτης:

1. Παρακολούθησης για τις Ηλεκτρογεννήτριες (Diesel Generator Indicators)
2. Παρακολούθησης για το σύστημα του Λέβητα (Boiler Indicator)

3.2. ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ

Για τον σφαιρικό έλεγχο της απόδοσης του πλοίου θα σχηματισθεί ένας δείκτης που θα εξετάζει τις γενικές λειτουργίες του πλοίου. Τα κύρια στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν ο δείκτης αυτός είναι η ισχύς της κύριας μηχανής, η ταχύτητα του πλοίου και η κατανάλωση καυσίμου. Θα δημιουργήσουμε λοιπόν έναν δείκτη κατάλληλο ώστε να αποκτάμε μια σφαιρική εικόνα για την απόδοση του πλοίου. Το πλοίο ως ολοκληρωμένο μηχανολογικό σύστημα έχει ως στόχο να μεταφέρει αγαθά και ζωντανούς οργανισμούς από ένα σημείο του πλανήτη στο άλλο. Για να το πετύχει αυτό παράγει ισχύ από την κύρια μηχανή του καταναλώνοντας καύσιμο. Για να εξετάσουμε την αποδοτικότητα του πλοίου θα πρέπει να ελέγξουμε την ποσότητα καυσαερίων που εκπέμπει το πλοίο για να διανύσει κάποια απόσταση. Ως βασικός δείκτης για την απόδοση του πλοίου θα πρέπει να θεωρείται η κατανάλωση της κύριας μηχανής σε σχέση με την αντίστοιχη ταχύτητα του πλοίου. Στην περίπτωση που η κατανάλωση της κύριας μηχανής που απαιτείται για να διανύσει μια απόσταση το σκάφος είναι αυξημένη, τότε είναι εύλογο να συμπεράνουμε πως είτε κάποιο από τα υποσυστήματα του σκάφους υπολειτουργούν είτε το σκάφος επιχειρεί σε εξαιρετικά δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Δημιουργείται ένας δείκτης απόδοσης για την συνολική συμπεριφορά του πλοίου. Από τα διαγράμματα των shop test και των sea trials προκύπτουν οι τιμές αναφοράς. Από τα shop test αντλούμε την τιμή του SFOC(gr/kwh) και από τις τιμές της ισχύος σχηματίζουμε την τιμή της κατανάλωσης καυσίμου σε τόνους ανά 24 ώρες. Οι τιμές των δεδομένων αυτών μπορούν να φανούν παρακάτω στον πίνακα.

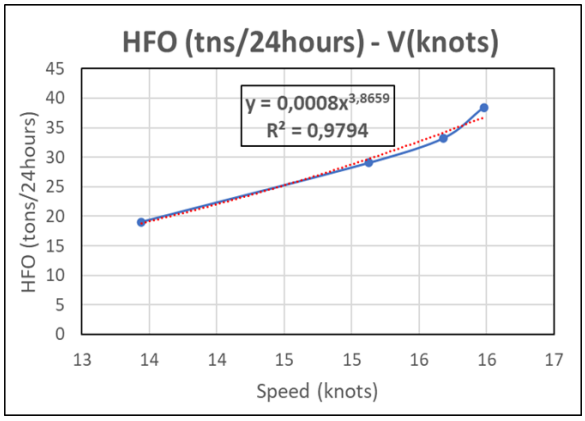
SFOC (gr/kwh)	Power (kw)	HFO (tns/24hours)
187,58	2370	10,66
176,53	4740	20,08
170,19	7110	29,04
170,97	8058	33,06
171,89	8058	33,24
176,51	9480	40,16
179,52	10428	44,93

Πίνακας 14 Δεδομένα από τα Shop Test

Στην συνέχεια, από τα δεδομένα των Sea Trials και με γραμμική παρεμβολή με βάση την ισχύ των Sea Trials δημιουργείται ο πίνακας με τα δεδομένα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν στον δείκτη απόδοσης. Στα δεδομένα αυτά που φαίνονται στον πίνακα έχουμε την ταχύτητα του πλοίου, την ισχύ και την κατανάλωση. Στην εικόνα 21 φαίνεται το διάγραμμα με τις τιμές αναφοράς της κατανάλωσης και της ταχύτητας.

POWER (kw)	SPEED (Knots)	HFO (tns/24hours)
9144	15,98	38,40
7892,5	15,68	33,16
6906,5	15,13	29,03
4520	13,44	19,04

Πίνακας 15 Δεδομένα από Sea Trials



Εικόνα 21 Τιμές Αναφοράς κατανάλωσης καυσίμου και ταχύτητας

Παρατηρούμε ότι οι τιμές που μας δίνονται από τα Sea Trials είναι για υψηλές ταχύτητες μόνο. Για να υπολογίσουμε και τον δείκτη μας για χαμηλότερες ταχύτητες είναι ανάγκη να βελτιώσουμε τα δεδομένα αναφοράς μας, ώστε να περιλαμβάνονται και μικρότερες τιμές ταχύτητας και κατανάλωσης. Για να το κάνουμε αυτό θα μελετήσουμε την εξίσωση που προκύπτει από τα σημεία των Sea Trials και θα υπολογίσουμε πιο πολλά σημεία με χαμηλότερες ταχύτητες και καταναλώσεις. Έτσι, η εξίσωση που υπολογίσαμε για την σχέση ταχύτητας κατανάλωσης είναι :

$$\text{HFO C.} = 0{,}0008 * V^{3{,}8659} \quad (19)$$

Προκύπτει λοιπόν ο παρακάτω πίνακας με τις τιμές αναφοράς για κάθε ταχύτητα.

Speed (knots)	HFO (tns/24hours)
7	2,4
8	3,76
9	5,57
10	7,92
11	10,9
12	14,56
13	19
14	24,4
15	30,7
16	38,1

Πίνακας 16 Δεδομένα για την γραμμική παρεμβολή

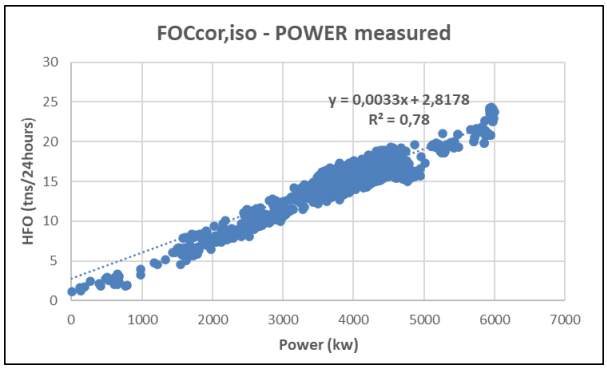
Έχουμε λοιπόν υπολογίσει τις τιμές αναφοράς για τον δείκτη μας και οι τιμές αυτές θα πρέπει να συγκριθούν με τα δεδομένα από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να γίνουν ορισμένες διορθώσεις στα δεδομένα της κατανάλωσης καυσίμου και της ισχύος. Αρχικά, η μετρούμενη ισχύς διορθώνεται με τον τύπο, ώστε να ληφθούν διαφορές υπόψη διαφορές στα βυθίσματα σε σχέση με το βύθισμα αναφοράς. Αυτή η διαδικασία διόρθωσης της ισχύος περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.5.4. και στο τέλος προκύπτει η $Pcorrected$, δηλαδή η διορθωμένη ισχύς. Με την διόρθωση αυτήν η ισχύς είναι πλέον σε τιμές βυθίσματος αναφοράς T = 9,55 μέτρα. Στην συνέχεια, σχηματίζουμε τον εξής λόγο :

$$\alpha = \frac{Pcorrected}{Pmeasured}$$

Με τον λόγο αυτόν θα εξετάσουμε την επίδραση των διορθώσεών μας αλλά και θα υπολογίσουμε τις τιμές της κατανάλωσης καυσίμου της κύριας μηχανής. Για την κατανάλωση καυσίμου θα υπολογίσουμε την παρακάτω διόρθωση :

$$\text{HFOcorrected} = \frac{HFOiso}{a}$$

Έτσι, οι διορθώσεις που έγιναν στις μετρήσεις ισχύος από τους αισθητήρες υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας υποθέτουμε ότι μεταφέρονται και στην κατανάλωση καυσίμου. Η υπόθεση αυτή είναι αποδεκτή εφόσον η σχέση ανάμεσα σε ισχύ και κατανάλωση καυσίμου για τα δεδομένα μας είναι γραμμική όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 22.



Εικόνα 22 Διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου κύριας μηχανής και ισχύος

Συνεπώς, υπολογίζουμε τον συνολικό ενεργειακό δείκτη :

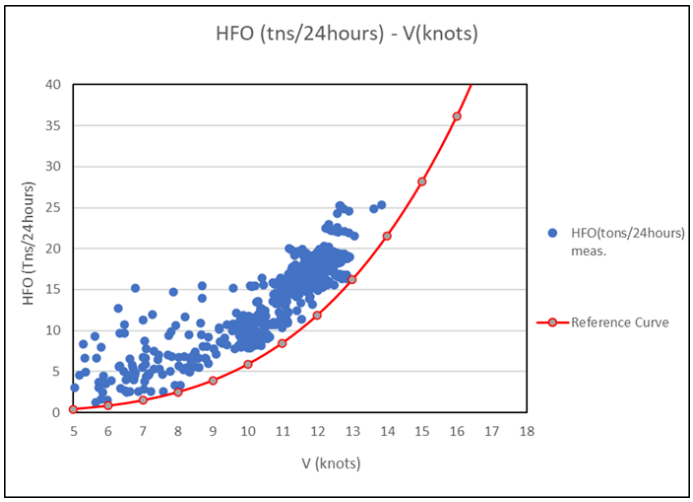
$$\text{Συνολικός ενεργειακός δείκτης} = \frac{HFO_{COR} - HFO_{ref}}{HFO_{ref}}$$

Όπου :

$HFO_{COR}(\frac{tons}{24hours})$: κατανάλωση διορθωμένη από τους αισθητήρες υψηλής δειγματοληψίας

$HFO_{ref}(\frac{tons}{24hours})$: κατανάλωση υπολογισμένη από τις καμπύλες αναφοράς

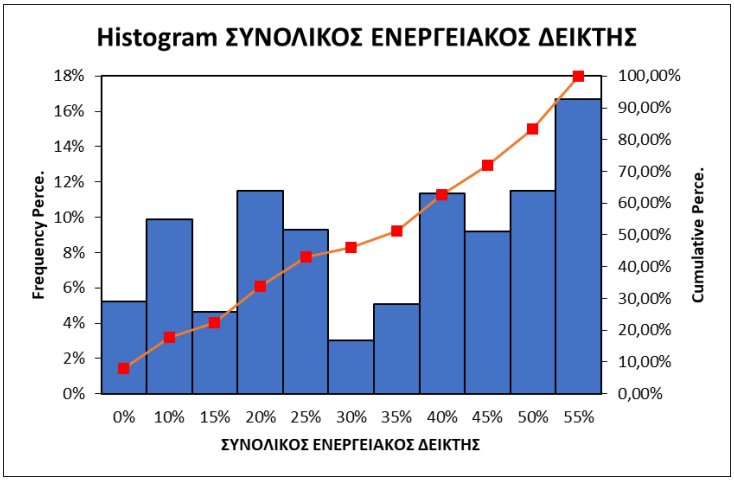
Ακόμη, φαίνεται στην εικόνα 23 το διάγραμμα της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τον ταχύτητα του πλοίου για τις τιμές αναφοράς και τις διορθωμένες μετρούμενες τιμές που θα χρησιμοποιηθούν στον δείκτη.



Εικόνα 23 Κατανάλωση Καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα του πλοίου

2.2 Διαγράμματα από μέσους όρους και στατιστικά δεδομένα

Στην εικόνα 24 παρουσιάζεται ιστόγραμμα των τιμών του δείκτη και στον πίνακα παρουσιάζονται τα στατιστικά δεδομένα του συνολικού ενεργειακού δείκτη. Παρακάτω, προβάλλεται στην εικόνα 25 ο συνολικός ενεργειακός δείκτης που υπολογίσαμε σε διάγραμμα σε σχέση με τον χρόνο. Όταν ο συγκεκριμένος δείκτης έχει θετική τιμή, αυτό σημαίνει ότι η απόσταση που διανύει το πλοίο είναι μικρότερη από αυτήν των τιμών αναφοράς και ταυτόχρονα η κατανάλωση του καυσίμου μας κύριας μηχανής είναι υψηλότερη από αυτήν των τιμών αναφοράς. Συνεπώς, το πλοίο καταναλώνει περισσότερο καύσιμο για να διανύσει μικρότερη απόσταση από αυτήν που αναφέρεται από μας τιμές αναφοράς που προέκυψαν από τα Sea Trials και τα Shop tests.



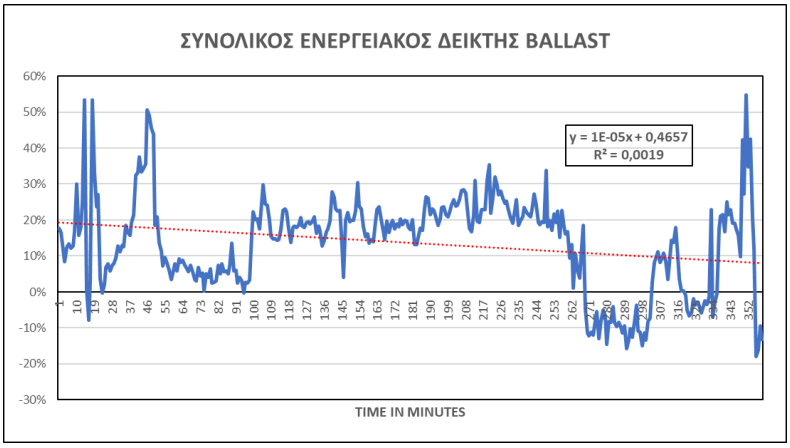
Εικόνα 24 Ιστόγραμμα συνολικού ενεργειακού δείκτη

Συνολικός Ενεργειακός *Δείκτης*	
Mean	30%
Standard Deviation	19%
Range	73%
Minimum	-18%
Maximum	55%

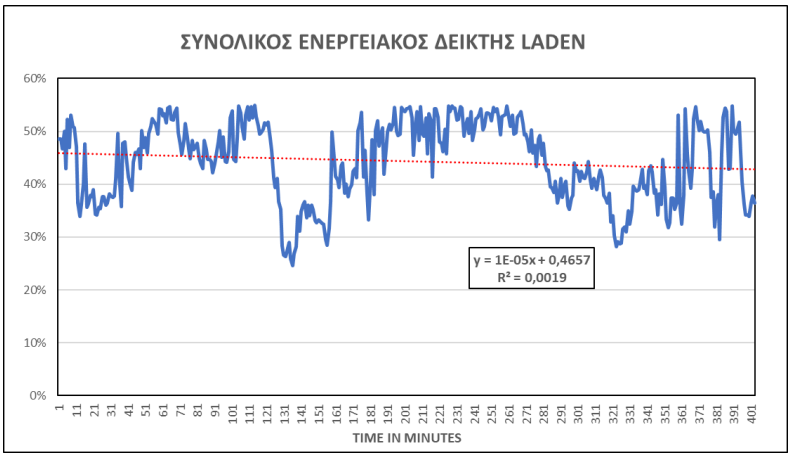
Πίνακας 17 Στατιστικά δεδομένα του συνολικού ενεργειακού δείκτη

Εικόνα 25 Συνολικός Ενεργειακός Δείκτης σε σχέση με τον χρόνο

Από τα στατιστικά δεδομένα παρατηρούμε ότι οι τιμές του συνολικού ενεργειακού δείκτη είναι σχετικά υψηλές. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι το πλοίο έχει σχετικά μέτρια απόδοση. Περαιτέρω, θα αναπτυχθούν δείκτες που θα εξετάζουν την απόδοση του κάθε υποσυστήματος του πλοίου. Ακόμη, παρατηρούμε στο διάγραμμα του δείκτη σε σχέση με τον χρόνο ότι οι τιμές του δείκτη απόδοσης μεταβάλλονται απότομα. Για να εξετάσουμε τον λόγο που προκύπτει αυτή η μεταβολή θα εξετάσουμε ξεχωριστά την κατάσταση φόρτωσης laden και την κατάσταση φόρτωσης ballast. Παρακάτω, βλέπουμε στις εικόνες τα χρονικά διαγράμματα του συνολικού ενεργειακού δείκτη για τις δυο καταστάσεις φόρτωσης.



Εικόνα 26 Διάγραμμα συνολικού ενεργειακού δείκτη σε σχέση με τον χρόνο για ballast κατάσταση φόρτωσης



Εικόνα 27 Διάγραμμα συνολικού ενεργειακού δείκτη σε σχέση με τον χρόνο για laden κατάσταση φόρτωσης

4. PROPELLER AND HULL KPI

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου η ρύπανση της γάστρας οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου. Εύκολο συμπεραίνουμε λοιπόν πως πρέπει να δημιουργήσουμε έναν δείκτη απόδοσης που με αξιόπιστο τρόπο θα ελέγχει την υδροδυναμική απόδοση του πλοίου. Για να το πετύχουμε αυτό χωρίς να χρησιμοποιήσουμε πολύπλοκες προσεγγίσεις υπολογισμού της αντίστασης θα στραφούμε στον νόμο της έλικας. Η αντίσταση R του πλοίου και η ισχύς P που παράγεται από την έλικα συνδέονται με βάση την εξής σχέση με την ταχύτητα του πλοίου V :

$$P = c * V^K = R*V \quad (20)$$

όπου c είναι η σταθερά της έλικας (propeller load coefficient) και K θετική σταθερά. Επειδή το πλοίο μας διαθέτει έλικα σταθερού βήματος, θεωρούμε ότι τα μεγέθη ταχύτητας V και στροφών n θα ισχύει η παρακάτω σχέση :

$$P = c * n^K \quad (21)$$

Από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί έχει προκύψει πως οι τιμές της K σταθεράς μεταβάλλονται ανάλογα τον τύπο πλοίου. Για να υπολογίσουμε την μαθηματική σχέση του νόμου της έλικας στο πλοίο μας και να βρούμε τις σταθερές K και c, θα πρέπει να στραφούμε στα sea trials του πλοίου μας. Το δεξαμενόπλοιο μεταφοράς χημικών MEG στο βύθισμα σχεδίασής του T=9,55 μέτρα είχε την εξής απόδοση στα Sea Trials, όπως βλέπουμε στον παρακάτω πίνακα :

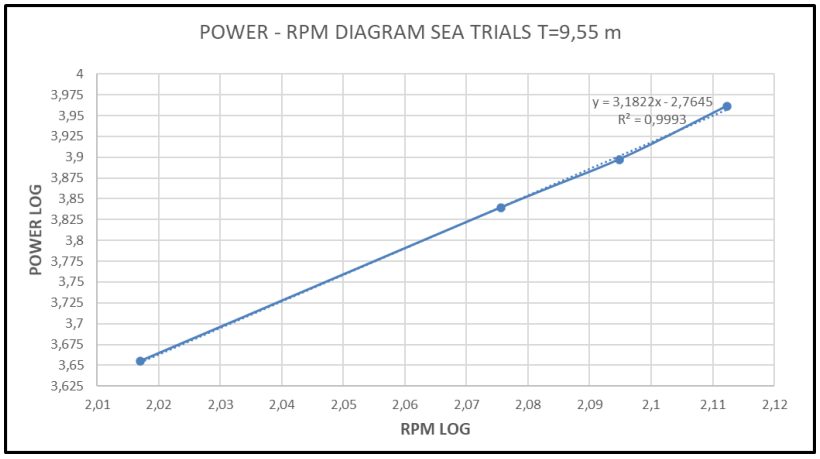
SEA TRIALS T=9.55 m		
SPEED (Knots)	RPM	POWER (KW)
13,44	104	4520
15,13	119	6906,5
15,68	124,4	7892,5
15,98	129,5	9144

Πίνακας 18 Αποτελέσματα των sea trials

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις τιμές των μεταβλητών K και c, θα μετατρέψουμε την σχέση $P = c * n^K$ στην λογαριθμική μορφή της, οπότε προκύπτει :

$$Log(P) = Log(c) + k*Log(n)$$

Στην συνέχεια, με τα δεδομένα από τον πίνακα δημιουργούμε γράφημα στο excel όπου παρουσιάζεται με λογαριθμική μορφή η ισχύς και οι στροφές της κύριας μηχανής.



Εικόνα 28 Ισχύς σε σχέση με τις στροφές του άξονα

Έπειτα, επιλέγουμε να προσθέσουμε την γραμμή τάσης στο διάγραμμα με γραμμική μορφή και επίσης να εμφανιστεί η εξίσωση της συνάρτησης των σημείων. Με τον τρόπο αυτόν προκύπτει η τιμή των σταθερών K και c αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, για το πλοίο μας για βύθισμα T=9,55 μέτρα έχουμε ότι ο τύπος της έλικας είναι ο παρακάτω:

$$P=0{,}0017*n^{3{,}1822} \quad (22)$$

δηλαδή K=3,1822 και c = 0,0017. Οι τιμές αυτές είναι λογικές για ένα δεξαμενόπλοιο και με αυτές θα υπολογίσουμε την ισχύ αναφοράς που θα πρέπει να έχει το πλοίο. Πιο αναλυτικά, για να σχηματίσουμε τον δείκτη απόδοσής μας θα υπολογίσουμε από τις στροφές της μηχανής από τα high frequency δεδομένα των αισθητήρων, την τιμή της ισχύος με βάση την εξίσωση (22). Η ισχύς αυτή είναι η τιμή αναφοράς για το πλοίο μας. Στην συνέχεια, οι τιμές της ισχύος που έχουμε από τους high frequency αισθητήρες θα υποστούν τις εξής διορθώσεις:

1) Κανονικοποίηση για το βύθισμα με βάση τον συντελεστή ναυαρχείου. Όταν υπολογίζουμε τα KPI και χρειαζόμαστε τα Sea Trials για αντιπαραβολή, πρέπει να εκτελέσουμε ορισμένες διορθώσεις, ώστε να κάνουμε συγκρίσεις και να εξάγουμε ορθά συμπεράσματα. Πιο αναλυτικά, γίνεται διόρθωση στην μετρούμενη ισχύ (ME POWER) με τον συντελεστή ναυαρχείου. Αυτό γίνεται διότι το πλοίο βρίσκεται σε διαφορετικά βυθίσματα ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσής του και έτσι επηρεάζεται σημαντικά η ισχύς του και η ταχύτητά του. Έτσι, με την κανονικοποίηση της ισχύος προκύπτουν αποτελέσματα που είναι πιο ακριβή για κάθε βύθισμα. Η μετρούμενη ισχύς διορθώνεται με βάση την διαδικασία του κεφαλαίου 2.3.4.

2) Διόρθωση για την αντίσταση του ανέμου, όπως αναλύθηκε παραπάνω, η οποία διορθώνει την ισχύ για τις καιρικές συνθήκες. Η διόρθωση αυτή γίνεται με την μέθοδο Fujiwara.

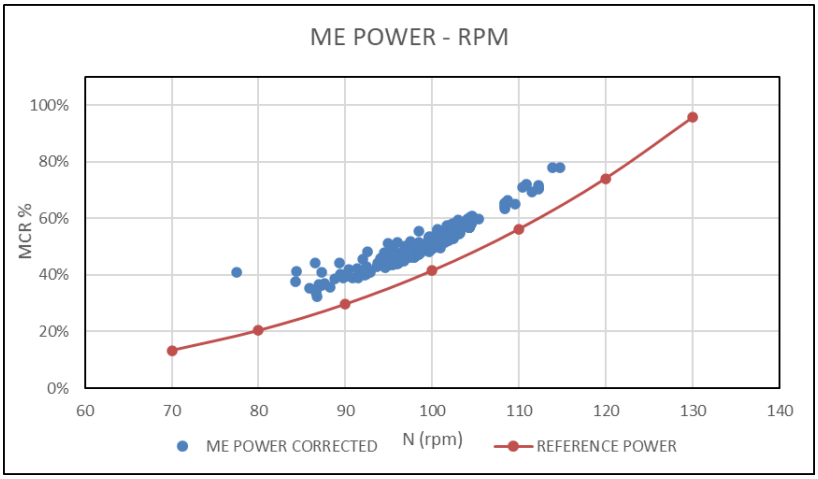
Ο συγκεκριμένος δείκτης δε μπορεί να λειτουργήσει για ημέρες στις οποίες το βύθισμα του πλοίου είχε διαφορά από των δοκιμών sea trials μεγαλύτερη από 1,5 μέτρα. Οπότε κάποιες ημέρες που είχαμε βυθίσματα 6 και 7 μέτρων στο πλοίο δε λαμβάνονται υπόψη. Συνοπτικά, λοιπόν το KPI που προκύπτει είναι το εξής :

$$PROPELLER\ AND\ HULL\ KPI\ = \frac{Pmesured - Preference}{Preference}$$

P : η ισχύς της κύριας μηχανής διορθωμένη κατά του καιρού και του βυθίσματος

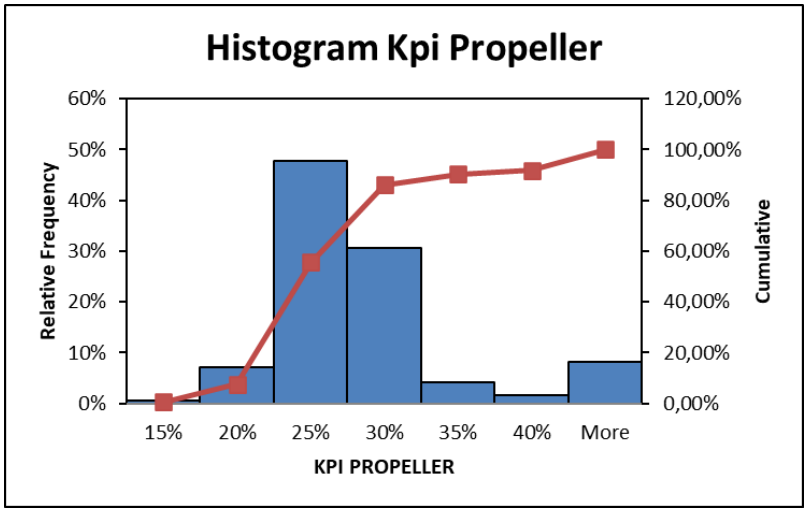
Preference : η ισχύς της κύριας μηχανής σύμφωνα με τα Sea trials και το load propeller coefficient που προκύπτει για τις ίδιες στροφές

Παρακάτω στην εικόνα δίνεται το διάγραμμα των ποσοστών του MCR σε σχέση με τις στροφές για τις διορθωμένες τιμές και τις τιμές αναφοράς.



Εικόνα 29 Τιμές Αναφοράς Ισχύος και στροφών κύριας μηχανής

Ακόμη, στον πίνακα προβάλλονται τα στατιστικά δεδομένα του δείκτη απόδοσης μαζί με ένα ιστόγραμμα των τιμών του δείκτη. Παρατηρούμε ότι οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη είναι θετικές και κυμαίνονται μεταξύ του 20 και 30 τις εκατό.

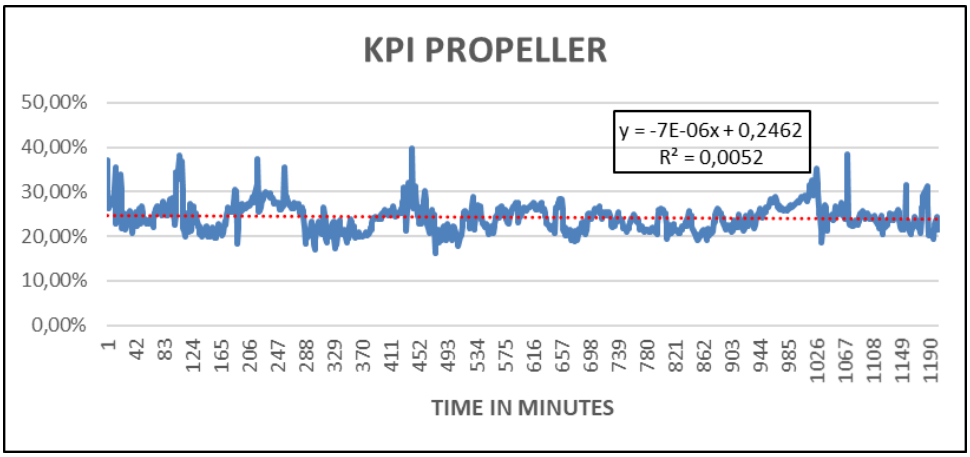


Εικόνα 30 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης

KPI PROPELLER	
Mean	24%
Standard Deviation	0,0315
Range	0,235
Minimum	16%
Maximum	40%

Πίνακας 19 Στατιστικά δεδομένα του δείκτη απόδοσης

Τέλος, προβάλλεται η χρονική ιστορία του συνολικού ενεργειακού δείκτη για 30 λεπτά μέσο όρο μετρήσεων.



Εικόνα 31 Συντελεστής απόδοσης της προπέλας σε σχέση με τον χρόνο

5. Δείκτες απόδοσης για την κύρια μηχανή (Main Engine Kpi)

5.1. Εισαγωγή

Η κύρια μηχανή αποτελεί ένα ζωτικής σημασίας τμήμα για το πλοίο. Με την κύρια μηχανή το σκάφος έχει την δυνατότητα να δημιουργεί μηχανικό έργο από την χημική ενέργεια των καυσίμων. Για την κύρια μηχανή δημιουργήθηκαν δείκτες απόδοσης που παρακολουθούν την κατάσταση των υποσυστημάτων της. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι εξής δείκτες :

1)Δείκτης Κατανάλωσης (HFO CONSUMPTION KPI)

2)Δείκτης απόδοσης για την πίεση του θαλάμου Scavenge Air (SCAVENGE AIR PRESSURE KPI)

3)Δείκτης απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων (EXHAUST GAS TEMPERATURE KPI)

4)Δείκτης λειτουργίας στρόβιλο συμπιεστή (TURBOCHARGER KPI)

5.2. HFO CONSUMPTION KPI

5.2.1. Εισαγωγή στον δείκτη απόδοσης κατανάλωσης καυσίμου

Η κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής αποτελεί κύρια ένδειξη της ομαλής λειτουργίας του πλοίου και της αποδοτικότητάς του. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου συνεπάγεται και βλάβη κάποιων υποσυστημάτων του πλοίου. Για τον σκοπό αυτόν θα χρησιμοποιήσουμε τις στροφές ανά λεπτό της κύριας μηχανής (RPM) σε σχέση με την κατανάλωση για να δημιουργήσουμε έναν κύριο δείκτη απόδοσης για την κύρια μηχανή. Ο δείκτης απόδοσης αυτός θα αποτελεί ένδειξη για την γενική απόδοση της κύριας μηχανής. Για να κατορθώσουμε να σχηματίσουμε αυτό τον δείκτη έχουμε ανάγκη να ορίσουμε τιμές αναφοράς. Οι τιμές αναφοράς θα προέλθουν από τα Shop Test της κύριας μηχανής. Για κάποιες τιμές της φόρτισης της κύριας μηχανής διαθέτουμε δεδομένα και για τις στροφές της κύριας μηχανής και για την κατανάλωση της κύριας μηχανής. Από αυτές τις τιμές αναφοράς και με την εντολή Forecast του excel θα διαμορφώσουμε τις τιμές αναφοράς για την πίεση και την θερμοκρασία με γραμμική παρεμβολή όπως ακριβώς έχουμε κάνει και για τους υπόλοιπους δείκτες απόδοσης. Αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι τα δεδομένα της κατανάλωσης καυσίμου είναι διορθωμένα κατά ISO όπως έχει αναφερθεί παραπάνω στο πρώτο κεφάλαιο. Από αυτές τις τιμές αναφοράς θα αφαιρέσουμε τις τιμές των μετρήσεων των high frequency αισθητήρων ώστε να υπολογίσουμε τον δείκτη απόδοσής μας.

Ως δείκτη απόδοσης θα ορίσουμε τελικά το κλάσμα που θα έχει ως αριθμητή την κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής (HFO consumption) και ως παρονομαστή τις στροφές ανά λεπτό της κύριας μηχανής (RPM). Με τον δείκτη αυτόν αναμένουμε πως η αύξηση της τιμής του θα συνεπάγεται υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου για λιγότερες στροφές ανά λεπτό της κύριας μηχανής. Η κατάσταση αυτή θα σημαίνει ότι ο κινητήρας που ελέγχουμε έχει αυξημένες φθορές είτε κάποιο τμήμα του είναι ελαττωματικό και χρίζει άμεσης αλλαγής. Προκύπτει λοιπόν το εξής κλάσμα :

$$HFO\ CONSUMPTION\ KPI = \frac{\frac{\mathrm{HFO}}{RPM} - \frac{\mathrm{HFO}reference}{RPMreference}}{\frac{HFOreference}{RPMreference}}$$

όπου :

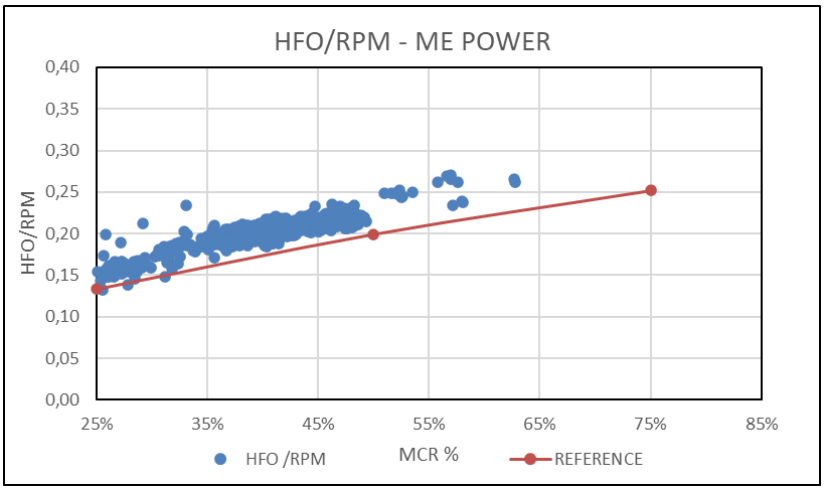
HFO : κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής

RPM : στροφές ανά λεπτό (Revolutions per minute)

HFO$reference$: κατανάλωση καυσίμου της κύριας μηχανής από τα SHOP TEST

RPM$reference$: στροφές ανά λεπτό της κύριας μηχανής από τα Shop Test

Παρακάτω, δίνονται σε διάγραμμα οι τιμές αναφοράς και οι μετρούμενες τιμές του δείκτη σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής.

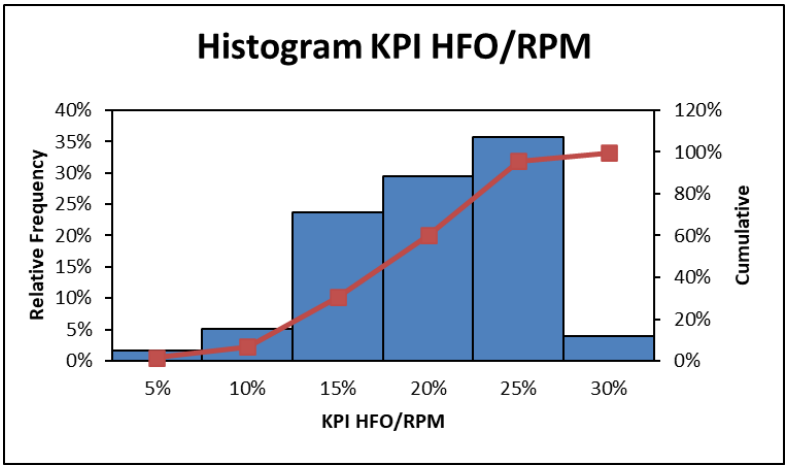


Εικόνα 32 HFO/RPM σε σχέση με την ισχύ για τιμές αναφοράς και μετρούμενες τιμές

Ακόμη, προβάλλεται το ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης και ο πίνακας 20 με τα στατιστικά δεδομένα.

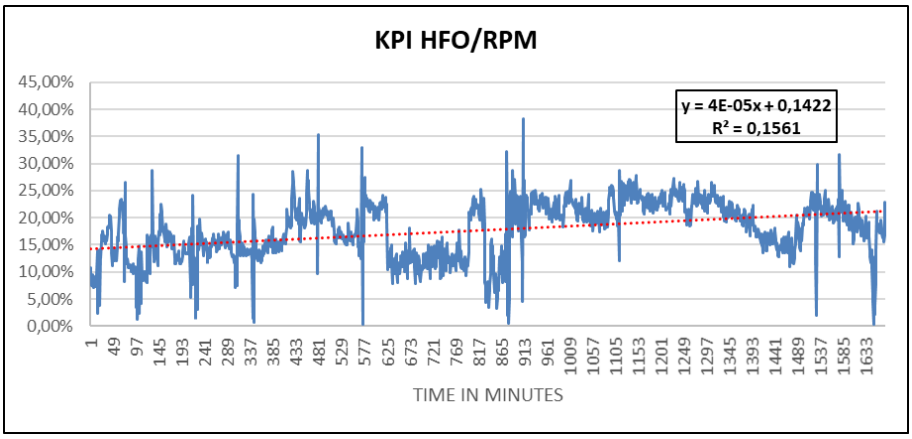
KPI HFO/RPM	
Mean	18%
Standard Deviation	0,052
Range	0,381
Minimum	0%
Maximum	38%

Πίνακας 20 Στατιστικά στοιχεία του δείκτη απόδοσης



Εικόνα 33 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης

Τέλος, προβάλλεται το διάγραμμα του δείκτη απόδοσης που υπολογίσαμε σε σχέση με τον χρόνο.



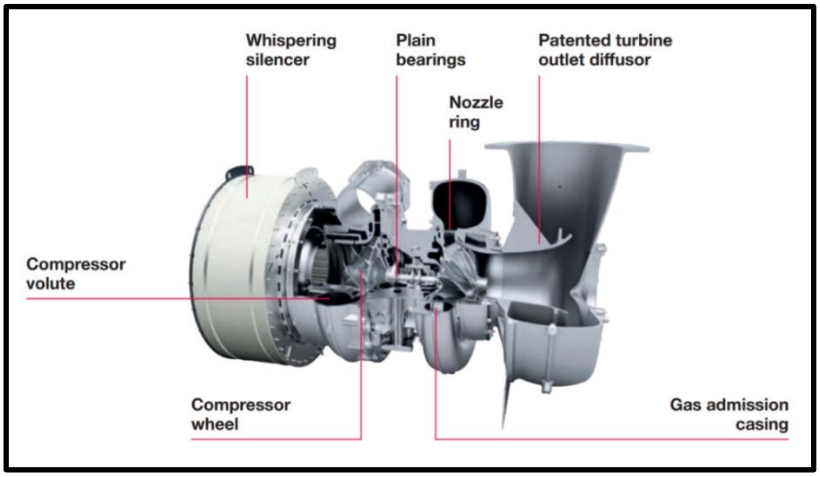
Εικόνα 34 Χρονική ιστορία του δείκτη απόδοσης

5.3. Δείκτες απόδοσης στροβιλοσυμπιεστή : TURBOCHARGER KPI και SCAVENGE AIR PRESSURE KPI

5.3.1. Εισαγωγή στον δείκτη απόδοσης του στροβιλοσυμπιεστή

Οι επόμενοι δύο δείκτες θα αναφερθούν σε ένα άλλο καίριο τμήμα των μηχανολογικών εγκαταστάσεων του πλοίου που είναι ο στροβιλοσυμπιεστής. Η κύρια λειτουργία ενός στροβιλοσυμπιεστή είναι να προσφέρει συμπιεσμένο αέρα στους θαλάμους καύσης της κύριας μηχανής. Μια από τις συνιστώσες για την κατάλληλη λειτουργία του κινητήρα είναι η παροχή αέρα στον θάλαμο της καύσης. Αυτό συμβαίνει διότι η κατάλληλη παροχή αέρα θα οδηγήσει σε αποδοτικότερη καύση του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτόν αυξάνεται η ισχύς της κύριας μηχανής.

Τα κύρια μέλη του συστήματος του στροβιλοσυμπιεστή είναι η τουρμπίνα (στρόβιλος) και ο συμπιεστής, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ένα αξονικό σύστημα. Η τουρμπίνα χρησιμοποιεί την ενέργεια που εκπέμπουν τα θερμά καυσαέρια μετά την καύση και με την βοήθεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πτερυγίων την μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια και κινεί τον συμπιεστή. Η μηχανική ενέργεια της τουρμπίνας μέσω της ροπής του άξονα μετακινείται στον συμπιεστή. Ο συμπιεστής διαθέτει μια εισαγωγή με ειδική διαμόρφωση τα πτερύγια της οποίας είναι σχηματισμένα για να μεγιστοποιούν την παροχή αέρα που εισέρχεται στο σύστημα. Η πλευρά του συμπιεστή περιλαμβάνει και άλλα τμήματα, όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα που προβάλλεται παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, στην πλευρά του συμπιεστή υπάρχει και ένα είδος μόνωσης που λειτουργεί ως σιγαστήρας αλλά και ρουλεμάν που λειτουργούν ως στήριξη στην μηχανολογική κατασκευή. Αυτό είναι λοιπόν το σύστημα του στροβιλοσυμπιεστή με τα κύρια τμήματά του.



Εικόνα 35 Τμήματα του συστήματος στροβιλοσυμπιεστή (MAN manual)

Σε περίπτωση φθοράς του στροβιλοσυμπιεστή θα έχουμε μειωμένη απόδοση της κύριας μηχανής. Αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αέρα από το συμπιεστή θα μειωθεί και άρα θα έχουμε χαμηλότερη πίεση στον scavenge air θάλαμο του στροβιλοσυμπιεστή. Ακόμη, η μειωμένη αυτή παροχή συνδέεται με αυξημένη θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από την τουρμπίνα. Τέλος, με την μειωμένη παροχή αέρα η καύση του κάθε κυλίνδρου θα είναι λιγότερο αποτελεσματική από πριν. Η λιγότερο αποτελεσματική καύση θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η κατανάλωση καυσίμου. Πρέπει, συνεπώς να δημιουργήσουμε έναν δείκτη απόδοσης που θα συνδέει την θερμοκρασία της εξόδου των καυσαερίων από τον στροβιλοσυμπιεστή και την πίεση στους θαλάμους που βρίσκονται γύρω από το σύστημα του

στροβιλοσυμπιεστή. Ο δείκτης λοιπόν που θα σχηματίσουμε θα είναι ένα κλάσμα που στον αριθμητή θα περιλαμβάνει την θερμοκρασία της εξόδου των καυσαερίων από τον στροβιλοσυμπιεστή και ως παρονομαστή θα έχει την πίεση στον scavenge air θάλαμο. Με αυτόν τον ορισμό θα διαθέτουμε έναν δείκτη ο οποίος θα αυξάνεται σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας καυσαερίων και πτώσης πίεση στον στροβιλοσυμπιεστή. Οι τιμές αναφοράς θα προέλθουν από τα Shop Test της κύριας μηχανής. Όπως φαίνεται στον πίνακα παρακάτω για κάποιες τιμές της πίεσης στον scavenge air θάλαμο της κύριας μηχανής διαθέτουμε δεδομένα για την θερμοκρασία της εξόδου των καυσαερίων. Από αυτές τις τιμές αναφοράς και με την εντολή Forecast του excel θα διαμορφώσουμε τις τιμές αναφοράς για την πίεση και την θερμοκρασία με γραμμική παρεμβολή όπως ακριβώς έχουμε κάνει και για τους υπόλοιπους δείκτες απόδοσης. Αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι τα δεδομένα τόσο της πίεσης όσο και της θερμοκρασίας είναι διορθωμένα κατά ISO όπως έχει αναφερθεί παραπάνω στο πρώτο κεφάλαιο. Από αυτές τις τιμές αναφοράς θα αφαιρέσουμε τις τιμές των μετρήσεων των high frequency αισθητήρων ώστε να υπολογίσουμε τον δείκτη απόδοσής μας. Με βάση δηλαδή την πίεση στον θάλαμο scavenge air και με γραμμική παρεμβολή από την πίεση στην θερμοκρασία θα προκύψουν οι τιμές αναφοράς του δείκτη απόδοσής μας.

Scav.Air Rec.						
Pressure bar ISO	0,326	1,17	2,04	2,33	2,26	2,73
TURBOCHARGER No.1	TEMPERATURE OF EXH. GAS outlet temp					
TEMP ISO	257,4	220	214,7	219,26	216,5	224,53

Πίνακας 21 πίεση στον θάλαμο scavenge air και θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τα Shop tests της κύριας μηχανής

Προκύπτει λοιπόν ο παρακάτω δείκτης απόδοσης για τον στροβιλοσυμπιεστή:

$$TURBOCHARGER\ KPI = \frac{\frac{Ttc}{Pscav} - \frac{Ttc\ reference}{Pscav\ reference}}{\frac{Ttc\ reference}{Pscav\ reference}}$$

όπου :

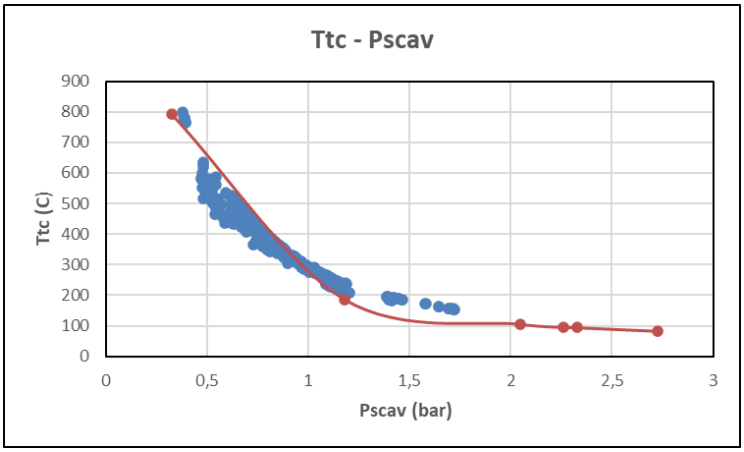
Ttc : Θερμοκρασία εξόδου από τον στροβιλοσυμπιεστή

Psacv : Πίεση στον θάλαμο scavage air

Ttc reference : Θερμοκρασία εξόδου από τον στροβιλοσυμπιεστή με βάση τα Shop Test (τιμές αναφοράς)

Psacv reference : Πίεση στον θάλαμο scavage air με βάση τα Shop Test (τιμές αναφοράς)

Δίνεται παρακάτω σε διάγραμμα η τιμή της πίεσης του θαλάμου scavenge air σε σχέση με την τιμή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων για τις μετρούμενες τιμές και τις τιμές αναφοράς.

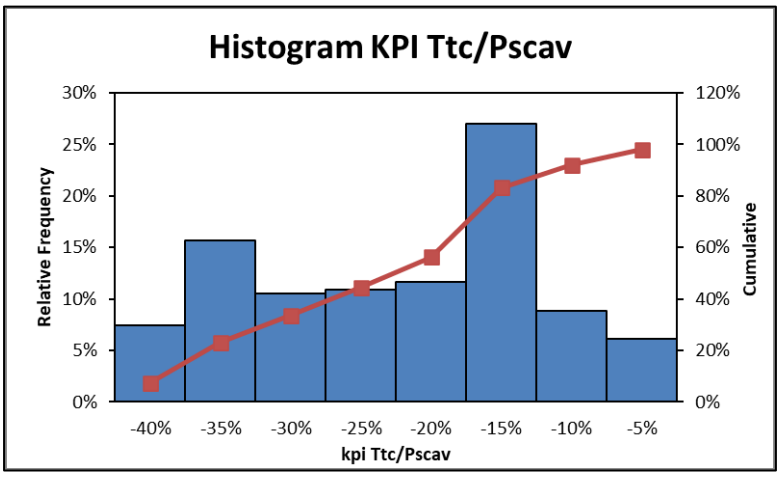


Εικόνα 36 τιμές αναφοράς και μετρούμενες τιμές της πίεσης του scavenge air θαλάμου

Ακόμη, προβάλλεται το ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης και ο πίνακας 22 με τα στατιστικά δεδομένα.

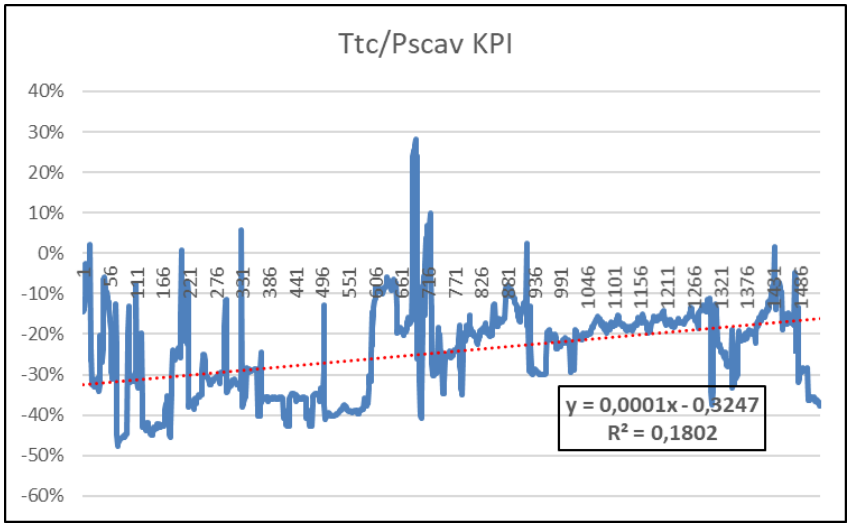
KPI Ttc-Pscav	
Mean	-24%
Standard Deviation	0,112
Range	0,758
Minimum	-48%
Maximum	28%

Πίνακας 22 Στατιστικά δεδομένα του δείκτη απόδοσης



Εικόνα 37 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης

Τέλος, προβάλλεται το διάγραμμα του δείκτη απόδοσης που υπολογίσαμε σε σχέση με τον χρόνο.



Εικόνα 38 Χρονική ιστορία του δείκτη απόδοσης

5.3.5. SCAVENGE AIR PRESSURE KPI

Περαιτέρω, θα δημιουργήσουμε έναν δείκτη που θα αφορά τον στροβιλοσυμπιεστή και συγκεκριμένα τον θάλαμο scavenge air. Με αυτόν τον δείκτη ελέγχουμε την πίεση στο θάλαμο του scavenge air και έτσι παρακολουθούμε αν υπάρχει φθορά στον στροβιλοσυμπιεστή, που θα οδηγούσε σε πτώση πίεσης του θαλάμου scavenge air. Ένα τέτοιο γεγονός θα είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί η απόδοση του συστήματος του στροβιλοσυμπιεστή, διότι η μείωση της πίεσης στο scavenge air receiver θα οδηγούσε σε ελλιπή εκκένωση των καυσαερίων. Θα σχηματίσουμε έναν δείκτη λοιπόν που θα εξετάζει την απόκλιση της πίεσης Pscav σε σχέση με τιμές αναφοράς από τα Shop Test που έχουν γίνει για την κύρια μηχανή. Από τα Shop test έχουμε στον παρακάτω πίνακα τα εξής δεδομένα που μας δόθηκαν για διάφορες τιμές της φόρτισης της κύριας μηχανής.

Scav.Air Rec.						
Pressure bar ISO	0,33	1,18	2,05	2,33	2,26	2,72
LOAD	25%	50%	75%	85%	85%	100%

Πίνακας 23 πίεση στον θάλαμο scavenge air από τα Shop tests της κύριας μηχανής

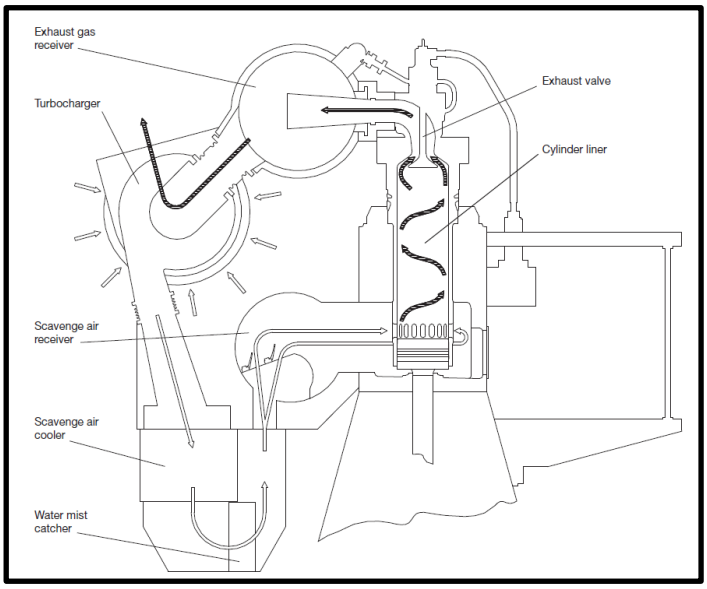
Το Pscav είναι η μετρούμενη τιμή της πίεσης στον θάλαμο scavage air διορθωμένη κατά ISO, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω στο πρώτο κεφάλαιο. Από αυτές τις τιμές και με την εντολή Forecast του excel θα διαμορφώσουμε τις τιμές αναφοράς για την πίεση με γραμμική παρεμβολή όπως ακριβώς έχουμε κάνει και για τους υπόλοιπους δείκτες απόδοσης. Από αυτές τις τιμές αναφοράς θα αφαιρέσουμε τις τιμές των μετρήσεων των high frequency αισθητήρων ώστε να υπολογίσουμε την απόκλιση που έχει η πίεση στον στροβιλοσυμπιεστή. Προκύπτει, δηλαδή ο παρακάτω δείκτης απόδοσης :

$$SCAVENGE\ AIR\ PRESSURE\ KPI = \frac{Pscav - Pscavreference}{Pscavreference}$$

όπου :

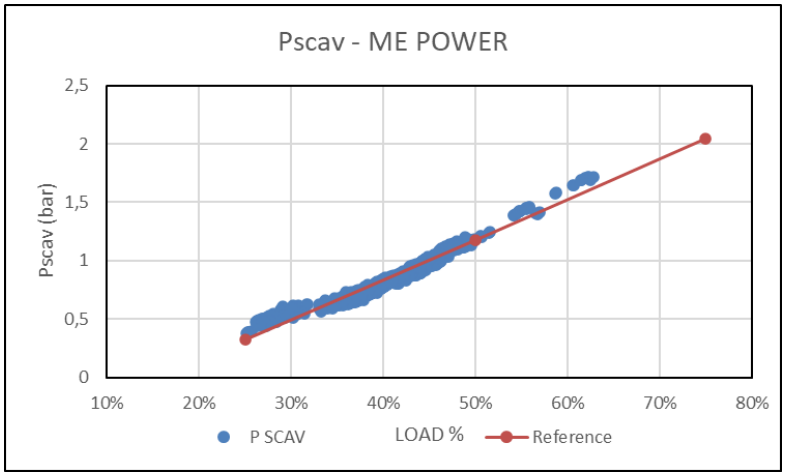
Pscav : Πίεση στο θάλαμο scavenge air

Pscavreference: Πίεση στο θάλαμο scavenge air από τα Shop Test



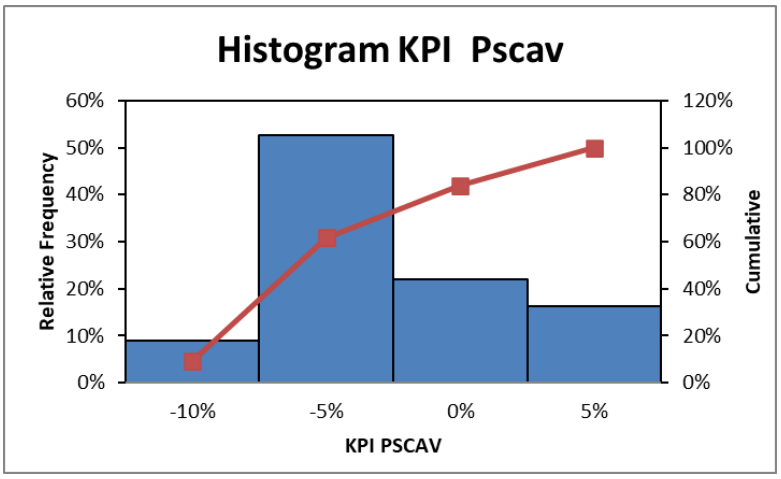
Εικόνα 39 Σύστημα διαχείρισης καυσαερίων (Scavenge Air System) Project Guide MAN B&W S70ME-C10.5-TII

Παρακάτω, δίνονται σε διάγραμμα οι τιμές αναφοράς και οι μετρούμενες τιμές του δείκτη σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής.



Εικόνα 40 Τιμές αναφοράς και μετρούμενες τιμές της πίεσης του scavenge air θαλάμου

Ακόμη, προβάλλεται το ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης και ο πίνακας με τα στατιστικά δεδομένα.

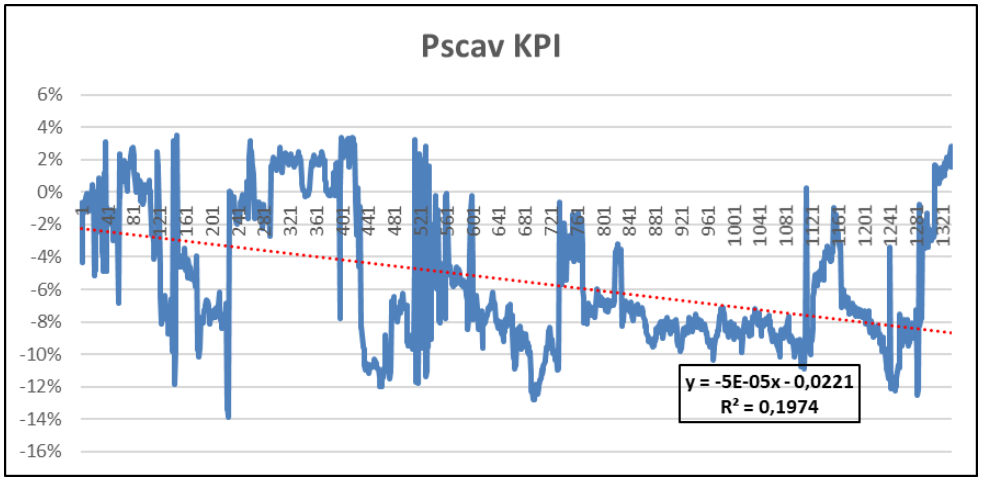


Εικόνα 41 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης

Pscav KPI	
Mean	-5%
Standard Deviation	0,042
Range	0,174
Minimum	-14%
Maximum	3%

Πίνακας 24 Στατιστικά στοιχεία του δείκτη απόδοσης

Τέλος, προβάλλεται το διάγραμμα του δείκτη απόδοσης που υπολογίσαμε σε σχέση με τον χρόνο.



Εικόνα 42 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης του συστήματος SCAVENGE AIR σε σχέση με τον χρόνο

5.3.6. EXHAUST GAS TEMPERATURE KPI

5.3.6.1 Εισαγωγή στον δείκτη απόδοσης θερμοκρασιών

Μια από τις σημαντικότερες μετρήσεις που διαθέτουμε από τους αισθητήρες μας είναι αυτή της θερμοκρασίας καυσαερίων. Με την θερμοκρασία των καυσαερίων ο μηχανικός έχει την δυνατότητα να εξετάσει την απόδοση του θερμοδυναμικού κύκλου της κύριας μηχανής. Αυτό συμβαίνει διότι η μεταβολή της θερμοκρασίας των κυλίνδρων αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο για την λειτουργία της κύριας μηχανής, αφού αποτελεί ένδειξη για την κατάλληλη ψύξη αλλά και καύση που χαρακτηρίζει κάθε κύλινδρο. Επιπρόσθετα, η απόκλιση της θερμοκρασίας της κύριας μηχανής από τις τιμές αναφοράς των shop tests του κατασκευαστή, αποδεικνύει πως κάποιοι κύλινδροι χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη απόδοση. Ορισμένες από τις αιτίες απόκλισης των τιμών των μετρήσεων των high frequency αισθητήρων από τις τιμές αναφοράς είναι :

1)Προβληματική λίπανση των κυλίνδρων, η οποία ενδεχομένως οφείλεται σε μειωμένη ποσότητα λιπαντικού.

2)Ελλιπής ψύξη των κυλίνδρων που οφείλεται σε φθορές του συστήματος ψύξης (cooling water system).

Συμπερασματικά, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Ο έλεγχος των καυσαερίων θα γίνει σε δύο διαφορετικές φάσεις. Θα εξετάσουμε αρχικά την απόκλιση κάθε κυλίνδρου. Οι θερμοκρασίες καυσαερίων κάθε κυλίνδρου πρέπει ,σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή, να μην ξεπερνούν κατά 50 βαθμούς το μέσο όρο των θερμοκρασιών όλων των κυλίνδρων. Άρα, θα πρέπει να σχηματίσουμε μια στήλη με τον μέσο όρο των κυλίνδρων στο έγγραφο excel που διαθέτουμε και στην συνέχεια να υπολογίσουμε την απόκλιση του κάθε κυλίνδρου από τον μέσο όρο αυτόν. Προκύπτει τελικά, ότι όλοι οι κύλινδροι ικανοποιούν την απαίτηση του κατασκευαστή αφού σε κανέναν η απόκλιση δεν είναι μεγαλύτερη των πενήντα βαθμών κελσίου. Αυτό το γεγονός δείχνει ότι ως προς τις θερμοκρασίες η κύρια μηχανή είναι λειτουργεί ως έναν βαθμό ικανοποιητικά. Παρακάτω, προβάλλονται ενδεικτικά στοιχεία του πίνακα της απόκλισης από τον μέσο όρο των κυλίνδρων που υπολογίσαμε.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	CYL1 ISO DEV TEMP	CYL2 ISO DEV TEMP	CYL3 ISO DEV TEMP	CYL4 ISO DEV TEMP	CYL5 ISO DEV TEMP	CYL6 ISO DEV TEMP		
2	17,5214975	2,1484125	-9,6917275	-9,6917275	-23,5370525	23,2505975		
3	17,5214975	2,1484125	-9,6917275	-9,6917275	-23,5370525	23,2505975		
4	16,40750583	1,989270833	-9,850869167	-9,277959167	-23,69619417	24,42824583		
5	16,40750583	1,989270833	-9,850869167	-9,277959167	-23,69619417	24,42824583		
6	16,40750583	1,989270833	-9,850869167	-9,277959167	-23,69619417	24,42824583		
7	16,20062167	1,782386667	-8,816448333	-9,484843333	-23,90307833	24,22136167		
8	16,29610667	1,877871667	-8,720963333	-9,962268333	-23,80759333	24,31684667		
9	16,24836417	2,784979167	-8,768705833	-10,01001083	-24,52373083	24,26910417		
10	15,73911083	2,944120833	-8,609564167	-9,850869167	-24,36458917	24,14179083		
11	15,45265583	4,376395833	-8,896019167	-10,13732417	-24,65104417	23,85533583		
12	14,33866417	4,599194167	-8,673220833	-9,914525833	-24,42824583	24,07813417		
13	14,33866417	4,599194167	-8,673220833	-9,914525833	-24,42824583	24,07813417		
14	14,35457833	3,564773333	-8,657306667	-9,898611667	-23,45748167	24,09404833		
15	14,35457833	3,564773333	-8,657306667	-9,898611667	-23,45748167	24,09404833		
16	14,19543667	3,405631667	-8,816448333	-9,102903333	-23,61662333	23,93490667		
17	15,54814083	3,135090833	-9,086989167	-9,373444167	-23,88716417	23,66436583		
18	15,81868167	2,450781667	-9,484843333	-9,102903333	-23,61662333	23,93490667		
19	15,81868167	2,450781667	-9,484843333	-9,102903333	-23,61662333	23,93490667		
20	15,97782333	2,609923333	-9,325701667	-9,898611667	-23,45748167	24,09404833		
21	16,15287917	2,784979167	-9,150645833	-9,723555833	-23,28242583	23,21876917		
22	16,15287917	2,784979167	-9,150645833	-9,723555833	-23,28242583	23,21876917		
23	16,7576175	3,3897175	-8,5459075	-9,1188175	-26,3061175	23,8235075		
24	15,43674167	1,209476667	-6,047383333	-8,625478333	-22,85274333	20,87938667		
25	15,45265583	1,034420833	-5,935984167	-8,514079167	-22,74134417	20,70433083		
26	13,17693	2,960035	-4,01037	-10,50335	-20,720245	19,097		
27	14,86383167	1,304961667	-6,238353333	-8,816448333	-21,89789333	20,78390167		

... | PROPELLER KPI | PROPELLER LOAD COEFICIENT | CARBON INDEX | ISO SHOP TEST SEA TRIALS | ME KPI | SFOC DEVIATION | EXHAUST KPI | EXH GAS TEM

Εικόνα 43 Ενδεικτικά στοιχεία του πίνακα με την απόκλιση των τιμών των θερμοκρασιών των κυλίνδρων από την μέση τιμή

Σε δεύτερη φάση θα σχηματίσουμε ένα δείκτη που θα εξετάζει την απόκλιση των θερμοκρασιών των κυλίνδρων σε σχέση με ορισμένες τιμές αναφοράς που θα βασίζονται στα Shop Tests της κύριας μηχανής. Τα Shop Tests για την κύρια μηχανή μας προσφέρουν τις μετρήσεις που δίνονται σε πίνακα παρακάτω μετά από τις ISO διορθώσεις που έγιναν και εξηγήθηκαν παραπάνω :

M/E LOAD	25%	50%	75%	85%	85%	100%
TEMPERATURE OF EXH. GAS Cyl. No.						
1	270	275	285	290	285	320
2	270	280	290	300	300	320
3	255	270	280	290	290	320
4	260	275	290	295	290	320
5	265	275	290	300	295	325
6	270	285	300	305	300	330
MEAN	265	276,7	289,2	296,7	293,3	322,5

Πίνακας 25 θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τα Shop Test της κύριας μηχανής

Θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά ως τιμές αναφοράς και με την εντολή FORECAST που διαθέτουμε του excel θα εκτελέσουμε γραμμική παρεμβολή για να υπολογίσουμε τις τιμές αναφοράς για την αντίστοιχη ισχύ της κύριας μηχανής. Σχηματίζουμε, λοιπόν για κάθε κύλινδρο τις τιμές αναφοράς για την θερμοκρασία και τις συγκρίνουμε με τις τιμές που έχουμε από τους αισθητήρες, αφού έχει γίνει ISO διόρθωση. Τέλος, για την θερμοκρασία των καυσαερίων εκτελούμε την ίδια διαδικασία και για τον μέσο όρο των κυλίνδρων. Διαθέτουμε, πλέον τις τιμές αναφοράς για τον δείκτη μας και έτσι προκύπτει ο παρακάτω δείκτης :

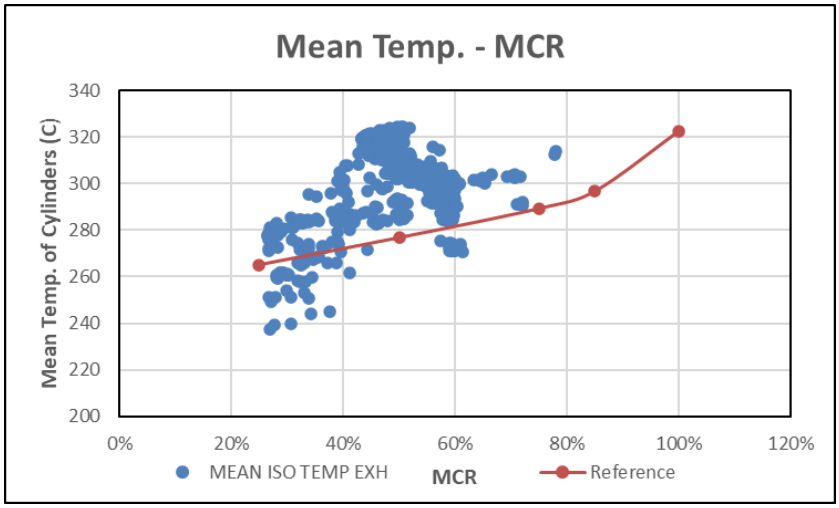
$$EXH.GAS\ TEMP.KPI\ = \frac{EXH.GAS\ TEMP - EXH.GAS\ TEMP\ \ reference}{EXH.GAS\ TEMP\ reference}$$

όπου :

$EXH.GAS\ TEMP$: Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων

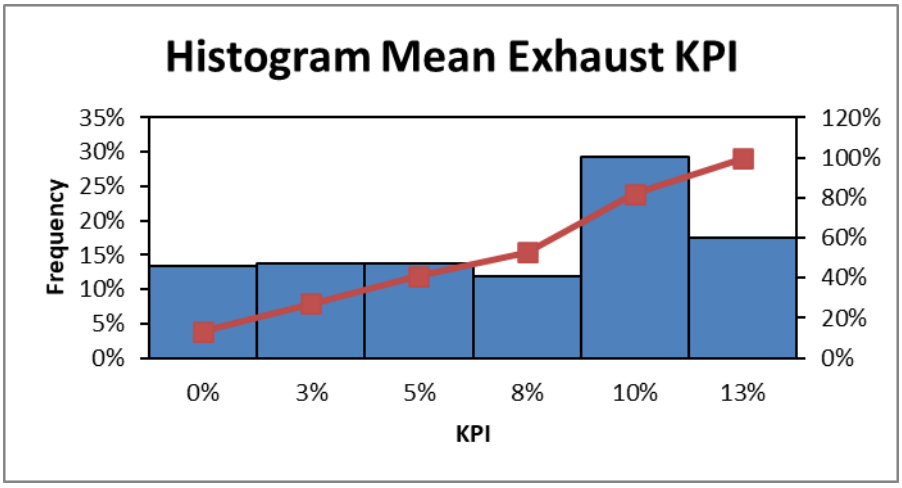
$EXH.GAS\ TEMP\ reference$: Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τα Shop Test

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω με το συγκεκριμένο δείκτη ελέγχουμε την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων. Παρακάτω, δίνετε σε διάγραμμα η μέση θερμοκρασία των κυλίνδρων σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής τόσο για τις τιμές αναφοράς όσο και για τις μετρούμενες τιμές.



Εικόνα 44 Διάγραμμα του μέσου όρου θερμοκρασιών των κυλίνδρων σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής για τις τιμές αναφοράς και τις μετρούμενες τιμές

Παρακάτω, προβάλλεται το ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης και στον πίνακα τα στατιστικά δεδομένα του δείκτη.

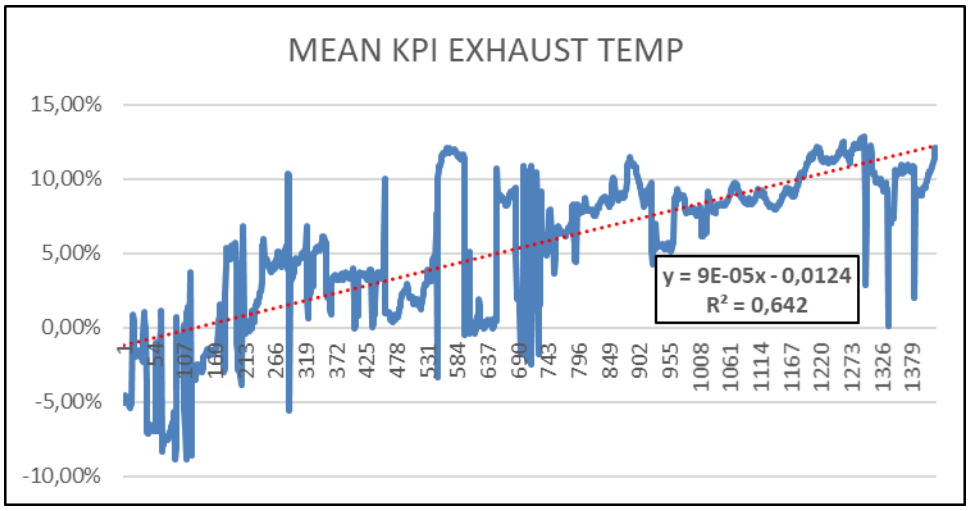


Εικόνα 45 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης

MEAN KPI EXHAUST TEMP	
Mean	6%
Standard Deviation	0,049
Range	0,22
Minimum	-9%
Maximum	13%

Πίνακας 26 Στατιστικά δεδομένα του δείκτη απόδοσης

Τέλος, δίνεται η χρονική ιστορία του δείκτη απόδοσης.



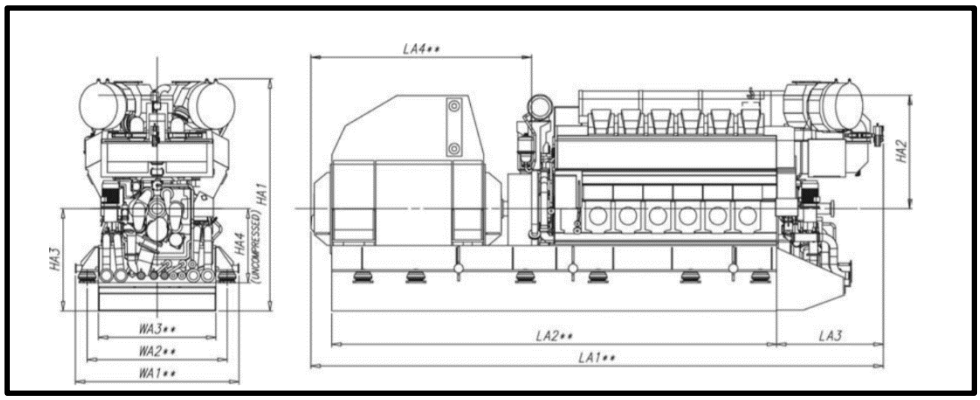
Εικόνα 46 Χρονική ιστορία του δείκτη απόδοσης

Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα η απόκλιση του δείκτη είναι της τάξεως του πέντε με δέκα τις εκατό και γενικά παρατηρείται μια ομαλή απόδοση κάθε κυλίνδρου ως προς την θερμοκρασία.

6.ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

6.1 Εισαγωγή στο σύστημα των ηλεκτρογεννητριών

Οι ηλεκτρογεννήτριες αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα του ενεργειακού συστήματος του πλοίου, καθώς εξασφαλίζουν την τροφοδότηση με ηλεκτρισμό του σκάφους. Τα σύγχρονα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών (product tankers) χαρακτηρίζονται από την συνεχόμενη ζήτησή τους για ηλεκτρικό ρεύμα. Πληθώρα απαραίτητων συστημάτων στο πλοίο για να λειτουργήσει έχει ανάγκη από ηλεκτρισμό. Για παράδειγμα, τα κεντρικά συστήματα ελέγχου της κύριας μηχανής του πλοίου απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια ούτως ώστε να λειτουργήσουν ενώ επίσης υπάρχουν αρκετά συστήματα ελέγχου όπως αυτό του λέβητα ή και της γέφυρας που έχουν απαίτηση για ηλεκτρισμό. Τέλος, τα συστήματα επικοινωνίας του πλοίου έχουν ανάγκη από ηλεκτρισμό. Οι ηλεκτρογεννήτριες των πλοίων αποτελούνται από διάφορα μηχανολογικά τμήματα. Υπάρχει ο κινητήρας που καίει ντίζελ καύσιμο και συνήθως είναι εξακύλινδρος, ο οποίος συνδέεται με μια τριφασική γεννήτρια για την παραγωγή ρεύματος.



Εικόνα 47 Σύστημα Ηλεκτρογεννήτριας

Τα περισσότερα πλοία διαθέτουν συνήθως δύο ηλεκτρογεννήτριες που καταναλώνουν καύσιμο diesel, οι οποίες είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους. Επίσης, υπάρχει ακόμη μια ηλεκτρογεννήτρια έκτακτης ανάγκης. Τα παραπάνω είναι απαιτήσεις των διεθνών νηογνωμόνων για την ασφαλή πλοήγηση του σκάφους. Οι ηλεκτρογεννήτριες αυτές μετατρέπουν με την καύση των κινητήρων diesel την χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική. Εύκολα λοιπόν συμπεραίνει κανείς την σημασία της ομαλής λειτουργίας της ηλεκτρογεννήτριας στο πλοίο. Μια ηλεκτρογεννήτρια πρέπει να χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία και χαμηλή κατανάλωση. Με τον τρόπο αυτόν θα συντελεί στην ομαλή λειτουργία του σκάφους και ταυτόχρονα θα οδηγεί σε χαμηλό κόστος λειτουργίας. Για να εξετάσουμε λοιπόν την ηλεκτρογεννήτρια θα πρέπει να σχηματίσουμε έναν δείκτη απόδοσης που παρακολουθεί την κατανάλωση της ηλεκτρογεννήτριας.

6.2. Δείκτης Απόδοσης των ηλεκτρογεννητριών (Diesel Generator Indicator)

Δημιουργήθηκε λοιπόν ένας δείκτης που παρακολουθεί την κατανάλωση κάθε ηλεκτρογεννήτριας. Ακόμη, για την απόδοση των γεννητριών θα γίνει έλεγχος και των θερμοκρασιών των κυλίνδρων της κάθε γεννήτριας. Σχηματίζουμε, λοιπόν μια σειρά από στήλες στο αρχείο του excel που διαθέτουμε και πραγματοποιούμε τις παρακάτω αναλύσεις. Πιο αναλυτικά, δημιουργήθηκε ο παρακάτω δείκτης :

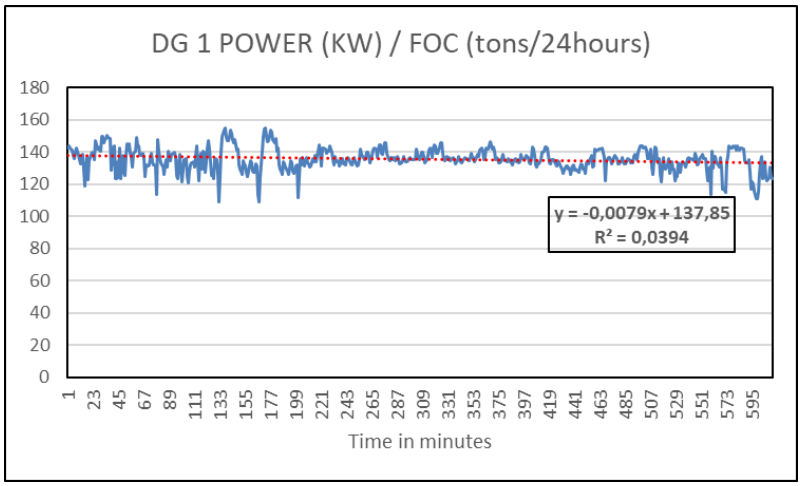
$$\text{DIESEL GENERATOR INDICATOR} = \frac{DG\ POWER}{DG\ FOC}$$

όπου :

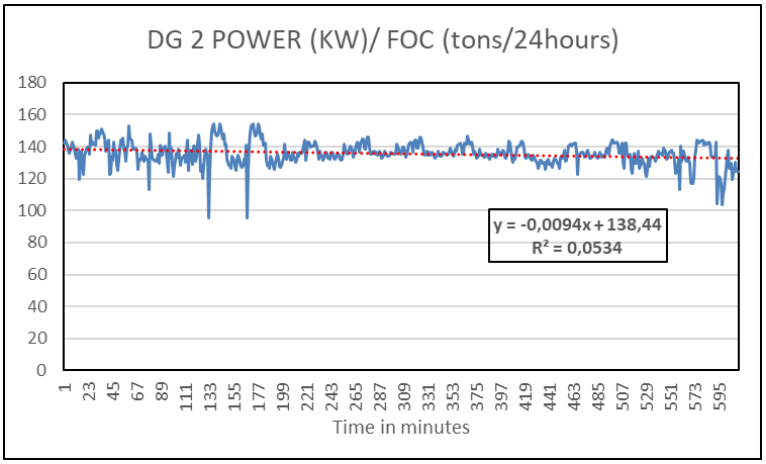
DG POWER : Ισχύς που παράγει η γεννήτρια

DG FOC : Κατανάλωση καυσίμου γεννήτριας

Η ισχύς της κάθε γεννήτριας (DG POWER) δίνεται από τους high frequency αισθητήρες που διαθέτουμε, όπως επίσης και η κατανάλωση καυσίμου της γεννήτριας (DG FOC). Ο δείκτης αυτός ξεχωριστά για κάθε γεννήτρια δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα που έχουν μορφοποιηθεί σε διαγράμματα ως προς τον χρόνο :



Εικόνα 48 Διάγραμμα Diesel Generator Indicator For Generator 1



Εικόνα 49 Διάγραμμα Diesel Generator Indicator For Generator 2

6.3 Παρακολούθηση της κατάστασης των ηλεκτρογεννητριών

Παρατηρούμε ότι οι τιμές των δεικτών παρακολούθησης που έχουμε σχηματίσει δεν χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος μεταβολών. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει πληθώρα στατιστικών στοιχείων για τις τιμές απόδοσης των γεννητριών.

DG 1 POWER (KW) / FOC (kW/ton/day)		DG 2 POWER (KW)/ FOC (kW/ton/day)	
Mean	135,43	Mean	135,6
Standard Deviation	7	Standard Deviation	7,2
Range	46	Range	59,0
Minimum	109,23	Minimum	95,2
Maximum	155,22	Maximum	154,2

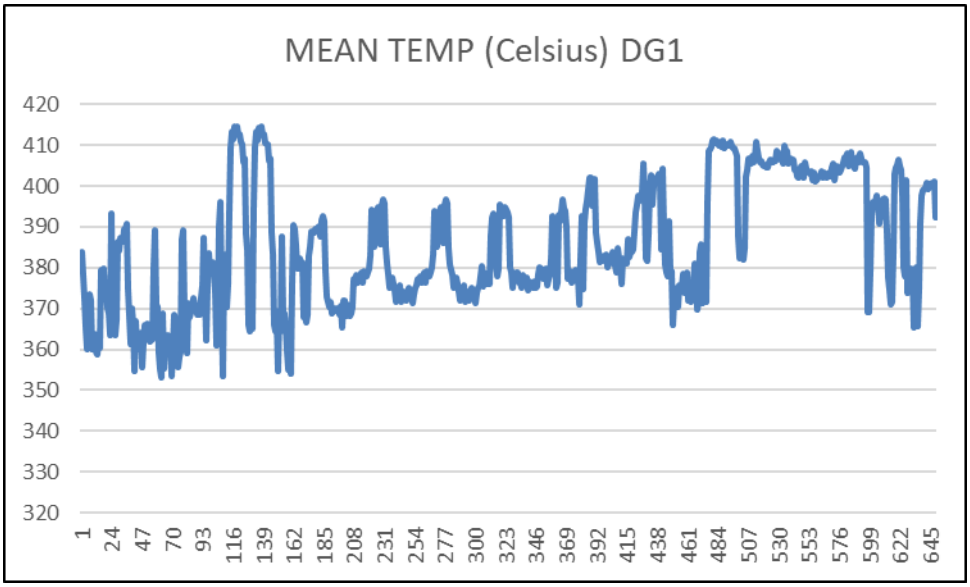
Πίνακας 27 Δείκτες Απόδοσης για τις γεννήτριες

Στην συνέχεια, θα ελέγξουμε την θερμοκρασία εξόδου των κυλίνδρων των κινητήρων των γεννητριών. Παρακάτω δίνονται σε πίνακα τα στατιστικά δεδομένα των μέσων όρων των θερμοκρασιών των κυλίνδρων για κάθε ηλεκτρογεννήτρια.

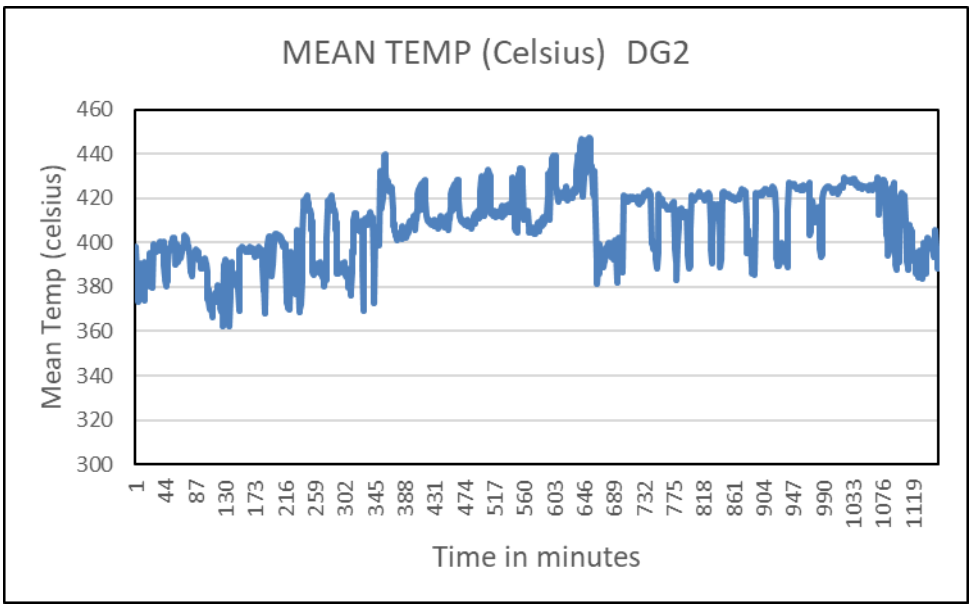
DG 1 MEAN TEMP (Celsius)		*DG 2 MEAN TEMP (Celsius)*	
Mean	371,2	Mean	399,1
Standard Deviation	32,1	Standard Deviation	31,4
Range	272,3	Range	303,3
Minimum	142,2	Minimum	144,1
Maximum	414,6	Maximum	447,4

Πίνακας 28 Στατιστικά στοιχεία για την θερμοκρασία της εξόδου των μέσων όρων των κυλίνδρων των ηλεκτρογεννητριών

Παρακάτω δίνεται η χρονική ιστορία του μέσου όρου των θερμοκρασιών των κυλίνδρων για κάθε ηλεκτρογεννήτρια.



Εικόνα 50 θερμοκρασία κυλίνδρων της πρώτης ηλεκτρογεννήτριας σε σχέση με τον χρόνο



Εικόνα 51 θερμοκρασία κυλίνδρων της δεύτερης ηλεκτρογεννήτριας σε σχέση με τον χρόνο

Για την μελέτη της κατάστασης της λειτουργίας της γεννήτριας θα δημιουργήσουμε έναν δείκτη απόδοσης με τα δεδομένα που διαθέτουμε. Από τα test record της γεννήτριας θα χρησιμοποιήσουμε ως τιμές αναφοράς του δείκτη την θερμοκρασία των κυλίνδρων σε σχέση με την φόρτιση της γεννήτριας, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω.

1 号 发 电 机 试 验 记 录
Test Record of No.1 Generator

船名或船号：
Ship Name or No.: **04130010**

编 号：
Sheet No.: 052

冷却水出口温度/排气装置试验 F.W.Our.Temp. /Exhaust Temp. (℃)	Cy1.1 1#缸	74/310	74/350	74/350	74/400	76/410	76/430
	Cy1.2 2#缸	72/310	73/350	74/350	74/380	74/400	75/410
	Cy1.3 3#缸	72/290	73/335	74/335	74/355	74/380	74/402
	Cy1.4 4#缸	72/310	72/350	73/360	73/380	74/410	74/430
	Cy1.5 5#缸	72/310	72/350	73/355	73/375	73/390	74/400
	Cy1.6 6#缸	72/300	72/340	73/345	73/360	74/380	74/402
	排气总管 Common exhaust	355.6	431.4	469.8	514.2	515.3	520.8
	增压器出口 After turbocharger	290	360	360	360	360	380

Εικόνα 52 Στοιχεία Αναφοράς Ηλεκτρογεννήτριας

Με τις θερμοκρασίες του κάθε κυλίνδρου σε σχέση με την ισχύ ως τιμές αναφοράς θα σχηματίσουμε τον ίδιο δείκτη απόδοσης που είχε μελετηθεί και παραπάνω στο κεφάλαιο 5.3.6. Πιο αναλυτικά, δημιουργούμε έναν πίνακα με τον μέσο όρο των θερμοκρασιών από όλους του κυλίνδρους κάθε ηλεκτρογεννήτριας ξεχωριστά, όπως μπορούμε να δούμε παρακάτω.

DG 1						
Load	25%	50%	75%	100%	100%	110%
MEAN TEMP	305	346	349	372	395	412

Πίνακας 29 Τιμές Αναφοράς της Ηλεκτρογεννήτριας 1

DG 2						
Load	25%	50%	75%	100%	100%	110%
MEAN TEMP	299	336	337	362	363	382

Πίνακας 30 Τιμές Αναφοράς της Ηλεκτρογεννήτριας 2

Με βάση τις τιμές αναφοράς θα συγκρίνουμε τον μέσο όρο των θερμοκρασιών των κυλίνδρων κάθε γεννήτριας με βάση την ισχύ. Για να το πραγματοποιήσουμε αυτό θα παρεμβάλλουμε γραμμικά τις τιμές αναφοράς με βάση το φορτίο της κύριας μηχανής. Προκύπτει λοιπόν ο εξής δείκτης απόδοσης :

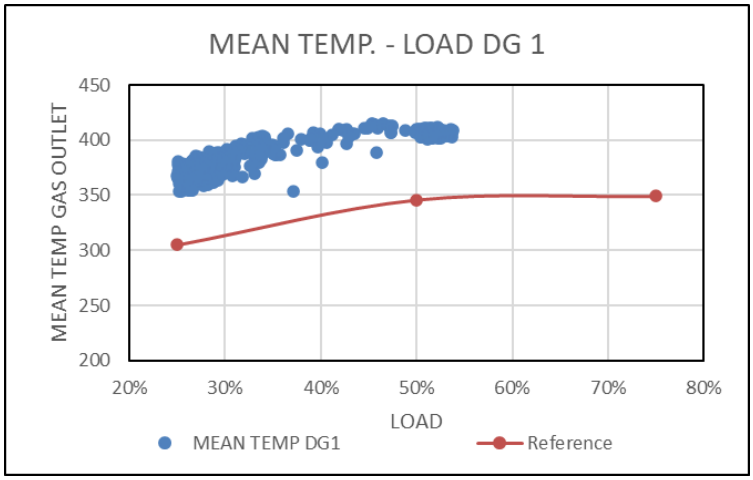
$$DG\ EXH.KPI\ = \frac{EXH.GAS\ TEMP - EXH.GAS\ TEMP_{REFERENCE}}{EXH.GAS\ TEMP_{REFERENCE}}$$

όπου :

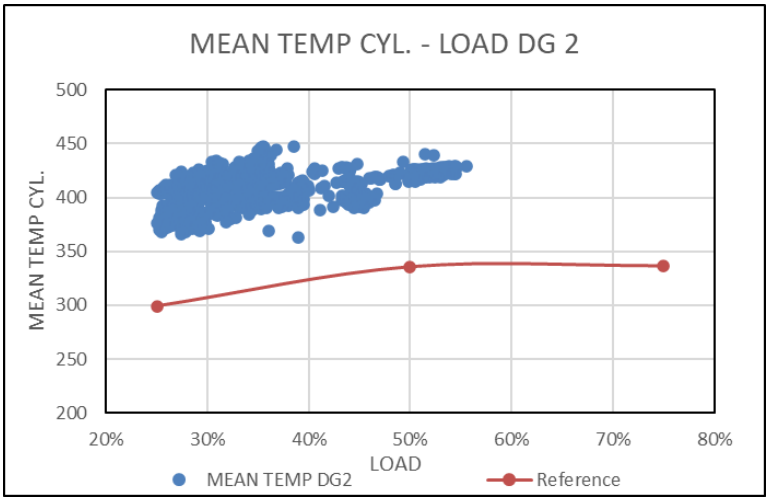
$EXH.GAS\ TEMP$: Μέσος όρος κυλίνδρων της θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων

$EXH.GAS\ TEMP_{REFERENCE}$: Μέσος όρος κυλίνδρων της θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τα Shop Test

Παρακάτω, βλέπουμε σε διάγραμμα την τιμή των μετρούμενων τιμών της θερμοκρασίας σε σχέση με το φορτίο της γεννήτριας και τις τιμές αναφοράς.



Εικόνα 53 Μέσος Όρος θερμοκρασιών σε σχέση με την φόρτιση της γεννήτριας



Εικόνα 54 Μέσος Όρος θερμοκρασιών σε σχέση με την φόρτιση της γεννήτριας

Στους παρακάτω πίνακες περιέχονται τα στατιστικά δεδομένα των τιμών του δείκτη για τις δύο ηλεκτρογεννήτριες. Παρατηρούμε ότι η δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια παρουσιάζει υψηλότερες τιμές απόκλισης από την πρώτη. Ενδεχομένως, λοιπόν να πρέπει να γίνει κάποιος έλεγχος στους κυλίνδρους της.

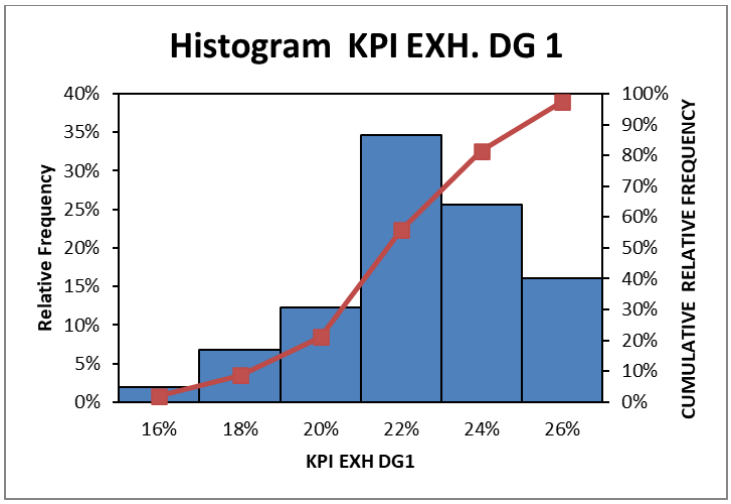
KPI DG1 TEMP	
Mean	22%
Standard Deviation	2%
Range	17%
Minimum	10%
Maximum	28%

Πίνακας 31 Στατιστικά δεδομένα για τον δείκτη απόδοσης της γεννήτριας 1

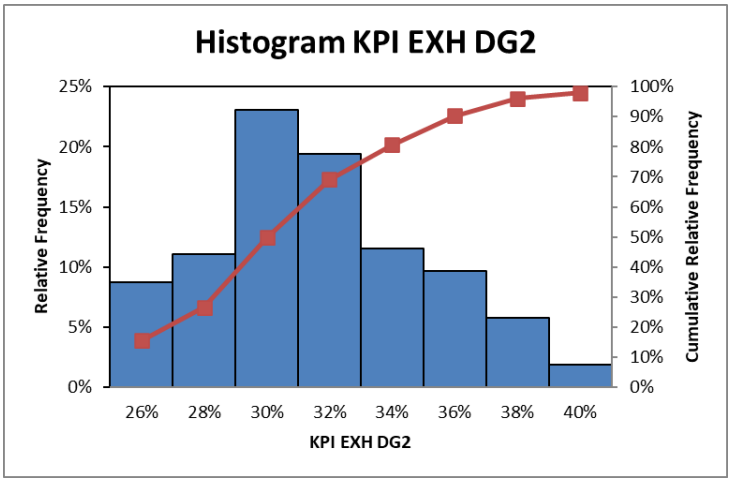
KPI DG2 TEMP	
Mean	30%
Standard Deviation	4%
Range	28%
Minimum	15%
Maximum	43%

Πίνακας 32 Στατιστικά δεδομένα για τον δείκτη απόδοσης της γεννήτριας 2

Παρακάτω, βλέπουμε τα ιστογράμματα των τιμών του δείκτη απόδοσης για τις ηλεκτρογεννήτριες 1 και 2.

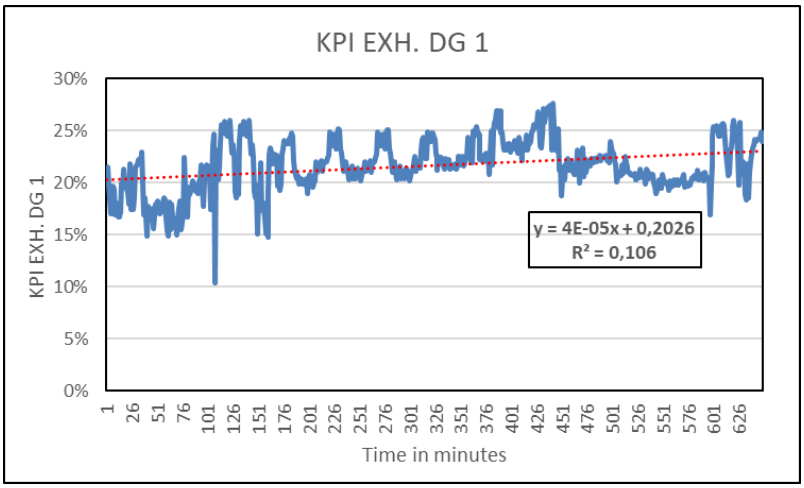


Εικόνα 55 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης για την γεννήτρια 1

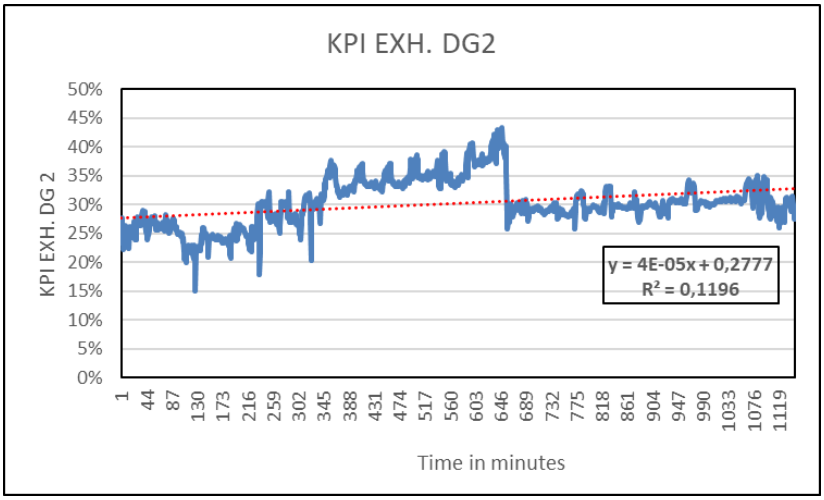


Εικόνα 56 Ιστόγραμμα του δείκτη απόδοσης για την γεννήτρια 2

Τέλος, προβάλλονται τα διαγράμματα των τιμών των δεικτών απόδοσης σε σχέση με τον χρόνο.



Εικόνα 57 Δείκτης Απόδοσης σε σχέση με τον χρόνο



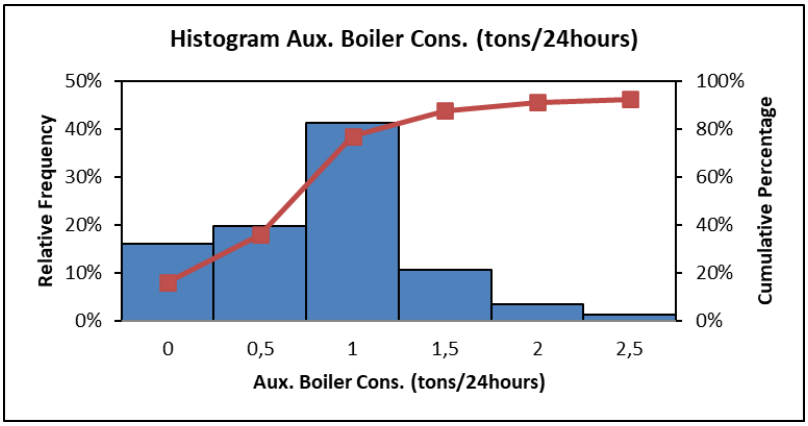
Εικόνα 58 Δείκτης Απόδοσης σε σχέση με τον χρόνο

7. ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΕΒΗΤΑ

Το σύστημα του λέβητα αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα των μηχανολογικών συστημάτων των πλοίων. Με τον λέβητα δημιουργείται υδρατμός ο οποίος χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση διαφόρων λειτουργιών του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, ο θερμός ατμός χρησιμοποιείται για ανάγκες θέρμανσης του καυσίμου της κύριας μηχανής (ME F.O. Heater) και για την δημιουργία πόσιμου νερού στο σύστημα αφαλάτωσης (Fresh Water Generator). Επίσης, με τον υδρατμό καλύπτονται ανάγκες προστασίας του φορτίου στα tanker από το Internal Gas System. Το σύστημα του λέβητα καταναλώνει καύσιμο, κυρίως Heavy Fuel Oil (H.F.O.), για να θερμάνει το νερό που διοχετεύεται στον λέβητα και να δημιουργήσει ατμό. Η θέρμανση του νερού γίνεται στον καυστήρα (Burner), ο οποίος είναι το τμήμα του λέβητα στο οποίο γίνεται η καύση. Για να εξετάσουμε το σύστημα του λέβητα και την απόδοσή του θα πρέπει να εξετάσουμε το γενικότερο σύστημα διαχείρισης ατμών του πλοίου. Στα εμπορικά πλοία, το σύστημα ατμού περιλαμβάνει συνήθως τον ακόλουθο εξοπλισμό:

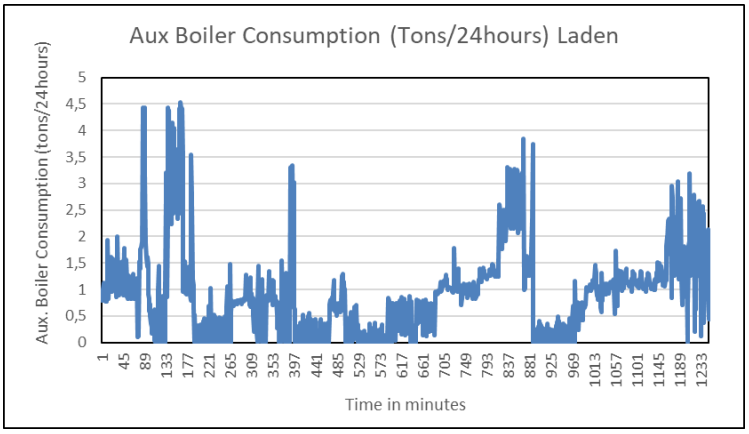
- Βοηθητικοί λέβητες (Aux. Boilers)
- Οικονομητήρας καυσαερίων (Exhaust Gas Economiser)
- Σωληνώσεις και αντλίες διαφόρων μεγεθών για την λειτουργία του συστήματος

Ο οικονομητήρας καυσαερίων είναι ένα σύστημα ανάκτησης απορριπτόμενης θερμότητας, που ανακτά τη θερμότητα από τα καυσαέρια των κύριων ή βοηθητικών κινητήρων και επομένως δεν χρησιμοποιεί καύσιμο. Όσο περισσότερο χρησιμοποιείται το σύστημα του οικονομητήρα, τόσο λιγότερη θα είναι η ανάγκη χρήσης των βοηθητικών λεβήτων. Συνεπώς, με την εκτεταμένη χρήση του οικονομητήρα μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου. Επομένως οι καλές συνθήκες συντήρησης και λειτουργίας του οικονομητήρα καυσαερίων θα πρέπει πάντα να θεωρούνται μέρος της αύξησης της αποδοτικότητας ενέργειας στο σύστημα ατμού (steam system). Για να εξετάσουμε κατά πόσο γίνεται κατάλληλη διαχείριση του λέβητα πρέπει να εξετάσουμε το διάγραμμα κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα σε σχέση με τον χρόνο αλλά και πληθώρα δεδομένων της κύριας μηχανής και του πλοίου. Από τα δεδομένα που έχουμε για τις καταναλώσεις του λέβητα καταστρώνουμε διαγράμματα που θα μπορούσαν να μας βοηθήσουν στα συμπεράσματα που θα βγάλουμε. Αρχικά, από το ιστόγραμμα για την κατανάλωση του λέβητα παρατηρούμε ότι ο λέβητας καταναλώνει κυρίως 0,5 με 1,5 τόνους ανά μέρα.

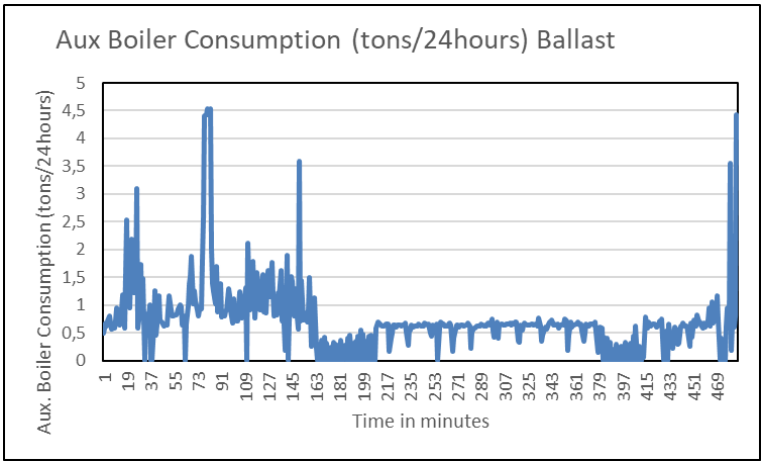


Εικόνα 59 Ιστόγραμμα κατανάλωσης καυσίμου του λέβητα από τον μέσο όρο των high frequency δεδομένα των αισθητήρων.

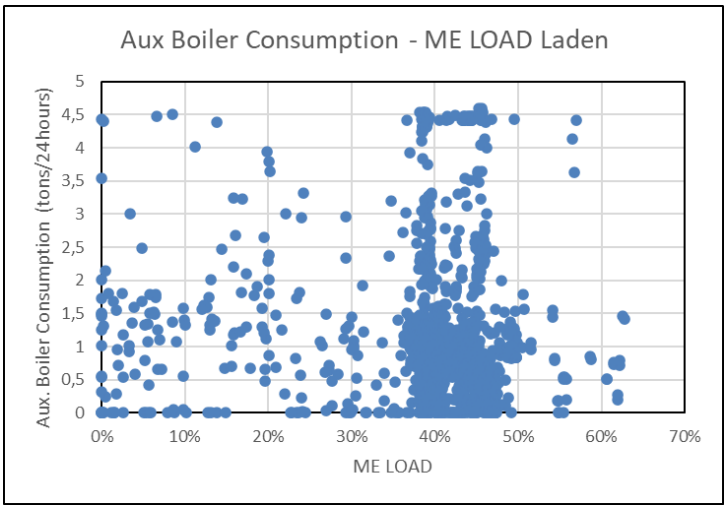
Παρακάτω, παρουσιάζεται το ιστορικό της κατανάλωσης του λέβητα και το διάγραμμα της ισχύος της κύριας μηχανής σε σχέση με την κατανάλωση του λέβητα για τις καταστάσεις ballast και laden.



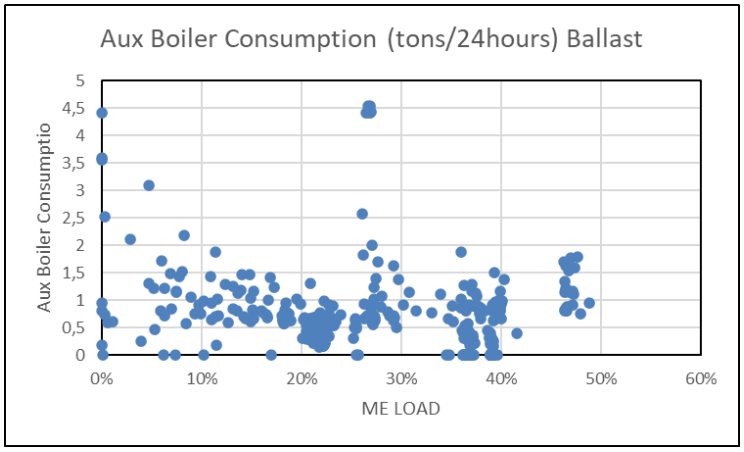
Εικόνα 60 Διάγραμμα κατανάλωσης λέβητα σε σχέση με τον χρόνο Laden κατάσταση



Εικόνα 61 Διάγραμμα κατανάλωσης λέβητα σε σχέση με τον χρόνο Ballast κατάσταση

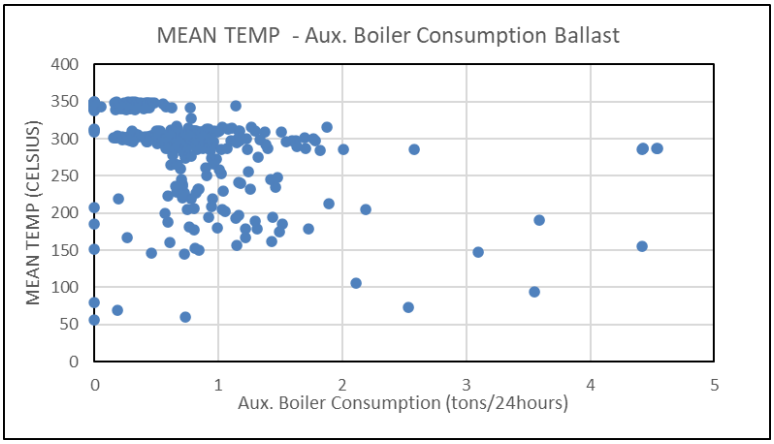


Εικόνα 62 Διάγραμμα κατανάλωσης λέβητα σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής Laden κατάσταση

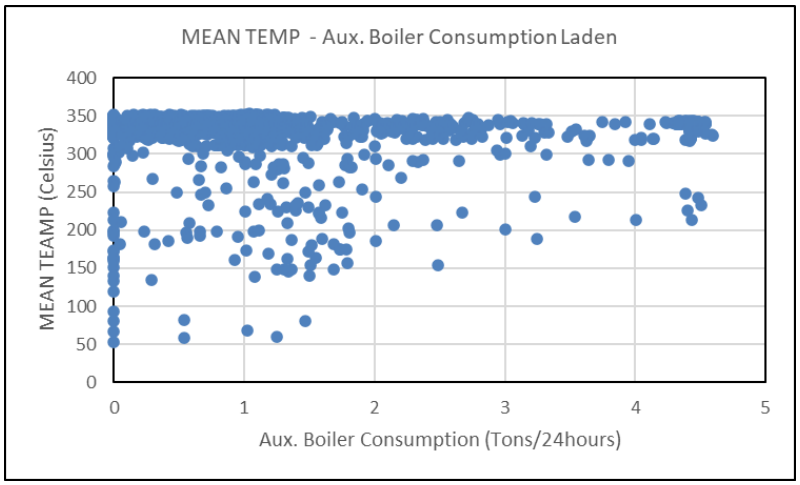


Εικόνα 63 Διάγραμμα κατανάλωσης λέβητα σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής Ballast κατάσταση

Αυτό που θα πρέπει να αποφευχθεί στην διαχείριση του λέβητα είναι να έχουμε σταθερή θερμοκρασία καυσαερίων και ταυτόχρονα υψηλή κατανάλωση καυσίμου. Η κατανάλωση καυσίμου υπό αυτές τις συνθήκες θα μπορούσε να αποφευχθεί. Όταν ο λέβητας χρησιμοποιείται χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση του, τότε η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου αυξάνεται. Γενικά, όταν ο κινητήρας φτάνει σε μια συγκεκριμένη φόρτιση, τότε η θερμοκρασία των καυσαερίων φτάνει να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος ατμού [10]. Συνεπώς, με βάση τα διαγράμματα θερμοκρασίας καυσαερίων και κατανάλωσης λέβητα, που προβάλλονται παρακάτω μπορούμε να εντοπίσουμε τις περιπτώσεις στις οποίες η καύση του λέβητα είναι περιττή. Παρατηρούμε ότι στην laden κατάσταση υπάρχουν κάποια σημεία με κατανάλωση καυσίμου υψηλότερη των 3 τόνων την ημέρα παρόλο που η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι υψηλή. Συνεπώς, υπάρχουν κάποια περιθώρια βελτίωσης στην διαχείριση του συστήματος του λέβητα.



Εικόνα 64 Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας κυλίνδρων σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου λέβητα σε ballast κατάσταση



Εικόνα 65 Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας κυλίνδρων σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου λέβητα σε laden κατάσταση

Παρακάτω δίνονται πίνακες με τα στατιστικά δεδομένα της κατανάλωσης του λέβητα σε κατάσταση ballast και laden.

Aux Boiler Consumption (tons/24hours) Ballast	
Mean	0,72
Standard Deviation	0,62
Range	4,54
Minimum	0,00
Maximum	4,54

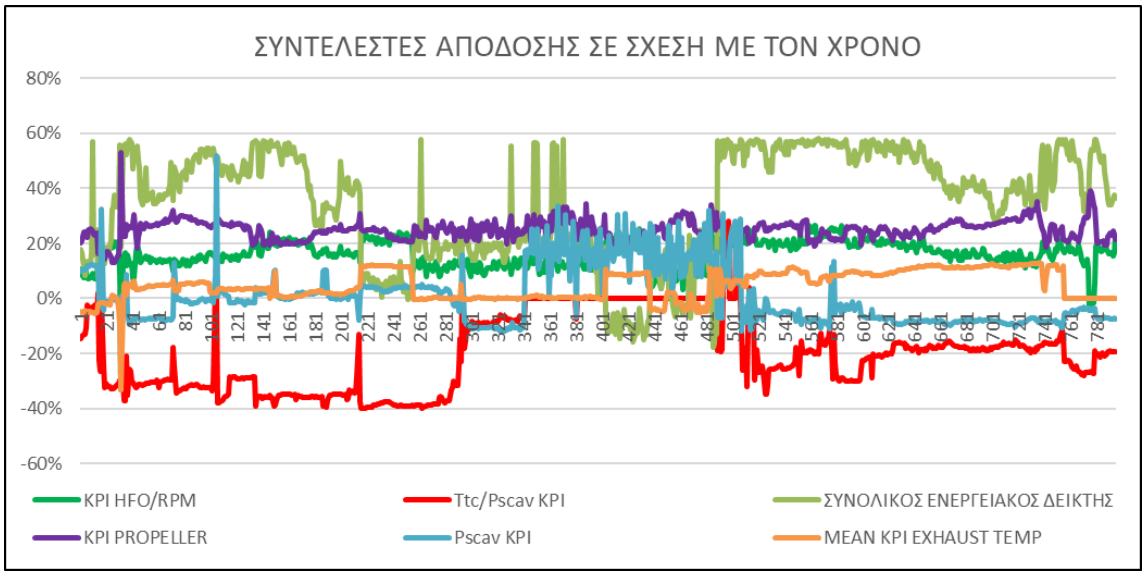
Πίνακας 33 Στατιστικά δεδομένα κατανάλωσης λέβητα Ballast κατάσταση

Aux Boiler Consumption (tons/24hours) Laden	
Mean	1,27
Standard Deviation	1,27
Range	4,6
Minimum	0
Maximum	4,6

Πίνακας 34 Στατιστικά δεδομένα κατανάλωσης λέβητα Laden κατάσταση

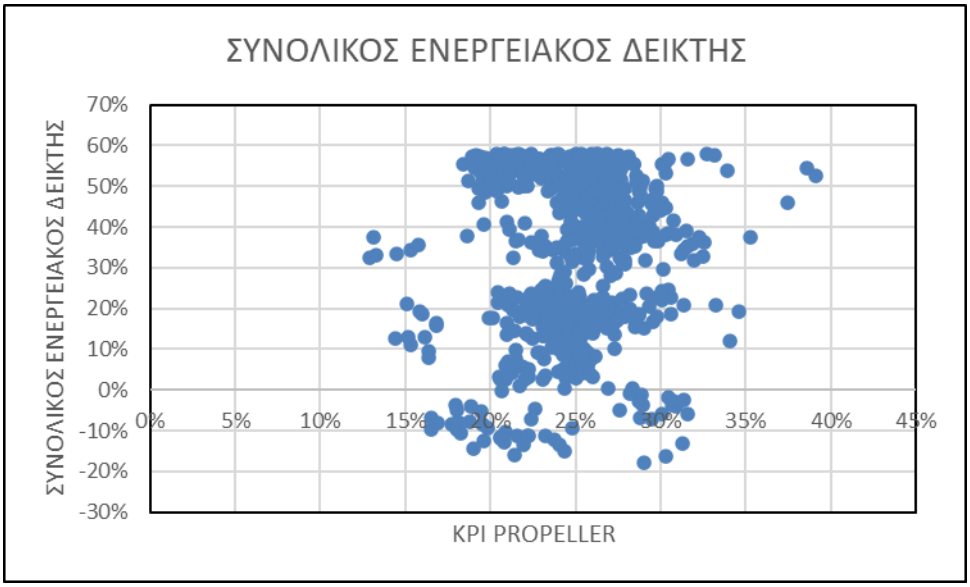
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ύστερα από την μελέτη που έγινε θα ήταν σκόπιμο να συγκριθούν οι δείκτες απόδοσης που υπολογίσαμε σε κοινά διαγράμματα. Με τον τρόπο αυτόν θα εξεταστεί η γενικότερη απόδοση του πλοίου. Παρακάτω, προβάλλεται το κοινό διάγραμμα των συντελεστών απόδοσης που χρησιμοποιήσαμε σε σχέση με τον χρόνο. Παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με τις τιμές αναφοράς την παρουσιάζει το KPI Pscav-Ttc και ο συνολικός ενεργειακός δείκτης. Ενδεχομένως λοιπόν να πρέπει να γίνουν κάποιες διορθωτικές κινήσεις στο σύστημα του στροβιλοσυμπιεστή, ώστε να βελτιωθεί η κατανάλωση του πλοίου. Για παράδειγμα, ένα overhauling στον στροβιλοσυμπιεστή θα μπορούσε να βελτιώσει την απόδοση του πλοίου.

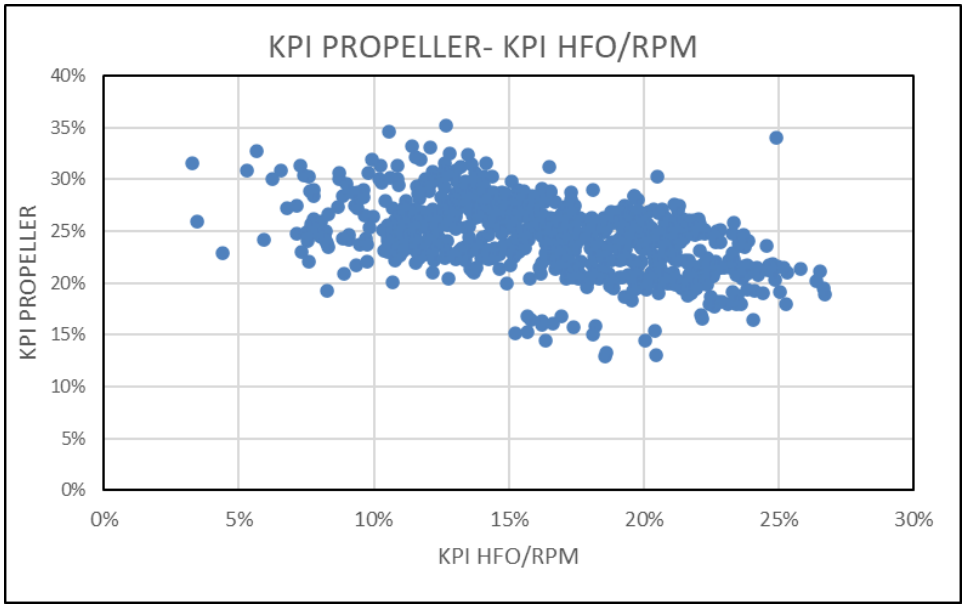


Εικόνα 66 Συντελεστές Απόδοσης σε σχέση με τον χρόνο

Παρακάτω, βλέπουμε το κοινό διάγραμμα του συνολικού ενεργειακού δείκτη σε σχέση με τον συντελεστή απόδοσης της προπέλας. Ακόμη, έχουμε το διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης της προπέλας σε σχέση με τον δείκτη κατανάλωσης KPI HFO/RPM.

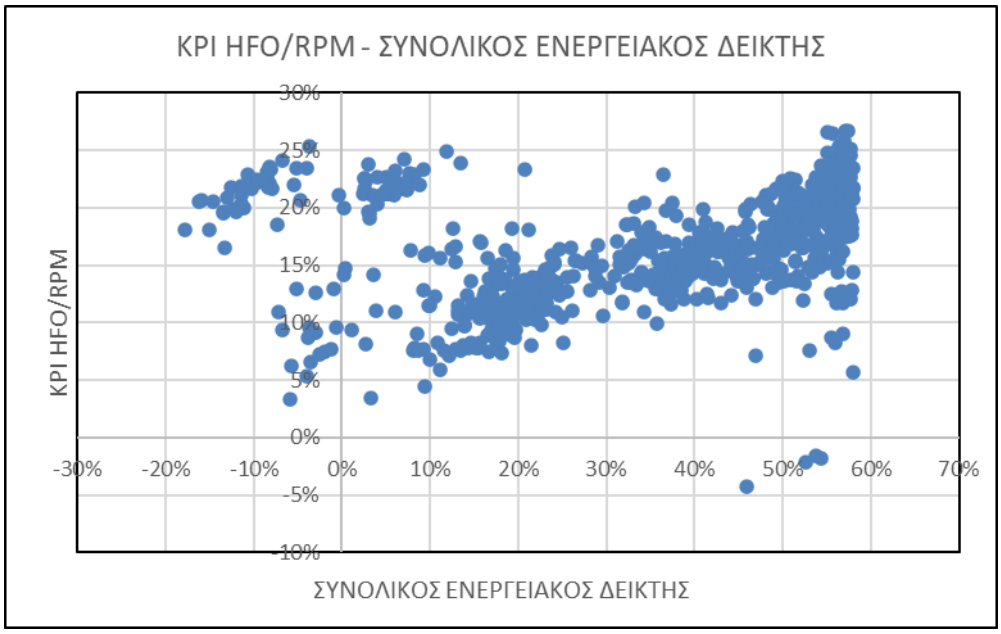


Εικόνα 67 KPI PROPELLER - ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ

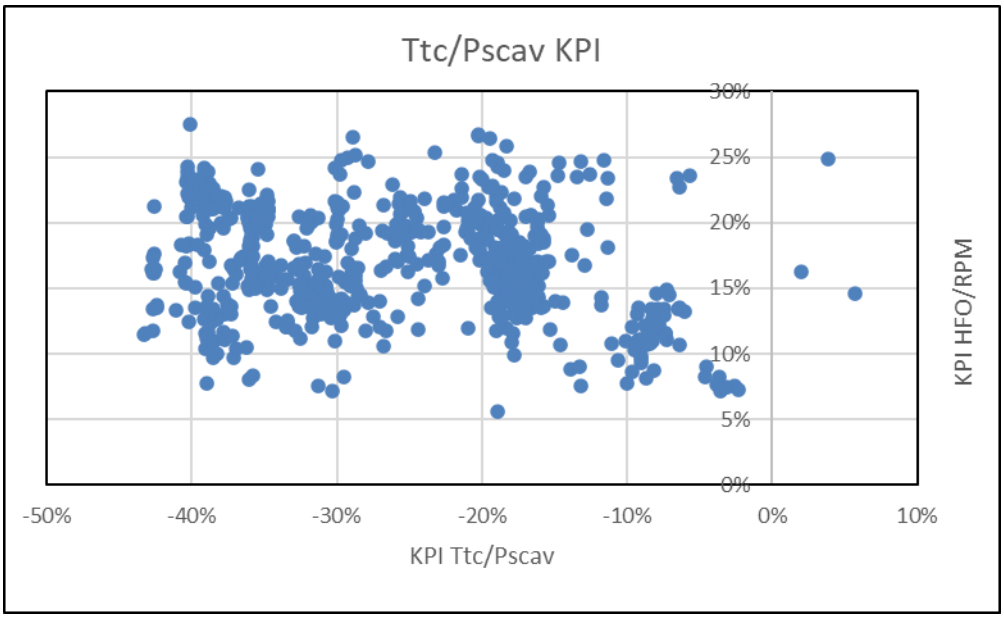


Εικόνα 68 KPI PROPELLER - KPI HFO/RPM

Παρακάτω, βλέπουμε το διάγραμμα του δείκτη κατανάλωσης με τον συνολικό ενεργειακό δείκτη και το διάγραμμα του δείκτη απόδοσης του στροβιλοσυμπιεστή με τον δείκτη κατανάλωσης.

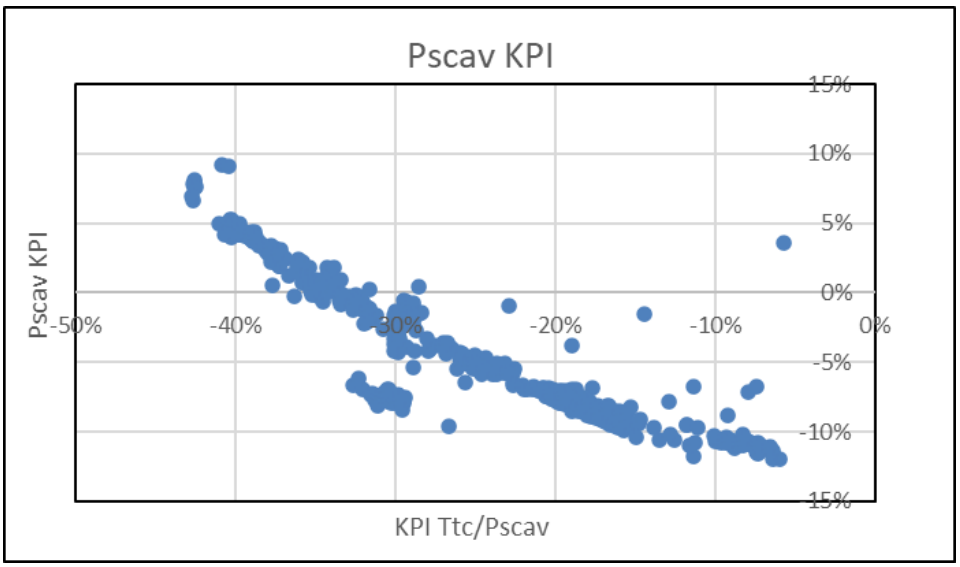


Εικόνα 69 KPI HFO/RPM - ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ

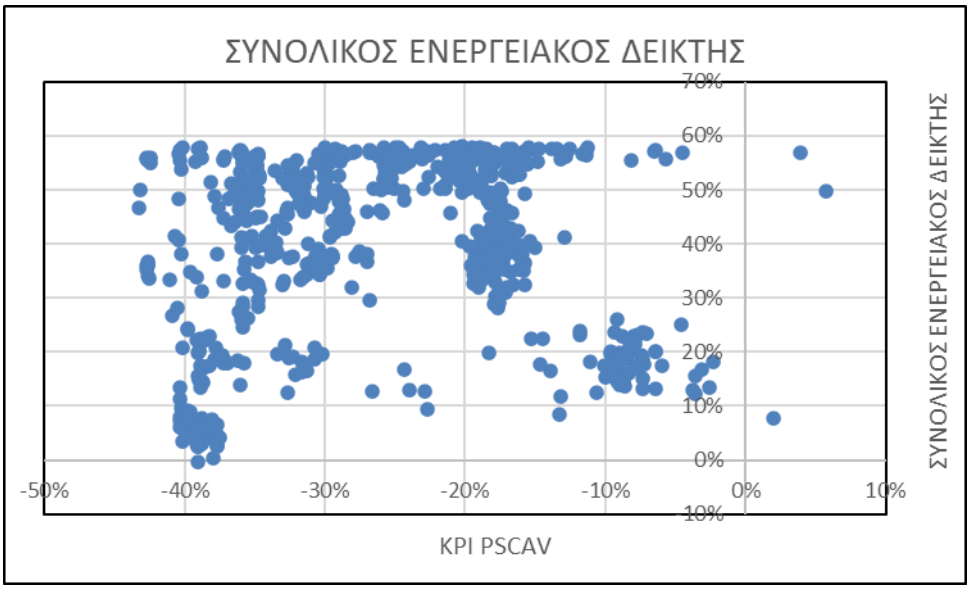


Εικόνα 70 Ttc/Pscav KPI - KPI HFO/RPM

Παρακάτω, βλέπουμε το διάγραμμα του δείκτη παρακολούθησης του συστήματος Scavenge Air με τον δείκτη απόδοσης του στροβιλοσυμπιεστή. Επιπλέον, έχουμε το διάγραμμα του συνολικού ενεργειακού δείκτη με τον δείκτη παρακολούθησησς του συστήματος Scavenge Air.



Εικόνα 71 Pscav KPI - KPI Ttc/Pscav



Εικόνα 72 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ - KPI PSCAV

Η διαδικασία της δημιουργίας δεικτών απόδοσης περιλαμβάνει μια σειρά από βήματα που πρέπει να ακολουθούνται με προσοχή. Αρχικά, είναι ανάγκη να γίνεται έλεγχος στα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη κατά την μελέτη του πλοίου. Για να γίνει ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να υπάρχει εξοικείωση με το είδος και την συχνότητα της δειγματοληψίας των δεδομένων που λαμβάνονται. Το αρχείο των δεδομένων που θα αναλυθούν δε θα πρέπει να περιλαμβάνει κενά ή να είναι δύσχρηστο. Ύστερα, είναι απαραίτητη η ολοκληρωμένη γνώση του υποσυστήματος που πρόκειται να αναλυθεί. Στην συνέχεια, οι δείκτες που υπολογίζονται πρέπει να είναι ξεκάθαρα ορισμένοι και να διαθέτουν τις κατάλληλες τιμές αναφοράς ώστε να μην διαστρεβλώνεται η κατάσταση στην οποία βρίσκεται κάθε υποσύστημα. Τέλος, η ανάλυση των δεικτών με στατιστικά δεδομένα είναι ουσιαστικής σημασίας. Γενικά στο πλοίο που έγινε μελέτη παρατηρείται ότι η κατανάλωση της κύριας μηχανής είναι χαμηλότερη στα noon reports σε σχέση με τις τιμές των αισθητήρων υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας. Ακόμη, επειδή οι δείκτες απόδοσης του συστήματος του στροβιλοσυμπιεστή έχουν υψηλές τιμές καλό θα ήταν να γίνουν κάποιες διορθωτικές κινήσεις στο σύστημα του στροβιλοσυμπιεστή.

9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] IMO (2018) Resolution MEPC.304 (72), Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships, International Maritime Organization, London, UK.

[2] N. Themelis, Ch. Spandonidis, & Ch. Giordamlis, (2019) "Data acquisition and processing techniques for a novel Performance Monitoring System based on KPIs", Proceedings, 18th Conference of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2019), 9-11 September 2019, Varna, Bulgaria.

[3] Z Bazari (2007) Ship energy performance benchmarking/rating: methodology and application, Journal of Marine Engineering & Technology, 6:1, 11-18

[4] Silicon Marine, "Digital Marine Exhaust Temperature Alarm", Model: SM007D/S

[5] VAF Instruments, "Fuel Consumption Measurement", Application Bulletin – 124

[6] AVNET ABACUS, "Piezoelectric Pressure Sensors"

[7] Eric Constans, "The Control System – The Tachometer"

[8] Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods — Additional requirements for engines for general use

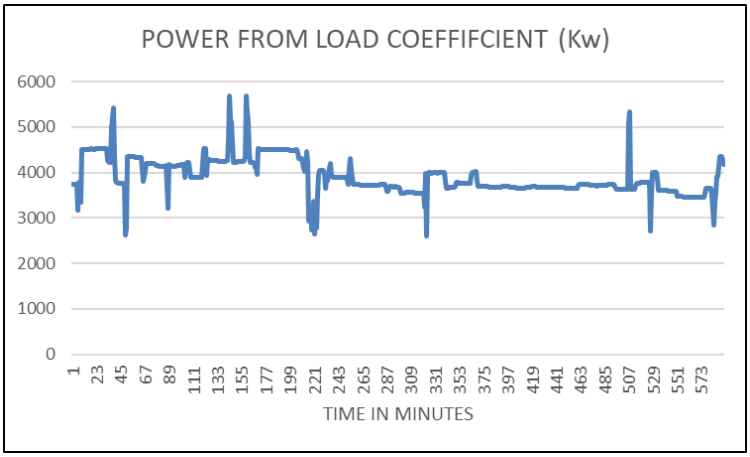
[9] ITTC, Recommended Procedures and Guidelines, Preparation Conduct and Analysis of Speed / Power Trials (2017)

[10] S. Simov (2017) "How to waste 12000 dollars on boiler consumption" , DNV GL – Articles 1

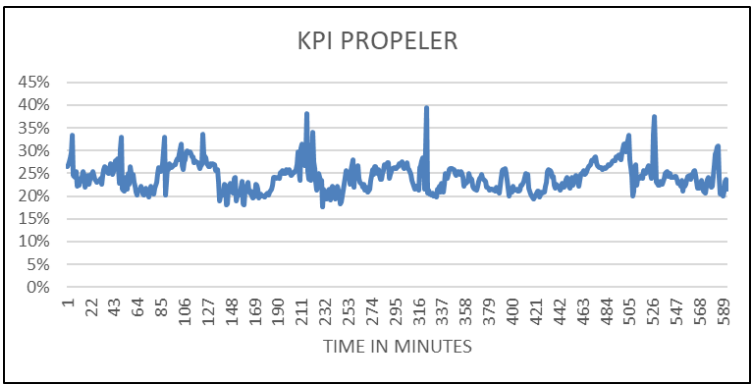
10.APPENDIX

Διαγράμματα τιμών του δείκτη Propeller And Hull KPI για κάθε 60 λεπτά

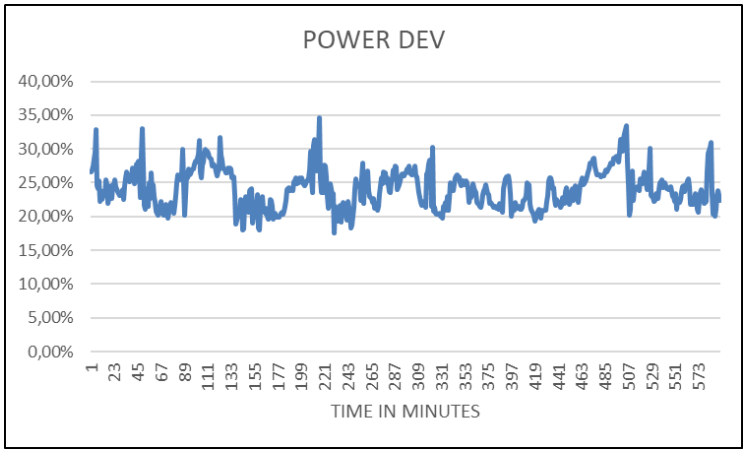
Στα παρακάτω διαγράμματα προβάλλεται με ποσοστά ο δείκτης Propeller And Hull KPI σε σχέση με τον χρόνο για χρονικό μέσο όρο μετρήσεων εξήντα λεπτών. Ακόμη, προβάλλεται η απόκλιση της ισχύος και των στροφών σε σχέση με τις τιμές αναφοράς για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.



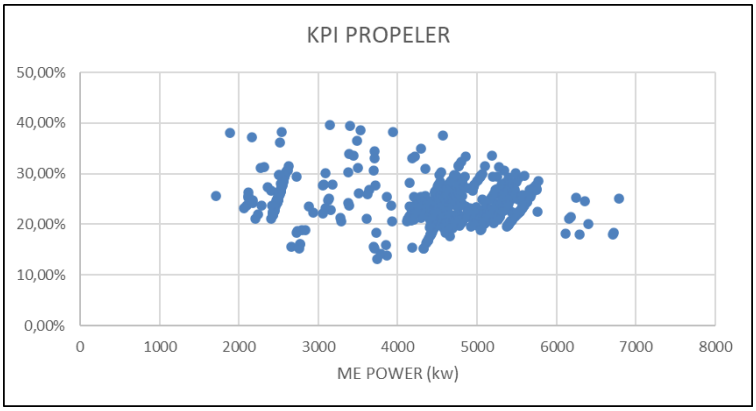
Εικόνα 73 Ισχύς που προκύπτει από τον τύπο της προπέλας σε σχέση με τον χρόνο



Εικόνα 74 Συντελεστής Απόδοσης Προπέλας σε σχέση με τον χρόνο



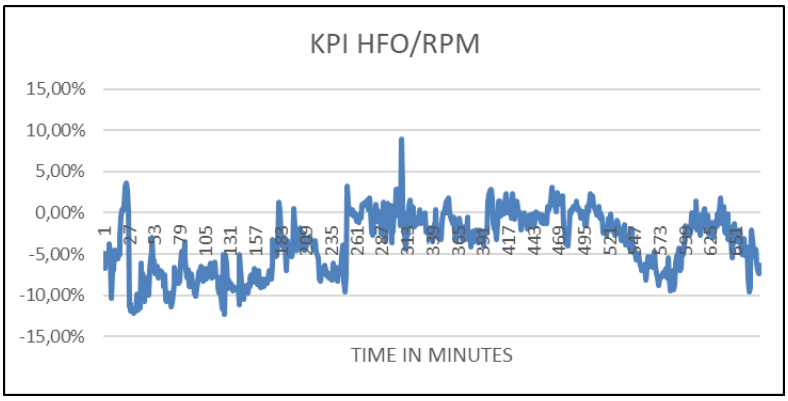
Εικόνα 75 Απόκλιση ισχύος σε σχέση με τον χρόνο



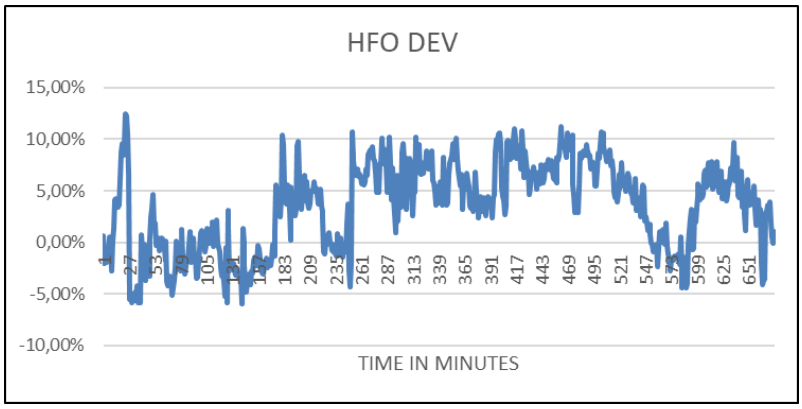
Εικόνα 76 Συντελεστής Απόδοσης Προπέλας σε σχέση με την ισχύ

Διαγράμματα τιμών του δείκτη HFO CONSUMPTION KPI για κάθε 60 λεπτά

Στα παρακάτω διαγράμματα προβάλλεται με ποσοστά ο δείκτης HFO CONSUMPTION KPI σε σχέση με τον χρόνο για χρονικό μέσο όρο μετρήσεων εξήντα λεπτών. Ακόμη, προβάλλεται η απόκλιση της κατανάλωσης και των στροφών σε σχέση με τις τιμές αναφοράς για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Τέλος, προβάλλεται το διάγραμμα του δείκτη μας σε σχέση με την ισχύ.



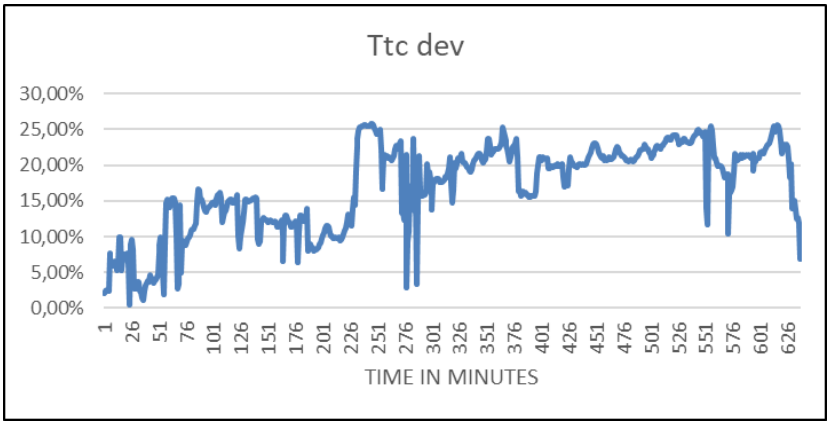
Εικόνα 77 Δείκτης απόδοσης HFO/RPM σε σχέση με τον χρόνο



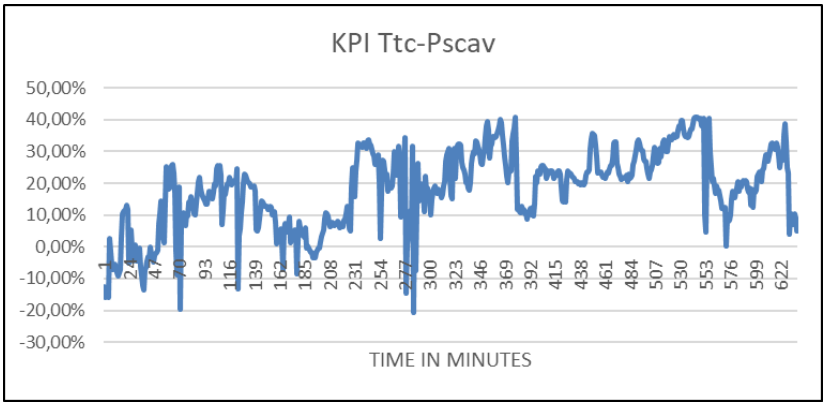
Εικόνα 78 Απόκλιση κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τον χρόνο

Διαγράμματα τιμών του δείκτη Turbocharger KPI για κάθε 60 λεπτά

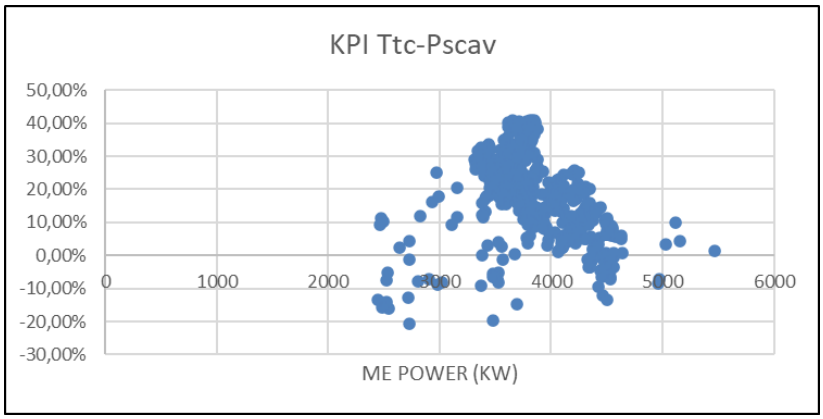
Στα παρακάτω διαγράμματα προβάλλεται με ποσοστά ο Turbocharger KPI σε σχέση με τον χρόνο για χρονικό μέσο όρο μετρήσεων εξήντα λεπτών. Ακόμη, προβάλλεται η απόκλιση της θερμοκρασίας εξόδου από τον στροβιλοσυμπιεστή σε σχέση με τις τιμές αναφοράς για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Τέλος, προβάλλεται ο Turbocharger KPI σε σχέση με την ισχύ της κύριας μηχανής.



Εικόνα 79 Απόκλιση θερμοκρασίας εξόδου στροβιλοσυμπιεστή σε σχέση με τον χρόνο



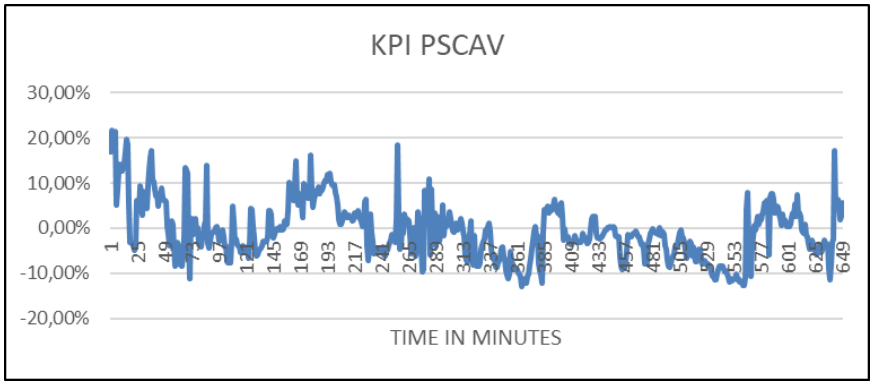
Εικόνα 80 Συντελεστής Απόδοσης στρόβιλο συμπιεστή σε σχέση με τον χρόνο



Εικόνα 81 Συντελεστής Απόδοσης στρόβιλο συμπιεστή σε σχέση με την ισχύ

Διαγράμματα τιμών του SCAVENGE AIR PRESSURE KPI για κάθε 60 λεπτά

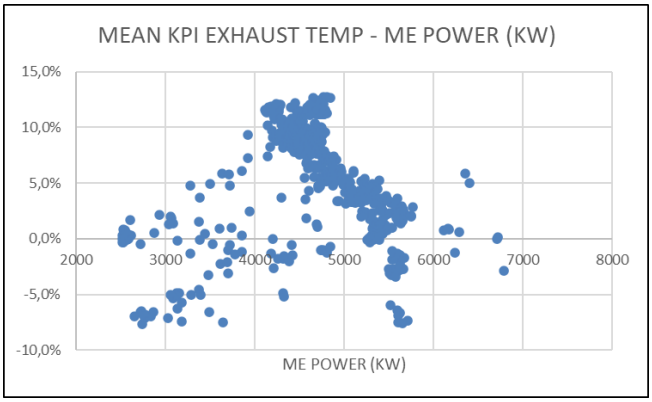
Στα παρακάτω διαγράμματα προβάλλεται με ποσοστά ο δείκτης SCAVENGE AIR PRESSURE KPI σε σχέση με τον χρόνο για χρονικό μέσο όρο μετρήσεων εξήντα λεπτών.



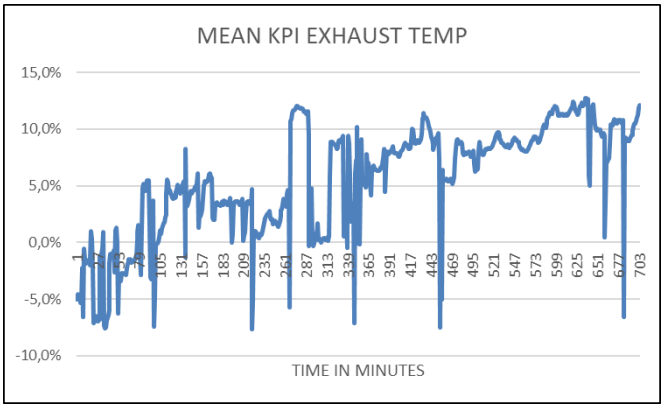
Εικόνα 82 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης του συστήματος SCAVENGE AIR σε σχέση με τον χρόνο

Διαγράμματα τιμών του δείκτη EXHAUST GAS TEMP. KPI για κάθε 60 λεπτά

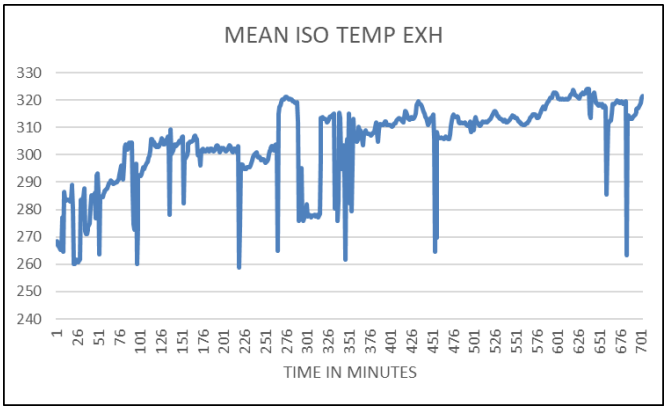
Στα παρακάτω διαγράμματα προβάλλεται με ποσοστά ο δείκτης EXHAUST GAS TEMP. KPI σε σχέση με τον χρόνο για χρονικό μέσο όρο μετρήσεων εξήντα λεπτών. Ακόμη, προβάλλεται το διάγραμμα της ισχύος σε σχέση με τον θερμοκρασία καυσαερίων.



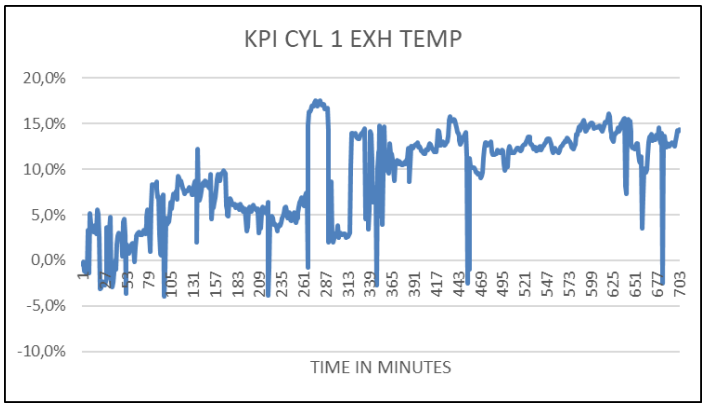
Εικόνα 83 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων σε σχέση με την ισχύ



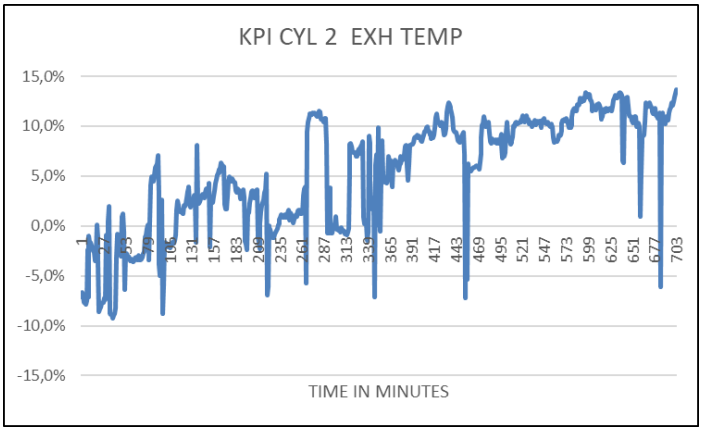
Εικόνα 84 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του μέσου όρου των κυλίνδρων



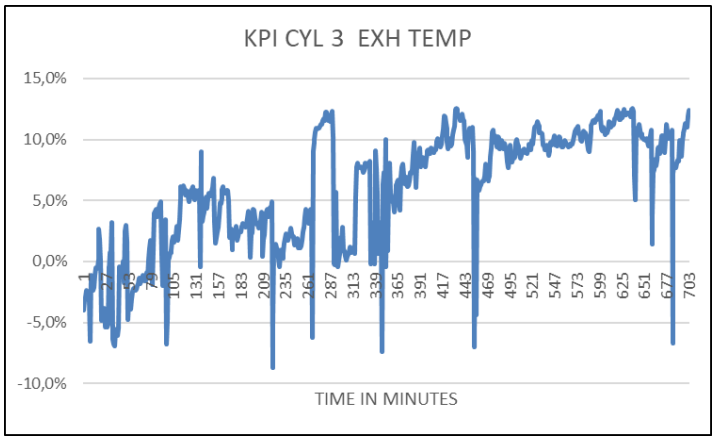
Εικόνα 85 Διάγραμμα μέσου όρου θερμοκρασιών των κυλίνδρων σε σχέση με τον χρόνο



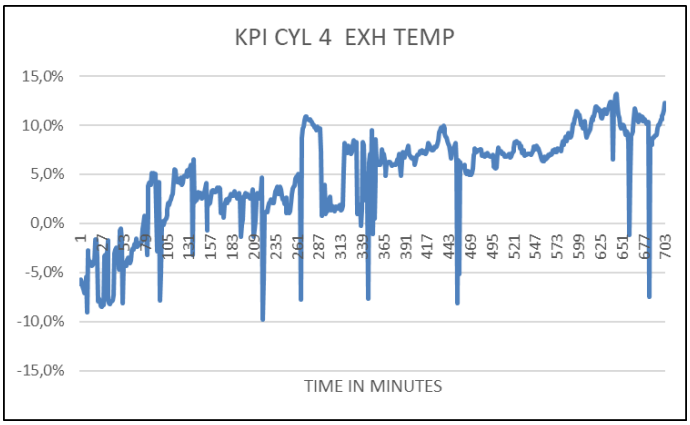
Εικόνα 86 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του πρώτου κυλίνδρου



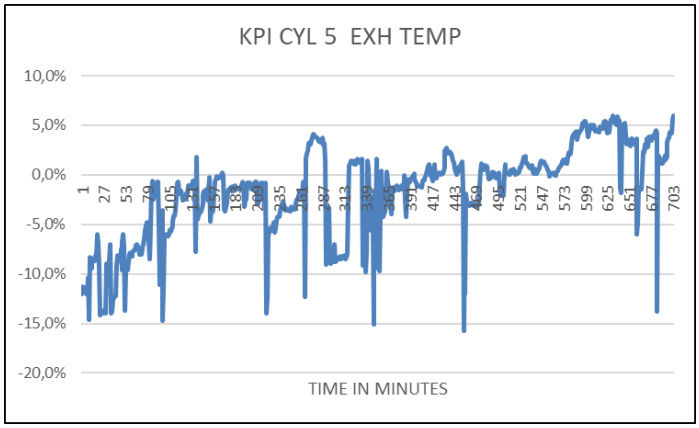
Εικόνα 87 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του δεύτερου κυλίνδρου



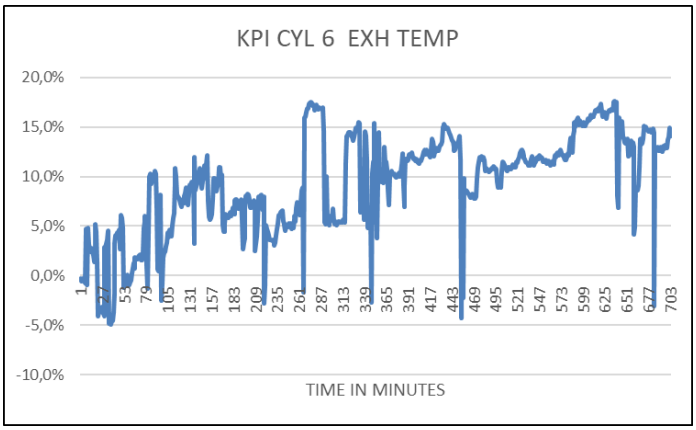
Εικόνα 88 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του τρίτου κυλίνδρου



Εικόνα 89 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του τέταρτου κυλίνδρου



Εικόνα 90 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του πέμπτου κυλίνδρου



Εικόνα 91 Διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης θερμοκρασιών καυσαερίων του έκτου κυλίνδρου